T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

İŞLETME BİLİM DALI

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YATIRIM GERİ DÖNÜŞ SÜRELERİNİN ANALİZİ: BURSA ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORHAN ÖZCÜ

BURSA – 2025

T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

İŞLETME BİLİM DALI

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YATIRIM GERİ DÖNÜŞ SÜRELERİNİN ANALİZİ: BURSA ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORHAN ÖZCÜ

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ALP AYTAÇ

BURSA – 2025

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi Çalışması olarak sunduğum “GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YATIRIM GERİ DÖNÜŞ SÜRELERİNİN ANALİZİ: BURSA ÖRNEĞİ” başlıklı çalışmanın bilimsel araştırma, yazma ve etik kurallarına uygun olarak tarafımdan yazıldığına ve tezde yapılan bütün alıntıların kaynaklarının usulüne uygun olarak gösterildiğine, tezimde intihal ürünü cümle veya paragraflar bulunmadığına şerefim üzerine yemin ederim.

Tarih ve İmza

24.07.2025

Adı Soyadı: Orhan Özcü

Öğrenci No:702214061

Anabilim/Anasanat Dalı: İşletme

Programı: İşletme Yüksek Lisans

Statüsü: Yüksek Lisans ■ Doktora ☐
Sanatta Yeterlilik ☐

ÖZET

Yazar adı soyadı	**Orhan Özcü**
Üniversite	**Bursa Uludağ Üniversitesi**
Enstitü	**Sosyal Bilimler Enstitüsü**
Anabilim dalı	**İşletme Anabilim Dalı**
Bilim dalı	**İşletme**
Tezin niteliği	*Yüksek Lisans*
Mezuniyet tarihi	**……/……/20….**
Tez danışmanı	**Dr. Öğr. Üyesi Alp AYTAÇ**

Tezin Türkçe Başlığı

Güneş Enerjisi Santralleri İçin Yatırım Geri Dönüş Sürelerinin Analizi: Bursa Örneği

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmakta olup, güneş enerjisi santralleri sürdürülebilir enerji üretimi, enerji maliyetlerinin minimuma inmesi, Dünya genelinde uygulanan karbon salınımının minimuma indirilmesi konuları açısından önemli bir yatırım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Bursa ili özelinde güneş enerjisi santrallerinin yatırım geri dönüş süreleri analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, projelerin faaliyete başlama zamanları, bölgenin güneşlenme süresi, enerji verimliliği, yatırım maliyetleri gibi faktörler dikkate alınarak bir maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler, farklı ölçeklerdeki ve farklı zamanlarda kurulan güneş enerjisi santralleri için geri dönüş süresini belirlemek amacıyla kurulum maliyeti, elektrik satış fiyatı çerçevesinde yapılarak her geçen gün artış gösteren GES yatırımını yapmak isteyen firmalar için de fikirler ortaya koymaktadır. Sonuçlar, yatırımın kârlılığına etki eden kritik değişkenleri ortaya koyarken, Bursa'nın güneş enerjisi yatırımları açısından sahip olduğu potansiyeli de değerlendirmektedir. Çalışma, karar vericilere ve yatırımcılara yol gösterici olması açısından önemli bulgular sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi Santrali, Yatırım Analizi*

ABSTRACT

Name & surname	**Orhan ÖZCÜ**
University	**Bursa Uludağ University**
Institute	**Institute of Social Sciences**
Field	**Business Administration**
Subfield	**Business Administration**
Degree awarded	**Master**
Date of degree awarded	**……/……/20….**
Supervisor	**Dr. Öğr. Üyesi Alp AYTAÇ**

The Title of Thesis in English

Analysis of Investment Payback Periods for Solar Power Plants: Bursa

Nowadays, interest in renewable energy sources is increasing and solar power plants stand out as an important investment in terms of sustainable energy production, minimizing energy costs and minimizing carbon emissions applied worldwide. In this study, the investment payback periods of solar power plants specific to Bursa province were analyzed. Within the scope of the study, a cost analysis was carried out by considering factors such as the start of the projects, the sunshine duration of the region, energy efficiency and investment costs. The analyses were made within the framework of the installation cost and electricity sales price in order to determine the payback period for solar power plants of different scales and established at different times and also presented ideas for companies that want to make solar power plant investments, which are increasing day by day. The results reveal the critical variables affecting the profitability of the investment and also evaluate the potential of Bursa in terms of solar energy investments. The study provides important findings in terms of guiding decision makers and investors.

Keywords: *Renewable Energy, Solar Power Plant, Investment Analysis*

ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir kalkınmanın ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında büyük bir öneme sahiptir. Günümüzde, fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunlar ve enerji arz güvenliği konuları, yenilenebilir enerji yatırımlarının önemini daha da artırmaktadır.

Bu bağlamda, 2000'li yılların başında Türkiye'de yenilenebilir enerji konusunda farkındalık oluşturmak ve ülkemizin yenilenebilir enerjideki ilerleyişini katkıda bulunmak amacıyla kurmuş olduğumuz "Türkiye Enerji Verimliliği Derneği" aracılığıyla yapmış olduğumuz faaliyetler ile çalışmalara başlamış olduk. Gürsu Belediye Başkanlığı görevim sürecinde belediyemiz için kurmuş olduğumuz Türkiye'deki ilk Güneş Enerjisi Santrali ve sonrasında kendi firmamız bünyesi kurmuş olduğumuz güneş santralleri ile ülkemizdeki yenilenebilir enerji faaliyetleri için adımlar atılmış oldu.

Bu çalışmaların yanı sıra akademik olarak da katkı sağlama amacıyla hazırlanan bu tez çalışmasında da Bursa ilindeki sekiz adet güneş enerjisi santrallerinin yatırım geri dönüş süreleri analiz edilerek, yatırımcılar ve karar vericiler için yol gösterici veriler sunulması amaçlanmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında danışmanlığımı yürüten Saygıdeğer Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Alp AYTAÇ başta olmak üzere tüm hocalarıma desteklerinden ötürü teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim ve tez çalışmam süresi boyunca daima yanımda olup desteklerini hissettiğim çok değerli eşim Dilber Özcü'ye, mühendislik ve sektörel bilgileriyle tezime katkı sağlayan çalışma arkadaşım ve oğlum Elk.-Eln Müh. Burak Nazım Özcü'ye, akademik ve bilimsel yönleriyle tezime katkı sağlayan oğullarım Muhammed Hakkı Özcü, Hasan Bilal Özcü ve Emir Bahadır Özcü'ye teşekkürlerimi sunarım.

Orhan Özcü

Bursa 2025

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM ENERJİ KAVRAMI VE TÜRLERİ 2

1. ENERJİ KAVRAMI 2

2. YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI 3

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRLERİ 7

3.1 Güneş Enerjisi 8

3.2 Rüzgâr Enerjisi 8

3.3 Dalga Enerjisi 9

3.4 Jeotermal Enerji 9

3.5 Hidrolik Enerji 10

3.6 Biyokütle Enerjisi 10

İKİNCİ BÖLÜM GÜNEŞ ENERJİSİ KAVRAMI VE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ 12

1. GÜNEŞ ENERJİSİ KAVRAMI ve ÇEŞİTLERİ 12

2. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ 14

2.1 Güneş Enerjisi Santrali Türleri 15

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ 20

1. DÜNYA'DA ENERJİ ARZI VE GENEL GÖRÜNÜM 20

2. ULUSLARARASI ANLAŞMALAR VE HEDEFLER 23

3. ULUSAL KATKI BEYANLARI 27

4. DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN DURUMU 29

4.1 Ülkelerin GES Sıralamaları 34

5. DÜNYA'DA GES KURULUM MALİYETLERİ 35

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ 39
1. TÜRKİYE'NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ 39
2. TÜRKİYE'NİN GES HEDEFLERİ 42
3. TÜRKİYE'NİN ULUSAL KATKI BEYANI 43
4. TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ MEVCUT DURUMU 45
5. TÜRKİYE'DE GES SIRALAMALARI 50
5.1 Lisanslı Elektrik Üretimi 51
5.2 Lisanssız Elektrik Üretimi 52
5.2.1. Destekleme Mekanizması 54
BEŞİNCİ BÖLÜM_GES'LERDE YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ: BURSA İLİNDE BİR UYGULAMA 57
1.BURSA HAKKINDA 57
2.BURSA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ DURUMU 58
3.ARAŞTIRMANIN AMACI 59
4. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI 60
5. YÖNTEM 61
5.1 PVSyst 62
5.2 Geri Ödeme Süresi Hesabı 64
6. BULGULAR 67
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 86
KAYNAKÇA 89
EKLER 99
ÖZGEÇMİŞ 100

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Arzı (EJ) 21
Tablo 2. UEA'nın Dünya Birincil Enerji Tüketim Tahminleri 22
Tablo 3. Dünya 2024 Güneş Enerjisi İstatistikleri 34
Tablo 4. Ortalama Elektrik Üretim Birim Maliyeti 36
Tablo 5. Türkiye'nin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Aylara Göre Dağılımı 40
Tablo 6. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı 41
Tablo 7. Kaynaklara Göre Kurulu Güç Tablosu 47
Tablo 8. Yenilenebilir Kaynaklara Dayalı Kurulu Gücün Gelişimi 48
Tablo 9. Yenilenebilir Kaynaklara Dayalı Kurulu Gücün Yıllık Artışı 49
Tablo 10. Elektrik Kurulu Gücü Planı (MW) 50
Tablo 11. 2024 Mart-2025 Mart Elektrik Kurulu Gücü ve Üretim Miktarı 51
Tablo 12. Türkiye İl Bazında Lisanssız Ges Kurulu Gücü (MW) 55
Tablo 13. GES 1 Fizibilite Raporu 68
Tablo 14. GES 1 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay) 69
Tablo 15. GES 2 Fizibilite Raporu 70
Tablo 16. GES 2 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay) 71
Tablo 17. GES 3 Fizibilite Raporu 72
Tablo 18. GES 3 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay) 73
Tablo 19. GES 4 Fizibilite Raporu 74
Tablo 20. GES 4 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay) 75
Tablo 21. GES 5 Fizibilite Raporu 76
Tablo 22. GES 5 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay) 77

Tablo 23. GES 6 Fizibilite Raporu 78
Tablo 24. GES 6 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)..... 79
Tablo 25. GES 7 Fizibilite Raporu 80
Tablo 26. GES 7 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)..... 81
Tablo 27. GES 8 Fizibilite Raporu 82
Tablo 28. GES 8 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)..... 83
Tablo 29. Sonuç Tablosu 84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünya Güneş Enerjisi Haritası 30

Şekil 2. Avrupa Güneş Enerjisi Haritası 31

Şekil 3. Afrika Güneş Enerjisi Haritası 31

Şekil 4. Küresel Toplam Güneş Enerjisi Kurulu Gücü (GW) 32

Şekil 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Güç Tahmini (GW) 32

Şekil 6. Güneş Enerjisi Kurulu Gücü (GW) ve Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü İçerisindeki Payı (%) 33

Şekil 7. Güneş Enerjisi Kaynaklı Elektrik Üretiminin Ülkelere Göre Dağılımı 34

Şekil 8. Küresel Güneş Enerjisi Toplam Kurulum Maliyeti (ABD$/kW)..... 37

Şekil 9. Ülkelere Göre Şebekeye Bağlı GES Toplam Kurulum Maliyeti (ABD$/kW 2022)..... 37

Şekil 10. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası 42

KISALTMALAR

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

AKAKDO: Arazi Kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık

AFID: Endüstri Karbonsuzlaştırma Birliği

BM: Birleşmiş Milletler

BP: British Petroleum

COP: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Taraflar Konferansı

EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

GES: Güneş Enerjisi Santrali

IEA: Ulusal Enerji Ajansı

IPCC: Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli

LCOE: Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti

NDC: Ulusal Katkı Beyanı

OSB: Organize Sanayi Bölgesi

OVP: Orta Vadeli Program

PV: Fotovoltaik

SKH: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

UEA: Uluslararası Enerji Ajansı

UEP: Ulusal Enerji Planı

UKB: Ulusal Katkı Beyanları

UNEP: Birleşmiş Milletler Çevre Programı

UNFCCC: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

WMO: Dünya Meteoroloji Örgütü

VBA: Visual Basic for Applications

YEK: Yenilenebilir Enerji Kaynağı

YEKA: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları

YEKDEM: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

SEMBOLLER

C: Celcius

CO: Karbonmonoksit

CO_2: Karbondioksit

EJ: Exajoule

GW: Gigawatt

h: Saat

K: Kelvin

km: Kilometre

kW: Kilowatt

kWh: Kilowatt Saat

kWp: Kilowatt Peak

m: Metre

m^2: Metrekare

MW: Megawatt

NOx: Azot Oksitler

p: peak

pm: Pikometre

SO_2: Kükürtdioksit

TW: Terawatt

W: Watt

GİRİŞ

Enerji, insanlık tarihinin her döneminde önemli bir ihtiyaç olmuştur ve modern çağda ekonomilerin temel taşlarından biri haline gelmiştir. Dünya genelinde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojik ilerlemeler, enerji tüketimini hızla artırmış, buna bağlı olarak enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği önemli bir mesele haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye olan zararlarının azaltılması amacıyla alternatif çözümler olarak ön plana çıkmıştır. Bu bağlamda, güneş enerjisi gibi temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları, geleceğin enerji politikalarında belirleyici bir rol üstlenmektedir.

Güneş enerjisi, sürekli yenilenebilir bir kaynak olması ve çevresel etkilerinin minimum düzeyde kalması sebebiyle dünya genelinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Türkiye, coğrafi konumu ve güneşlenme potansiyeli açısından güneş enerjisi kullanımı için oldukça elverişli bir ülkedir. Bursa gibi sanayi ve nüfus açısından önemli şehirlerde, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve çevreye duyarlı enerji üretiminin artırılması amacıyla güneş enerjisi santralleri (GES) giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, Bursa'da kurulan güneş enerjisi santrallerinin ekonomik boyutları ele alınmış ve bu yatırımların geri dönüş süreleri analiz edilmiştir. Araştırma, yenilenebilir enerji yatırımlarının bölgesel kalkınmaya olan katkılarını ve ekonomik fizibilitesini değerlendirmeyi hedeflemektedir. GES yatırımlarının yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik faydalarının da ortaya konulması, yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasına yönelik önemli bir adım olacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM
ENERJİ KAVRAMI VE TÜRLERİ

Modern yaşamın en önemli ihtiyaçlarından biri olan enerji, çok geniş kullanım alanlarının yanı sıra kavram olarak tanımlanırken de geniş bir yelpaze sunar. Bu tez çalışmasında incelenen Güneş Enerjisi Santrallerinin çalışma sisteminin anlaşılabilmesi için de öncelikli olarak enerji konusunun ele alınması gerekmektedir.

Bu bölümde de ilk olarak enerji kavramı açıklanmış olup; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi vb. yenilenebilir enerji kaynakları hakkında temel kavramlar belirtilmiştir. Ayrıca günümüzde enerji kaynağı olarak hala yüksek miktarlarda kullanılan fosil yakıtlar, kömür, doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynakları hakkında bilgi verilmiştir.

1. ENERJİ KAVRAMI

Enerji, bir sisteme iş olarak aktarılan ve ısı, ışık, hareket gibi farklı biçimlerde gözlemlenebilen fiziksel, kimyasal ve nükleer süreçlerin temel kaynağıdır. İnsanlık tarihi boyunca enerji, çeşitli gereksinimlerin karşılanmasını sağlayan kritik bir unsur olmuştur. İlk çağlarda enerji ihtiyacı, temel olarak ısı ve ışık sağlama amacıyla ortaya çıkmıştır. Zamanla toplumların gelişmesiyle birlikte bu gereksinimler evrimleşerek daha karmaşık hale gelmiştir. Sanayi Devrimi, mekanik enerjiye olan talebi artırarak buhar gücü ve fosil yakıtların yaygın kullanımına yol açmıştır. Bilgisayar ve internet çağında ise enerji ihtiyacı büyük ölçüde elektrik üretimi ve dijital teknolojilerle şekillenmiştir. Bu dönüşüm, enerji kaynaklarının kullanım biçimlerini çeşitlendirmiş ve modern toplumların enerjiye bağımlılığını artırmıştır (Demir & Yakışık, 2024).

Günümüzde, neredeyse her ülkede; tarım, sanayi, yazılım gibi neredeyse her sektörde ekonomik kalkınma ve sürdürebilirlik için enerji ana etmendir. Diğer bir deyişle enerjinin doğru kullanımı ülkelerin gelişmişlik göstergelerinden biri olarak kabul edilebilir. Enerjinin bu kadar önemli olması, onu kontrol edenin sahip

olacağı güç dolayısı ile onu cazip kılar ve birçok ülkenin odağını kendisine çeker. Günümüzde politikanın şekillenmesinde enerji bu yüzden çok önemli bir parametredir. Günümüzde sadece enerji değil, birçok alanda diğer ülkelere yön veren güçlü ülkeler, bu güçlerinin önemli bir kısmını enerji alanında öncü olarak elde etmişlerdir (Mostafaeipour vd., 2021).

Özetleyecek olursak, bir ülkenin gerçek anlamda bağımsız olmasının en önemli etmeni olan ekonomik gelişmişlik düzeyi, enerjiye doğrudan bağlıdır. Bu anlamda enerji bağımsızlığı ve sürdürülebilirliği ülkelerin ciddi bir hedefi haline gelmiştir. Bu hedef doğrultusunda coğrafyaya bağlı ve sınırlı enerji kaynağı olan fosil yakıtlardansa; daha yeşil, kullanımı ekosisteme ve Dünya'ya minimum zararlı ve ayrıca sınırsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmıştır (Şenel, 2012).

Enerji, yenilebilir ve yenilenemeyen olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bir sonraki kısımda ilk olarak, yenilenemeyen enerji kaynaklarının neler olduğuna ve bunların özelliklerine değinilecektir.

2. YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI

Günümüzde en yaygın kullanılan ve toplumda en bilinen tür olan yenilenemez enerji kaynakları, doğada sınırlı miktarda bulunmaları ve yeniden oluşum süreçlerinin milyonlarca yıl sürmesi nedeniyle bu adı almıştır. Bu enerji kaynakları, organik maddelerin jeolojik süreçler sonucu yüksek basınç ve sıcaklık altında termokimyasal tepkimeler geçirmesiyle oluşur. Bu jeolojik süreçlerin uzun sürmesi ve belirli bölgelerde gerçekleşmesi, yenilenemeyen enerji kaynaklarının coğrafi olarak lokal dağılmasına yol açar (BP, 2022).

Yenilenemeyen enerji kaynakları karbon temelli olduğu için yanma sürecinde yüksek miktarda karbondioksit (CO_2) ve karbon monoksit (CO) salınımı gerçekleştirerek küresel ısınmaya neden olmaktadır (International Energy Agency (IEA), 2023). Fosil yakıt tabanlı enerji kaynakları olan petrol, kömür ve doğal gazın yanı sıra nükleer enerji de yenilenemeyen enerji kaynakları arasında yer alır. Daha önce keşfedilmiş ve yüksek verimlilik sunan bu kaynaklar, günümüzde enerji üretiminde baskın rol oynamaktadır.

Dünya genelinde fosil kaynaklı yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanım oranları kömür %67, doğalgaz %17 ve petrol %16 olarak dağılım göstermektedir.

Toplam enerji tüketiminin yaklaşık %81'i fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır (BP, 2022; IEA, 2023).

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının özellikleri aşağıdaki gibidir (BP, 2022; IEA, 2023; World Energy Council, 2022):

- Kaynakları tükenecektir.
- Sürdürülemezdir.
- Kükürtlü, azotlu, karbonlu bir yapıya sahip olup çevresel sorunlar yaratabilirler.
- Coğrafi olarak lokal bölgelerde birikim gösterirler.
- Uygulama için madencilik gerektirirler.
- Arz sırasında sağlık açısından güvenlik sorunu bulunur.

Yenilenemeyen enerji kaynaklarından ilk olarak incelenecek olan kömürdür.

Kömür, kara bitkilerinin milyonlarca yıl önce çürümesi ile oluşur. Şu anda tahmin edilen kömür arzının en az 200 yıl daha yeterli olduğu yönündedir. Kömür, katı ve karbon temelli yapısından dolayı en kirli enerji kaynağıdır. Yandığında oldukça kirletici ve zehirli atıklar ortaya çıkarır. Bu atıklara örnek olarak şunları verebiliriz; Karbondioksit (CO_2), Kükürtdioksit (SO_2), Azotdioksit (NO_2) olmak üzere kimyasallar ve küçük katı parçacıklar 2.5 pikometre (pm) ve 10 pm aralığında katı parçacıklar (BP, 2022; Blander, 2010).

%67 rezerv oranı ile doğada en bol bulunan kömürün ileride azalması beklenen petrol arzına çare olabileceğine inanılmaktadır. Kömürün bu kadar fazla olması; ayrıca petrol ve doğalgaza göre daha yaygın coğrafyalarda bulunması onu daha ucuz ve erişilebilir kılar. Bu erişilebilirlik günümüzde petrol ve doğalgaza erişimi olmayan, ekonomik olarak küçük ülkelerin dikkatini çekmiştir. Bu yüzden Çin, Hindistan, ekonomik olarak küçük orta Asya ülkeleri temel enerji temini için kömürü kullanmaktadırlar (IEA, 2022).

Bir diğer yenilenemeyen enerji kaynağı olan petrol, kara ve deniz hayvanlarının milyonlarca yıl önce deniz yataklarında çürümesi ile oluşur. British Petrol (BP)'ün 2024 yılına ait Energy Outlook raporuna göre, dünya genelindeki kanıtlanmış petrol rezervleri 1.732,4 milyar varil olarak tahmin edilmektedir. Bu verilere dayanarak, dünya genelindeki petrol rezervlerinin tamamlanmasının yaklaşık 50 yıl süreceği hesaplanmaktadır. Bu süre kömüre kıyasla oldukça düşüktür ve gelecekte petrole alternatif bulunması gerekmektedir. Petrolün kimyasal yapısı hidrokarbondur (hidrojen ve karbon bileşikleri) ve doğada sıvı olarak bulunur. Petrol %16 rezerv oranı ile en az bulunan yenilenemeyen enerji kaynağı olmasına rağmen, %31 tüketim oranı ile en çok kullanılan kaynaktır. Enerji bağlamında genelde motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır (BP, 2024). Yakıldığında, kömüre oranla daha az olmasına rağmen ciddi atıklar çevreye salınır. Bu salınan zararlı atıklara örnek olarak Karbondioksit (CO_2), Karbonmonoksit (CO), Kükürtdioksit (SO_2) ve Azot dioksit (NO_2) verilebilir. Petrol, enerji kaynağı olmasının yanında çeşitli işlemlerden geçirilerek farklı özellikli etilen, plastik, sentetik kauçuk gibi petrokimya ürünlerinin yanı sıra, makine ve gres gibi endüstriyel yağ ürünlerine de dönüştürülebilir (Stephenson, 2018).

Petrolün yoğun kullanımı ve kısa beklenen ömrü ülkelerin göz önünde bulundurması gereken ciddi bir konudur. BP tahminlerine göre, dünya petrol üretimi rezervler açısından en yüksek seviyesine ulaşmış olabilir (BP, 2021). Bu yüksek üretim miktarı, petrolün tahmin edilenden de kısa ömre sahip olabileceğini ortaya koymakta ve arz-talep dengesizliği ihtimalini beraberinde getirmektedir. Ortaya çıkacak bu dengesizliğin giderilmesi için alternatif enerji sistemlerinin devreye alınması gerekecektir. Bu yolda atılan adımlara örnek olarak elektrikli araç üretiminin ülkelerce motive edilmesi ve BMW, Ferrari, Ford gibi büyük araba üreticilerinin elektrikli araç üretimine yönelik kendilerine ciddi hedefler koyması gösterilebilir.

Kömür ve petrol ile birlikte fosil kaynaklı yenilenemeyen enerji kaynaklarından diğeri doğal gazdır. Doğal gaz, kara ve deniz hayvanlarının milyonlarca yıl önce deniz yataklarında çürümesi ile oluşur. Şu anda tahmin edilen doğal gaz arzının petrol gibi en az 50 yıl daha yeterli olduğu yönündedir. Doğal gazın kimyasal

yapısı esasen metandır (hidrojen ve karbon bileşiği) ve doğada gaz olarak bulunur. Doğal gaz, petrole kıyasla rezerv olarak daha bol ve çok daha temiz olan bir fosil yakıttır. Doğalgaz tüketim açısından %23'lük bir enerji oranını karşılar. Doğal gazın kullanım alanı genelde ısınma ve santrallerde enerji üretimi şeklinde karşımıza çıkar. Doğal gaz yakıldığında doğaya zehirli bir atık salmaz. Bu açıdan en temiz yenilenemeyen enerji kaynağıdır. Doğal gaz doğaya zehirli atık salmamasına rağmen yoğun karbondioksit salınımına sebep olur. Karbondioksit, sera etkisinin başlıca sebebidir. Doğal gazın daha temiz ve kullanım alanının daha dar olması, ülkeleri şimdilik bir alternatif arayışına sokmamaktadır (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2023a).

Fosil yakıt kaynaklı olmamasına rağmen nükleer enerji de yenilenemeyen enerji kaynaklarından bir tanesidir. Nükleer enerji, doğada bulunan uranyum veya plütonyum gibi radyoaktif elementlerin fizyon (çekirdek bölünmesi) veya füzyon (çekirdek birleşmesi) tepkimeleriyle nükleer seviyede parçalanması ya da birleştirilmesi sonucu enerji üretimidir. Günümüzde kullanılan nükleer enerji üretimi genellikle fizyon süreci ile gerçekleşmektedir (Murray, 2011).

Nükleer enerji üretimi için gerekli yakıt kaynakları, fosil yakıtlara kıyasla daha yaygın bulunmakta olup, enerji verimliliği oldukça yüksektir. Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında en temiz ve en yüksek enerji yoğunluğuna sahip kaynaklardan biridir. Üretim sürecinde karbon emisyonu veya hava kirletici partiküller doğrudan atmosfere salınmaz (World Nuclear Association, 2022b). Ancak, nükleer enerji üretimi sonucunda ortaya çıkan radyoaktif atıklar, uzun ömürlü olması ve yüksek düzeyde radyoaktif ışıma yayması nedeniyle özel depolama ve güvenlik önlemleri gerektiren ciddi bir çevresel ve güvenlik sorunudur (Krane, 2019). Bu atıklar son derece güvenli ve sızdırılmayacak şekilde saklanmalıdır aksi halde Çernobil ve Fukuşima gibi felaketler ile sonuçlanabilir.

Tarih boyunca meydana gelen en büyük nükleer felaketler arasında Çernobil (1986) ve Fukuşima (2011) kazaları bulunmaktadır. Çernobil Nükleer Santrali'nde gerçekleşen kaza, reaktörün kontrolsüz bir şekilde ısınması ve patlaması sonucu büyük miktarda radyoaktif maddenin atmosfere yayılmasına neden olmuştur. Bu

olay, Ukrayna, Beyaz Rusya ve Rusya başta olmak üzere geniş bir coğrafyada çevresel ve sağlık sorunlarına yol açmıştır (International Atomic Energy Agency (IAEA), 2006).

Öte yandan, Fukuşima Daiichi Nükleer Santrali'nde, 2011 yılında meydana gelen 9.0 büyüklüğündeki deprem ve ardından gelen tsunami, reaktörlerin soğutma sistemlerini devre dışı bırakmış ve ciddi radyoaktif sızıntılara sebep olmuştur (World Nuclear Association, 2022a). Her iki kaza da nükleer enerji güvenliği konusunda küresel çapta önemli değişikliklere yol açmış, reaktör tasarımlarında ve güvenlik önlemlerinde ciddi reformlar yapılmasını sağlamıştır.

Buraya kadar yer alan bilgiler yenileyemeyen enerji kaynaklarına ilişkindi. Bundan sonraki kısımda Dünya için kullanımı daha faydalı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının neler olduğuna yönelik temel kavramlar açıklanacaktır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRLERİ

Günümüzde yenilenemeyen enerji kaynaklarına kıyasla daha az yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; ismini insan ölçeğinde kendini sürekli yenileyebilmesi sebebiyle alır. Karşılaştırmak istersek, yenilenebilir enerji kaynaklarının %18-25 civarında bulunan enerji verimliliği, günümüz teknolojisinde %45-50 seviyelerine kadar çıkabilen fosil yakıtların verimliliği karşısında dezavantajlıdır. Maliyet ve teknoloji açısından da yüksek gereksinimlere ihtiyaç duyan yenilenebilir enerji santralleri dünya genelinde bu sebeplerden ötürü daha az yaygındır. Bu olumsuzluklara rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynak satın alınımına ihtiyaç duymaması, çevreye zehirli atık, karbon salmaması, ekolojik olarak sürdürülebilir olması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte gelen maliyet düşüşü ve verimlilik artışı günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının cazibesini arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına güneş, rüzgâr, yağmur, dalga, jeotermal örnek verilebilir (Ellabban vd., 2014).

Dünya nüfusunun hızlı artışı ve teknolojik gelişmeler, dünya genelinde enerji talebinde ciddi bir artışa sebep olmuştur. Artan enerji talebi büyük oranda

yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Öte yandan bu kaynakların sınırlı ve coğrafi olarak lokal olması, rezervlere sahip olmayan ülkeleri enerji açısından dışa bağımlı hale getirmiştir. Bu bağımlılık ve sınırlılık, alternatif enerji santrallerinin araştırılmasını ve kurulmasını, birçok ülke ve şirket için zorunluluk haline getirmiştir (Bozkurt, 2008; Lüle, 2018; Kocakuşak, 2018; Karaarslan, 2018; Doğan, 2019).

3.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji üretim yöntemidir. Güneş enerjisi, Güneş'ten Dünya'ya gelen ısı ve ışık şeklindeki enerjidir. Bu enerji, Güneş'in çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreci sırasında hidrojen atomlarının helyuma dönüşmesiyle ortaya çıkan radyoaktivite enerjisidir (Duffie & Beckman, 2013). Güneş yüzeyindeki radyasyon yoğunluğu yaklaşık olarak 6,33 x 10^7 W/m² seviyesindedir. Dünya atmosferi üzerinde, Güneş ışınımının yoğunluğu yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir. Bu değer ise bizim kullanabildiğimiz bölge olan yeryüzüne ulaştığında 0 ile 1100 W/m² değerleri arasında değişiklik göstermektedir (Twidell & Weir, 2015). Dünya'ya güneş tarafından yıllık gelen toplam enerji miktarı yaklaşık 174.000 TW (terawatt) civarında iken, insanlığın yıllık toplam enerji tüketimi ise 23.000 TW civarındadır (Kalogirou, 2014). Yani, Dünya'ya ulaşan toplam Güneş enerjisinin yalnızca küçük bir kısmı bile, insanlığın mevcut enerji ihtiyacını kat kat karşılayacak düzeydedir. 1970'li yıllardan itibaren Güneş enerjisinden yararlanma çalışmaları ciddi oranda hız kazanmıştır. Bu süreçte güneş hücrelerinin verimlilikleri artmış ve üretim maliyetleri de ciddi oranda azalmıştır (Green, 2019).

Bu gelişmeler ardışık birkaç yıl arasında bile kendini belli edebilecek hızda ilerlemektedir. Kısaca çevre dostu, hızla gelişen, maliyeti düşen ve sürdürülebilir olan güneş enerjisi, günümüzde yenilebilir enerji açısından önemli bir konuma sahiptir (Kalogirou, 2014).

3.2 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji üretim yöntemidir. Rüzgâr enerjisi, rüzgârın sahip olduğu potansiyel ve kinetik enerjiyi rüzgâr türbinleri

sayesinde önce hareket sonra ise elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir (Manwell vd., 2010). Bir rüzgâr türbini temel olarak kule, jeneratör (alternatör), dişli kutusu, rotor, kanatlar ve elektrik-elektronik bileşenlerinden oluşur. Mekanizması ise basitçe şöyle açıklanabilir: Rüzgârın kinetik enerjisi kanata aktarılarak dönme hareketine dönüşür. Kanatlara bağlı olan rotor da kanatlarla beraber dönme hareketine başlar. Rotor milinin bu dönüş hareketi, hızlandırılarak türbinin gövdesinde bulunan alternatöre aktarılır. Alternatörde bulunan güçlü manyetik alan ile elektrik enerjisi üretilir. Üretilen bu elektrik enerjisi akülerde depolanarak ya da doğrudan alıcılara iletilerek kullanılır (Hau, 2013).

3.3 Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji üretim yöntemidir. Dalga enerjisi, deniz veya okyanus yüzeyindeki dalga hareketlerinden elde edilir. Gelgitler, rüzgâr ve diğer deniz hareketleri bu enerjiyi tetikler (Cruz, 2008). Dalga enerjisi dönüştürücüler olarak bilinen bu cihazlar, dalga enerjisi toplar ve depolar. Bu cihazlar, dalga mekanik hareketlerini hidrolik enerjiye çevirerek elektrik enerjisi üretir (Falcão, 2010). Dalga enerjisi dönüştürücüleri, salınım çubukları, yüzer platformlar ve deniz dibinde sabitlenmiş cihazlar gibi çeşitli tasarımlara sahip olabilir. Dalga enerjisi, kıyı bölgelerinin enerji ihtiyacını karşılamak için iyi bir çözüm olabilir. Dalga enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi sürekli bir kaynaktır ve hava durumundan bağımsız olarak elektrik üretebilir. Bunlara ek olarak, dalga enerjisinin ticari ölçekte kullanılması henüz geliştirme sürecindedir. Fizibilite ve çevresel etkiler gibi bazı zorluklar, bu enerji üretim yolunda henüz aşılamamıştır. Kısaca bu enerji yöntemi geliştirilme aşamasında denilebilir (Thorpe, 2012).

3.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji üretim yöntemidir. Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerindeki yüksel sıcaklığın kaynak sularını ısıtması sayesinde biriken enerjidir (Dickson & Fanelli, 2013). Bu enerji, suyu yer altında yüksek sıcaklıklı buhara dönüştürür ve bu buhar yer yüzeyine çıktığı anda hem ısısından hem de sahip olduğu hızdan yüksek enerjiye sahip olur. Bu yüksek enerji jeotermal sahalarda açılan kuyulardan çıkarak türbin ve jeneratör sayesinde elektrik enerjisi üretir (Lund & Boyd, 2016). Ayrıca sera,

organik tarım, ürün kurutma ve bölgenin ısı ihtiyaçlarını karşılamak için düşük sıcaklık, basınç ve debi jeotermal kaynakları da kullanılmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023b).

3.5 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji üretim yöntemidir. Hidrolik güç olarak da bilinen su gücü, yüksekten düşen veya hızlı akan suyun hareket veya potansiyel enerjisinden elde edilen enerji üretim yöntemidir. Hidrolik güç, eski çağlardan beri yenilenebilir enerji olarak sulamada, değirmenlerde ve çeşitli mekanik cihazlarda kullanılmaktadır. Günümüzde ise çok karmaşık ve verimli santraller ile elektrik enerjisi üretiminde yararlanılmaktadır. Zararlı veya zehirli herhangi bir atık oluşmaz. Verimliliği oldukça yüksektir ve yüksek seviyelerde enerji üretimine imkân sağlar. Bu yararlarına rağmen hidrolik santrallerin yüksek yatırım maliyetleri, fazla seviyelerde su saklanması ve suyun akış yönünü değiştirmesi sebebi ile ekolojik ve doğal endişelere sebebiyet verir. Bu sebeplerden ötürü hidroelektrik santraller enerji üretiminde fazla tercih edilmemektedir (Nijman, 2020).

3.6 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, 100 yıldan daha kısa sürede yenilenebilen, biyolojik kökenli ve fosil olmayan organik maddeler olarak tanımlanır. Başka bir ifadeyle, biyokütle, yaşayan ya da yakın geçmişte yaşamış organizmalardan elde edilen fosilleşmemiş biyolojik materyallerin genel adıdır. Biyokütle enerji kaynaklarının temel bileşenleri, karbonhidrat içeren bitkisel ve hayvansal kökenli organik maddelerdir ve bu maddelerden üretilen enerji, biyokütle enerjisi olarak adlandırılır. Ancak geleneksel ormanlar, gıda ürünleri ve tarım ürünleri biyokütle enerji potansiyeline dahil edilmez. Biyokütle, doğrudan yakıt olarak kullanılabilir veya katı, sıvı ve gaz halinde biyoyakıtlara dönüştürülebilir. Bu yakıtların verimliliği fosil yakıtlar kadar yüksek olmasa da gözle görülür bir katkı sağlar. Ayrıca organik atıkların verimli bir şekilde kullanılmasına imkân tanır. Biyoyakıtlar elektrik üretiminde, ulaşımda, ısıtma-soğutma sistemlerinde, evsel ihtiyaçlarda ve endüstriyel süreçlerde kullanılabilir. Bu bağlamda, uluslararası literatürde

biyokütle enerji kaynakları genellikle şu şekilde sınıflandırılır: birincil katı biyoyakıtlar, sıvı biyoyakıtlar, biyogaz, belediye atıkları ve endüstriyel atıklardır (TMMOB, 2024).

Bu bölümde, enerji kavramı genel hatlarıyla ele alınmış; öncelikle enerjinin tanımı ve insan yaşamındaki önemi üzerinde durulmuştur. Ardından enerji kaynakları iki temel başlık altında incelenmiş, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları detaylandırılmış olup bu kaynakların türleri ayrı ayrı açıklanmıştır. Ayrıca enerji kaynaklarının sürdürülebilirlikleri, farklılıkları ve öne çıkan özellikleriyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Bu çerçevede, ikinci bölümde yenilenebilir enerji kaynakları içinde öne çıkan güneş enerjisi daha yakından ele alınacaktır. Güneş enerjisi kavramı, bu enerjinin elde ediliş yöntemleri ve kullanım alanları açıklanacak; ardından güneş enerjisi santralleri (GES) ile ilgili teknik bilgiler, santral türleri ve çalışma prensipleri üzerinde durulacaktır. Bu doğrultuda birinci bölümde verilen genel bilgiler ışığında, güneş enerjisi özelinde daha derinlemesine bir analiz sunulacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM
GÜNEŞ ENERJİSİ KAVRAMI VE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ

Güneş enerjisi kullanımı günümüzdeki halini almadan çok uzun zaman önce kullanılmaya başlanmış olup birçok revizyon ve gelişmeler ile bugünkü halini almıştır. Her geçen gün kullanımının artması bu alandaki çalışmalara da yönelimi arttırmış, teknolojinin gelişmesiyle de bugünkü halinden de daha farklı noktalara gelerek çok daha verimli bir kaynak haline gelmesi beklenmektedir. Bu bölümde de temel olarak güneş enerjisi kavramı, güneş enerjisinin tarihçesi, gelinen nokta ve güneş enerjisi türleri hakkında bilgiler verilmiştir.

1. GÜNEŞ ENERJİSİ KAVRAMI ve ÇEŞİTLERİ

Yaklaşık 1,39 milyon km çapa sahip olan Güneş, Dünya'ya yaklaşık 150 milyon km uzaklıktadır. Güneş'in içindeki hidrojen gazı atomlarını füzyon nükleer tepkimesi ile helyum atomlarına dönüştüren nükleer süreç ve içindeki diğer füzyon süreçleri, Güneş'i uzayda muazzam bir enerji kaynağı yapar. (Çukurçayır & Sağır, 2008) Dünya'da ise başta hayat olmak üzere ısı ve ışık haliyle de temel enerji kaynağıdır. Güneş'in 6000K'lik yüzey sıcaklığı Dünya'ya radyoaktif ışıma olarak aktarılır (Bozkurt, 2008). Dünya'ya gelen Güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılması için Güneş enerji sistemlerinin 45˚ kuzey güney enlemleri arasında yer alması gerekmektedir (Behçet vd., 2013).

Güneş enerjisi başta elektrik üretimi, ısıtma ve sıcak olmak üzere farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca soğutma amacıyla da kullanılan güneş enerjisi genel olarak güneşlenme süresinin yüksek olduğu coğrafi bölgelerde kullanıma uygundur (Karamanav, 2007). Güneş enerji sistemleri sıcaklık erişimlerine göre üçe ayrılır. Bunlar; yüksek, orta ve düşük olarak sayılabilir. 350˚C'den fazla olanlar yüksek sıcaklık, 100˚C ile 350˚C arasında olanlar orta sıcaklık, 100˚C'den az olanlar düşük sıcaklık uygulamaları olarak adlandırılır. 350˚C'den fazla olan uygulamalarda güneş kuleleri, 100-350˚C arasında olan uygulamalarda odaklı toplayıcılar, 100˚C'den az olan uygulamalarda basit düzenekler kullanılmaktadır (Bozkurt, 2008). Yüksek

sıcaklık uygulamaları metal eritme ve işleme ağır sanayi sektöründe, orta sıcaklık uygulamaları endüstriyel sanayi temelli sıcak su ihtiyaçlarında, düşük sıcaklık uygulamaları ise konut, su ısıtılması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan güneş enerji türleri ise Düzlemsel güneş kollektörleri, Yek-odaklı güneş enerjisi santralleri, Vakum tüplü güneş enerjisi sistemleri, Güneş ocakları, Trombe duvarı, Geçişli hava paneli ve güneş enerjisi santralleri şeklinde sıralanabilir (Karamanav, 2007).

Düzlemsel güneş kollektörleri, genelde haneleri sıcak su ile ısıtmak için kullanılan güneş enerji sistemidir. Temelinde kollektör, ısı yalıtımı saydam örtü, yutucu yüzey, akışkan borular, ısı yalıtımı ve kollektör kasasından oluşmaktadır. Düzlemsel yapıdadır ve güneş ışınlarının bir kısmını emerek absorbe edilen bu enerjiyi ısı olarak kollektör içerisindeki sıvıya iletmektedirler. Düzlemsel güneş kollektörleri mekanizması kısaca şöyle açıklanabilir; Güneş ışınlarının bir kısmı saydam örtüden yansır, bir kısmı da saydam örtüde absorbe edilir. Yutucu yüzeyde absorbe edilecek enerji miktarı, yüzeyin özelliklerine göre değişiklik gösterir. Absorbe edilen enerji akışkan boruların yardımı ile hazneye gönderilerek evlerde sıcak su ihtiyacı bu şekilde karşılanmış olur (Güneş Sistemleri, 2008).

Yek-odaklı güneş enerjisi santralleri, temelinde geniş bir alana düşen Güneş ışınlarını yüksek yansıtma özelliğine sahip aynalar ile küçük bir noktaya odaklayarak enerji toplamaya yarayan sistemdir. Genelde klasik enerji santrallerinde ısı kaynağı aracı olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak mevcut güneş enerji santrallerinin verimini arttırmak için odaklayıcı rolünde de yer alabilmektedir (U.S. Department of Energy, t.y.).

Vakum tüplü güneş enerjisi sistemleri birbirine ısı yoluyla bağlanmış ve aralarındaki hava boşaltılmış iki silindirik cam tüpten oluşur. Güneş ışınları dış tüpün yüzeyine düşerek havasız ortamdan geçer ve iç tüpün yüzeyinde emilir. Aralarında madde bulunmadığı için yalnızca ışınım yoluyla ısınan bu sistem, suyun sıcaklığını dış ortam sıcaklığından bağımsız hale getirir (Demirbaş, 2005).

Güneş ocakları, çanak şeklinde ya da kutu şeklinde güneş ısısını toplayan yapılardır. Genellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı daha yaygın olarak görünür (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2007).

Trombe duvarı, cam ve hava kanallarından oluşan bir katmanla çevrili, pasif bir güneş enerjisi sistemidir. Gün boyunca güneş ışınları, duvarın alt ve üst kısımlarındaki hava akışı boşluklarını harekete geçirerek doğal dolaşımla termal kütleyi ısıtır. Gece ise Trombe duvarı, depoladığı bu termal enerjiyi ışıma yoluyla kullanılacak ortama geri iletir (Kırtepe & Özbalta, 2023).

Geçişli hava paneli, güneş enerjisiyle çalışan bir ısıtma ve havalandırma sistemidir. Güneşe dönük, delikli (perfore) bir duvar şeklinde tasarlanmış olup termal güneş paneli işlevi görür. Bu panel, binanın havalandırma sistemine ön ısıtma sağlar. Ekonomik bir yöntemdir ve %70'e varan son derece yüksek verimlilik seviyelerine ulaşabilir (U.S. Department of Energy, t.y.).

2. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ

Güneş enerjisinin çeşitleri ve kullanım alanlarıyla ilgili genel bilgiler ışığında, bu enerjiyi büyük ölçekli ve organize bir şekilde kullanan sistemler olan güneş enerjisi santrallerini daha ayrıntılı şekilde incelemek gerekmektedir.

Güneş enerji sistemleri, fotovoltaik sistemler ve termal güneş teknolojileri aracılığıyla güneşin ışınım enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler, silikon tabanlı yarı iletken teknolojisine dayalıdır. Fotovoltaik etki ilk kez 1839 yılında gözlemlenmiş, 1873'te ise ilk defa fotovoltaikten elektrik üretimine başlanmıştır (Ulusoy, 2019). Bu sistemler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirir ve ışığın az olduğu durumlarda bile elektrik üretimine devam edebilir. Fotovoltaik hücreler, kablolar yardımıyla birleştirilerek modülleri oluşturur. Modüllerin bir araya getirilmesiyle de GES kurulmuş olur (Karaarslan, 2018). Güneş enerji santralleri coğrafi ve iklim koşullarına doğrudan bağlıdır. Kurulumda göz önünde bulundurulması gereken parametreler fotovoltaik panellerin kurulacağı bölgelerin yağış miktarının düşük, bulutlu gün sayısının az, rüzgâr hızının düşük ve ormanlık alanlardan uzak bulunması önemlidir (Ataş, 2018). Coğrafi ve iklim koşulları sağlandıktan sonra göz önünde bulundurulması gereken diğer bir konu ise elektrik üretimi, depolaması ve taşınmasıdır. Güneş ışınlarının dört mevsim ve günün her saatinde farklı açılarda gelmesi nedeniyle üretilen enerjinin akülerde

depolanması veya doğrudan elektrik şebekesine aktarılması gereklidir (Akkurt & Oğuz, 2017).

Termal güneş teknolojileri ise güneş enerjisinden ısı elde etmeyi sağlar. Bu ısı, doğrudan ısınmada kullanılabileceği gibi dolaylı olarak elektrik üretiminde de kullanılabilir (Kanat, 2019)

2.1 Güneş Enerjisi Santrali Türleri

GES'ler, bağlantı türleri ve kurulum tiplerine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bağlantı türlerine göre dört ana kategoriye ayrılır: şebekeye bağlı (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid), hibrit ve öz tüketim sistemleridir. Bu sınıflandırmalar, sistemlerin enerji kullanımına ve depolama ihtiyaçlarına yönelik farklı öneriler sunar.

Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemleri (on-grid), güneş enerjisinin en yaygın kullanım modellerinden biridir. Bu sistemler, üretilen enerjiyi doğrudan elektrik şebekesine entegre ederek hem kullanıcıların enerji ihtiyacını karşılamakta hem de fazla üretilen enerjinin şebekeye satılmasına olanak tanımaktadır. On-grid sistemlerin temel bileşenleri arasında güneş panelleri, on-grid inverter (evirici), taşıyıcı sistem, elektrik panosu ve diğer yardımcı ekipmanlar bulunmaktadır. Bu sistemlerin en önemli avantajlarından biri, enerji depolama gereksiniminin bulunmamasıdır. Güneş ışığının yeterli olmadığı zamanlarda ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi doğrudan şebekeden temin edilerek kesintisiz enerji akışı sağlanmaktadır. Bununla birlikte, talep edilmesi durumunda enerji depolama birimleri eklenerek sistemler özelleştirilebilir (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2021).

On-grid güneş enerjisi sistemleri, özellikle şehir şebekesine erişimi olan kullanıcılar için ekonomik ve sürdürülebilir bir enerji çözümü sunmaktadır. Aynı zamanda, bu sistemlerin sağladığı fazla enerji satışı sayesinde kullanıcılar ek gelir elde edebilmekte ve yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesine katkı sağlamaktadır (Meral & Dinçer, 2011).

Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemleri (*on-grid*), konutlar, ticari binaların çatı uygulamaları ve endüstriyel tesisler gibi farklı alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu sistemlerde üretilen enerji öncelikle üretim yerinde tüketilmekte, fazla enerji ise elektrik şebekesine aktarılmaktadır. Şebekeye verilen enerji, elektrik dağıtım şirketleri tarafından satın alınarak "mahsuplaşma yöntemi" adı verilen mekanizma ile kullanıcıların enerji maliyetlerini düşürmekte ve fazla enerji üzerinden ek gelir elde edilmesine olanak tanımaktadır (Branker vd., 2011). On-grid sistemlerin başlıca avantajları arasında kurulum maliyetlerinin diğer güneş enerjisi sistemlerine kıyasla daha düşük olması, bakım kolaylığı ve şebeke ile entegre çalışma sayesinde kesintisiz enerji tedariki yer almaktadır. Bu nedenle hem bireysel kullanıcılar hem de ticari işletmeler için ekonomik ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır (Luthander vd., 2015). On-grid sistemlerde mahsuplaşma yöntemi şu şekilde işlemektedir: Çatıya yerleştirilen güneş panelleri sayesinde gündüz üretilen enerji doğrudan tüketilirken, gece ise güneş ışığının olmadığı durumlarda şebekeden enerji çekilmektedir. Çift yönlü sayaçlar, şebekeden çekilen ve şebekeye verilen enerji miktarlarını kaydederek aylık net enerji tüketimini hesaplamaktadır.

Bu veriler doğrultusunda, fazla enerji üretimi gerçekleştiğinde tüketiciye ödeme yapılmakta veya tüketimin fazla olduğu durumda kullanıcıya fatura yansıtılmaktadır (Perez vd., 2011).

Bu sistem, enerji arz güvenliğini artırırken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden bir mekanizma olarak öne çıkmaktadır. Mahsuplaşma yöntemi, elektrik üretiminde bireysel ve kurumsal tüketicilerin enerji maliyetlerini minimize etmelerine yardımcı olurken, şebeke ile entegrasyon sayesinde enerji arzında süreklilik sağlamaktadır.

Off-grid yani şebeke bağlantısı olmayan güneş enerjisi sistemleri, enerjinin aküler veya lityum bataryalar aracılığıyla depolandığı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin temel bileşenleri; güneş panelleri, off-grid inverterler veya şarj kontrol cihazları, aküler ya da lityum bataryalar, taşıyıcı yapılar ve sarf malzemeleridir. Şebeke elektriğinin bulunmadığı yerlerde, örneğin dağ evleri, bağ evleri, yayla evleri,

karavanlar ve yatlar gibi alanlarda, bu sistemler yaygın olarak tercih edilmektedir Off-grid sistemlerde enerji depolama kritik bir öneme sahiptir. Elektrik şebekesiyle bağlantısı olmadığı için üretilen enerjinin verimli bir şekilde kullanılması ve depolanması gerekmektedir. Depolama işlemi, sistemin en önemli bileşeni olan aküler tarafından sağlanır (Yılmaz & Demir, 2018).

Şebekeden bağımsız sistemlerin verimli çalışabilmesi için enerji tüketiminin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, günlük enerji tüketimi, çalıştırılacak elektrikli cihazların türü ve kullanım süreleri doğru bir şekilde belirlenmelidir. Elde edilen verilere dayanarak, ihtiyaç duyulan enerji miktarı hesaplanmalı ve buna uygun bir sistem tasarımı gerçekleştirilmelidir.

Buna ek olarak, güneş ışığının yetersiz olduğu dönemlerde sistemin kesintisiz enerji sağlayabilmesi için uygun bir depolama kapasitesinin seçilmesi gerekmektedir. Optimum depolama kapasitesine sahip bataryaların kullanılması, enerji kesintilerini önleyerek sistemin verimli çalışmasını desteklemektedir (Shura, 2024).

Hibrit enerji sistemleri, şebekeye bağlı (on-grid) ve şebekeden bağımsız (off-grid) sistemlerin bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Bu sistemler, birden fazla enerji kaynağının entegre edilmesiyle tasarlanır ve hem şebeke bağlantısıyla çalışabilir hem de enerji depolamak için akü veya lityum batarya kullanılabilir. Hibrit güneş enerjisi sistemleri, özellikle elektrik kesintilerine karşı dayanıklılık sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir (Türkdoğan vd., 2020). On-grid sistemlere kıyasla hibrit sistemler, depolama maliyetlerinin eklenmesi sebebiyle daha yüksek maliyetlere sahiptir. Ancak, sağladığı enerji bağımsızlığı ve kesintisiz güç desteği avantajları nedeniyle, uzun vadede ekonomik ve sürdürülebilir bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Atik & Sekin, 2022).

Öz tüketim modeli, üretilen enerjinin tamamının iletim veya dağıtım ağına aktarılmadan doğrudan ihtiyaçları karşılamak için kullanıldığı, üretim ve tüketimin aynı noktada gerçekleştiği güneş enerjisi tabanlı bir sistemdir. Bu sistemlerde, on-grid sistemlerin aksine, şebekeye enerji aktarımı yapılmaz. Şebekeye enerji satışıyla ilgili mahsuplaşma işlemlerinin gerektirdiği evrak yükü bu modelde bulunmaz. Sistemin doğru çalışması için enerji akışını ters yönde engelleyecek

bir akıllı sayaç (smart meter) kurulması gerekir. Diğer tüm sistem bileşenleri on-grid sistemle aynıdır. Öz tüketim modelinin en büyük avantajı, enerjinin üretildiği yerde tüketilmesini sağlaması ve herhangi bir yasal prosedüre gerek kalmamasıdır (Solar AVM, 2021)

Kurulum şekillerine göre sınıflandırılmak istenirse GES'ler; Arazi tipi, çatı üzeri tipi ve yüzer GES'ler olarak üç grupta incelenebilmektedir.

Arazi tipi güneş enerjisi santralleri, genellikle geniş arazilere veya su yüzeylerine (deniz, göl gibi) yardımcı ekipmanlar ve taşıyıcı yapılar aracılığıyla kurulan büyük ölçekli enerji üretim tesisleridir. Bu sistemler, özellikle sanayi ve büyük ölçekli enerji tüketimi gerektiren tesisler için uygundur. Genellikle 100 kilowatt (kW) üzerindeki kapasitelerle inşa edilen bu santraller, sanayi tipi GES olarak da adlandırılır. Şebekeye entegre çalışan bu sistemlerde üretilen elektrik doğrudan tüketilmez; bunun yerine şebekeye aktarılır ve dağıtım ağı üzerinden kullanıcılara ulaştırılır (Fraas, 2014). Büyük ölçekli GES projeleri, yüksek verimlilik sağlayarak enerji bağımsızlığına katkıda bulunur ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur (Kalogirou, 2016).

Çatı tipi GES, binaların çatı alanlarını kullanarak elektrik üretimi sağlayan yenilenebilir enerji sistemleridir. Bu sistemler, konut, ticari işletmeler, sanayi tesisleri, depolar ve kamu binaları gibi birçok farklı yapıda uygulanabilmektedir. Çatıya monte edilen fotovoltaik (PV) paneller, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek yapının elektrik ihtiyacını karşılamaktadır (Eicker, 2014). Kurulum kapasitesi, yapının enerji tüketimine ve çatı alanının uygunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Küçük ölçekli sistemler 1-2 kW kapasiteden başlayarak, ticari ve endüstriyel uygulamalarda 10 Megawatt (MW) veya daha yüksek güç seviyelerine ulaşabilmektedir (Markvart, 2020). Çatı tipi GES'lerin en büyük avantajlarından biri, binaların kullanılmayan çatı alanlarını değerlendirmesi ve uzun vadede ekonomik kazanç sağlamasıdır. Ayrıca, bu sistemlerin şebekeye entegre (on-grid) olarak çalışması, enerji taşıma maliyetlerini ortadan kaldırarak kullanıcıya avantaj sağlamaktadır (Klein vd., 2018).

Günümüzde birçok ülke, çatı tipi GES sistemlerinin yaygınlaşmasını teşvik etmek amacıyla mahsuplaşma mekanizmaları, devlet teşvikleri ve vergi indirimleri gibi çeşitli destek politikaları uygulamaktadır. Bu sistemler hem bireysel enerji maliyetlerini düşürmekte hem de enerji arz güvenliğine katkıda bulunmaktadır.

Bu sınıflandırmalardan ayrı olarak da kurulum izninin alım şekline bağlı olarak; lisanslı ve lisanssız olmak üzere ikiye ayrılan GES sınıflandırması da mevcuttur. Lisanslı güneş enerji santralleri, ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla belirli bölgelerde devlet tarafından ihale yöntemiyle lisans hakkı verilen yatırımcılar tarafından inşa edilen güneş enerjisi santralleridir. Lisanssız GES'ler, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine yönelik çalışmaların başlamasıyla, elektrik aboneliği bulunan ve gerekli tüketim, arazi ile abonelik koşullarını sağlayan tüm yatırımcılara kurma hakkı tanınan santrallerdir. Zamanla bu sistemler, elektrik tüketimi olan işletmelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, gerekli kriterleri karşılamak şartıyla arazi veya çatı üzerinde kurulmaya başlanmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024a; T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024b).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ

Bu bölümde, küresel enerji arzının mevcut durumu ve genel görünümü ele alınarak, enerji sektörünün dünya genelindeki gelişimi incelenmiştir. Fosil yakıtların enerji üretimindeki payı, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş süreci ve ülkelerin enerji politikaları gibi konular detaylandırılmaktadır. Uluslararası anlaşmalar ve hedefler başlığı altında, iklim değişikliği ile mücadelede kritik rol oynayan Montreal Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)) ve BM İklim Değişikliği Taraflar Konferansları (Conference of the Parties (COP)) gibi önemli anlaşmaların ve toplantıların içeriği değerlendirilmektedir. Paris Anlaşması ve ardından gelen COP zirvelerinin küresel iklim politikalarına etkisi ele alınarak, karbon salınımı azaltma hedefleri ve yenilenebilir enerjiye geçiş süreci kapsamlı bir şekilde tartışılmaktadır. Ayrıca, ülkelerin sunduğu Ulusal Katkı Beyanları (UKB) ile iklim değişikliğiyle mücadelede taahhüt ettikleri hedefler incelenmektedir. Son olarak, dünya genelinde güneş enerjisi santrallerinin gelişimi, farklı ülkelerdeki güneş enerjisi kapasitesi ve GES yatırımları ele alınarak, güneş enerjisinin enerji arzındaki rolü analiz edilmektedir.

1. DÜNYA'DA ENERJİ ARZI VE GENEL GÖRÜNÜM

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yayımlanan 2025 Dünya Enerji Görünümü Raporu'na göre, dünya birincil enerji arzı 2010 yılında 541 Exajoule (EJ) iken, 2024'te 648 EJ'ye ulaşmıştır. 2024 yılı itibarıyla dünya birincil enerji arzının kaynaklar arasındaki dağılımında en büyük payı 193 EJ ile petrol alarak %29,7'lik bir oranı oluşturmuştur. Petrolü, 177 EJ ve %27'lik bir payla kömür, 149 EJ ve %23'lük payla ise doğalgaz izlemektedir. Fosil yakıtlar, toplam birincil enerji arzının %80'ini karşılamakta iken, yenilenebilir enerji kaynakları 97 EJ ile %15'lik bir pay sağlamaktadır (IEA, 2025).

Mevcut enerji arzı ile, Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2050 yılına kadar enerji arzı ile ilgili tahminleri de tabloda yer almaktadır.

Tablo 1. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Arzı (EJ)

Yakıt Türü	2010	2021	2022	2030	2040	2050
Kömür	153	167	170	147	119	102
Petrol	173	182	187	195	187	186
Doğalgaz	115	147	145	149	145	145
Geleneksel Biyoyakıt	25	24	24	19	18	16
Fosil Yakıtlar Toplamı	466	520	526	510	469	449
Fosil Yakıt Payı (%)	86	83	83	76	68	62
Güneş	1	5	7	23	49	70
Rüzgar	1	7	8	19	33	42
Hidrolik	12	15	16	18	20	23
Modern Biyoyakıt (Katı, Sıvı, Gaz)	26	38	40	52	64	74
Diğer Yenilenebilir	5	8	6	9	14	19
Yenilenebilir Toplamı	45	73	77	112	180	228
Yenilenebilir Payı (%)	8	12	12	17	26	31
Nükleer	**30**	**31**	**29**	**37**	**43**	**48**
Nükleer Payı (%)	**6**	**5**	**5**	**6**	**6**	**7**
Toplam	**541**	**624**	**632**	**668**	**692**	**725**

Kaynak: International Energy Agency - IEA, 2023, s. 264.

Tablo 1'de, 2010, 2021 ve 2022 yıllarına ait gerçekleşmiş değerler sunulmuştur. 2030, 2040 ve 2050 yıllarına ilişkin değerler ise Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA), mevcut politikaların devam etmesi durumunda bu yıllardaki seviyelere dair öngörülerini yansıtmaktadır (IEA, 2023).

2022'de fosil yakıtların enerji arzındaki %83'lük payı, mevcut politikalar sürdürüldüğü takdirde ağırlığını korumaya devam edecektir. Tablo 1'de görüldüğü gibi, UEA'nın öngörülerine göre, mevcut politikalar sürdürüldüğü takdirde, 2050 yılında fosil yakıtların birincil enerji arzındaki payının %83'ten %62'ye düşmesi beklenmekte, ancak tüketilen miktarın mutlak anlamda azalmayacağı, aksine %3 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzındaki payının %158, miktarının ise %196 oranında artacağı öngörülmektedir. Öte yandan, Nükleer Güç Santralları yatırımlarının payının %6 seviyesinde sabit kalması beklenmektedir. UEA'nın

çeşitli gelecek senaryolarına göre, dünya birincil enerji tüketimi tahminleri Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. UEA'nın Dünya Birincil Enerji Tüketim Tahminleri

KRİTER	SENARYOLAR	GERÇEKLEŞME	MEVCUT POLİTİKALARIN SÜRMESİ HALİNDE		AÇIKLANAN TAAHÜTLERİN YERİNE GETİRİLMESİ HALİNDE		NET SIFIR SALIM HALİNDE	
		2022	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Birincil Enerji Talebi	Miktar (EJ)	632	668	725	628	623	573	541
	2022 den 2050'ye Değişim		% 15		- % 1,4		- % 14,4	
Yenilenebilir Enerji Arzı	Miktar (EJ)	77	112	228	142	327	166	385
	2022 den 2050'ye Değişim		% 196		% 324,6		% 400	
Petrol Üretimi	Miktar (Milyon Varil/Gün)	97.1	101.5	97.4	92.5	54.8		Veri Yok
	2022'den 2050'ye Değişim		% 0,3		- % 43,5			
Doğalgaz Üretimi	Miktar (Milyar M3)	4,138	4,299	4,173	3,861	2422		Veri Yok
	2022'den 2050'ye Değişim		% 0,84		- % 41,5			
Kömür Üretimi	Miktar (Mtce)	6,122	5,007	3,465	4,337	1,530		Veri Yok
	2022'den 2050'ye Değişim		-%43.4		- % 75			
Toplam CO2 Salımları	Miktar (CO2)	36,930	35,125	29,696	30,769	12,043	24,030	0
	2022'den 2050'ye Değişim		-20%		- % 67.4		- % 100	

Kaynak: International Energy Agency, 2023, s. 105.

İklim değişikliği kaynaklı sorunların etkilerini azaltmak ve başta karbondioksit (CO2) olmak üzere sera gazı emisyonlarını düşürmek amacıyla, yeni fosil yakıt üretim tesisi yatırımlarının yapılmaması ve fosil yakıtların üretimi ile tüketiminin hızla azaltılması gerektiği, Paris Hükümetler arası İklim Paneli raporlarında ve UEA'nın çeşitli çalışmalarında vurgulanmıştır.

Tablo 2'deki veriler, şu hususlara işaret etmektedir:

-” Mevcut politikaların devamı halinde”, sorunların daha da büyüyeceği ve küresel ısınmanın süreceği,

-“Taahhütlerin yerine getirilmesi durumunda dahi” fosil yakıt tüketimindeki azalmanın sınırlı kalacağı öngörülmektedir.

Net Sıfır Salım senaryosu, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2050 yılına kadar %400 gibi büyük bir artış göstermesini hedeflemektedir. Ancak bu senaryoya göre, 2050 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzındaki payının %70 civarında olacağı, kalan %30’un ise büyük ölçüde fosil yakıtlar ve nükleer enerjiye dayanacağı tahmin edilmektedir.

Ayrıca, "Net sıfır" kavramı, salınımların tamamen ortadan kaldırılmasını değil, salınan karbon emisyonlarının, yakalama ve depolama teknolojileri (örneğin, atmosferden doğrudan karbon yakalama veya doğal yutaklarda depolama) yoluyla dengelenmesini ifade etmektedir (TMMOB, 2024).

UEA tarafından hazırlanan raporlar ve öngörülere göre, ülkelerin sürdürülebilir kalkınmalarını sağlamaları, karbon emisyonlarının azaltılması ve ekosisteme verilen zararın en aza indirilmesi ile doğrudan bağlantılıdır. Bu kapsamda, uluslararası anlaşmalar günümüzde yürürlükte olup, ülkemiz için de 2035 ve 2050 hedefleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu anlaşmaların temel koşullarından biri, fosil yakıt kullanımını minimum düzeye indirerek yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise en büyük pay, güneş enerjisi sistemlerine ayrılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının sağlanması bireysel çabalar yerine yekûn iş birliklerinin sağlanması ile mümkün olacaktır. Bu bağlamda uluslararası anlaşmalar ve bu anlaşmalar bağlamında konulan hedefler büyük önem arz etmektedir.

2. ULUSLARARASI ANLAŞMALAR VE HEDEFLER

Dünya genelinde sera gazı emisyonlarının azaltılması ve net sıfır karbon hedefine ulaşılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artıran en önemli faktörlerden biri olmuştur. Bu süreç, 1987 yılında Montreal Protokolü ile

başlayan görüşmelerle başlamış ve son yıllarda daha da hız kazanmıştır. Ülkeler, çeşitli yaptırımlara maruz kalmamak adına bu görüşmelere uyum sağlamak ve net sıfır hedeflerine ulaşmak için belirli stratejik hedefler oluşturmayı öncelikli bir konu haline getirmiştir. Montreal Protokolü ile başlayan bu çalışmalar günümüzde halen devam etmektedir. Bu anlaşmalar 1992 yılında yapılan UNFCC ile devam etmiş olup, akabinde 1995 yılında Berlin'de BM COP ile düzenlenmeye başlanan ve her yıl devam eden önemli gelişmeler arasında yer almaktadır. Bu konferanslarda alınan kararlar bakımından önemli ve değinilmesi gereken konferanslar şu şekilde sıralanabilir; COP3 (Kyoto, Japonya – 1997), COP21 (Paris, Fransa – 2015), COP26 (Glasgow, Birleşik Krallık – 2021), COP27 (Şarm el Şeyh, Mısır – 2022), COP28 (Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri – 2023) şeklindedir.

Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü, ozon tabakasının incelmesine yol açan birçok maddenin üretiminin kademeli olarak durdurulmasını amaçlayan uluslararası bir anlaşmadır. Protokol, 16 Eylül 1987 tarihinde kabul edilmiş ve 1 Ocak 1989'da yürürlüğe girmiştir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, t.y.)

Diğer bir uyumlaştırma çalışması ise Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme (UNEP)) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization (WMO)) tarafından 1988 yılında ortaklaşa kurulan Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)), insan kaynaklı faaliyetlerin küresel ısınma üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, 3-14 Haziran 1992 tarihleri arasında düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda (Rio Dünya Zirvesi) Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) imzaya açılmıştır. Sözleşmede, Türkiye'nin de dahil olduğu 197 taraf bulunmaktadır.

Sözleşmenin temel amacı, atmosferdeki sera gazı seviyelerini, iklim sistemi üzerindeki insan kaynaklı etkileri göz önünde bulundurarak, eşitlik ve ortak fakat farklı sorumluluk ilkelerine uygun bir şekilde belirli bir düzeyde tutmaktır. Ayrıca, taraf ülkelerin araştırma ve teknoloji alanında iş birliği yapmalarını teşvik etmek,

sera gazı yutaklarını korumalarını sağlamak ve ekosistemin iklim değişikliğine uyum sağlamasına, ekonomik kalkınmanın ise sürdürülebilir bir şekilde devam etmesine olanak tanıyacak bir zaman diliminde bu hedeflere ulaşmaktır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, t.y.).

1995 yılında Berlin'de gerçekleştirilen Taraflar Konferansı ise, UNFCCC kapsamında düzenlenen ilk toplantıdır. Bu konferans, UNFCCC'yi imzalayan ülkeler arasında, sözleşmenin yürürlüğe girmesiyle birlikte her yıl düzenli olarak yapılmaya başlanmıştır (PwC Türkiye, 2024).

COP3 ise 1997 yılında Kyoto, Japonya'da gerçekleştirilmiştir. Konferansta, iklim değişikliğiyle mücadelenin ilk adımı olarak kabul edilen Kyoto Protokolü benimsenmiştir. Protokolün uygulamaya başlanması ise Şubat 2005'te gerçekleşmiştir. COP3'te kabul edilen Kyoto Protokolü, detaylı uygulamalarının kesinleştirildiği süreç boyunca, COP21'de düzenlenen Paris İklim Anlaşması'na kadar Taraflar Konferanslarının ana teması olmaya devam etmiştir. Bu kapsamda, gelişmiş ülkeler için bağlayıcı sera gazı emisyon azaltım hedefleri belirlenmiş (%5 oranında, 1990 seviyelerine göre), karbon ticareti ve temiz kalkınma mekanizması gibi esnek piyasa mekanizmaları tanımlanmıştır (PwC Türkiye, 2024).

Kyoto Protokolü'nü takiben kabul edilen en büyük küresel iklim değişikliği sözleşmesi olan Paris İklim Anlaşması, temel olarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne dayanmaktadır ve Kyoto Protokolü'nün sona erme tarihi olan 2020 sonrası dönemde iklim değişikliği rejimini düzenlemeyi amaçlamaktadır. Bu anlaşma 2015 yılında Paris, Fransa'da yapılan COP21'de kabul edilmiştir.

Paris Anlaşması ile 2020 sonrası süreçte, iklim değişikliği tehditlerine karşı küresel sosyoekonomik dayanıklılığın güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Anlaşmanın uzun vadeli amacı, endüstriyelleşme öncesi döneme kıyasla küresel sıcaklık artışını 2°C'nin çok altında, mümkünse 1,5°C seviyesinde tutmaktır. Bu hedef, fosil yakıtların (petrol ve kömür) kullanımının kademeli olarak azaltılmasını

ve yenilenebilir enerjiye yönelimi gerektirmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, t.y.).

2021'de Glasgow, Birleşik Krallık'ta düzenlenen BM İklim Değişikliği Taraflar Konferansı (COP26) sırasında kabul edilen Glasgow İklim Paktı, Paris İklim Anlaşması'nda belirlenen küresel sıcaklık artışı hedeflerini ilk kez gözden geçirmiştir. Ayrıca, kömür kullanımının aşamalı olarak azaltılması yönünde ilk kez doğrudan bir çağrı yapılmış ve 1,5°C hedefine ulaşılabilmesi için ülkelerden daha sıkı emisyon azaltım planları talep edilmiştir (PwC Türkiye, 2024).

Diğer bir konferans olan BM İklim Değişikliği Taraflar Konferansı (COP27) da 2022 yılında Şarm el Şeyh'de düzenlenmiştir. Bu konferansta önceki konferansta belirlenen hedeflerin yerine getirilmesine odaklanılmıştır. Ayrıca, 12 şirketin üyeliğiyle kurulan Endüstri Karbonsuzlaştırma Birliği (Alliance for Industry Decarbonization - AFID), ilk toplantısını COP27'de yapmıştır. İklim değişikliğinden olumsuz etkilenen gelişmekte olan ülkeler için finansal destek sağlayacak Kayıp ve Zarar Fonu'nun oluşturulmasına karar verilmiştir (PwC Türkiye, 2024).

Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri'nde 2023 yılında düzenlenen COP28'de, 130'dan fazla ülke, küresel yenilenebilir enerji kapasitesini 2030 yılına kadar üç katına çıkararak 11 Terawatt (TW) seviyesine ulaştırmayı ve küresel enerji verimliliğini 2030'a kadar %2'den %4'e çıkarmayı hedeflemişlerdir. Taraflar Konferansı tarihinde bir ilk olarak, belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesini ve ilerlemeyi analiz etmek amacıyla Paris Anlaşması kapsamında her beş yılda bir gerçekleştirilen ve küresel iklim eylemlerinin ilerlemesini değerlendiren bir mekanizma olan "Global Stocktake" raporu sunulmuş ve raporda, iklim değişikliği konusundaki ilerlemenin yavaşlığı ile hedeflerin gerçekleştirilmesindeki gecikmeler vurgulanmıştır. Sonuç olarak, taraf ülkeler, 2030 yılına kadar tüm alanlarda süreçlerini hızlandırma kararı almışlardır ([UNFCCC, 2024; PwC Türkiye, 2024).

2024 yılında Bakü, Azerbaycan'da düzenlenen BM İklim Değişikliği Taraflar Konferans COP29'un temel hedefleri arasında, iklim finansmanı için yeni bir çerçeve belirlemek, tüm ülkelerin daha güçlü iklim eylemleri gerçekleştirmesini sağlamak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve dirençli topluluklar oluşturmak yer

almaktadır. Ayrıca, fosil yakıtlardan uzaklaşarak yenilenebilir enerjiye geçiş süreçlerini hızlandırmak ve 1,5°C'lik küresel ısınma sınırını koruma çabaları da konferansın öncelikli konuları arasındadır.

Konferansın sonunda, iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek ve gelişmekte olan ülkelerin daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişini desteklemek amacıyla finansman planları üzerinde anlaşmaya varılmıştır. Bunun yanı sıra, uluslararası karbon kredisi ticaretini kolaylaştırmak ve düzenlemek amacıyla yeni kurallar oluşturulmuş ve bir BM kaydı oluşturulmuştur (UNFCCC, 2024).

3. ULUSAL KATKI BEYANLARI

2021, 2022 ve 2023 yıllarında gerçekleştirilen Taraflar Konferanslarında, iklim değişikliğiyle mücadele politikaları ve yenilenebilir enerjinin bu süreçteki rolüne ilişkin hedeflerin uygulanma düzeyi değerlendirilmiş, aynı zamanda yenilenebilir enerjiye dair güncellenmiş vizyonlar belirlenmiştir. Şubat 2024 itibariyle bazı ülkelerin 2050 Net Sıfır hedefleri doğrultusunda Ulusal Katkı Beyanları (UKB) şu şekilde sıralanmıştır (PwC Türkiye, 2024):

- Almanya, 2045 yılına kadar sera gazı nötr olmayı ve sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine göre 2030 itibarıyla %65, 2040 itibarıyla %88 oranında azaltmayı hedeflemektedir.
- Birleşik Krallık, Ulusal Katkı Beyanı hedeflerini güncelleyip yükselterek 1990 seviyelerine göre sera gazı emisyonlarında %68'lik bir azaltım gerçekleştirmeyi planlamaktadır.
- İspanya, 1990 seviyelerine kıyasla sera gazı emisyonlarını 2030'a kadar en az %55 azaltıp ve 2050 itibarıyla karbon nötr hale gelmeyi amaçlamaktadır.
- İtalya, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarında 1990 seviyelerine kıyasla %55 azalma sağlamayı ve 2025 itibarıyla kömürü enerji portföyünden tamamen çıkarmayı hedeflemektedir.
- Macaristan, 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını 1990 seviyelerine göre en az %40 azaltmayı ve 2050'ye kadar karbon nötr olmayı planlamaktadır.

- Polonya, 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını 1990 seviyelerine oranla %65 azaltmayı ve 2050 itibarıyla karbon nötrlüğe ulaşmayı amaçlamaktadır.
- Arjantin, sera gazı nötrlüğü konusunda hedeflerini hırslı bir şekilde yükselterek, 2030 yılına kadar karbon emisyonunu 349 milyon tonun altında tutmayı ve 2050 yılında sıfır emisyona ulaşmayı planlamaktadır.
- Brezilya, 2025 yılında sera gazı emisyonlarını 2005 seviyelerine kıyasla %48 oranında azaltma taahhüdünü güncellemiş, 2030 yılı itibarıyla bu oranı %53'e çıkarmayı ve 2050'de karbon emisyonunu sıfıra indirmeyi hedeflemektedir.
- Güney Afrika, 2030 yılına kadar enerji portföyünü çeşitlendirme yoluyla kömür kullanımını azaltmayı ve güncellenmiş Ulusal Katkı Beyanı (UKB) çerçevesinde 2050 yılı itibarıyla karbon emisyonunu sıfıra indirmeyi hedeflemektedir.
- Romanya, 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki oranını %30'a çıkarmayı ve kömürle çalışan termik santralleri kademeli olarak devre dışı bırakmayı planlamaktadır.
- Hollanda, 2030 yılı itibariyle sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine göre %49 azaltmayı ve 2050 yılına kadar bu oranı %95'e çıkarmayı amaçlamaktadır.
- Meksika, 2030 yılına kadar %36 olarak belirlediği sera gazı azaltım hedefini %40'a çıkarmış ve bu doğrultuda Ulusal Katkı Beyanını güncellemiştir.
- Türkiye, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine göre %41 azaltmayı ve 2053 yılından itibaren net sıfır emisyona ulaşmayı hedeflemektedir.

Ulusal Katkı Beyanları (UKB), ülkelerin küresel iklim değişikliğiyle mücadelede üstlendikleri sorumlulukları ve hedefleri ortaya koymaları açısından büyük önem taşımaktadır. Yukarıda belirtilen ülkelerin 2030–2050 dönemine ilişkin sera gazı azaltımı, karbon nötrlüğü ve yenilenebilir enerjiye geçiş hedefleri, yapılan iklim anlaşmalarının küresel ısınma sınırı hedefiyle uyumlu hareket etme çabasının somut göstergeleridir. Bu beyanlar, sadece ulusal politikaların yönünü

belirlemekle kalmayıp aynı zamanda özel sektör, yerel yönetimler ve toplum nezdinde dönüşüm süreçlerine ivme kazandırmaktadır. Enerji portföylerinin dönüştürülmesi, fosil yakıtların terk edilmesi ve yenilenebilir kaynakların yaygınlaştırılması, sürdürülebilir kalkınmanın temel taşlarını oluştururken aynı zamanda ekonomik büyümeyle çevresel sorumluluğun dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda, UKB'lerin kararlılıkla uygulanması ve zaman içerisinde güncellenerek daha iddialı hale getirilmesi, iklim kriziyle etkin mücadele açısından kritik öneme sahiptir.

4. DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN DURUMU

Dünya'da yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, kullanım oranı hızla büyüyen bir sektör olarak öne çıkmaktadır. Birçok dünya ülkesinin başlıca güneş enerjisi yatırım amaçları arasında fosil yakıtlara olan bağımlılıkla mücadele etmek, karbon emisyonunu en aza indirmek ve enerji arzının sürdürülebilirliğini sağlamak bulunmaktadır.

GES kurulumunun artış gösterdiği bölgeler arasında özellikle güneş ışığı açısından zengin olan coğrafyalar yer almaktadır. Güneş enerjisi sektöründe dünyada lider coğrafyalar Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avrupa Birliği, Hindistan ve Çin olurken, Orta Doğu ve Afrika coğrafyaları da sektördeki yatırımlarını önemli ölçüde artırmaktadır. 2023 yılı itibariyle fotovoltaik enerji üretimi kapasitesinde dünya lideri konumundaki ülke Çin'dir (PwC Türkiye, 2024).

Hızla gelişen teknoloji ve düşen maliyetler sayesinde güneş enerjisi sektörü dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Verimliliği artan fotovoltaik paneller ve ilerleme gösteren depolama teknolojileri güneş enerjisi santrallerinin daha ekonomik ve güvenilir bir tercih konumuna gelmesinde önemli rol oynamaktadır.

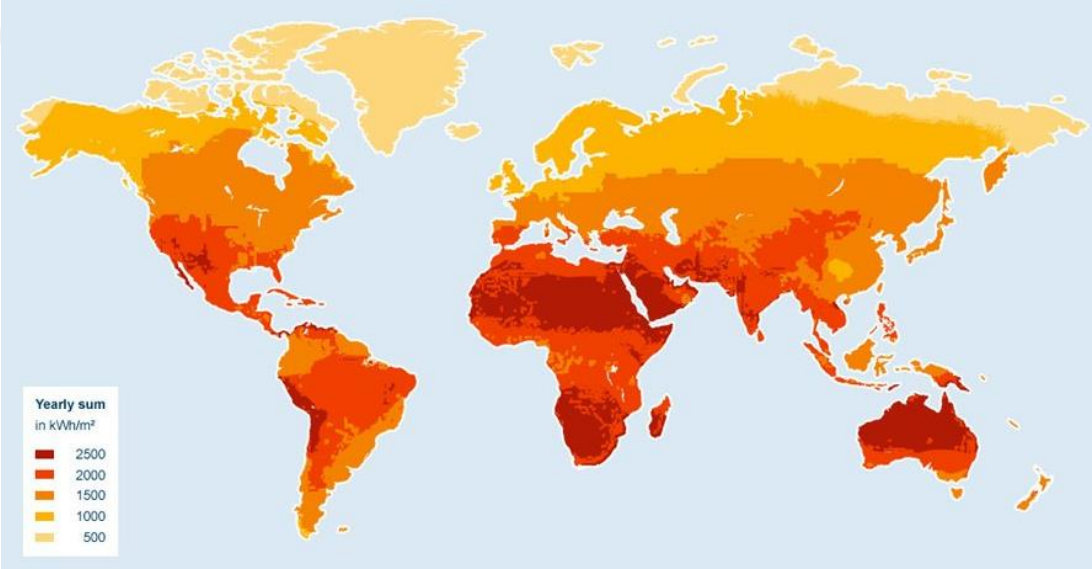
Bunlara rağmen güneş enerji santrallerinin yaygınlaşmasının önünde çeşitli engeller bulunmaktadır. Maliyetli depolama teknolojileri, yetersiz enerji altyapıları ve belirli bölgelerdeki kısıtlı güneş ışığı güneş enerjisinin potansiyelinden tam fayda sağlamayı zorlaştıran başlıca sebepler arasındadır. Yine de GES yatırımlarını artırmak isteyen hükümetlerin sektöre sunduğu teşvikler ve özel sektör yatırımlarının artması bu zorlukların aşılmasına destek olmaktadır.

Dünya çapında enerji dönüşümünde büyük pay sahibi olduğu kabul edilen güneş enerji santrallerinin gelecekteki enerji sistemleri içinde kritik bir yer tutacağı öngörülmektedir.

Güneş enerjisi santralleri Dünya'nın her yerinde kullanılmaya başlanmış olup, farklı bölgelerde farklı verimlilikler ile çalışmaya devam etmektedir.

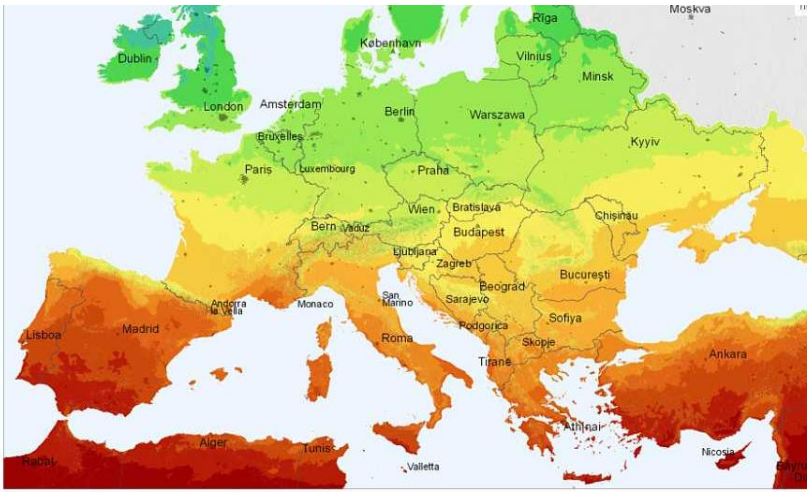
Dünya güneş enerji haritası Şekil 1'de verilmiştir. Bu şekilde m^2 'ye düşen enerji miktarı (Kilowatt/saat) gösterilmektedir.

Şekil 1. Dünya Güneş Enerjisi Haritası



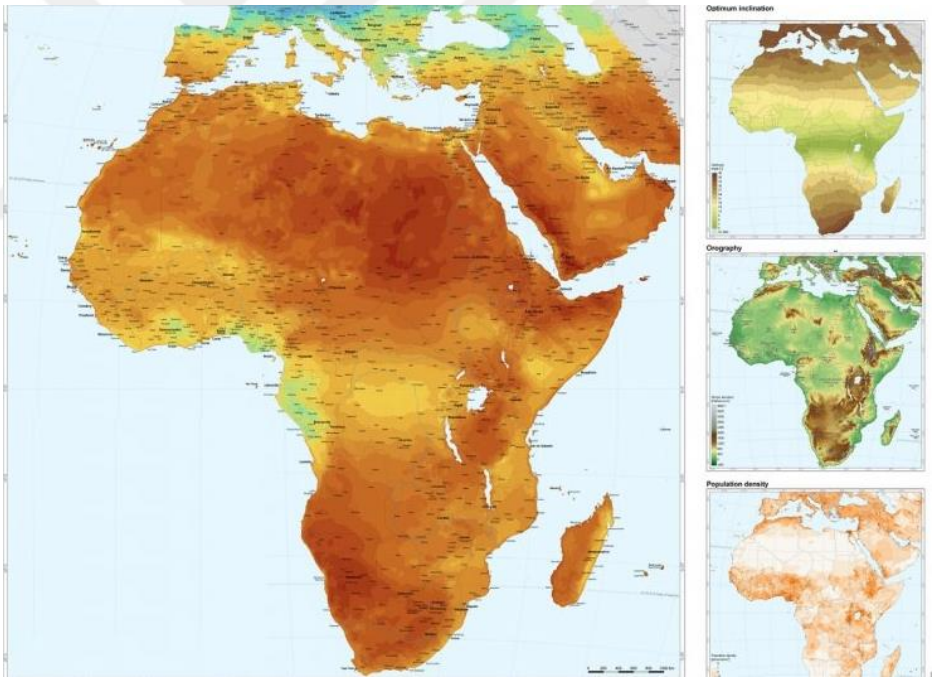
Kaynak: World Bank Group, 2025, Erişim adresi: https://globalsolaratlas.info/.

Şekil 2. Avrupa Güneş Enerjisi Haritası



Kaynak: World Bank Group, 2025, Erişim adresi: https://globalsolaratlas.info/.

Şekil 3. Afrika Güneş Enerjisi Haritası

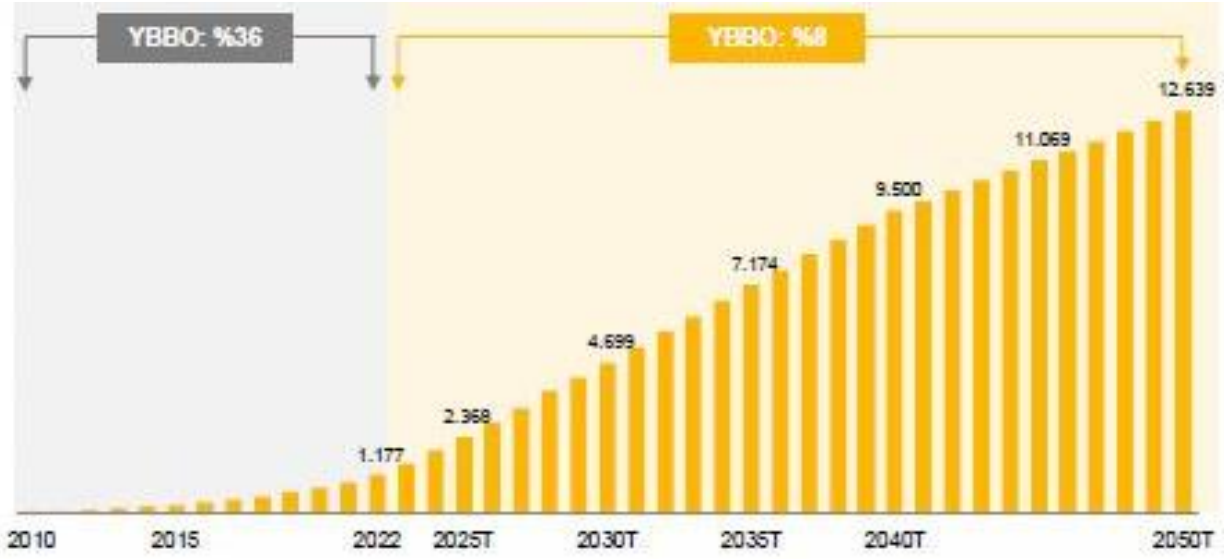


Kaynak: World Bank Group, 2025, Erişim adresi: https://globalsolaratlas.info/.

Şekil 2 ve 3'te Avrupa ve Afrika'nın güneş enerjisi haritası verilmiştir. Bu haritalara göre Ekvator bölgesine yaklaştıkça güneş enerjisi miktarı artmaktadır.

Şekil 4'te IEA tarafından hazırlanan Küresel Toplam Güneş Enerjisi Kurulu Gücü Gigawatt (GW)'nün 2010-2022 yılları arasındaki değişim ve 2050 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen kurulu güç (Şekil 5) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılım tahminleri (Şekil 6) miktarı gösterilmektedir (IEA, 2023).

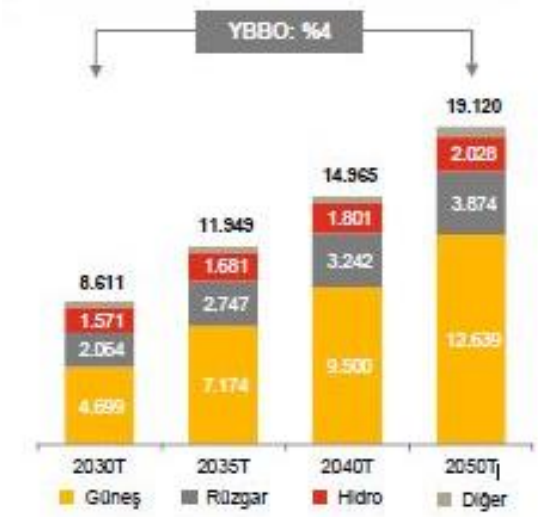
Şekil 4. Küresel Toplam Güneş Enerjisi Kurulu Gücü (GW)



.

Kaynak: International Energy Agency, 2023, s. 37.

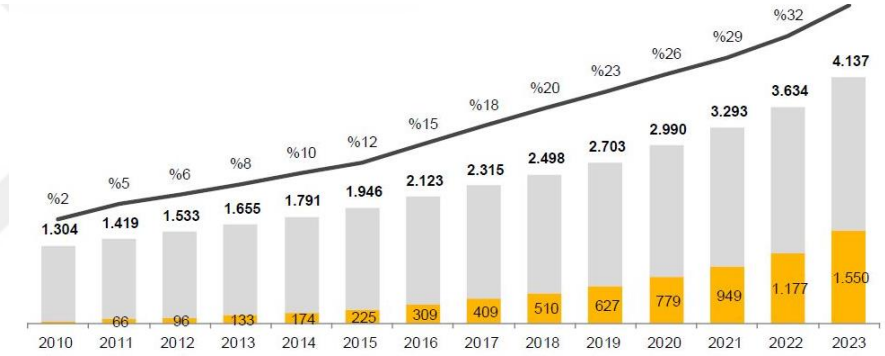
Şekil 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Güç Tahmini (GW)



Kaynak: International Energy Agency, 2023, s. 63.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın yayımlamış olduğu rapora göre, küresel güneş enerjisi kurulu gücünün 2030 yılında 7.639 GW'a, 2050 yılında ise 12.639 GW'a ulaşması beklenmektedir. 2050 yılında, güneş enerjisi kurulu gücünün yenilenebilir enerji kurulu gücü içerisinde %66 paya sahip olacağı öngörülmektedir. Ayrıca 2023–2050 yılları arasında %8 oran ile büyüyeceği tahmin edilen güneş enerjisi kurulu gücü en çok büyüme öngörülen yenilenebilir enerji teknolojisidir. 2015 yılından bu yana güneş enerjisi kurulu gücünün yenilenebilir enerji kurulu gücü içerisindeki payının önemli ölçüde artış gösterdiği gözlemlenmektedir (PwC Türkiye, 2024).

Şekil 6. Güneş Enerjisi Kurulu Gücü (GW) ve Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü İçerisindeki Payı (%)



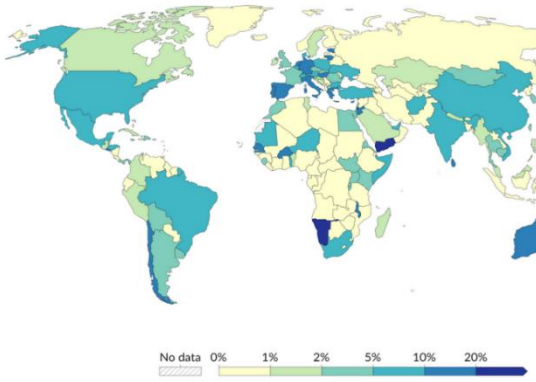
Kaynak: International Energy Agency, 2023, s. 37.

Yukarıda sunulan veriler ve analizler, güneş enerjisinin küresel enerji dönüşümündeki merkezi rolünü açıkça ortaya koymaktadır. Gelişen teknoloji, azalan maliyetler ve artan çevresel farkındalık sayesinde güneş enerjisi, sadece gelişmiş ülkelerde değil, gelişmekte olan bölgelerde de hızla yaygınlaşmaktadır. Ancak bu büyümenin sürdürülebilir olması, altyapı yatırımları, depolama çözümleri ve destekleyici kamu politikaları ile doğrudan ilişkilidir. Önümüzdeki yıllarda güneş enerjisine yapılan yatırımların artarak devam etmesi, enerji arz güvenliği, iklim değişikliğiyle mücadele ve ekonomik kalkınma açısından kritik öneme sahip olacaktır.

4.1 Ülkelerin GES Sıralamaları

Güneş enerjisi santrali kullanımı gelişmiş ülkelerde her geçen yıl katlanarak artmaktadır. Bu teknolojinin öncülüğünü yapan Çin ve ABD bu sıralamada ilk iki sırada bulunmaktadır. Ardından Hindistan, Japonya ve Almanya ile devam ederken çeşitli Avrupa ülkeleri ve gelişmekte olan ülkeler sıralamada bulunmaktadır. Şekil 7'de güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin ülkelere göre dağılımı gösterilmektedir.

Şekil 7. Güneş Enerjisi Kaynaklı Elektrik Üretiminin Ülkelere Göre Dağılımı



Kaynak: Energy Institute, 2024, Erişim adresi: www.energyinst.org

Tablo 3'te 2024 yılında ülke bazında en çok GES kurulumu olan ve GES'ten elektrik üretim yapan ülkeler sıralaması verilmiştir.

Tablo 3. Dünya 2024 Güneş Enerjisi İstatistikleri

Ülke	Üretim (TWh)	Üretim %	Kapasite (GW)	% Kapasite Artışı	Kapasite Oranı
Dünya	2130.64	6.9	1865.49	31.2	13%
Çin	834.10	8.3	887.93	45.6	11%
ABD	303.17	6.9	177.47	27.5	20%
Hindistan	133.81	6.5	97.38	33.7	16%
Japonya	102.02	10.0	91.61	2.8	13%
Almanya	70.99	14.9	89.94	20.1	9%
Brezilya	74.68	10.0	53.11	40.0	16%
İspanya	58.60	20.9	38.59	20.9	17%

Avustralya	49.84	17.8	38.47	15.6	15%
İtalya	35.81	13.5	36.01	22.7	11%
Güney Kore	32.73	5.3	26.65	13.5	14%
Hollanda	21.65	17.7	24.05	13.1	10%
Fransa	23.57	4.2	21.53	23.7	12%
Polonya	15.23	9.0	20.20	23.0	9%
Türkiye	25.67	7.5	19.88	76.1	15%
Vietnam	26.02	8.5	18.67	0.4	16%
İngiltere	15.56	5.5	17.60	8.1	10%
Tayvan	14.91	5.2	14.28	15.0	12%
Meksika	27.55	7.6	11.99	9.9	26%
Şili	19.92	22.3	11.05	24.3	21%
Belçika	8.93	11.9	9.75	16.8	10%

Kaynak: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2025, s. 25-28.

Bu alanda Çin 887 GW ile dünyada birinci sırada olurken, Türkiye son yıllarda bu alanda yapılmış çalışmalar ile 19,88 GW ile on dördüncü sıradadır.

5. DÜNYA'DA GES KURULUM MALİYETLERİ

Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (Levelized Cost of Energy - LCOE), bir enerji tesisinin üretim ömrü süresince öngörülen elektrik üretiminin ortalama maliyetinin hesaplanmasıdır. Enerji tesisinin toplam maliyetinin, tesisin ömrü boyunca üretmesi beklenen elektrik miktarına oranlanmasıyla elde edilir. Bu hesaplama sermaye maliyetini işleme dahil ederken bir projenin değer kazanması için gerçekleşmesi gerekli olan ortalama elektrik fiyatını temsil etmenin yanı sıra genelde yatırımın planlanması ve diğer elektrik üretme yöntemleriyle karşılaştırma yapılabilmesi için kullanılmaktadır (PwC Türkiye, 2024).

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin kullanılması giderek daha ekonomik bir hal almaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte artan verimlilik, üretim optimizasyonları, tedarik zincirinde artan rekabet ve üreticilerin gelişen tecrübesi ile birlikte 2010-2022 yılları arasında maliyetlerde belirgin bir düşüş

gözlemlenmektedir. Özellikle güneş enerjisinden elektrik üretim maliyetinde önemli bir düşüş görülmektedir.

IRENA verileri tarafından hazırlanan grafikte yer verilen bilgiler Çin, Amerika, Brezilya ve Almanya başta olmak üzere çeşitli ülkelerde faaliyet gösteren toplam 2.317 GW kurulu güce sahip yaklaşık 22 bin yenilenebilir enerji üretim projesinin verilerine göre elektrik üretim birim maliyeti karşılaştırma tablosu Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Ortalama Elektrik Üretim Birim Maliyeti

	2010	2022	% Değişim
Biyoenerji	0.082	0.061	-25%
Jeotermal	0.053	0.056	+6%
Hidroelektrik	0.042	0.061	+47%
Güneş	0.445	0.049	-89%
Rüzgâr (Onshore)	0.107	0.033	-69%
Rüzgâr (Offshore)	0.197	0.081	-59%

Kaynak: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024, s. 75-76.

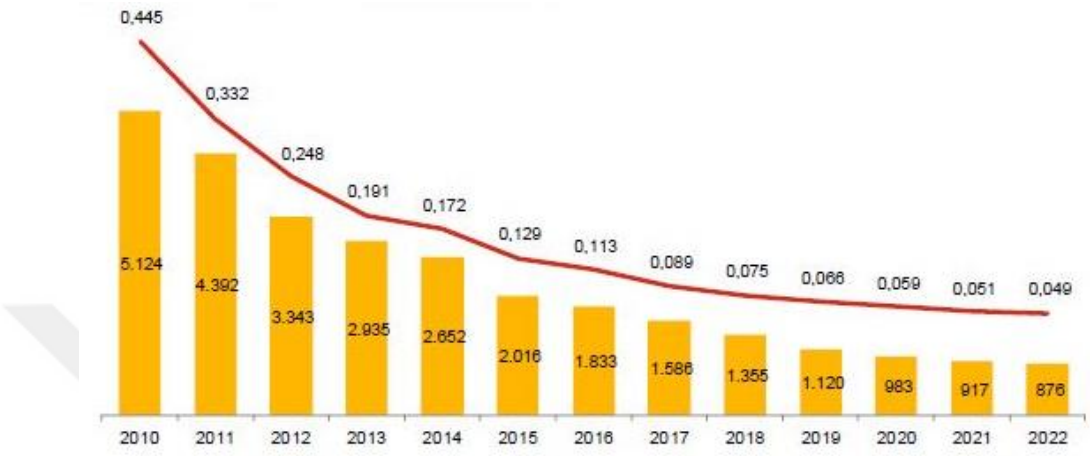
Yenilenebilir enerji kullanımı teknolojileri incelendiğinde, 2010-2022 yılları arasında güneş enerjisinden ortalama elektrik üretimi maliyetlerinde %89 oranında bir azalış gözlemlenmektedir. Bu azalışın altında yatan temel sebep fotovoltaik panel maliyetlerinde yaşanan düşüştür.

Emtia fiyatlarının birçok bölgede maliyetler üzerinde baskı oluşturmasına ve tedarik zincirlerinde aksaklıklar yaşanmasına rağmen, Çin'in kapasite artışlarını domine etmesi sayesinde küresel güneş enerjisinden ortalama elektrik üretim maliyeti 2022 yılında da %2 azalış göstermiştir.

Son dönemlerde fosil yakıt fiyatlarının yükselmesinin ardından yenilenebilir enerjinin kullanımı için gerekli ortalama maliyetin düşmesi daha da önemli bir hale gelmiştir. Çevresel faydaların yanında bu durumda yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminin rekabet kapasitesini yükseltmiştir. Güneş enerjisi santralleri, %89 düşüş oranı ile 2010'dan 2022 yılına kadar ortalama elektrik üretim maliyetlerinde

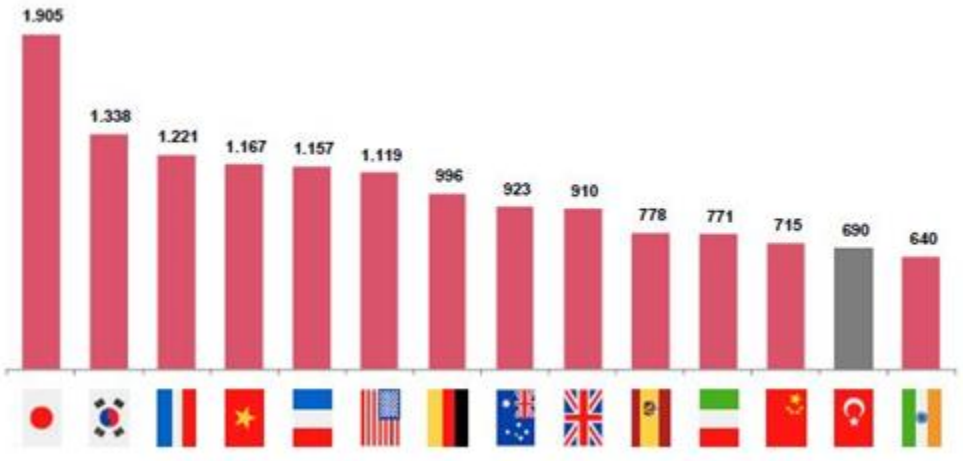
en büyük düşüşün gözlendiği yenilenebilir enerji teknolojisi olmuştur. Şekil 8'de şebekeye bağlı GES'lerin birim maliyetinin ülkelere göre farklılıkları gösterilmiştir.

Şekil 8. Küresel Güneş Enerjisi Toplam Kurulum Maliyeti (ABD$/kW)



Kaynak: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024, s. 75-76.

Şekil 9. Ülkelere Göre Şebekeye Bağlı GES Toplam Kurulum Maliyeti (ABD$/kW 2022)



Kaynak: PwC Türkiye, 2024, s. 48.

GES kullanımının yaygınlaşması bu alandaki çalışmaları arttırarak yeni gelişen teknolojiler ve artan arz ile kW başına kurulum maliyetleri giderek düşmeye başlamıştır. Şekil 9'da şebekeye bağlı GES'lerin birim maliyetinin ülkelere göre farklılıkları gösterilmiştir. Bu fiyatlar ülkelerin belirlemiş olduğu standartlar, GES

yatırımının sağlamış olduğu kazançlar, kullanılan ürünlerin farklılıkları ve ülkelerin ekonomik durumlarından dolayı farklılık göstermektedirler.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ

Bu bölümde, Türkiye'de güneş enerjisinin mevcut durumu, potansiyeli ve gelişim süreci ele alınmaktadır. İlk olarak, Türkiye'nin güneş enerjisi hedefleri incelenerek, UKB çerçevesinde belirlenen yenilenebilir enerji politikaları ve hedeflenen kurulu güç kapasiteleri açıklanmaktadır. Ardından, Türkiye'deki güneş enerjisi sektörünün mevcut durumu değerlendirilerek, ülkenin toplam güneş enerjisi kurulu gücü, yıllık üretim kapasitesi ve teknolojik gelişmeleri ele alınmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye'de faaliyet gösteren güneş enerjisi santrallerinin kapasite bazında sıralaması verilerek, büyük ölçekli projeler ve yatırımlar incelenmektedir. Son olarak, elektrik üretiminin lisanslı ve lisanssız olarak iki farklı şekilde düzenlenmesi sebebiyle, bu iki kategori detaylı şekilde açıklanmakta, lisanslı üretim yapan santraller ile lisanssız üretim yapılan sistemler arasındaki farklar ve uygulama süreçleri karşılaştırılmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin güneş enerjisi alanındaki potansiyeli, mevcut politikalar ve gelecek hedefleri doğrultusunda kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

1. TÜRKİYE'NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye, coğrafi konum bakımından sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli ile birçok ülkeye göre avantajlı bir durumdadır. Dünyaya güneşten saniye başına yaklaşık 170 milyon MW güneş enerjisi gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünüldüğünde, bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 1.700 katına denk gelmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1966-1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve ısınma şiddeti verilerinden yararlanılarak yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saattir (günlük ortalama 7,2 saat), ortalama toplam ısınma şiddeti ise 1.311 kWh/m²-yıl (günlük ortalama 3,6 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımlar yapıldığında, Türkiye yılda birim metre kare başına ortalama olarak 1.100 kWh

güneş enerjisi üretebilir. Tablo 5'te, Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin aylara göre dağılımı sunulmuştur.

Tablo 5. Türkiye'nin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Aylara Göre Dağılımı

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi
	(kcal/cm2-ay)	(kWh/m2-ay)	(saat/ay)
Ocak	4.45	51.75	103
Şubat	5.44	63.27	115
Mart	8.31	96.65	165
Nisan	10.51	122.23	197
Mayıs	13.23	153.86	273
Haziran	14.51	168.75	325
Temmuz	15.08	175.38	365
Ağustos	13.62	158.4	343
Eylül	10.6	123.28	280
Ekim	7.73	89.9	214
Kasım	5.23	60.82	157
Aralık	4.03	46.87	103
Toplam	112.74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm2-gün	3,6 kWh/m2-gün	7,2 saat/gün

Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025, Erişim adresi: www.gepa.enerji.gov.tr/

Tablo 6'da Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi güneş enerjisi alan bölge bakımından Türkiye'de birinci sırada yer almaktadır.

Tablo 6. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m2-yıl	kWh/m2	kWh/m2	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1,460	1,980	729	2,993	407	126
Akdeniz	1,390	1,869	476	2,956	360	101
Doğu Anadolu	1,365	1,863	431	2,664	371	96
İç Anadolu	1,314	1,855	412	2,628	381	98
Ege	1,304	1,723	420	2,738	373	165
Marmara	1,168	1,529	345	2,409	351	87
Karadeniz	1,120	1,315	409	1,970	273	82

Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025, Erişim adresi: www.gepa.enerji.gov.tr/

Şekil 10'da Türkiye'nin güneş enerjisi haritası verilmiştir. Bu haritaya göre mavi ve tonları ile gösterilen bölgelerde metrekareye düşen enerji miktarı 1400 kWh civarında iken güneye doğru ilerledikçe bu değer 1800-2000 kWh değerine kadar çıkmaktadır.

Şekil 10. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025, Erişim adresi: www.gepa.enerji.gov.tr/

Güneş enerjisi bakımından en verimli bölgeler İç Anadolu'nun güney kesimleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi geneli olduğu görülmektedir. Akdeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgelerinde de verimlilik yüksek olmakla beraber bölgenin coğrafi yapısından kaynaklı olarak büyük ölçekli GES'ler genellikle Konya, Şanlıurfa, Kahramanmaraş bölgelerinde daha çok görülmektedir.

2. TÜRKİYE'NİN GES HEDEFLERİ

Türkiye'nin güneş enerjisi hedefleri, yenilenebilir enerji kapasitesini artırarak enerji bağımsızlığını güçlendirmeyi amaçlamaktadır. 2023 yılında revize edilen UKB doğrultusunda, güneş enerjisi kapasitesinin 2030 yılına kadar 33 GW seviyesine çıkarılması öngörülmektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Türkiye'nin güneş enerjisi kapasitesini artırmaya yönelik politikaları, yalnızca enerji üretim miktarını artırmayı değil, aynı zamanda ulusal ve uluslararası çevresel taahhütlerle uyumlu bir dönüşüm süreci yürütmeyi de hedeflemektedir. Bu doğrultuda belirlenen stratejik hedefler, Türkiye'nin güneş enerjisi politikalarının ana yönlerini ve önceliklerini ortaya koymaktadır.

Stratejik Hedefler:

- **Yenilenebilir Enerji Payı:** 2030 yılı itibarıyla enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artırılması ve güneş enerjisinin bu süreçte önemli bir rol oynaması beklenmektedir.
- **Karbon Azaltımı:** Türkiye'nin Paris Anlaşması çerçevesindeki taahhütleri doğrultusunda, güneş enerjisi yatırımlarıyla sera gazı emisyonlarının %41 oranında düşürülmesi hedeflenmektedir.
- **YEKA Projeleri:** Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) projeleri aracılığıyla büyük ölçekli GES kurulumunun gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Bu hedefler, Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır karbon hedefine ulaşabilmesi için kritik bir temel oluşturmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

3. TÜRKİYE'NİN ULUSAL KATKI BEYANI

Türkiye, COP21 kapsamında Paris İklim Anlaşması'nı kabul etmiş ancak taraf olma sürecini başlatmamıştır. 2015 yılında sunduğu İlk Ulusal Katkı Beyanı'nda 2012 yılını referans alarak 2030 yılına kadar sera gazı emisyon artışını %21 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir.

Türkiye, 2053 Net Sıfır Emisyon hedefini ve Yeşil kalkınma vizyonunu da Ekim 2021'de Paris İklim Antlaşması'na taraf olmasının ardından açıklamıştır.

Nisan 2023'te COP27 kapsamında Türkiye, UKB güncellemiş ve 2015 yılında belirlenen 2030 yılı için %21 emisyon artışından azaltım hedefini, %41 artıştan azaltıma yükseltmiştir. Ayrıca, 2038 yılı emisyonların en yüksek seviyeye ulaşacağı yıl olarak belirlenmiştir. Güncellenen UKB, sektörel bazda stratejilere de yer vermektedir. Bu stratejiler; enerji, sanayi, ulaştırma, tarım, bina, atık, arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık (AKAKDO) alanlarında azaltım

ve uyum planlarını kapsamaktadır. Paris İklim Anlaşması çerçevesinde taraf ülkelerin her 5 yılda bir hedeflerini artırarak ulusal katkı beyanlarını yenilemeleri gerekmektedir. Bu doğrultuda, Türkiye'nin ikinci ulusal katkı beyanını 2025 yılı sonunda yapılacak COP30 öncesinde sunması beklenmektedir (PwC Türkiye, 2024).

Eylül 2023'te açıklanan Orta Vadeli Program (OVP), 2023-2026 dönemi için ekonomik, sosyal ve çevresel hedefler ile bu hedeflere ulaşmak için izlenecek politikalara yer verirken, Türkiye'nin Net Sıfır Emisyon hedefleri ile aynı doğrultuda olan Yeşil Dönüşüm programını da içermektedir. İklim değişikliği ile ilgili uygulamalar kapsamlı bir biçimde ele alınmış ve Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığının yenilenebilir enerji ile azaltılması gerektiği vurgulanmıştır. Ekim 2023'te yayımlanan 12. Kalkınma Planı'nda ise, OVP ve Ulusal Enerji Planı (UEP)'nında belirtilen uygulamaların sürdürüleceği ifade edilmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).

Mayıs 2022'de yayımlanan UEP, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon hedeflerine ulaşmak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından belirlenmiş 2035 yılına kadar olan süreci kapsayan bir yol haritasıdır.

UEP'de, 2035 yılı itibarıyla elektrik tüketiminin 510,4 TWh (2023'te 322 TWh), elektrik kurulu gücünün ise 189,7 GW (2023'te 107 GW) seviyelerine ulaşacağı öngörülmüştür. Toplam kurulu güç içerisinde, yenilenebilir enerji kurulu gücünün 2035 yılı itibarıyla %65 oranında bir paya sahip olması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji kurulu gücü içinde güneş enerjisi ise, %43'lük pay ile en büyük paya sahip teknoloji olarak öngörülmektedir.

2000-2020 yılları arasında %25 enerji yoğunluğu azalma oranının UEP kapsamında 2035 yılından itibaren 2000 yılı ile kıyaslandığında %51 olacağı öngörülmüştür. 2020'den 2035'e kadar Türkiye için beklenen bu oran Fransa ve Almanya için beklenen oranlarla yakınlık göstermektedir.

Yenilenebilir enerji kurulu gücü arttıkça, kesintili elektrik üretimi de artmakta ve bu durum, sistemde esneklik sağlayacak batarya depolama kapasitesine olan ihtiyacı artırmaktadır. Esneklik gereksinimlerinin karşılanabilmesi için, 2035

yılında batarya kapasitesinin 7,5 GW, elektrolizör kapasitesinin ise 5,0 GW seviyelerine ulaşması beklenmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

4. TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ MEVCUT DURUMU

Türkiye'nin kurulu elektrik gücünde, 2010 ile 2023 arasında yıllık ortalama %6,5 artış olmuş; en yüksek artış ise %12,2 ile 2013 yılında gerçekleşmiştir. Bu dönemde, termik santrallerin kurulu gücü 1,55 kat, üretimleri 1,21 kat; fosil kaynaklara dayalı santralların kurulu gücü 1,47 kat, üretimleri 1,21 kat; yenilenebilir enerji santrallarının (biyokütle, atık ve atık ısı dâhil) kurulu gücü 3,35 kat, üretimleri 2,46 kat; toplam kurulu güç 2,17 kat, toplam üretim ise 1,54 kat artmıştır. (TMMOB, 2024)

Bu dönemde yenilenebilir enerji santral yatırımlarının hız kazanmasının yanı sıra; termik santral yatırımlarına da devam edilmesiyle, yıllık kurulu güç artış oranları, her zaman yıllık üretim artış oranından fazla olmuştur.

2023 yılı sonuna göre Türkiye'de elektrik üretim santrallarının toplam kurulu gücü 107.693 MW değerine ulaşmıştır. 2000 yılından bu yana kurulu gücün kaynaklara göre gelişimi Tablo 7'de gösterilmiştir.

Kurulu gücün kaynaklara göre gelişimi incelendiğinde; 2015'ten sonra petrol ürünlerine bağlı kurulu güçte azalma, rüzgâr, güneş ve jeotermal kaynaklar daha fazla olmak üzere diğer kaynaklara bağlı santralların hepsinde artış olduğu görülmektedir (TMMOB, 2024)

Tablo 7. Türkiye Toplam Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Yıllık Gelişimi

Yıl	Kömür		Petrol Ürünleri		Doğal gaz		Fosil		Biyokütle + Atık ısı		Hidrolik		Rüzgar Jeotermal+ Güneş		Yenilenebilir		Toplam
	MW	**Pay (%)**	**MW**	**Pay (%)**	**MW**	**Pay (%)**	**MW**	**Pay (%)**	**MW**	**Pay (%)**	**MW**	**Pay (%)**	**MW**	**Pay (%)**	**MW**	**Pay (%)**	MW
2000	7399	27.1	3725	13.7	4905	18	16029	58.8	24	0.1	11175	41	36	0.1	11235	41.2	27264
2001	7446	26.3	4302	15.2	4851	17.1	16600	58.6	24	0.1	11673	41.2	36	0.1	11733	41.4	28332
2002	7439	23.4	4855	15.2	7247	22.8	19541	61.4	28	0.1	12241	38.4	36	0.1	12305	38.6	31846
2003	8704	24.5	5381	15.1	8862	24.9	22947	64.5	28	0.1	12579	35.3	34	0.1	12640	35.5	35587
2004	8750	23.8	5236	14.2	10131	27.5	24117	65.5	28	0.1	12645	34.3	34	0.1	12707	34.5	36824
2005	9588	24.7	5303	13.7	10976	28.3	25867	66.6	35	0.1	12906	33.2	35	0.1	12977	33.4	38844
2006	10668	26.3	5249	12.9	11462	28.3	27379	67.5	41	0.1	13063	32.2	82	0.2	13186	32.5	40565
2007	10668	26.1	4913	12	11647	28.5	27229	66.7	43	0.1	13395	32.8	169	0.4	13607	33.3	40836
2008	10552	25.5	6217	14.9	10657	25.5	27535	65.8	60	0.1	13829	33.1	394	0.9	14282	34.2	41817
2009	11006	24.6	6421	14.3	11826	26.4	29253	65.4	87	0.2	14553	32.5	869	1.9	15509	34.6	44761
2010	12403	25	6466	13.1	13302	26.9	32171	65	107	0.2	15831	32	1414	2.9	17353	35	49524
2011	13028	24.6	7634	14.4	13144	24.8	33805	63.9	126	0.2	17137	32.4	1843	3.5	19106	36.1	52991
2012	13174	23.1	7568	13.3	14116	24.7	34858	61.1	169	0.3	19609	34.4	2423	4.2	22201	38.9	57059
2013	13218	20.7	8024	12.5	17171	26.8	38413	60	235	0.4	22289	34.8	3071	4.8	25595	40	64008
2014	15400	22.2	7379	10.6	18724	26.9	41503	59.7	299	0.4	23643	34	4075	5.9	28017	40.3	69520
2015	16104	21.7	6901	9.3	18528	25	41533	56	370	0.5	25868	36.2	5376	7.3	32614	44	74147
2016	17938	22.9	6414	8.2	19564	24.9	43915	55.9	496	0.6	26681	34	7405	9.4	34582	44.1	78498
2017	19249	22.7	3737	4.4	23206	27.2	45292	54.3	634	0.7	27273	32	11001	12.9	38908	45.7	85200
2018	19557	22.1	715	0.8	25675	29	45947	51.9	955	1.1	28291	32	13333	15.1	42579	48.1	88526
2019	20284	22.2	312	0.3	25904	28.4	46500	50.9	1163	1.3	28503	31.2	15101	16.5	44767	49.1	91267
2020	20323	21.2	312	0.3	25675	26.8	46209	48.3	1485	1.5	30984	32.3	17113	17.8	49582	51.7	95891
2021	20360	20.4	258	0.3	25576	25.6	46193	46.3	2035	2	31493	31.5	20099	20.1	53627	53.7	99820
2022	21811	21	258	0.2	25347	24.4	47416	45.7	2309	2.2	31572	30.4	22513	21.7	56393	54.3	103809
2023	21814	20.3	251	0.2	25401	23.6	47475	44.1	2450	2.2	31964	29.7	25849	24	60218	55.9	107693

Kaynak: TMMOB, 2024 s. 75.

Ayrıca kaynaklara göre kurulu güç tablosu (2023) değerleri Tablo 8 de verilmiştir.

Tablo 8. Kaynaklara Göre Kurulu Güç Tablosu

BİRİNCİL KAYNAK	KURULU GÜÇ (MW)	
	MW	Payı (%)
İthal Kömür	10373.8	44.1
Taş Kömürü	840.8	
Asfaltit	405	
Linyit	10194	
Sıvı Yakıt	260.6	
Doğalgaz	25041	
Fosil Kaynak	47450.9	
Biyokütle + Atık	2404	55.9
Rüzgar	11803.8	
Güneş	12354.3	
Hidrolik	31964.2	
Jeotermal	1691.3	
Yenilenebilir Kaynak	60217.6	
TOPLAM	107692.8	100

Kaynak: TMMOB, 2024 s. 77.

Tablo 8'de kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde hidrolik kaynağın %29,9 payla birinci sırada yer aldığı, doğalgazın %23,7 payla ikinci sırada, kömürün ise %20,4 payla üçüncü sırada olduğu görülmektedir. Rüzgâra dayalı kapasite, %11,0 payla linyit kapasitesini aşmıştır. Rüzgâra dayalı kapasiteyle birlikte son yıllarda ivme kazanan güneş enerjisinden elektrik üretimi kapasitesinin de toplam kurulu güç içindeki payı %10,9'a ulaşıp linyit kapasitesini geçmiştir. 2023 yılı sonunda, fosil enerji kaynaklarına dayalı kurulu güç 47.450,9 MW ile toplam kurulu gücün %44,3'ünü oluştururken, yenilenebilir kaynaklara dayalı kapasite ise 59.599,5 MW ile toplam kurulu gücün %55,7'lik payına sahiptir.

2015 yılından itibaren yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretim kurulu gücünün gelişimi Tablo 9'da, aynı dönemdeki bir önceki yıla göre artış miktarları ise Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Yenilenebilir Kaynaklara Dayalı Kurulu Gücün Gelişimi

	Hidrolik	Rüzgâr	Güneş	Jeotermal	Biyokütle	Toplam
2015	25867	4503	248	623	362	31606
2016	26681	5751	832	820	496	34582
2017	27273	6516	3420	1063	634	38907
2018	28291	7005	5062	1282	738	42381
2019	28503	7591	5995	1514	1163	44767
2020	30983	8832	6667	1613	1484	49581
2021	31492	10607	7815	1676	1644	53235
2022	31571	11396	9425	1691	2308	56393
2023	31964	11803	12354	1691	2404	60217

Kaynak: TMMOB, 2024 s. 78.

Tablo 9 incelendiğinde, bilinen tüm yenilenebilir kaynaklarda kapasite artışı olduğu görülmektedir. 2015 ile 2023 yılları arasındaki dönemde, güneş enerjisine dayalı elektrik üretim kapasitesinde çok büyük bir artış yaşanmıştır. (TMMOB, 2024)

Tablo 10. Yenilenebilir Kaynaklara Dayalı Kurulu Gücün Yıllık Artışı

Yıl	Hidrolik (MW)	Rüzgâr (MW)	Güneş (MW)	Jeotermal (MW)	Biyokütle (MW)	Toplamı (MW)
2016	%3.1	%27.7	%234.6	%31.6	%37.0	%9.4
2017	%2.2	%13.3	%310.9	%29.6	%27.8	%12.5
2018	%3.7	%7.5	%48.0	%20.6	%16.5	%8.9
2019	%0.7	%8.4	%18.4	%18.1	%57.5	%5.6
2020	%8.7	%16.4	%11.2	%6.5	%27.6	%10.8
2021	%1.6	%20.1	%17.2	%3.9	%10.8	%7.4
2022	%0.3	%7.4	%20.6	%0.9	%40.4	%6.5
2023	%1.2	%3.6	%24.0	%0.0	%6.1	%5.7
TOPLAM ARTIŞ	%23.6	%162.1	%4865.5	%171.1	%563.3	%90.5

Kaynak: TMMOB, 2024 s. 78.

Ayrıca ETKB tarafından hazırlanan 2035 yılı için kurulu güç planı (Tablo 11) incelendiğinde fosil yakıt kaynaklı üretim tesislerinde minimum artış planlanırken yenilenebilir enerji kaynaklarına ve hatta güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi kurulu gücünü 2024 yılı kurulu gücünün 3 katına çıkarılması hedeflenmektedir.

Tablo 11. Elektrik Kurulu Gücü Planı (MW)

Kaynak	2022	2025	2030	2035
KÖMÜR	21811	21100	22800	24300
DOĞAL GAZ	25348	24200	30300	35500
NÜKLEER	0	2400	4800	7300
HİDROELEKTRİK	31571	33000	35100	35100
RÜZGAR	11396	13100	18100	29600
GÜNEŞ	9425	17900	32900	52900
DİĞER (JEOTERMAL, BİYOKÜTLE VD.)	4258	4500	5100	5100
TOPLAM	103809	116200	149100	189700
ÖNGÖRÜLEN ARTIŞ MİKTARI		12391	45291	85891
ÖNGÖRÜLEN ARTIŞ ORANI		11,94%	38,98%	57,61%

Kaynak: TMMOB, 2024 s. 33.

Bu, Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sürecinde önemli bir ivme kazandığı görülmektedir. Gerek geçmiş yıllardaki kurulu güç artış trendleri gerekse 2035 yılına yönelik projeksiyonlar, güneş ve rüzgâr gibi sürdürülebilir kaynakların enerji arzındaki payını artırmaya yönelik stratejik bir dönüşüme işaret etmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği desteklemekle kalmayıp aynı zamanda enerji arz güvenliğini güçlendirmeyi ve dışa bağımlılığı azaltmayı hedeflemektedir. Bu nedenle, özellikle güneş enerjisine yapılan yatırımların hız kesmeden devam etmesi, Türkiye'nin uzun vadeli enerji politikaları açısından kritik bir rol oynamaktadır.

5. TÜRKİYE'DE GES SIRALAMALARI

Ülkemizde elektrik piyasası ile ilgili Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından aylık ve yıllık olarak sektör raporları yayımlanmaktadır. Eylül 2024'te yayımlanan Elektrik Piyasası Sektör Raporu verilerine göre güneş enerjisi santrallerinin kurulumu giderek artmaktadır.

Tablo 12. 2024 Mart-2025 Mart Elektrik Kurulu Gücü ve Üretim Miktarı

KAYNAK TÜRÜ	TOPLAM KURULU GÜÇ* (MW)				TOPLAM ÜRETİM* (MWh)			
	2024 MART	ORAN (%)	2025 MART	ORAN (%)	2024 OCAK-MART	ORAN (%)	2025 OCAK-MART	ORAN (%)
HİDROLİK	32.175,21	28,71	32.232,44	27,27	22.681.645,03	27,08	14.396.018,31	16,39
GÜNEŞ	16.731,69	14,93	21.832,86	18,47	4.151.140,34	4,96	6.182.815,74	7,04
RÜZGÂR	12.081,62	10,78	13.184,02	11,16	8.928.375,87	10,66	9.370.019,94	10,67
BİYOKÜTLE	2.082,52	1,86	2.118,85	1,79	2.559.267,74	3,06	2.498.859,85	2,84
JEOTERMAL	1.691,34	1,51	1.733,51	1,47	3.038.235,08	3,63	3.172.469,22	3,61
YENİLENEBİLİR	**64.762,38**	**57,80**	**71.101,68**	**60,16**	**41.358.664,07**	**49,37**	**35.620.183,06**	**40,55**
DOĞAL GAZ	25.207,03	22,50	24.913,24	21,08	11.700.304,02	13,97	21.743.320,08	24,75
İTHAL KÖMÜR	10.373,80	9,26	10.455,80	8,85	18.814.655,23	22,46	19.809.722,20	22,55
LİNYİT	10.206,59	9,11	10.234,47	8,66	10.280.147,38	12,27	9.068.793,88	10,32
TAŞ KÖMÜRÜ	840,77	0,75	840,77	0,71	1.041.894,27	1,24	998.399,54	1,14
ASFALTİT	405,00	0,36	405,00	0,34	399.589,35	0,48	423.939,03	0,48
FUEL OİL	251,93	0,22	226,61	0,19	175.537,03	0,21	184.117,19	0,21
NAFTA	4,74	0,00	4,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LNG	1,95	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MOTORİN	1,04	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TERMİK	**47.292,84**	**42,20**	**47.083,61**	**39,84**	**42.412.127,28**	**50,63**	**52.228.291,92**	**59,45**
TOPLAM	**112.055,22**	**100,00**	**118.185,29**	**100,00**	**83.770.791,35**	**100,00**	**87.848.474,98**	**100,00**

Lisanslı ve lisanssız santraller dâhil edilmiştir.

Kaynak: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2025, s. iii.

Tablo 12'de de 2024 mart ayı ile 2025 mart ayı arasındaki değişimler gösterilmiştir. İlgili tablo incelendiğinde fosil yakıtlara bağlı enerji üretim tesislerinde çok düşük artışlar olmasının yanı sıra, toplam kurulu güç ve toplam üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının ve hatta güneş enerjisinin artmış olduğu görünmektedir.

5.1 Lisanslı Elektrik Üretimi

Elektrik enerjisi piyasasında elektrik üretim faaliyeti yapılabilmesi için 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu çerçevesinde lisans edinme zorunluluğu getirilmiştir. Bu bağlamda, kamu kurumları, özel sektör elektrik üretim şirketleri ve organize sanayi bölgeleri tüzel kişilikleri, elektrik üretimi gerçekleştirebilir. Elektrik

piyasasında faaliyet göstermek isteyen tüzel kişilerin, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)'ya başvuruda bulunarak ön lisans alması gereklidir. Ön lisans süresi, kaynak türüne ve kurulu güç miktarına bağlı olarak belirlenir ve bu süre zarfında yatırımcılar, ilgili izinleri, onayları, ruhsatları ve diğer gerekli belgeleri temin etmelidir.

Ön lisans sürecinde gerekli belgeleri ve izinleri tamamlayan yatırımcılar, tesisin inşaatına başlayabilmek için EPDK'dan üretim lisansı almak zorundadır. Üretim lisansları, faaliyetin niteliğine göre en az 10 yıl, en fazla 49 yıl süreyle verilmektedir.

Lisans sahibi tüzel kişiler tarafından üretilen elektrik enerjisi, serbest elektrik piyasasında veya ikili anlaşmalar yoluyla satılabilir. Ayrıca, 1 Temmuz 2021 ile 31 Aralık 2030 tarihleri arasında devreye alınacak, YEK Belgeli yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanslı üretim tesislerinde üretilen enerji için, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) uygulanmaktadır. YEKDEM kapsamında, 1 Mayıs 2023 tarihli ve 32177 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Cumhurbaşkanı Kararı doğrultusunda, kaynak bazında belirlenmiş süre ve fiyatlarla alım garantisi sağlanmaktadır. Ayrıca, bu tesislerde kullanılan mekanik veya elektromekanik ekipmanların yerli üretim olması ve yerli malı belgesine sahip bulunması durumunda, işletmeye alındığı tarihten itibaren belirlenen süre ve fiyatlar üzerinden Yerli Katkı Fiyatı uygulanmaktadır.

5.2 Lisanssız Elektrik Üretimi

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği (Yönetmelik) kapsamında, gerçek veya tüzel kişilere lisans almadan ve şirket kurmadan elektrik üretim faaliyeti gerçekleştirme imkânı sağlanmıştır.

Bu model ile:

- Elektrik piyasasında tüketicilerin, elektrik ihtiyaçlarını tüketim noktasına en yakın kendi üretim tesislerinden karşılaması (öz tüketim modeli),

- Arz güvenliğinin sağlanmasında, küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması,
- Dağıtık üretim yöntemiyle elektrik şebekesindeki iletim ve dağıtım maliyetleri ile kayıp oranlarının azaltılması amaçlanmıştır.

Ön lisans ve lisans alma ile şirket kurma yükümlülüğünden muaf olarak kurulabilecek üretim tesisleri, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 5. maddesinin birinci fıkrasında düzenlenmiş olup, lisanssız üretim faaliyetinin genel esasları aşağıda özetlenmiştir:

- Lisanssız üretim tesisi kuracak gerçek veya tüzel kişilerin, en az bir elektrik aboneliği (tüketim tesisi) olması gerekmektedir. Başvuru sırasında tüketim tesisi bulunmaması durumunda, üretim tesisi ile ilişkilendirilmesi planlanan tüketim tesisinin, üretim tesisinin işletmeye alındığı tarihe kadar tamamlanması zorunludur.
- Üretim tesisi kuracak gerçek veya tüzel kişilerin, üretim tesisleri ile tüketim tesislerinin aynı dağıtım bölgesi içerisinde bulunması zorunludur. Ancak, Yönetmeliğin 5. maddesinin birinci fıkrasının (h) bendi kapsamında, tüketim tesisinin bulunduğu dağıtım lisansı bölgesi dışında da üretim tesisi kurulabilir.
- Elektrik enerjisi tüketimleri tek bir ortak sayaç ile ölçülebilen bir veya birden fazla gerçek ve/veya tüzel kişiye ait tesislerde, tüketilen elektrik enerjisi için tüketimlerini birleştirerek Yönetmelik kapsamında üretim tesisi ya da tesisleri kurulabilir.
- Lisanssız elektrik üretim faaliyeti gerçekleştirmek üzere talep edilen mekanik kurulu güç, elektriksel kurulu gücün iki katını aşamaz.
- Yönetmelik kapsamında lisanssız elektrik üretim faaliyeti gerçekleştiren gerçek veya tüzel kişilerin ihtiyacının üzerinde satışa konu edilebilecek üretim miktarı, ilişkili tüketim tesisinin toplam elektrik enerjisi tüketimini geçemez. Bu miktarın üzerinde sisteme verilen enerji, YEKDEM'e bedelsiz katkı olarak dikkate alınır. Ancak bu hüküm, kurulu gücü 50 kW ve altındaki mesken abone grubundaki tüketim tesisleri ile ilişkilendirilen üretim tesisleri için uygulanmaz.

5.2.1. Destekleme Mekanizması

Yönetmeliğin 5 inci maddesinin 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 tabi olunan abone grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedelleri üzerinden görevli tedarik şirketi tarafından, on yıl süreyle satın alınır. Bu süre ilgili üretim şebekeye enerji vermeye başladığı tarihten itibaren hesaplanır.

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 6. maddesinin ikinci fıkrası kapsamında on yıllık süresini bitiren lisanssız üretim faaliyeti yürütülen tesisler için;

- Tesis sahibi tarafından talep edilmesi,
- EPDK tarafından ayrıca belirlenecek olan lisans alma bedelinin ödenmesi,
- Lisans süresi boyunca elektrik piyasasında oluşan saatlik piyasa takas fiyatının, 5346 sayılı Kanun kapsamında tesis tipi bazında uygulanan güncel YEK Destekleme Mekanizması fiyatından fazla olması halinde aradaki fiyat farkının YEK Destekleme Mekanizmasına katkı bedeli olarak ödenmesi koşullarıyla lisanslı üretim faaliyetine geçilebilmektedir.

Ayrıca, lisanssız üretime devam etmek istenilen üretim tesislerinde üretilecek ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi için, elektrik piyasasında oluşan piyasa takas fiyatını geçmemek üzere uygulanacak fiyat ve uygulamaya ilişkin usul ve esasların Cumhurbaşkanı tarafından belirleneceği hususuna da yer verilmiştir (Elektrik Piyasası Kanunu, 2013; Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023; ETKB, 2024b).

2019 yılından itibaren yürürlükte olan yönetmelik gereği, bu tarihten sonra kurulan lisanssız enerji üretim santralleri, ilgili firmaların yıllık enerji tüketimleriyle doğrudan ilişkilidir. Yönetmelik doğrultusunda, bu santrallerin ürettiği enerji, önceki yılda tüketilen enerji miktarının 2 katını aşamaz. Üretilen enerji önceki yıl

tüketilen enerjinin 2 katını aşması durumunda aşan miktar, bedelsiz olarak YEKDEM'e aktarılır (Elektrik Piyasası Kanunu, 2013).

Tablo 13'te Türkiye'deki Lisanssız GES'lerin il bazında kurulu güç durumu gösterilmektedir.

Tablo 13. Türkiye İl Bazında Lisanssız Ges Kurulu Gücü (MW)

Sıra	İller	Kurulu Güç	Sıra	İller	Kurulu Güç
1	Konya	1.378,99	25	Kütahya	267,2
2	Gaziantep	1.108,82	26	Aksaray	261,56
3	Ankara	1.011,50	27	Malatya	243,91
4	Kayseri	926,44	28	Diyarbakır	243,66
5	İzmir	849,36	29	Nevşehir	243,07
6	Şanlıurfa	770,77	30	Aydın	241,99
7	Manisa	726,02	31	Karaman	241,91
8	Afyonkarahisar	582,33	32	Yozgat	240,29
9	Kahramanmaraş	568,77	33	Tekirdağ	229,8
10	Adana	541,54	34	Sivas	212,45
11	Bursa	526,63	35	Kocaeli	202
12	Denizli	523,1	36	İstanbul	192,95
13	Antalya	521,55	37	Muğla	185,28
14	Isparta	515,57	38	Adıyaman	183,29
15	Mersin	424,25	39	Bilecik	176,43
16	Erzurum	369,21	40	Çankırı	171,49
17	Elazığ	361,46	41	Sakarya	145,7
18	Eskişehir	359,41	42	Samsun	135,3
19	Balıkesir	354	43	Amasya	134,91
20	Uşak	335,65	44	Erzincan	134,6
21	Burdur	301,16	45	Kırşehir	124,75
22	Çorum	291,77	46	Mardin	110,36
23	Osmaniye	282,72	47	Kırıkkale	107,16

24	Niğde	269,34	48	Van	98,88
49	Ağrı	96,19	66	Giresun	32,76
50	Hatay	94,34	67	Karabük	32,39
51	Bolu	72,21	68	Şırnak	29,49
52	Tokat	71,46	69	Gümüşhane	25,91
53	Bitlis	71,17	70	Muş	22,52
54	Çanakkale	67,47	71	Trabzon	20,38
55	Kilis	66,57	72	Bartın	17,69
56	Düzce	63,03	73	Yalova	17,24
57	Batman	59,49	74	Sinop	12,73
58	Kırklareli	53,77	75	Ordu	8,7
59	Bayburt	50,64	76	Iğdır	7,33
60	Kars	49,51	77	Rize	7,25
61	Zonguldak	49,24	78	Ardahan	7,22
62	Kastamonu	47,64	79	Tunceli	4,26
63	Bingöl	45,49	80	Artvin	1,17
64	Siirt	44,06	81	Hakkari	0,54
65	Edirne	42,88		Genel Toplam	19.722,04

Kaynak: EPDK, 2025, s. 9.-10.-11.

2025 Mart ayı itibarıyla Türkiye'deki güneş enerjisi santrallerinin 2.110 MW'lık kısmı lisanslı, 19.722 MW'lık kısmı ise lisanssız güneş enerji santrallerinden oluşmaktadır. İl bazında kurulu güneş enerjisi güçleri incelendiğinde, liderliği Konya almaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki iller, yüksek güneşlenme süresi ve güneş radyasyon değerleri nedeniyle kurulu güç açısından yüksek potansiyelli iller olarak öne çıkmaktadır. Coğrafi olarak engebeli, dağlık ve yüksek bölgelerde bulunan illerden Ardahan, Tunceli, Hakkâri ve Artvin illeri kurulu güç bakımından en geride olan illerdir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

GES'LERDE YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ: BURSA İLİNDE BİR UYGULAMA

Bu bölümde, güneş enerjisi santrallerinin (GES) ekonomik fizibilitesine odaklanılarak, yatırımın geri dönüş süresi Bursa ili özelinde kurulmuş sekiz adet GES üzerinden ele alınmıştır. GES projelerinin yaygınlaşabilmesi ve yatırımcılar açısından cazip hale gelebilmesi için geri ödeme süresi kritik bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, önce Bursa ilinin güneş enerjisi potansiyeli ortaya konmuş, ardından çalışmanın amacı, kapsamı ve kullanılan yöntem detaylandırılmıştır. Son olarak, yapılan hesaplamalar ve geri ödeme süresi analizleri doğrultusunda elde edilen bulgular sunulmuştur.

1.BURSA HAKKINDA

Bursa, Marmara bölgesinde bulunan ve Türkiye'nin tarihi, kültürel zenginlikleri, sanayisi ve doğal güzellikleriyle dikkat çeken bir şehirdir. "Yeşil Bursa" adıyla da anılan şehir, Osmanlı Devleti'nin ilk başkenti olup, tarihi İpek Yolu'nun en önemli duraklarından biridir. Marmara Bölgesi'nin güneyinde yer alan Bursa, kuzeyde Marmara Denizi ile komşudur. Yaklaşık 3,2 milyonluk (2024 itibarıyla) nüfusuyla Türkiye'nin en kalabalık 4. şehridir (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2025).

Bursa, Türkiye'nin en güçlü ekonomik merkezlerinden biri olarak sanayi alanında büyük bir role sahiptir. Mobilya, tekstil, otomotiv ve makine sanayisi gibi sektörlerde lider konumda olan şehir, 1961 yılında kurulan Türkiye'nin ilk organize sanayi bölgesi (OSB) olan Bursa OSB'nin yanı sıra toplamda 17 organize sanayi bölgesine ev sahipliği yapmaktadır (Bursa Ticaret ve Sanayi Odası, 2023).

Şehirde, çevre dostu üretim ve sürdürülebilir organize sanayi bölgeleri oluşturma hedefiyle çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin, çevreci üretim süreçlerini

teşvik etmek amacıyla Bursa Büyükşehir Belediyesi ile Marmara ve İç Anadolu Sanayi ve İş Dünyası Federasyonu (MARSİFED) iş birliğiyle 22 Kasım 2024 tarihinde "Yeşil Sanayi, Yeşil OSB" zirvesi düzenlenerek bu alandaki farkındalık ve motivasyon artırılmaktadır (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2024).

2.BURSA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ DURUMU

Bursa, güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye ortalamasına göre üst seviyelerde bir kapasiteye sahiptir. Bursa'da güneş enerjisi santralleri ile hem bireysel hem de endüstriyel kullanım yaygınlaşmaktadır. GES'ler, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişte Bursa'nın önemli bir oyuncu olmasını sağlamaktadır.

Yıllık yaklaşık 2.500-2.700 saat güneşlenme süresi ve yıllık ortalama güneş ışınımı 1.400-1.600 kWh/m² sahip olan Bursa, güneş enerjisi sistemlerinden verimli enerji üretimi için uygun bir coğrafi konuma sahiptir (ETKB, 2025).

Ülkemizdeki büyük ölçekli ve ticari faaliyet olarak güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar 2000'li yılların ilk dönemlerinde başlamış olup 2/10/2013 tarihli ve 28783 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik ile resmi olarak faaliyete geçmiştir. İlgili yönetmeliğin yayımlanmasıyla birlikte Bursa, Gürsu Belediye'sinin yapmış olduğu GES projesi ile belediyenin elektrik ihtiyacı karşılanmış olup, ihtiyaç fazlası üretilen enerjinin de satılmasıyla birlikte belediye için gelir imkânı oluşturmuştur. Bu kurulan santral Türkiye'de Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi 'ne ilişkin Yönetmelik'e uygun olarak kurulan ilk resmi santral olmuştur. Bu proje, diğer projelere örnek olmuş ve Türkiye'de lisanssız güneş enerjisi yatırımlarının artmasına öncülük etmiştir. (Yeşil Ekonomi, 2013)

Ülkemizdeki güneş enerjisi faaliyetleri 2013 yılında çıkan yönetmelik ile başlamış olsa da ilerleyen yıllarda yönetmelikte yapılan değişiklikler, Dünya ve Türkiye'deki kullanımın giderek yaygınlaşması, kurulum maliyetlerinin giderek azalması ve 2019 yılında çıkan tüketime esas mahsuplaşma usulü ve tüketim bölgesi ve üretim bölgesinin farklı olabilmesi imkânı ile kurulumlarda ciddi bir artış söz konusu olmuştur. 2019 yılında yayımlanan yönetmeliğin en önemli unsuru

bundan sonra kurulacak lisanssız santrallerin senelik bazda tüketilen enerji miktarının iki katını geçmeyecek; geçerse de sisteme bedelsiz aktarılacak olması sebebiyle lisanssız GES'ler artık elektrik tüketimi fazla olan firmalar için önemli hale gelmiştir.

Bursa'da sanayi üretimin fazla olması elektrik tüketiminin fazlalığını da beraberinde getirmiştir. Son yıllarda dünyadaki enerji fiyatlarının artması ülkemizde de benzer hareket ederek son 5 senede yaklaşık olarak 8-10 kat artış göstermiştir. Yine aynı şekilde işletmelerin üretmiş olduğu enerji maliyetinin önceki zamanlara göre çok fazla artış göstermesi işletmeleri yenilenebilir enerji ile elektrik üreterek enerji maliyetlerini minimuma indirmeye olanak sağlamıştır.

2025 Mart ayı itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu güneş enerjisi kapasitesi 19.722 MW'tır. Bursa, toplam kapasite açısından Konya, Ankara ve Gaziantep gibi şehirlerin gerisinde olsa da 526 MW'lık kurulu güç değeriyle şehirlerimiz arasında 11. Sırada yer almaktadır (bakınız Tablo 13).

Güneş enerjisi santrali yatırımları ülkemizde 2013 yılında başlamış olup yıllar geçtikte hızlanarak artarak 2025 yılı itibariyle maksimum seviyeye çıkmıştır (EPDK, 2025).

Yatırım kararı alınırken değerlendirilen birçok konu olmasıyla beraber en önemli gerekçe ekonomik olarak nasıl bir katkı sağlayacağı noktasıdır.

Bu yatırımlar GES'lerin yaygınlaşması ve elektrik maliyetlerinin artmasının yanı sıra GES kurulum maliyetlerinin giderek azalmasıyla 2019 yılına kadar 5.995 MW olan GES kurulu gücü olan 2024 yılı sonunda 19.618 MW seviyesine çıkarak çok yoğun bir artış göstermiştir (Ember, 2025).

3.ARAŞTIRMANIN AMACI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve Güneş Enerjisi Santralleri her geçen gün popülaritesini arttırarak yaygınlaşan ve hem işletmeler için de hem de ülkeler için enerji arzının en uygun şekilde sağlanması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, sürdürülebilirlik ve çevre politikalarının uygulanması adına en önemli yatırımlardan biri haline gelmektedir.

GES yatırım planı kararı verilirken analiz edilen en önemli çalışmalardan biri de yatırımın fizibilitesi ve geri dönüş süreleridir. Bu çalışmanın temel amacı, güneş enerjisi santralleri yatırımı analiz ederek, Türkiye'de özellikle Bursa ilinde güneş enerjisi yatırımlarının geri dönüş sürelerini değerlendirmektir.

Bu bağlamda, çalışmada güneş enerjisi santrali kurulum maliyetleri, işletme giderleri, enerji üretim kapasiteleri ve mevcut teşvik mekanizmaları dikkate alınarak yatırımın ekonomik geri dönüş süresi belirlenmeye çalışılacaktır. Aynı zamanda, farklı ölçeklerdeki güneş enerjisi santralleri üretim değerleri analizleri yapılarak, yatırımcılar için en uygun modellerin tespit edilmesi hedeflenmektedir.

Bursa ili, güneşlenme süresi, sanayi potansiyeli ve enerji talebi açısından önemli bir konumda yer almaktadır. Bu nedenle, çalışmada Bursa'ya özel meteorolojik veriler, enerji üretim potansiyeli ve ekonomik faktörler göz önünde bulundurularak yerel düzeyde güneş enerjisi yatırımları değerlendirilecektir.

4. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

Bu çalışma, Bursa ilinde kurulmuş olan sekiz adet güneş enerjisi santrallinin yatırım geri dönüş sürelerini analiz etmeyi amaçlamakta olup, teknik, ekonomik ve çevresel faktörlerin etkileri de kıyaslanmıştır. İlgili tesislerin faaliyete başlama tarihleri 2013 – 2023 yılları arasında değişiklik göstermektedir. Bu bağlamda Türkiye'de 2013 yılında kurulmuş olan ilk GES ile yakın zamanda kurulmuş olan GES tesisi arasında geçen sürede kurulum maliyetleri ve gelirdeki değişikliğin ve geri ödeme süresindeki değişikliğin de incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, Türkiye'de resmi kabulü yapılan ilk GES tesisi olan ve 2013 yılında faaliyete başlayan Gürsu Belediyesine ait GES tesisi, 2019 yılında faaliyete başlayan ve mevcut sistemden farklı olarak 0,133 $ cent elektrik satışı fiyatlı arazi GES, 2019 sonrası GES'leri kapsayan yönetmelik değişikliği ile EPDK tarafından aylık belirlenen satış fiyatının artık alış fiyatı olarak da geçerli olacağı yeni sisteme tabii olan 5 adet fabrika üzeri çatı GES ve Gürsu Belediyesinin 2022 yılında faaliyete başlayan yeni arazi üzeri GES tesislerinin geri dönüş süreleri incelenmiştir.

Araştırma, Bursa'nın güneşlenme süresi, iklim koşulları ve bölgesel enerji talebi gibi temel veriler üzerinden yürütülmüş ve farklı ölçeklerde güneş enerjisi

santralleri için yatırım analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda, ilk yatırım maliyetleri, işletme ve bakım giderleri, elektrik satış fiyatları değerlendirilerek yatırımın geri dönüş süresi hesaplanmıştır.

Çalışma aynı zamanda, yenilenebilir enerji politikaları, devlet teşvikleri ve yasal düzenlemeler gibi dışsal faktörleri de ele alarak yatırım süreçlerine etkilerini analiz etmektedir. Bursa özelinde yapılan analizler, yerel koşullara özgü avantajları ve karşılaşılabilecek potansiyel zorlukları ortaya koyarak yatırımcılar ve karar vericiler için örnek niteliğinde bir kaynak oluşturmayı hedeflemektedir.

Araştırma, teorik incelemeler, saha çalışmaları ve ekonomik modellemeler içeren kapsamlı bir metodoloji ile yürütülmüş olup, sonuçların benzer iklim ve ekonomik koşullara sahip diğer bölgeler için de uygulanabilir olması beklenmektedir.

Bu kapsamda elde edilen bulguların, Bursa'daki güneş enerjisi yatırımlarının fizibilitesine ilişkin somut veriler sunması ve gelecekte yapılacak yenilenebilir enerji projeleri için bir örnek oluşturması hedeflenmektedir.

5. YÖNTEM

Bursa ilinde verilerinin incelendiği sekiz adet GES tesisinin kurulum maliyetleri, gerçekleşen üretim değerleri ve gerçekleşmesi beklenen üretim değerleri üzerinden geri ödeme süresi hesabı ile ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılacak enerji üretim değerleri ilgili GES'in uzaktan izleme, kontrol, çevrimiçi sayaç okuma sistemi gibi hizmetleri sağlayan ve tesisle entegre çalışan uzaktan izleme sistemlerinden elde edilmiştir. Bu veriler GES'te kullanılan teknik ekipmanlara göre inverterlerin ya da sayaçların internet aracılığıyla kendi kullanıcı arayüzlerine aktarmış olduğu verilerdir. İncelenen sekiz adet GES tesisinde dört farklı veri sağlayıcısı kullanılmıştır. Bu arayüzler; Shine Monitor, iSolarCloud, Growatt ve Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. nin Online Sayaç Okuma Sistemi (OSOS)'dir. Bu programlar; GES'lerin kurulmuş oldukları tarihten günümüze kadar kaç kilowatt/saat elektrik üretmiş olduklarını göstermektedir. Ayrıca gelir hesaplanırken kullanılan elektrik birim satış bedeli EPDK tarafından belirlenmektedir ve bu bedelin verileri EPDK'nın web sitesi aracılığıyla elde edilmiştir.

İncelemesi yapılan GES'lerin kurulum maliyetleri ilgili kurum ya da firmanın yüklenici firma ile yapmış olduğu anahtar teslim yapım sözleşmesinden elde edilmiştir. Gider kalemleri; GES tesislerinde bulunan çalışan ödemeleri, bakım giderleri, mühendislik hizmetleri, çevresel düzenleme harcamaları ve GES sigortası bedelleri gibi harcamaların ilgili firmaların yetkili görüşmeleri, kurum ve kuruluşların bilgilendirme verilerinden alınmıştır. Gider kalemlerinde aylık, birkaç aylık ya da yıllık periyotlar ile yapılan harcamalar yıllık bazda toplanıp aylara bölünerek aylık ortalama gider bedelleri oluşturulmuştur.

Yatırımın geri dönüş süresinin hesaplaması yapılırken, kurulmuş olan tesislerin yatırım maliyeti kadar gelir elde edildiği senenin verileri alınmıştır. Henüz yatırım maliyeti kadar gelir elde edilmemiş tesislerde 2025 Ocak ayına kadarki sürede gerçekleşen kesin üretim değerleri alınmıştır. 2025 Ocak sonrası üretim değerleri için, önceki senelerdeki gerçekleşen üretim değerleri ile PVSyst simülasyon programlarındaki verilen üretim değerlerinin ortalaması alınmıştır.

5.1 PVSyst

PVsyst, İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen bir simülasyon yazılımıdır. Bu program, fotovoltaik (PV) sistemlerin boyutlandırılması, simülasyonu ve veri analizini gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Mimarlar, mühendisler ve araştırmacılar için çeşitli araçlar sunan PVsyst hem şebekeye bağlı sistemlerin hem de bağımsız çalışan sistemlerin modellenmesine olanak tanıyan, güneş enerjisi sistemlerin tasarımı, hesaplamaları ve simülasyonu amacıyla geliştirilmiş bir paket programdır (PVsyst, 2025). Bu program, mühendisler ve araştırmacılar tarafından güneş enerjisi santrallerinin planlanması ve optimize edilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı meteorolojik veriler kullanılarak GES üretimini simüle ederek üretim ve kayıp tahminleri yapmaktadır.

PVSyst, simülasyonlarında Meteonorm gibi küresel meteorolojik veri kaynaklarından faydalanır. Meteonorm, dünya genelindeki güneş radyasyonu, sıcaklık, nem, rüzgâr gibi meteorolojik verileri sağlayan bir veri tabanı ve yazılımdır. Bu yazılım, özellikle yenilenebilir enerji sistemleri, bina enerji verimliliği ve iklim analizleri gibi alanlarda kullanılır. Meteonorm, uzun yıllara dayanan

ölçümler ve uydu verilerini birleştirerek küresel çapta kapsamlı bir meteorolojik veri kaynağı sunar. Kullanıcılar, belirli bir konum için geçmiş iklim verilerini alabilir veya tahmini iklim senaryolarını oluşturabilir. Bu özellikleriyle, PVsyst gibi güneş enerjisi simülasyon programlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Meteotest, 2024).

Meteonorm, dünya genelindeki güneş radyasyonu ve hava durumu verilerini içeren kapsamlı bir veri tabanıdır. Bu veriler sayesinde PVSyst, geçmiş hava durumu bilgilerine dayanarak enerji üretimini tahmin eder ve böylece tasarım aşamasında güneş enerjisi santralinin performansı hakkında daha doğru tahminler yapılmasını sağlar.

Bu programın avantajları gelişmiş simülasyon kapasitesi, tasarım ve fizibilite, karşılaştırma ve optimizasyon seçenekleri şeklinde sıralanabilir. Gelişmiş simülasyon kapasitesi, güneş enerjisi santrallerinin performansını analiz etmek için kapsamlı ve detaylı simülasyon olanakları sunar. Farklı senaryolar ve hava koşullarının etkilerini kolayca değerlendirme olanağı sunar. Ayrıca güneş enerjisi santrallerinin ilk tasarım aşamalarında ve fizibilite çalışmalarında önemli bir avantaj sağlar. Çeşitli konfigürasyonlar ve bileşenler analiz edilerek en verimli ve ekonomik çözüm belirlenmesini sağlar. Bir diğer avantajı ise farklı PV sistem yapılandırmaları ve bileşenlerini simüle ederek modüller, invertörler ve montaj sistemleri arasında karşılaştırmalar yapılmasına olanak tanır. PVsyst, sağladığı bu özellikler sayesinde güneş enerjisi santrallerinin verimli ve doğru bir şekilde tasarlanması ve optimize edilmesi için güçlü bir araçtır. (InvesThinker, 2024)

Bu sebeple bu çalışmada henüz gerçekleşmemiş üretim değerleri için PVsyst programının üretim tahmini verileri beklenen üretim değeri hesaplarında kullanılmıştır.

Bu çalışmanın yanı sıra akademik literatürde PVSyst kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle fizibilite çalışmalarında ve enerji tüketiminin karşılanmasının belirlenmesine ihtiyaç olan çalışmalarda bu program fazlaca kullanılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak; Kumba vd. (2025) Zimbabve, Midlands Eyalet Üniversitesi kampüsü için şebekeye bağlı bir güneş fotovoltaik (PV) sisteminin uygulanmasının fizibilitesini PVSyst programıyla simüle etmiştir. Yine benzer

olarak Debnath vd. (2024) Dakka'daki bir üniversite çatısı üzerine şebeke bağlı bir GES sistemini PVSyst programıyla simüle etmiştir. Tundwal vd. (2024) Maharana Pratap Tarım ve Teknoloji Üniversitesi için 546 kWp'lik bir GES için sistemin tasarımı ve simülasyonu için kullanmışlardır. Sistemin enerji üretim potansiyelini, yatırım getirisini, sistemin performansını ölçmüşlerdir. Bu çalışma ile yenilenebilir enerji çözümlerinin eğitim kurumlarına entegre edilmesi konusunda görüşler sağlamakta ve üniversitenin vizyonuyla uyumlu etkili bir PV sistemi kurmak için hükümet organları, yatırımcılar ve toplum arasında iş birliğini teşvik etmek amaçlanmıştır. Bakır ve Channi (2022) Afganistan'ın Daikundi kentinde 700 kWp'lik şebekeye bağlı bir güneş enerjisi santralinin simülasyonu PVSyst programı kullanılarak sunulmuş ve performansları değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile enerjideki dışa bağımlılığını azaltmayı hedefleyen Afganistan hükümetinin 2032 yılına kadar kurmayı hedeflediği 5.000 MW yenilenebilir enerji tesislerinin fizibilite ve verimlilik değerlerine örnek oluşturmalarını hedeflemişlerdir. Üründü (2025) yüksek lisans tez çalışmasında Konya ilindeki 1 MW'lık GES tesisi tasarımı ve simülasyon çalışması yapılmıştır. Daha sonrasında bu çalışmadaki değerleri saha verileri ile karşılaştırarak performans analizi gerçekleştirmiştir. Bu doğrultuda simülasyon için kullanmış olduğu PVSyst ve PVSol programlarını kıyaslamış, PVSol ile gerçeğe daha yakın veriler elde ettiğini belirtmiştir. Bunun yanı sıra Şahin (2024) yüksek lisans tez çalışmasında Kahramanmaraş ili Göksun ilçesinde kurulmuş olan 1 MW güneş enerjisi üretim santrallerinin PVsyst programı kullanılarak modellenmesi gerçekleştirmiş ve bu sistemlerin üretim verilerini karşılaştırmıştır. PVsyst tarafından simüle edilen yıllık enerji üretimi ile sahadan elde edilen gerçek veriler arasındaki sapma oranını yaklaşık %3,33 olarak belirlemiştir. Bu çalışma ile PVsyst programının santral performansını oldukça yakın bir doğrulukla modelleyebildiğini ve enerji üretim tahminlerinde etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

5.2 Geri Ödeme Süresi Hesabı

Geri ödeme süresi, bir projenin elde ettiği toplam getirilerin, yatırım maliyetlerini aşarak kâra geçmeye başladığı zamanı ifade eder. Başka bir deyişle, yatırımın kendini ne kadar sürede amorti ettiğini gösteren bir ölçüttür. Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan geri ödeme

süresi yöntemi, yatırımcılara projelerinin ne kadar sürede finansal olarak geri dönüş sağlayacağını anlamada önemli bir rehber sunar.

Geri ödeme süresi, doğrudan kârlılığı ölçen bir kriter olmamakla birlikte, zaman bazlı bir değerlendirme aracıdır. Geri ödeme süresinin kısalması, yatırımın daha düşük risk taşıdığını ve likiditesinin arttığını göstermektedir (Girgin, 2011).

Geri ödeme süresi şu şekilde formüle edilmektedir:

$$Geri\ Ödeme\ Süresi\ (GÖS) = \frac{Yatırım\ Tutarı\ (YT)}{(\text{Yıllık Net Nakit Girişi (Ngy)} - \text{Yıllık Gider(YG)})}$$

Bu formülün sonucuna göre elde edilen geri ödeme süresi yıllık bazda ifade edilmektedir.

Literatürde güneş enerjisi ve GES'lerin içerikleri, faydaları, maliyet ve ekonomik analizleriyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. İlk yıllardaki çalışmaların sonuçları tesis verimleri olarak düşük, fizibilite olarak çok cazip olmadığı sonucu çıkmış olsa da çevreci ve ülke politikaları olarak bu tesislerin önemi vurgulanmıştır. Son yıllardaki çalışmalarda ise artık bu yatırımların çok daha verimli ve ekonomik olarak cazip, geri ödeme sürelerinin çok daha kısa olduğu ve ülke politikaları, karbonsuzlaştırma ve karbon ayak izi gibi çalışmalar sebebiyle bu yatırımların olmazsa olmaz noktaya geldiğini ortaya koymaktadır. Ülkemizde 2013 yılında kurulmaya başlanan GES'ler ile ilgili Girgin (2011) çalışmasında Karaman bölgesinde kurulması planlanan GES için farklı ürünler ve teknik değişikliklerle alternatif sistemler oluşturularak en uygun sistemin elde edilmesine yönelik simülasyon programı aracılığıyla çalışmalar yapıp farklı sistemler için yapılan hesaplamalar sonucu, en uygun sistemi seçmiş ve bu sisteme ait tüm finansal değerleri göstermiştir. Mühendislik ve ekonomik açıdan fotovoltaik panelli güneş enerji sistemlerinin birbirlerine göre durumları varyasyonel olarak değerlendirilmiştir analiz etmiştir. Demirtürk (2013) ise Muğla ilinde kurulabilecek rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımını teknik ve ekonomik olarak karşılaştırarak GES ve RES yatırımlarını kıyaslamıştır ve ilgili yıl ve bölge koşullarına göre RES yatırımının maliyeti yüksek çıkmış olup verimlilik ve geri ödeme süresinin GES'e göre daha iyi olduğunu belirlemiştir. Küçükgöze ve Kaya (2016) Erzincan ili için 50 kW'lık bir GES tesisinin maliyet analizi çalışması yapmış olup, elde etmiş

olduğu bulgulara göre geri dönüşüm süresi çalışmaları da yapmıştır. Kayıkcı ve Kılıç (2018) konuttaki kullanım için hibrit bir yenilenebilir enerji sistemi için fizibilite çalışması yapmıştır. Arıkan ve Çam (2018), rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin fizibilitesinin web tabanında gerçekleşmesini sağlayan bir arayüz geliştirmişlerdir. Sarı ve Özyiğit (2020), Sivas ilinde on adet GES tesisinin tasarımını PVSyst programı aracılığıyla simüle edilerek fizibilite çalışmaları yapmışlardır. Aksu (2021), ise GES yatırımlarının ekonomik analizi ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Arslan (2024), yüksek lisans tez çalışmasında İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak kampüsünün enerji ihtiyacının GES ile karşılanmasıyla ilgili simülasyon ve tasarım çalışması yapılmış, ekonomik olarak fizibilitesi, enerji verimliliği analiz edilip ömrü 25 yıl olarak ön görülen santralin ekonomik açıdan sürdürülebilirliği belirlenmiştir.

Bu çalışmalarda yapılan analizler, inşa edilen ya da edilmesi planlanan GES'lerin tek başına değerlendirilerek elde edilen bulguları ya da aynı ilde ancak farklı bölgelerde aynı anda yapılması senaryosunda bölgelere göre değişikliğin kıyaslandığı çalışmalardır.

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak; hali hazırda faaliyetine devam eden, Ocak 2025 tarihine kadar da üretilen enerjinin kesin değerleri üzerinden ile yapılan analizler yer almaktadır. Henüz gerçekleşmemiş üretim değerleri ise PVsyst programı aracılığıyla elde edilen beklenen değerler üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu doğrultuda çalışmanın literatürdeki çalışmalardan ayrıldığı konu Bursa'daki farklı zamanlarda ve farklı büyüklüklerdeki GES'lerin faaliyete başlamış oldukları dönemden itibaren ne kadar sürede yatırım geri dönüş süresinin sağlandığının kıyaslanmasıdır.

Türkiye'de resmi kabulü yapılan ilk GES tesisi olan ve 2013 yılında faaliyete başlayan Gürsu Belediyesine ait GES tesisi, 2019 yılında faaliyete başlayan ve mevcut sistemden farklı olarak 0,133 $ cent elektrik satışı fiyatlı arazi GES, 2019 sonrası GES'leri kapsayan yönetmelik değişikliği ile EPDK tarafından aylık belirlenen satış fiyatının artık alış fiyatı olarak da geçerli olacağı yeni sisteme tabii

olan 5 adet fabrika üzeri çatı GES ve Gürsu Belediyesinin 2022 yılında faaliyete başlayan yeni arazi üzeri GES tesislerinin geri dönüş süreleri incelenmiştir.

Bu araştırma kapsamında; Bursa ilinde bulunan sekiz adet güneş enerjisi santrali üzerinde çalışma yapılmıştır, dolayısıyla elde edilen bulgular Türkiye geneline doğrudan genellenememekle beraber coğrafi koşullarda benzerlik göstermesi beklenmektedir. Çalışmanın Bursa ilindeki GES'lere yönelik olması, çalışmanın kısıtı olarak kabul edilmektedir.

Çalışmada kullanılan veriler her GES için kendi yılına ait olup, farklı yıllardaki kurulum maliyetleri Türkiye'deki döviz kurundaki değişiklikler ve Dünya'daki güneş enerjisi ekipmanlarındaki fiyat değişiklikleri sebebiyle farklılık göstermektedir. Farklı tarihlerdeki aynı büyüklükteki kurulmuş ya da kurulacak olan GES'ler farklı tarihlerde farklı total/birim fiyat farklılıkları olabilmektedir.

Henüz üretimi gerçekleşmemiş 2025 Ocak ayı verilerinden sonraki veriler PVsyst simülasyon programı aracılığı ve önceki verilerin ortalamasıyla elde edilmiştir. Bu doğrultuda ilerleyen zamanlarda beklenmedik coğrafi değişikliklerin olabilmesine istinaden oluşabilecek farklı güneşlenme süreleri ilgili analizlerde değişiklikler gösterebilmektedir. Aynı zamanda 2025-2026-2027 yıllarındaki elektrik birim fiyatları mevcut fiyatlar üzerinden her sene %25'lik bir artış öngörüsü kabul edilerek analiz edilmiştir.

6. BULGULAR

Bu yönteme göre GES'lerin üretim değerlerine, kurulum maliyetlerine ve kazançlarına göre geri ödeme sürelerini ve kümülatif gelir grafiklerini gösterir tablolar aşağıda sıralanmıştır. Bu tablolarda ilgili tesislerin faaliyet başlamış oldukları tarihten itibaren geri ödeme süresinin tamamlandığı yıla kadar olan veriler senelik/aylık olarak gösterilmiştir.

GES 1:

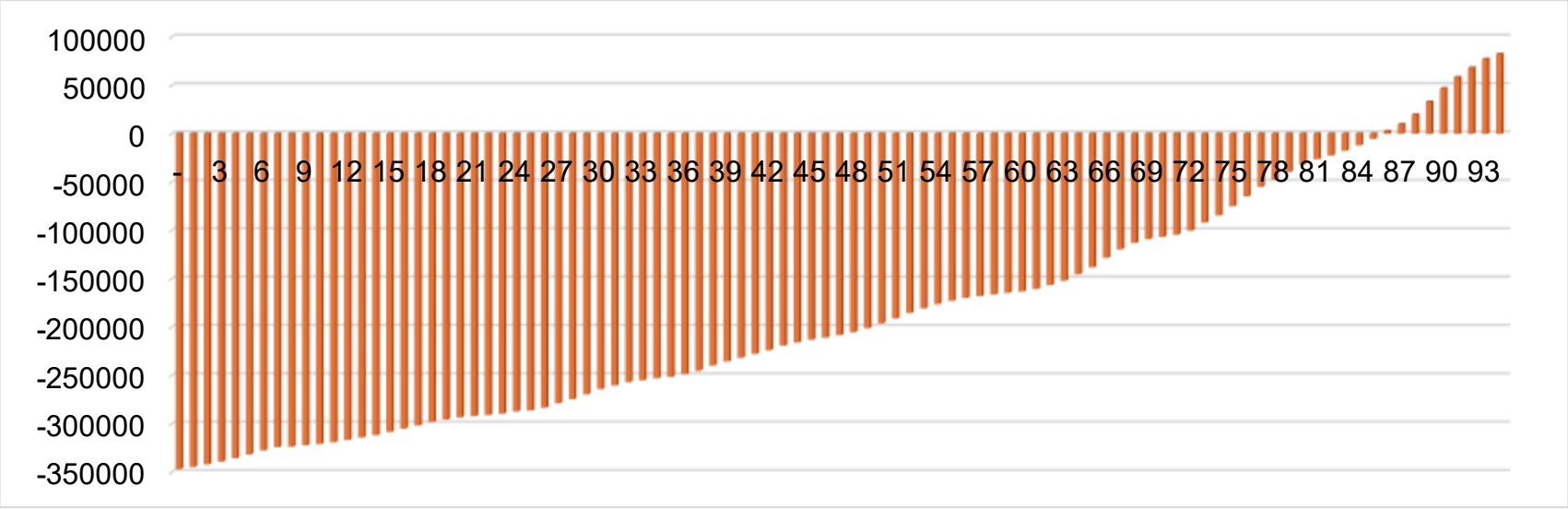
GES 1, Mart 2013 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 346.500 TL'dir. 97 kWp kurulu güç değerine sahip olup arazi tipi GES tesisidir.

Tablo 14. GES 1 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
						-	-346.500,00 TL
2013	Yıllık	106.870	27.376,00 TL	1.770,00 TL	25.783,00 TL	10	-320.717,00 TL
2014	Yıllık	112.890	32.598,54 TL	2.484,00 TL	30.114,54 TL	22	-290.602,46 TL
2015	Yıllık	112.580	40.670,90 TL	2.712,00 TL	37.958,90 TL	34	-252.643,56 TL
2016	Yıllık	114.010	45.125,29 TL	3.000,00 TL	42.125,29 TL	46	-210.518,26 TL
2017	Yıllık	99.670	47.874,31 TL	3.432,00 TL	44.442,31 TL	58	-166.075,95 TL
2018	Yıllık	95.210	63.721,80 TL	4.020,00 TL	59.701,80 TL	70	-106.374,15 TL
2019	Yıllık	116.730	88.485,94 TL	4.428,00 TL	84.057,94 TL	82	-22.316,21 TL
2020	Ocak	6.590	5.212,89 TL	435,00 TL	4.777,89 TL	83	-17.538,32 TL
	Şubat	7.520	6.081,37 TL	435,00 TL	5.646,37 TL	84	-11.891,95 TL
	Mart	8.490	7.149,11 TL	435,00 TL	6.714,11 TL	85	-5.177,83 TL
	Nisan	9.360	8.341,44 TL	435,00 TL	7.906,44 TL	86	2.728,61 TL
	Mayıs	8.310	7.580,88 TL	435,00 TL	7.145,88 TL	87	9.874,49 TL
	Haziran	11.230	10.485,45 TL	435,00 TL	10.050,45 TL	88	19.924,94 TL

GES 1 örneğinde 97 kW kurulu güçteki tesis 346.500 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2013 Mart ayından itibaren 86. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşmıştır. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. GES 1 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



GES 2:

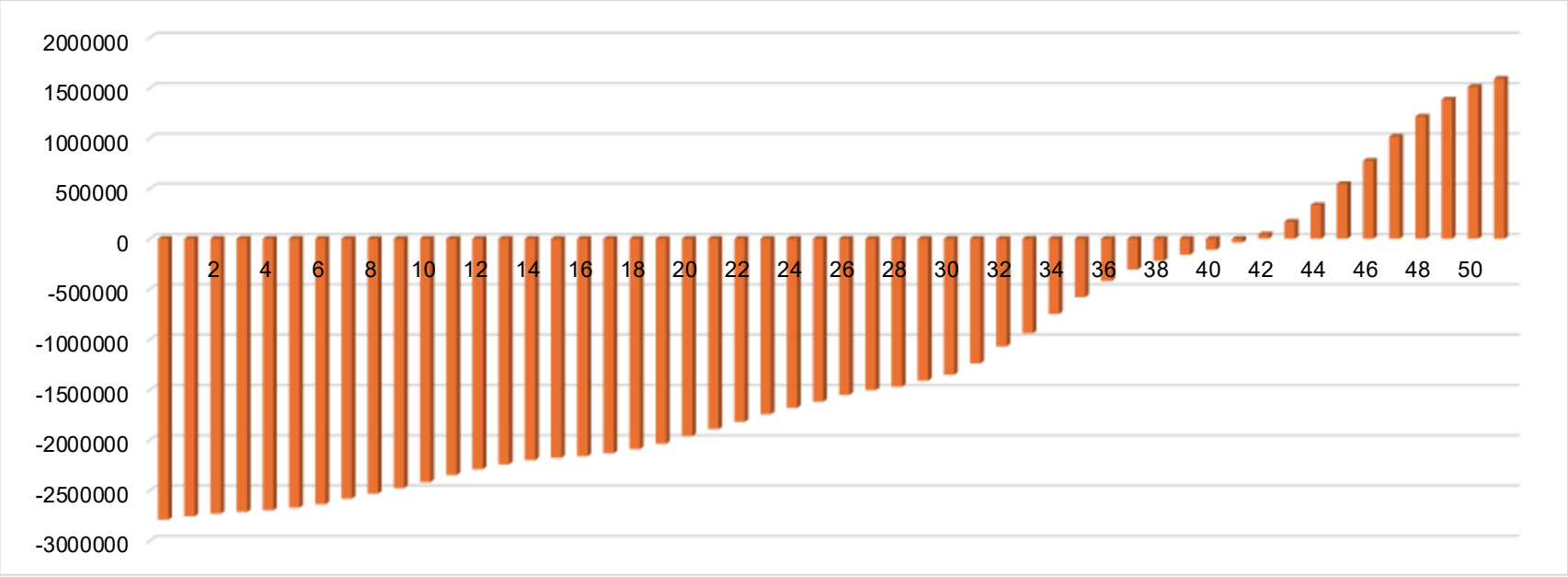
GES 2, Ekim 2013 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 2.793.000 TL'dir. 567 kWp kurulu güç değerine sahip olup arazi tipi GES tesisidir.

Tablo 16. GES 2 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
							-2.793.000,00 TL
2019	Yıllık	146.510	85.681,21 TL	8.061,00 TL	77.620,21 TL	3	-2.715.379,79 TL
2020	Yıllık	744.807	570.559,67 TL	33.610,00 TL	536.949,67 TL	15	-2.178.430,12 TL
2021	Yıllık	740.453	722.217,95 TL	49.340,00 TL	672.877,95 TL	27	-1.505.552,17 TL
2022	Yıllık	724.429	1.425.603,95 TL	77.738,00 TL	1.347.865,95 TL	27	-157.686,22 TL
2023	Ocak	30.750	56.374,90 TL	9.740,42 TL	46.634,48 TL	40	-111.051,74 TL
	Şubat	44.350	81.662,10 TL	9.740,42 TL	71.921,68 TL	41	-39.130,06 TL
	Mart	49.621	93.215,53 TL	9.740,42 TL	83.475,11 TL	42	44.345,06 TL
	Nisan	70.422	135.007,42 TL	9.740,42 TL	125.267,01 TL	43	169.612,06 TL
	Mayıs	83.263	174.575,03 TL	9.740,42 TL	164.834,62 TL	44	334.446,68 TL
	Haziran	78.756	220.116,72 TL	9.740,42 TL	210.376,30 TL	45	544.822,98 TL
	Temmuz	84.230	239.160,14 TL	9.740,42 TL	229.419,72 TL	46	774.242,70 TL

GES 2 örneğinde 567 kW kurulu güçteki tesis 2.793.000 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2019 Ekim ayından itibaren 42. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşmıştır. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 177. GES 2 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



GES 3:

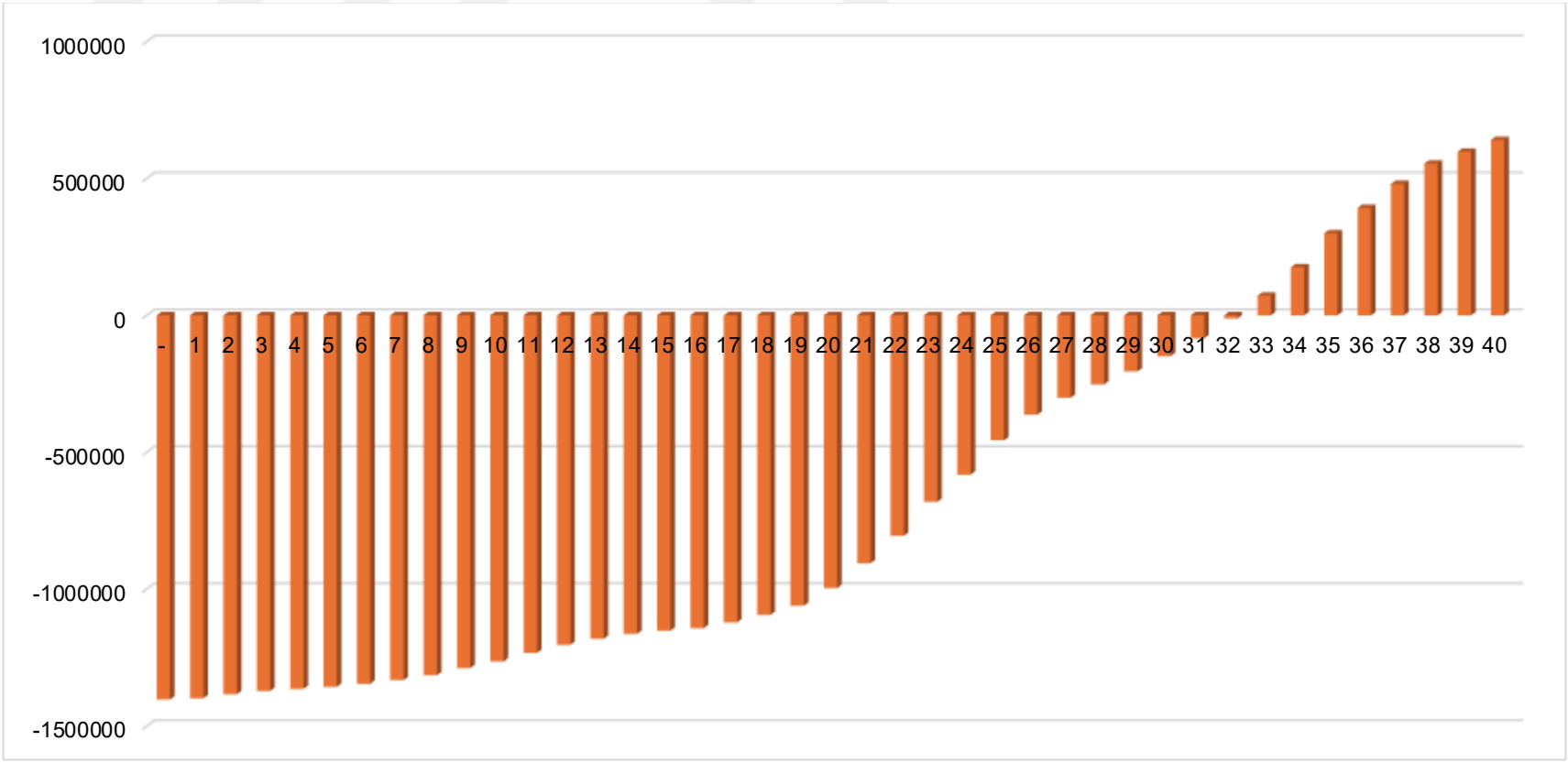
GES 3, Eylül 2013 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 1.402.372,84 TL'dir. 243 kWp kurulu güç değerine sahip olup çatı tipi GES tesisidir.

Tablo 18. GES 3 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
						-	-1.402.372,84 TL
2020	Yıllık	63.810	39.680,72 TL	1.712,00 TL	37.968,72 TL	4	-1.364.404,12 TL
2021	Yıllık	328.070	234.829,26 TL	12.652,00 TL	222.177,26 TL	16	-1.142.226,85 TL
2022	Yıllık	324.630	908.775,73 TL	18.803,00 TL	889.972,73 TL	28	-252.254,12 TL
2023	Ocak	14.340	49.346,03 TL	1.927,92 TL	47.418,12 TL	29	-204.836,00 TL
	Şubat	16.700	57.467,14 TL	1.927,92 TL	55.539,22 TL	30	-149.296,78 TL
	Mart	19.490	67.067,94 TL	1.927,92 TL	65.140,02 TL	31	-84.156,76 TL
	Nisan	25.430	74.396,43 TL	1.927,92 TL	72.468,51 TL	32	-11.688,24 TL
	Mayıs	29.100	85.133,16 TL	1.927,92 TL	83.205,24 TL	33	71.516,99 TL
	Haziran	36.070	105.524,16 TL	1.927,92 TL	103.596,24 TL	34	175.113,23 TL
	Temmuz	43.240	126.500,26 TL	1.927,92 TL	124.572,35 TL	35	299.685,58 TL
	Ağustos	32.370	94.699,67 TL	1.927,92 TL	92.771,75 TL	36	392.457,33 TL
	Eylül	30.500	89.228,91 TL	1.927,92 TL	87.300,99 TL	37	479.758,32 TL

GES 3 örneğinde 243 kW kurulu güçteki tesis 1.402.372 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2019 Eylül ayından itibaren 33. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşmıştır. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 89. GES 3 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



GES 4:

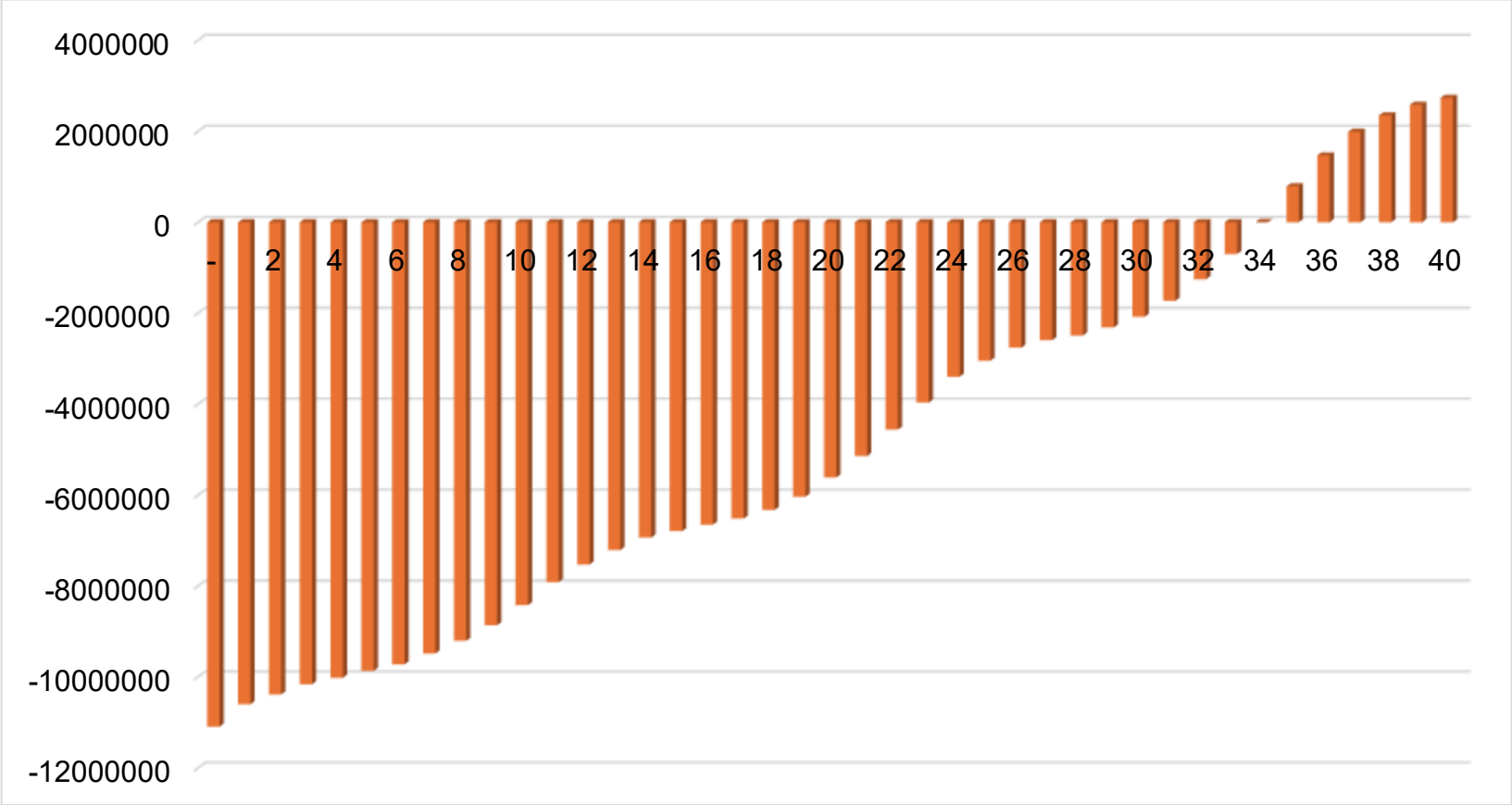
GES 4, Eylül 2022 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 11.092.000 TL'dir. 1097 kWp kurulu güç değerine sahip olup çatı tipi GES tesisidir.

Tablo 20. GES 4 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
						-	-11.092.000,00 TL
2022	Yıllık	269.251	1.102.493,45 TL	27.073,33 TL	1.075.420,12 TL	4	-10.016.579,88 TL
2023	Yıllık	1.122.314	3.463.585,07 TL	100.310,00 TL	3.363.275,07 TL	16	-6.653.304,81 TL
2024	Yıllık	1.224.534	4.298.455,98 TL	135.774,00 TL	4.162.681,98 TL	28	-2.490.622,83 TL
2025	Ocak	44.573	195.578,12 TL	16.840,30 TL	178.737,82 TL	29	-2.311.885,01 TL
	Şubat	57.155	250.786,03 TL	16.840,30 TL	233.945,73 TL	30	-2.077.939,27 TL
	Mart	83.865	367.985,47 TL	16.840,30 TL	351.145,17 TL	31	-1.726.794,10 TL
	Nisan	112.329	492.881,20 TL	16.840,30 TL	476.040,90 TL	32	-1.250.753,20 TL
	Mayıs	129.848	569.753,38 TL	16.840,30 TL	552.913,08 TL	33	-697.840,12 TL
	Haziran	164.404	721.379,89 TL	16.840,30 TL	704.539,59 TL	34	6.699,47 TL
	Temmuz	182.239	799.637,17 TL	16.840,30 TL	782.796,87 TL	35	789.496,34 TL
	Ağustos	159.019	697.752,78 TL	16.840,30 TL	680.912,48 TL	36	1.470.408,82 TL
	Eylül	122.482	537.431,03 TL	16.840,30 TL	520.590,73 TL	37	1.990.999,55 TL

GES 4 örneğinde 1097 kW kurulu güçteki tesis 11.092.000 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2022 Eylül ayından itibaren 34. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşmıştır. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. GES 4 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



GES 5:

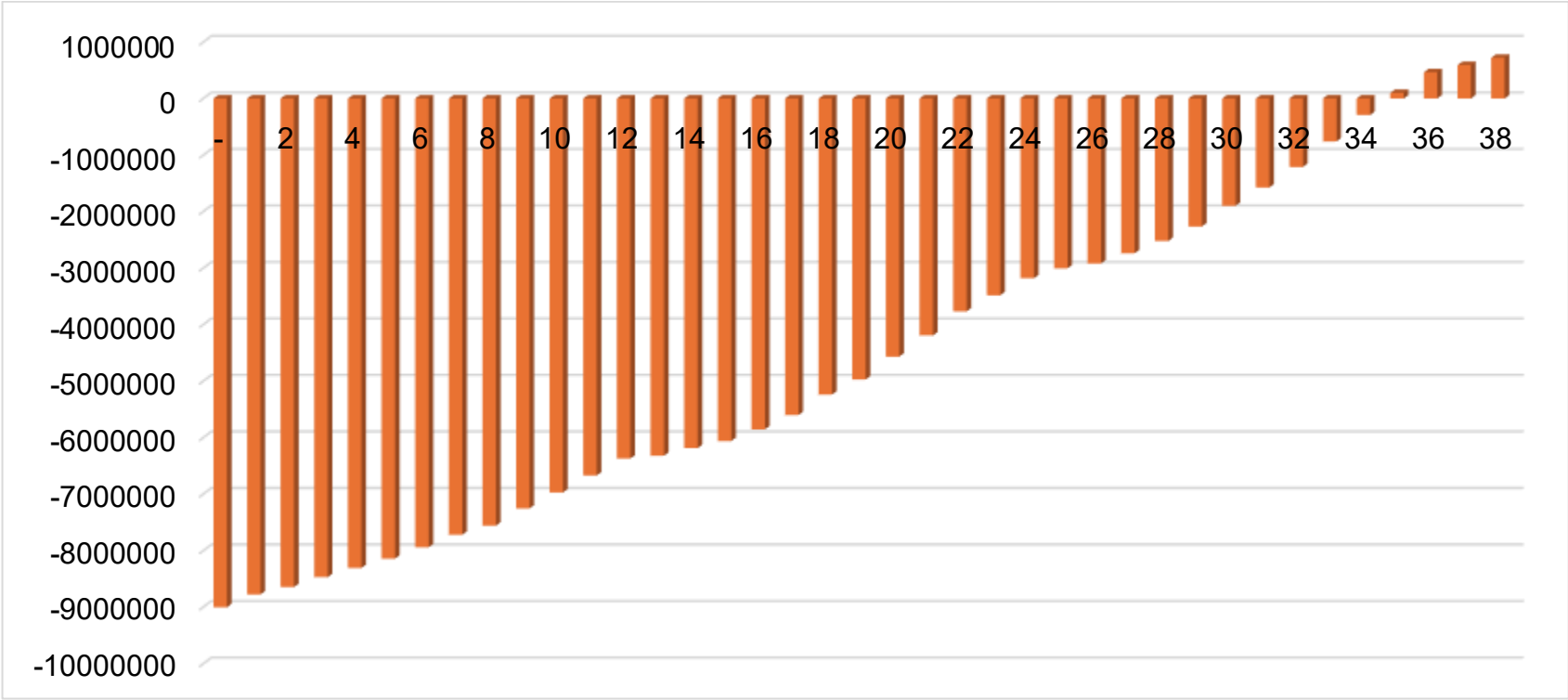
GES 5, Kasım 2022 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 9.004.500 TL'dir. 715 kWp kurulu güç değerine sahip olup arazi tipi GES tesisidir.

Tablo 92. GES 5 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
						-	-9.004.500,00 TL
2022	Yıllık	91.770	375.767,68 TL	18.314,30 TL	357.453,38 TL	2	-8.647.046,62 TL
2023	Yıllık	846.790	2.648.567,55 TL	188.850,21 TL	2.459.717,34 TL	14	-6.187.329,28 TL
2024	Yıllık	1.030.570	3.617.588,23 TL	349.396,38 TL	3.268.191,85 TL	26	-2.919.137,42 TL
2025	Ocak	50.070	219.699,59 TL	39.994,41 TL	179.705,18 TL	27	-2.739.432,25 TL
	Şubat	59.105	259.343,80 TL	39.994,41 TL	219.349,39 TL	28	-2.520.082,86 TL
	Mart	66.910	293.590,96 TL	39.994,41 TL	253.596,55 TL	29	-2.266.486,31 TL
	Nisan	92.285	404.932,62 TL	39.994,41 TL	364.938,21 TL	30	-1.901.548,10 TL
	Mayıs	83.375	365.836,89 TL	39.994,41 TL	325.842,48 TL	31	-1.575.705,62 TL
	Haziran	91.430	401.181,01 TL	39.994,41 TL	361.186,60 TL	32	-1.214.519,02 TL
	Temmuz	112.795	494.927,40 TL	39.994,41 TL	454.932,99 TL	33	-759.586,03 TL
	Ağustos	115.280	505.831,20 TL	39.994,41 TL	465.836,79 TL	34	-293.749,24 TL
	Eylül	98.795	433.497,52 TL	39.994,41 TL	393.503,11 TL	35	99.753,87 TL

GES 5 örneğinde 715 kW kurulu güçteki tesis 9.004.500 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2022 Kasım ayından itibaren 35. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşması beklenmektedir. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. GES 5 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



GES 6:

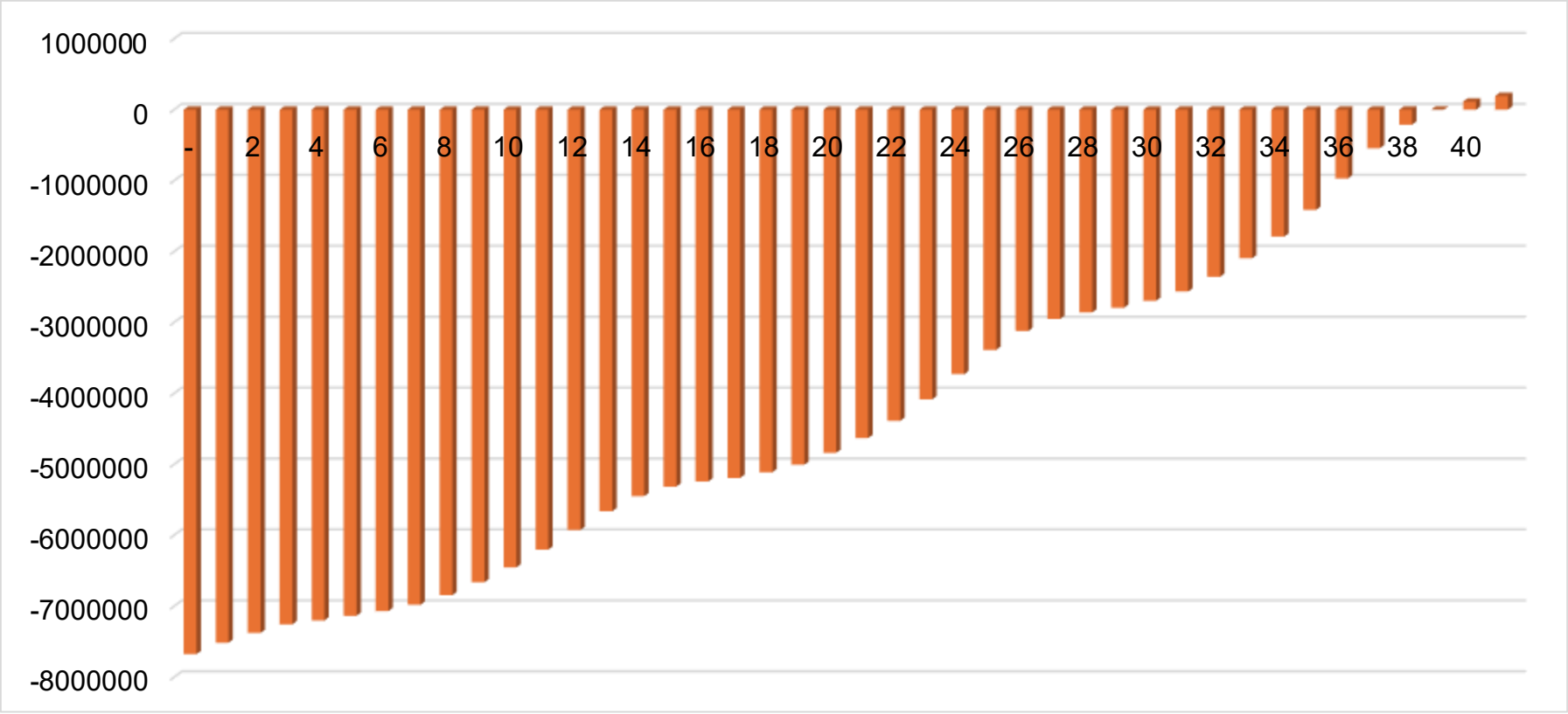
GES 6, Ağustos 2023 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 7.676.250 TL'dir. 460 kWp kurulu güç değerine sahip olup çatı tipi GES tesisidir.

Tablo 24. GES 6 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
						-	-7.676.250,00 TL
2023	Yıllık	175.108	554.080,06 TL	15.007,59 TL	539.072,47 TL	5	-7.137.177,53 TL
2024	Yıllık	567.995	1.993.820,92 TL	48.903,09 TL	1.944.917,83 TL	17	-5.192.259,70 TL
2025	Yıllık	562.830	2.469.612,91 TL	71.137,25 TL	2.398.475,66 TL	29	-2.793.784,03 TL
2026	Ocak	19.297	105.840,40 TL	8.215,18 TL	97.625,22 TL	30	-2.696.158,82 TL
	Şubat	25.599	140.405,68 TL	8.215,18 TL	132.190,50 TL	31	-2.563.968,32 TL
	Mart	39.595	217.171,09 TL	8.215,18 TL	208.955,91 TL	32	-2.355.012,41 TL
	Nisan	48.917	268.300,50 TL	8.215,18 TL	260.085,32 TL	33	-2.094.927,09 TL
	Mayıs	57.074	313.040,10 TL	8.215,18 TL	304.824,92 TL	34	-1.790.102,17 TL
	Haziran	70.197	385.014,53 TL	8.215,18 TL	376.799,35 TL	35	-1.413.302,82 TL
	Temmuz	82.356	451.707,09 TL	8.215,18 TL	443.491,91 TL	36	-969.810,91 TL
	Ağustos	78.946	433.003,88 TL	8.215,18 TL	424.788,71 TL	37	-545.022,20 TL
	Eylül	62.130	340.771,30 TL	8.215,18 TL	332.556,12 TL	38	-212.466,08 TL
	Ekim	40.322	221.158,55 TL	8.215,18 TL	212.943,37 TL	39	477,29 TL

GES 6 örneğinde 460 kW kurulu güçteki tesis 7.676.250 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2023 Ağustos ayından itibaren 39. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşması beklenmektedir. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. GES 6 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



GES 7:

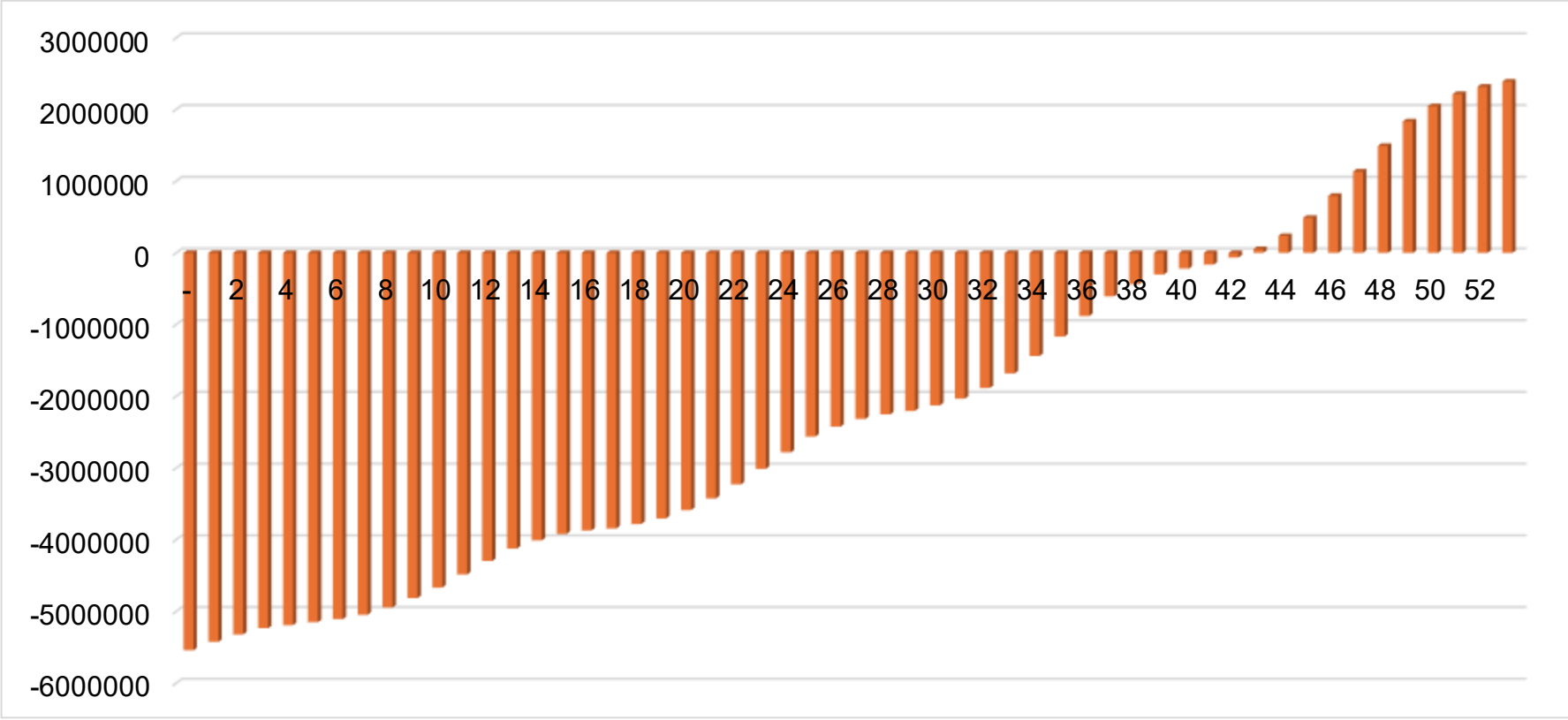
GES 7, Ağustos 2023 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 5.540.250 TL'dir. 332 kWp kurulu güç değerine sahip olup çatı tipi GES tesisidir.

Tablo 26. GES 7 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
						-	-5.540.250,00 TL
2023	Yıllık	127.599	402.940,34 TL	10.839,17 TL	392.101,17 TL	5	-5.148.148,83 TL
2024	Yıllık	382.227	1.341.723,41 TL	35.321,36 TL	1.306.402,05 TL	17	-3.841.746,78 TL
2025	Yıllık	385.271	1.690.508,68 TL	51.384,28 TL	1.639.124,41 TL	29	-2.202.622,37 TL
2026	Yıllık	385.271	2.113.135,85 TL	71.207,99 TL	2.041.927,87 TL	41	-160.694,51 TL
2027	Ocak	15.145	103.830,90 TL	7.546,87 TL	96.284,03 TL	42	-64.410,47 TL
	Şubat	18.432	126.370,04 TL	7.546,87 TL	118.823,18 TL	43	54.412,71 TL
	Mart	27.804	190.624,60 TL	7.546,87 TL	183.077,74 TL	44	237.490,45 TL
	Nisan	37.988	260.442,82 TL	7.546,87 TL	252.895,95 TL	45	490.386,40 TL
	Mayıs	45.720	313.456,95 TL	7.546,87 TL	305.910,08 TL	46	796.296,48 TL
	Haziran	50.471	346.029,87 TL	7.546,87 TL	338.483,00 TL	47	1.134.779,48 TL
	Temmuz	53.139	364.321,71 TL	7.546,87 TL	356.774,85 TL	48	1.491.554,33 TL
	Ağustos	51.149	350.678,24 TL	7.546,87 TL	343.131,38 TL	49	1.834.685,70 TL
	Eylül	32.063	219.824,37 TL	7.546,87 TL	212.277,50 TL	50	2.046.963,21 TL
	Ekim	25.688	176.117,28 TL	7.546,87 TL	168.570,41 TL	51	2.215.533,62 TL
	Kasım	15.995	109.661,94 TL	7.546,87 TL	102.115,07 TL	52	2.317.648,69 TL

GES 7 örneğinde 332 kW kurulu güçteki tesis 5.540.250 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2023 Ağustos ayından itibaren 43. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşması beklenmektedir. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. GES 7 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



GES 8:

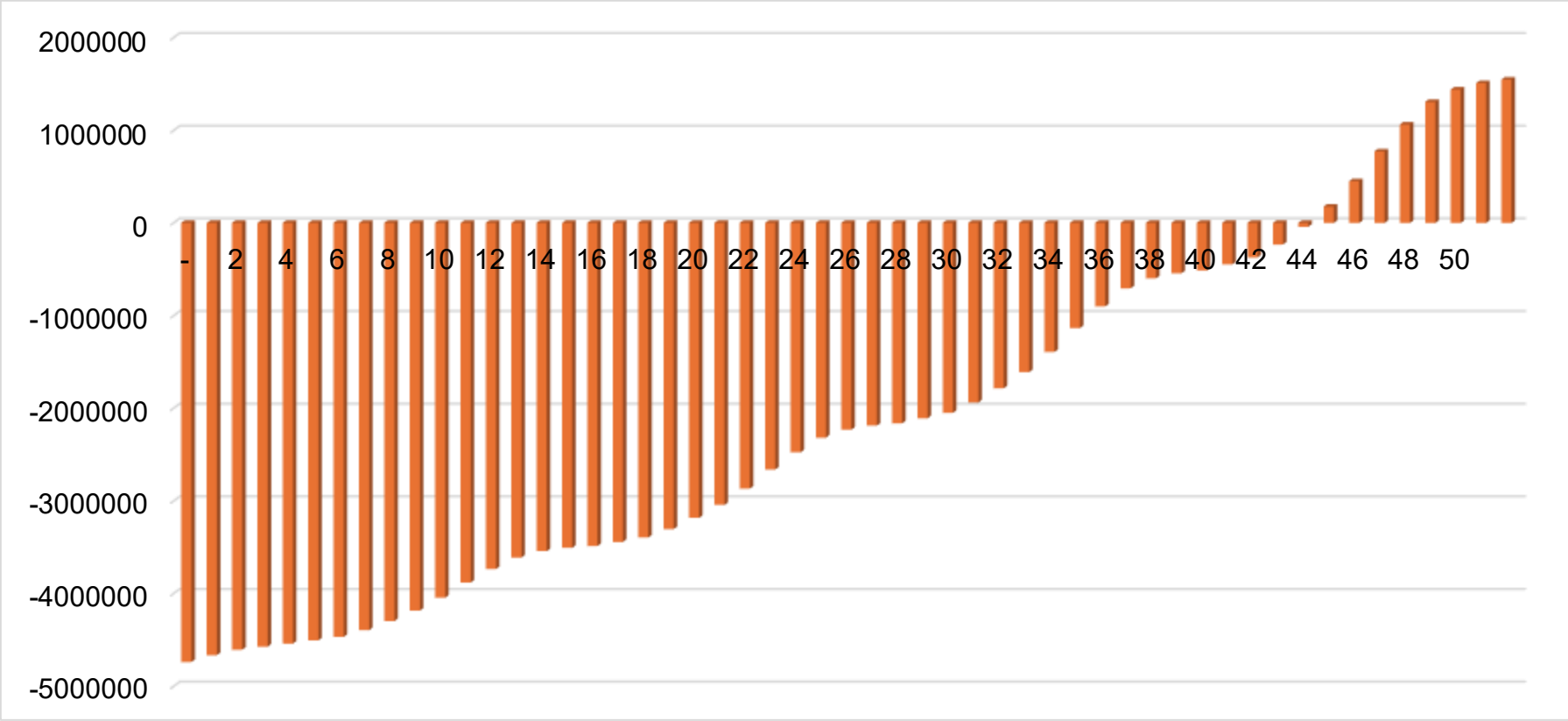
GES 8, Eylül 2023 tarihinde faaliyetine başlamış olup kurulum maliyeti 4.740.200 TL'dir. 266 kWp kurulu güç değerine sahip olup çatı tipi GES tesisidir.

Tablo 28. GES 8 Fizibilite Raporu

	Aylar	Üretim (kWh)	Brüt Kazanç	Ort. Giderler	Net Kazanç	Aylar	Kümülatif
						-	-4.740.200,00 TL
2023	Yıllık	63.195	206.478,33 TL	6.942,39 TL	199.535,95 TL	4	-4.540.664,05 TL
2024	Yıllık	308.645	1.083.430,06 TL	28.277,65 TL	1.055.152,41 TL	16	-3.485.511,64 TL
2025	Yıllık	311.055	1.364.862,29 TL	41.134,15 TL	1.323.728,14 TL	28	-2.161.783,50 TL
2026	Yıllık	311.055	1.706.077,87 TL	57.003,81 TL	1.649.074,06 TL	40	-512.709,44 TL
2027	OCAK	10.408	71.357,39 TL	6.041,58 TL	65.315,81 TL	41	-447.393,63 TL
	ŞUBAT	11.812	80.983,23 TL	6.041,58 TL	74.941,65 TL	42	-372.451,98 TL
	MART	21.291	145.971,39 TL	6.041,58 TL	139.929,81 TL	43	-232.522,17 TL
	NİSAN	28.785	197.350,35 TL	6.041,58 TL	191.308,77 TL	44	-41.213,39 TL
	MAYIS	32.546	223.135,82 TL	6.041,58 TL	217.094,24 TL	45	175.880,85 TL
	HAZİRAN	40.760	279.451,12 TL	6.041,58 TL	273.409,54 TL	46	449.290,39 TL
	TEMMUZ	47.935	328.643,02 TL	6.041,58 TL	322.601,44 TL	47	771.891,82 TL
	AĞUSTOS	43.305	296.899,67 TL	6.041,58 TL	290.858,09 TL	48	1.062.749,92 TL
	EYLÜL	36.365	249.318,94 TL	6.041,58 TL	243.277,36 TL	49	1.306.027,27 TL

GES 8 örneğinde 266 kW kurulu güçteki tesis 4.740.200 TL bedel ile kurulmuş olup faaliyete başladığı 2023 Eylül ayından itibaren 45. aydaki getiri bedeliyle beraber yatırım bedeline ulaşması beklenmektedir. Aylık kümülatif kazanç grafiği Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29. GES 8 Geri Dönüşüm Tablosu (Ay)



Tablo 30. Sonuç Tablosu

Sonuç Tablosu				
GESLER	**Faaliyete Başlama Tarihi**	**GES Kurulu Gücü**	**Yatırım Bedeli**	**Yatırım Geri Dönüş Süresi (Ay)**
GES 1	**Mart 2013**	**97 kWp**	**346.500,00 TL**	86
GES 2	**Ekim 2019**	**567 kWp**	**2.793.000,00 TL**	42
GES 3	**Eylül 2020**	**243 kWp**	**1.402.372,00 TL**	33
GES 4	**Eylül 2022**	**1.097 kWp**	**11.092.000,00 TL**	34
GES 5	**Kasım 2022**	**715 kWp**	**9.004.500,00 TL**	35
GES 6	**Ağustos 2023**	**460 kWp**	**7.676.250,00 TL**	39
GES 7	**Ağustos 2023**	**332 kWp**	**5.540.250,00 TL**	43
GES 8	**Eylül 2023**	**266 kWp**	**4.740.200,00 TL**	45

Tablo 30 araştırma kapsamında incelenen sekiz adet GES tesisinin ay bazında geri dönüşüm sürelerini göstermektedir. Bu geri dönüş süreleri incelendiğinde; Türkiye'de ilk kurulmuş Güneş Enerjisi Santrali olan Gürsu Belediye'sine ait olan GES tesisi (GES 1) ile ilgili döviz bazında günümüz fiyatları ile kıyaslandığında fiyatının çok yüksek olması sebebiyle geri dönüş süresi 86 ayı bulmakla beraber o zamanki şartlar için bile çok cazip bir yatırım noktasındadır.

2019 yılı itibariyle değişen yönetmelikler, kurulum maliyetlerinin giderek azalması, elektrik maliyetlerinin artması sebebiyle GES'e ilgi giderek artmış ve yatırımlar hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır.

2020 yılında kurulan GES 3 tesisinin fizibilitesi incelendiğinde 33 aylık bir geri ödeme süresi görülmüş olup, yatırımcılar için çok iyi bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır.

İlerleyen yıllardaki döviz seviyesindeki yükseliş, global güneş paneli ve ürünlerindeki fiyat artışı sebebiyle geri dönüş süresi ortalaması 42 ay civarına ulaşmıştır.

2024 yılı itibariyle de döviz seviyesindeki sabit hareketin yanı sıra global güneş paneli ve ürünlerindeki fiyatlar tarihindeki en dip seviyesine gerilemesiyle GES kurulum maliyetleri minimuma inmiştir. Bu durum özellikle Türkiye için kurulu güç artışında maksimum seviyeye ulaşılmasına olanak sağlamıştır.

Dolayısıyla bugünkü şartlarda yeni kurulacak tesislerin üretim projeksiyonuna göre yapılan hesaplamalarda yatırım geri dönüş süresinin bu çalışmadaki değerlerden daha az olması beklenmektedir. 2013 yılında kurulum maliyetlerinin ve giderlerin yüksek olduğu dönemden günümüze kadar geçen sürede GES kurulum maliyetleri giderek azalmıştır ve geri dönüşüm süreleri hızla düşmeye devam etmektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde enerji sektörü, küresel ekonomilerin önemli bir bileşeni olma niteliğini korurken, yenilenebilir enerji kaynakları özellikle de güneş enerjisi, ekonomik ve çevresel etkileriyle öne çıkmaktadır. Bu çalışmada ortaya konan bulgular ve yapılan analizler, güneş enerjisinin ekonomik getirilerinin, çevresel faydalarıyla birlikte bir bütün olarak ele alınması gerektiğini göstermiştir.

Öncelik olarak, yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik etkileri, enerji ithalatını azaltma potansiyeli üzerinden değerlendirilmektedir. Fosil yakıtlara dayalı enerji ithalatı hem ekonomik hem de stratejik riskler taşırken, güneş enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerjinin yerel üretim kapasitesini artırması bu risklerin azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu durum, özellikle döviz cinsinden enerji harcamalarının düşmesine ve yerel ekonomilerin daha dayanıklı hale gelmesine katkıda bulunmaktadır. Özellikle Bursa gibi sanayi hacmi ve GES potansiyeli yüksek bölgelerde, bu katkılar daha somut bir biçimde hissedilmektedir.

Bu çalışmada ayrıca, güneş enerjisi santrallerinin geri dönüşüm süreleri kapsamında incelenmesi, yatırım kararlarında önemli bir veri kaynağı sunmayı amaçlamaktadır. Güneş enerjisi projeleri, öncelikli olarak düşük işletme maliyetleri ve uzun ömrüyle dikkat çekerken, yatırım geri dönüşüm sürelerinin genellikle 3 ila 4 yıl gibi kısa bir zaman diliminde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, özellikle enerji pazarında maliyet etkinliğinin ön planda olduğu şirketler ve devlet politikaları için cazip bir alternatif yaratmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan incelemeler, ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelinin yeterince kullanılıp kullanılmadığı konusunda da fikir oluşturmuş, ülkemiz için son yıllardaki artışın çok fazla olmasının sağlamış olduğu faydanın yanı sıra hala yapılacak çalışmalar ve atılacak adımlar ile bu artışın daha da ileriye götürülebileceği ortaya konmuştur. Güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetlerinin düşmesi ve yasal düzenlemelerin kolaylaştırılmasıyla birlikte, Bursa başta olmak üzere ülkemizin her bölgesinde bu yatırımların bölgesel ve ulusal ekonomi olarak daha fazla fayda sağlayabileceği ifade edilmiştir. Aynı zamanda, sanayi ve tarım sektörü gibi yoğun enerji tüketen alanlarda güneş enerjisi

uygulamalarının yaygınlaştırılması, enerji maliyetlerini düşürebilir ve çevresel etkileri minimize edebilmektedir.

Güneş enerjisi yatırımları, sadece çevre dostu bir enerji kaynağı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik olarak önemli faydalar sağlamaktadır. Bu faydaların daha etkin bir şekilde elde edilebilmesi için, yerel ve ulusal düzeyde uzun vadeli stratejilerin oluşturulması önemlidir. Politika yapıcıların, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımları ve teşvikleri sürdürmeleri hem ekonomik büyümeye hem de küresel çevre sorunlarının çözümüne katkı sağlayacaktır. Bu çerçevede, yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu ve yaygınlaştırılması hem çevresel süreklilik hem de ekonomik kalkınma açısından öncelikli bir gündem olarak ele alınarak bireysel, kurumsal ve ulusal politikalar bu doğrultuda oluşturulmalıdır.

Bu çalışmanın bulguları ışığında güneş enerjisi yatırımlarının Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH)'den SKH7, SKH 8, SKH 9 ve SKH 13 ile direkt ilişkilidir. Özellikle SKH 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji hedefi doğrultusunda herkes için erişilebilir, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerji hedefine katkı sağlayan bu yatırımlar, enerjinin temiz kaynaklardan elde edilmesini mümkün kılarak enerji dönüşümünü desteklemektedir. Aynı zamanda, SKH 13: İklim eylemi kapsamında değerlendirildiğinde, fosil yakıtların kullanımının azalmasına ve karbon salımının düşmesine katkıda bulunarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç işlevi görmektedir.

Bununla birlikte, güneş enerjisi yatırımları SKH 9: Sanayi, yenilikçilik ve altyapı hedefi ile de ilişkilidir. Bu alanda yapılan her yatırım, yerli teknolojilerin geliştirilmesine, enerji altyapısının modernleşmesine ve yenilikçi çözümlerin uygulanmasına zemin hazırlamaktadır. Ayrıca, enerji ithalatının azalması ve yerli üretimin artmasıyla birlikte SKH 8: İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme hedefine katkı sağlanmakta; enerji sektöründe yeni iş alanlarının doğması ve bölgesel kalkınmanın desteklenmesi mümkün hale gelmektedir. Özellikle Bursa gibi sanayi kentlerinde bu tür yatırımlar, istihdam yaratıcı etkileriyle de ekonomik büyümeyi desteklemektedir.

Sonuç olarak, güneş enerjisi santrali yatırımları yalnızca ekonomik ve çevresel kazanımlar sunmakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sağlayarak Türkiye'nin uluslararası enerji ve iklim politikalarıyla uyumunu güçlendirmektedir. Bu nedenle güneş enerjisi projeleri hem ulusal kalkınma planlarının hem de küresel sürdürülebilirlik çabalarının ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Akkurt, Ş., & Oğuz, M. (2017). Kayseri ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 362–374.

Aksu, M. (2021). *Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi* (Doktora tezi). Balıkesir Üniversite, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.

Arıkan Y., & Çam E., (2017). Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Fizibilite Analizlerinin Web Tabanında Gerçekleştirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi.*

Arslan, Ö. F. (2024). *İ.T.Ü Maslak Kampüsünün enerji tüketiminin lisanssız elektrik üretim yönetmeliğine göre güneş enerjisi santrali ile mahsuplaşması.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Ataş, S. B. (2018). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve İskenderun için örnek üretim projeksiyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi,* 37(1), 1–13.

Atik, İ., & Sekin, A. (2022). Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 517-529.

Bakır, M., & Channi, H. K. (2022). *Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software*. *Materials Today: Proceedings, 48*(5), 1332–1338.

Behçet, R., Gül, H., & Oral, H. (2013). Adıyaman ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve kullanımı. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimler Dergisi.*

Blander, M. (2010). *Calculations of the influence of additives on coal combustion deposits*. Argonne National Laboratory.

Bozkurt, V. A. (2008). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

BP. (2021). *Statistical review of world energy 2021.* BP Global. Erişim adresi: https://www.bp.com

BP. (2022). *Statistical review of world energy 2022.* BP Global. Erişim adresi: https://www.bp.com

Branker, K., Pathak, M. J. M., & Pearce, J. M. (2011). A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 4470-4482.

Bursa Büyükşehir Belediyesi. (2024). Bursa'da Yeşil Sanayi-Yeşil OSB Zirvesi. Bursa Büyükşehir Belediyesi Erişim adresi: https://www.bursa.bel.tr/haber/bursada-yesil-sanayi-yesil-osb-zirvesi-34904

Bursa Ticaret ve Sanayi Odası. (2023). Bursa'nın organize sanayi bölgeleri. *BTSO Ekonomi*. Erişim adresi: https://www.btsoekonomi.com/haber-detay/bursa-nin-organize-sanayi-bolgeleri

Cruz, J. (2008). *Ocean wave energy: Current status and future perspectives.* Springer.

Çukurçayır, A. A., & Sağır, H. (2008). Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 255-270.

Debnath, S., Rabbi, F., Khan, A., Hossain, M. H., & Alam, M. M. (2024, Ekim). *An energy-efficient design of a grid-tied PV system wielding the roof area of a university in Dhaka with net metering scheme*. [International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISET) Chittagong, Bangladesh]. IEEE.

Demir, H., & Yakışık, M. (2024). Enerjinin tarihsel gelişimi. *İTÜ Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 45-67.

Demirbaş, A. (2005). Güneş enerjisi ve uygulamaları. Seçkin Yayıncılık.

Demirtürk, C. (2013). *Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisi karşılaştırmalı yatırım fizibilitesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2013). *Geothermal energy: Utilization and technology.* Routledge.

Doğan, M. (2019). *Güneş enerjisi santrallerinin incelenmesi ve verimlilik analizi* (Yüksek lisans tezi). Türkiye Yükseköğretim Kurumu Açık Bilim Arşivi.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). Wiley.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2007). *Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi.* Erişim adresi: https://dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/GUNES.pdf

Eicker, U. (2014). *Energy Efficient Buildings with Solar and Geothermal Resources*. Wiley.

Energy Institute. (2024). *Statistical Review of World Energy 2024*. Energy Institute. Erişim adresi: https://www.energyinst.org/__data/assets/pdf_file/0006/1542714/EI_Stats_Review_2024.pdf

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2023). *Lisanslı Elektrik Üretimi.* Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-lisansli-elektrik-uretimi

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2025). *Mart 2025 Elektrik Piyasası Sektör Raporu.* Erişim adresi: https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar

Elektrik Piyasası Kanunu. (2013). Kanun No. 6446. Kabul Tarihi: 14/3/2013. Resmî Gazete Tarihi: 30/3/2013, Sayı: 28603.

Ellabban, O., Abu-Rub, H. & Blaabjerg, F. (2014). *Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39*, 748–764.

Ember. (2025). *Güneş kapasitesi 2,5 yılda iki katına çıkarak 2025 hedefini aştı* [Analiz raporu]. Ember. Erişim adresi: https://ember-energy.org/tr/analizler/gunes-kapasitesi-25-yilda-iki-katina-cikarak-2025-hedefini-asti/

Falcão, A. F. (2010). *Wave energy utilization: A review of the technologies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(3), 899-918.

Fraas, L. M. (2014). *Solar cells and their applications* (2nd ed.). Wiley.

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2021). *Recent Developments in PV Systems and Grid Integration*. Fraunhofer ISE.

Girgin, M. H. (2011). *Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Güneş Sistemleri. (2008). *Teknik bilgiler*. Güneş Sistemleri. Erişim adresi: http://www.gunessistemleri.com/teknik.php

Green, M. A. (2019). *Solar cells: Operating principles, technology, and system applications*. The University of New South Wales.

Hau, E. (2013). *Wind turbines: Fundamentals, technologies, application, economics* (3rd ed.). Springer.

International Atomic Energy Agency. (2006). *Chernobyl's legacy: Health, environmental and socio-economic impacts and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine.* IAEA.

International Energy Agency. (2023). *World energy outlook 2023.* Erişim adresi: https://www.iea.org

International Energy Agency. (2025). *Global Energy Review 2025.* Erişim adresi: https://www.iea.org

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). *Renewable Energy Statistics 2024.* Abu Dhabi: IRENA. Erişim adresi: https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2025). *Renewable Capacity Statistics 2025.* Abu Dhabi: IRENA. Erişim adresi: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Statistics_2025.pdf

InvesThinker. (2024). *PVSyst ve İzleme Sistemleri*. Erişim adresi: https://www.investhinker.com/post/pvsyst-ve-izleme-sistemleri

Karaarslan, M. H. (2018). *Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi: Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Karamanav, M. (2007). *Güneş enerjisi ve güneş pilleri* (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Kalogirou, S. A. (2014). *Solar energy engineering: Processes and systems* (2nd ed.). Academic Press.

Kanat, H. (2019). *Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi yatırımlarını etkileyen faktörler: Konya güneş enerjisi yatırımları analizi* (Yüksek lisans tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Kayıkcı, B., & Kılıç, F.Ç. (2019) Aydın ilinde bir konut için hibrit yenilenebilir enerji sistemi fizibilitesi. *Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi Tam Metin Bildiriler Kitabı ,* 213-225.

Kırtepe, E., & Özbalta, N. (2023). Mimaride Trombe Duvarı Uygulamasının Enerji Analizi. *Karesi Journal of Architecture*, 46-60

Klein, S.A., Beckman W.A, Thornton J.W. & Fiksel A. (2018) TRNSYS, a Transient System Simulation Program Manual, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.

Kocakuşak, R. (2018). *Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin, Türkiye'deki önemi ve Ges kurulum araştırması.* (Yüksek Lisans Tezi). Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Krane, K. S. (2019). *Introductory nuclear physics* (3rd ed.). Wiley.

Kumba, H., Pasipamire, R., Nyati, E., Akpan, J., & Olanrewaju, O. (2025). *Solar PV Grid-Connected System Analysis for Midlands State University, Zimbabwe* [Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC), Pretoria, South Africa]. IEEE.

Küçükgöze O. M., & Kaya M., (2016) Erzincan İli İçin 50 kW Kurulu Gücünde Bir Güneş Enerji Santralinin Maliyet Analizi. *International Multilingual Academic Journal, 4*, 8-26.

Lund, J. W., & Boyd, T. (2016). *Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review*. *Geothermics,*, 66-93.

Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., & Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy, 142*, 80-94.

Lüle, F. (2018). Adıyaman İlinin Enerji Kaynakları Potansiyeli. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 14(1), 1-5.

Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind energy explained: Theory, design and application* (2nd ed.). Wiley.

Markvart, T. (2020). *Solar Electricity*. Wiley.

Meral, M. E., & Dinçer, F. (2011). A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(5), 2176-2184.

Meteotest. (2024). *Meteonorm: Global meteorological database for solar energy and climatology*. Erişim adresi: https://www.meteonorm.com

Mostafaeipour, A., Alvandimanesh, M., Najafi, F. & Issakhov, A. (2021). Identifying challenges and barriers for development of solar energy by using fuzzy best-worst method: A case study. *Energy*, *226*(C), 120355.

Murray, R. L. (2011). *Nuclear energy: An introduction to the concepts, systems, and applications of nuclear processes*. Butterworth-Heinemann.

Nijman, J. (2020). *Hydropower: Renewable energy and its impact on ecosystems*. Springer.

Perez, R., Zweibel, K., & Hoff, T. (2011). Solar power generation in the US: Too expensive, or a bargain? *Energy Policy, 39*(11), 7290-7297.

PwC Türkiye. (2024). *Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Sektörü.* Erişim adresi:https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji/yayinlar/2024/pdf/dunyada-ve-turkiyede- gunes -enerjisi-sektoru.pdf

PVsyst. (2025). *PVsyst Photovoltaic Software*. Erişim adresi: https://www.pvsyst.com/

Sarı, V. & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (20), 425-437.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2024, Ağustos). *Türkiye için batarya enerji depolama seçenekleri*. SHURA.

Solar AVM. (2021). *Güneş enerjisi sistemleri nelerdir? Kaça ayrılır?* Solar AVM. Erişim adresi: https://solaravm.com/gunes-enerjisi-sistemleri-nelerdir-kaca-ayrilir

Stephenson, M. (2018). *Energy and climate change: An introduction to geological controls, interventions and mitigations*. Elsevier.

Şahin, Z. R. (2024). *PVsyst ile güneş santrali simülasyonu: Detaylı inceleme ve performans analizi* (Yüksek lisans tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Şenel, M. C. (2012). *Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları–Dinamik Davranış.* (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *Orta Vadeli Program (2024-2026)*. Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/09/Orta-Vadeli-Program_2024-2026.pdf

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (t.y.). Paris Anlaşması. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/paris-anlasmasi-i-34

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). *Türkiye Cumhuriyeti Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyanı*. Erişim adresi: https://iklim.gov.tr/db/turkce/dokumanlar/turkiye-cumhuriyeti--8230-3128-20240510161607.pdf

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Türkiye Ulusal Enerji Planı.* Erişim adresi: https://enerjiverimliliği.enerji.gov.tr/template/dist/pdf/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023a). *2023 faaliyet raporu.* Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Faaliyet_Raporlari/2023/ETKB2023FR.pdf

T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2023b). *Jeotermal enerji*. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024a). *Lisanslı Elektrik Üretimi*. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-lisansli-elektrik-uretimi

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024b). *Lisanssız Elektrik Üretimi*. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-lisassiz-elektrik-uretimi

T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2025). *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).* Erişim adresi: https://gepa.enerji.gov.tr/

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (t.y.). *BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi*. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2025). Bursa İli Genel Bilgiler. Erişim Adresi: https://bursa.ktb.gov.tr/TR-70228/bursa-ili-genel-bilgiler.html

Thorpe, T. W. (2012). *An overview of wave energy technologies: Status, challenges, and future trends*. Institution of Civil Engineers.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası. (2024). *Türkiye'nin enerji görünümü 2024* (Yayın No: MMO/758).

Tundwal, P., Kumawat, H., & Dave, V. (2024). *Design and simulation of 546 kWp grid connected solar PV system for an academic institute*. [International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), Pretoria, South Africa]. IEEE.

Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T. (2020). Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: Teknik ve ekonomik analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485.

Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy resources* (3rd ed.). Routledge.

Ulusoy, C. K. (2019). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki gelişmeler; güneş enerji sistemleri ve finansman modelleri*. ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi, 6(13), 65–84.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2024). *About COP29*. UNFCCC. Erişim adresi: https://unfccc.int/cop29/about-cop29

U.S. Department of Energy. (t.y.). *Concentrating solar-thermal power basics*. U.S. Department of Energy. Erişim adresi:

https://www.energy.gov/eere/solar/concentrating-solar-thermal-power-basics

Üründü, M. E. (2025). *Şebekeye bağlı 1 MW kurulu güçteki güneş enerji santralinin PVsyst ve PVsol ile performans analizi*. (Yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Wikipedia. (2024). *Microsoft Excel.* Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel

World Bank Group. (2025). *Global Solar Atlas.* Erişim adresi: https://globalsolaratlas.info/

World Energy Council. (2022). *Energy issues monitor 2022.* Erişim adresi: https://www.worldenergy.org

World Nuclear Association. (2022a). *Fukushima accident 2011.* Erişim adresi: https://www.world-nuclear.org

World Nuclear Association. (2022b). *Nuclear power and the environment.* Erişim adresi: https://www.world-nuclear.org

Yeşil Ekonomi. (2013). *Türkiye'de ticari güneş elektriği üretimi resmen başladı*. Yeşil Ekonomi. Erişim adresi: https://yesilekonomi.com/turkiyede-ticari-gunes-elektrigi-uretimi-resmen-basladi/

Yılmaz, T., & Demir, H. (2018). Off-grid güneş enerji sistemlerinde enerji verimliliği ve batarya kullanımı. *Yenilenebilir Enerji Dergisi,* 45-58.

EKLER