



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN FİNANSAL ANALİZİ:
KONYA İLİ ÖRNEKLEMİ**

MEHMET FURKAN YILDIZ

**Ocak-2025
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN FİNANSAL ANALİZİ:
KONYA İLİ ÖRNEKLEMİ

MEHMET FURKAN YILDIZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Şefik ÜNEY

Diğer Jüri Yeleri

Doç. Dr.
Ömer Ali KARAMAN

Dr. Öğr. Üyesi
Mehmet Latif LEVENT

Dr. Öğr. Üyesi
Mehmet Şefik ÜNEY

Ocak-2025
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Furkan YILDIZ tarafından hazırlanan ‘‘Güneş Enerjisi Santrallerinin Finansal Analizi: Konya İli Örnekleme’’ adlı tez çalışması 24/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Yönetimi Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Ömer Ali KARAMAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Latif LEVENT

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Şefik ÜNEY

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza
Mehmet Furkan YILDIZ
24.01.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN FİNANSAL ANALİZİ: KONYA İLİ ÖRNEKLEMİ

Mehmet Furkan YILDIZ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Yönetimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Şefik ÜNEY

2025, 110 Sayfa

Bu tez, Konya ilindeki bir sanayi tesisinin çatısına kurulan güneş enerjisi santralinin teknik, ekonomik ve finansal analizini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Araştırma, yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'deki potansiyeline dikkat çekmekte ve güneş enerjisinin ekonomik uygulanabilirliğine dair önemli veriler sunmaktadır. Çalışmada, 2023 ve 2024 yıllarına ait kurulum maliyetleri, amortisman süreleri ve yatırım geri dönüşleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin maliyet etkinliği ve ekonomik sürdürülebilirliği farklı senaryolar altında değerlendirilmiştir.

Araştırma kapsamında, güneş enerjisi santralleri hakkında genel bilgiler verilmiş, çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin avantajları, dezavantajları ve kurulum süreçleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. PVsyst simülasyon programı kullanılarak, doğu ve batı yönlerine bakan güneş panellerinin enerji üretim tahminleri yapılmış ve bu tahminler, gerçek üretim verileriyle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. PVsyst programının doğruluğu ve güvenilirliği değerlendirilmiş, simülasyon sonuçlarının gerçek koşullarla ne derece örtüştüğü ortaya konulmuştur.

Çalışmada, santralin kurulum süreci; yer seçimi, malzeme tedariki, sistem tasarımı ve işletmeye alma aşamalarıyla detaylandırılmıştır. Ek olarak, farklı ekonomik senaryolar ele alınmış ve güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin tamamının tesis içinde kullanıldığı ve bir kısmının şebekeye satıldığı durumlar analiz edilmiştir. Bu senaryolar çerçevesinde, santralin finansal geri dönüş süreleri, elektrik fiyatlarındaki değişim ve döviz kurlarının etkisi gibi önemli ekonomik faktörler değerlendirilmiştir.

Araştırmanın sonuçları, güneş enerjisi santrallerinin yalnızca çevresel faydaları değil, aynı zamanda ekonomik avantajlarını da vurgulamaktadır. Çalışmada, enerji üretim kapasiteleri, amortisman süreleri ve yatırım maliyetleri arasındaki ilişki detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analizler, güneş enerjisi santrallerinin yatırımcılar için ne kadar kârlı ve sürdürülebilir bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, bu tez, güneş enerjisi santralleri hakkında teorik ve uygulamalı bilgi sunarak yatırımcılar, mühendisler ve politika yapımcılar için değerli bir kaynak niteliği taşımaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini daha verimli kullanmasına yönelik somut öneriler ve rehberlik sağlayan bu çalışma, yenilenebilir enerji sektörüne önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Finansal Analiz, PVsyst Simülasyonu, Yenilenebilir Enerji, Çatı Güneş Enerji Santrali, Konya.

ABSTRACT

MASTER THESIS

**FINANCIAL ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANTS: KONYA PROVINCE
SAMPLE**

Mehmet Furkan YILDIZ

Batman University Graduate Education Institute

Energy Management Department of Science

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Şefik ÜNEY

2025, 110 Pages

This thesis comprehensively analyzes the technical, economic, and financial aspects of a solar power plant installed on the rooftop of an industrial facility in Konya province. The study highlights the potential of renewable energy sources in Turkey and provides significant insights into the economic feasibility of solar energy. Installation costs, amortization periods, and investment returns for 2023 and 2024 are compared, while the cost-effectiveness and economic sustainability of solar energy systems are evaluated under different scenarios.

The research presents general information on solar power plants and examines the advantages, disadvantages, and installation processes of rooftop solar power systems in detail. Using the PVsyst simulation program, energy production estimates of east- and west-facing solar panels were made and compared with actual production data. The accuracy and reliability of the PVsyst program were assessed, revealing how closely simulation results align with real-world conditions.

The installation process of the solar power plant is detailed, including site selection, material procurement, system design, and commissioning. Furthermore, various economic scenarios were analyzed, including cases where all the energy produced by the solar power plant is consumed within the facility and cases where part of it is sold to the grid. Under these scenarios, key economic factors such as payback periods, changes in electricity prices, and the impact of exchange rates were examined.

The results of the study emphasize not only the environmental benefits but also the economic advantages of solar power plants. The relationships between energy production capacities, amortization periods, and investment costs are thoroughly analyzed, demonstrating how profitable and sustainable solar energy systems can be for investors.

In conclusion, this thesis offers theoretical and practical knowledge about solar power plants, making it a valuable resource for investors, engineers, and policymakers. This study, which provides concrete recommendations and guidance for more efficient utilization of Turkey's solar energy potential, contributes significantly to the renewable energy sector.

Keywords: Solar Energy, Financial Analysis, PVsyst Simulation, Renewable Energy, Rooftop Solar Power Plant, Konya.

ÖNSÖZ

Tezimi hazırlama sürecinde bana destek olan, olumlu tavırlarıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle bana yol gösteren ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Mehmet Şefik ÜNEY 'e teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Furkan YILDIZ
BATMAN-2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	1
1.2. Tezin Kapsamı	2
1.3. Yöntem.....	3
1.3.1. Çalışmanın varsayımları ve kısıtları	3
1.3.2. Araştırma sorusu ve hipotezler	4
1.3.3. Araştırmanın örnekleme	5
1.3.4. Veri kaynakları ve veri toplama yöntemi	6
1.4. Literatür Taraması.....	7
1.5. Tezin Organizasyonu	9
2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN TEMELLERİ 10	
2.1. Güneş Enerjisinin Özellikleri.....	10
2.1.1. Güneş ışınımı	10
2.1.2. Güneş enerjisi	11
2.1.3. Güneş açıları	12
2.1.4. Güneş radyasyonu ölçümleri ve güneşlenme süresi	13
2.1.5. Türkiye güneş enerjisi durumu	14
2.2. Fotovoltaik Sistemler	16
2.2.1. Şebekeye bağlı sistemler.....	16
2.2.2. Şebekeden bağımsız sistemler	17
2.2.3. Tarımsal sulama sistemleri	18
2.3. Fotovoltaik Hücreler ve Panel Tipleri	19
2.3.1. Güneş hücreleri	19
2.3.2. Hücrelerin çalışma prensibi	19
2.3.3. Güneş hücresi çeşitleri	20
2.3.3.1. Polikristal güneş hücreleri	20
2.3.3.2. Monokristal hücreler.....	20
2.3.3.3. İnce film amorf silikon güneş hücreleri	21
2.3.3.4. İç içe geçmiş arka kontak güneş hücresi.....	21
2.3.3.5. CIS/CIGS güneş hücreleri	21
2.3.4. Güneş hücresi teknolojileri	21
2.4. Güneş Paneli Sistem Bileşenleri	22
2.4.1. Cam.....	22
2.4.2. EVA (Etilen vinil asetat).....	23

2.4.3 Hücre.....	23
2.4.4. Arka koruyucu (Backsheet)	24
2.4.5. Ribon.....	24
2.4.6. Alüminyum çerçeve	25
2.4.7. Bağlantı kutusu (Junction Box)	25
2.5. Sistem Tasarımı ve Performans Hesapları	26
2.5.1. Güneş paneli bağlantı yapısı	26
2.5.2. Güneş paneli dizisi bağlantı yapısı	28
2.5.2.1. Seri ve paralel bağlantıların kombinasyonu.....	29
2.6. Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar	31
2.6.1 Sıcaklık kayıpları	31
2.6.2 Gölgeleme kayıpları.....	31
2.6.3 Kirlenme kayıpları	32
2.6.4. İnverter kayıpları.....	32
2.6.5. Yansıma kayıpları	32
2.6.6. Elektriksel kayıplar	33
3. ÇATI TİPİ GÜNEŞ SANTRALLERİ.....	34
3.1. Çatı Tipi Güneş Santrallerinin Avantajları ve Dezavantajları	34
3.2. Kurulum Teknikleri ve Çeşitleri	35
4. KURULUM SÜRECİ	38
4.1.Yer Seçimi ve Analizi.....	38
4.1.1. Statik uygunluk	38
4.1.2. Lokasyon.....	38
4.1.3. Hava durumu.....	38
4.1.4. Gölge unsuru.....	39
4.2. Malzeme Seçimi	39
4.2.1 Güneş paneli seçimi	39
4.2.2. İnverter seçimi	40
4.2.3. DC kablo seçimi.....	40
4.2.4. AC kablo seçimi.....	40
4.2.5. Alçak gerilim pano tasarımı.....	41
4.3. Sistem Tasarımı	41
4.3.1. Çatıda panel yerleşim planı süreci	41
4.3.2. İnverter seçim prosedürü	42
4.4. Kurulum ve İşletmeye Alma.....	44
5. ÇATI GES ÖRNEK ÇALIŞMALARI	46
5.1. Proje Tanımı ve Özellikleri.....	46
5.2.Kurulum Süreci ve Karşılaşılan Zorluklar	46
5.2.1. Çatı ölçülerinin alınması	46
5.2.2. Konstrüksiyon montajı.....	46
5.2.3. Güneş paneli montajı	48
5.2.4. DC kablo kanalı ve DC kablo montajı.....	49
5.2.5. İnverter platformu ve inverter montajı.....	50
5.2.6. GES pano yerleşimi	52
5.2.7. AC kablo montajı.....	53

6. PVSYST SİMÜLASYONU	56
6.1. PVsyst Programı ve Şebekeye Bağlı Sistem Tasarımı	56
6.1.1 PVsyst programının tanıtımı	57
6.1.2 Konum seçimi ve veri entegrasyonu.....	58
6.1.3 Güneş panellerinin açılandırılması	61
6.1.4 Sistem tasarımı ve bileşen seçimi	63
6.1.5 Enerji kayıpları analizi.....	65
6.1.6 Ufuk çizgisi analizi	66
6.1.7 Yakın gölgeleme analizi	67
6.2. Gerçek Üretim Verileri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	68
7. MALİYET VE FİNANSAL ANALİZ	72
7.1 Malzeme Listesi ve Maliyet Analizi	72
7.2 Maliyetlerin Türk Lirası ve Dolar Cinsinden Analizi.....	73
7.3. Başlangıç Maliyetleri	74
7.4. İşletme ve Bakım Maliyetleri	74
7.5. Bakım, Onarım ve İzleme İçeriği	74
7.5.1 Günlük izleme.....	74
7.5.2. Altı aylık bakım ve onarım	74
7.6. Geri Ödeme Süreleri ve Maliyet-Etkinlik Analizi	76
7.6.1. Senaryo 1	76
7.6.2. Senaryo 2	80
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR	94
EKLER	96

KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltmalar

AC:	Alternatif Akım
AG:	Alçak Gerilim
DC:	Doğru Akım
EPDK:	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GEPA:	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES:	Güneş Enerji Santrali
KW:	KiloWatt
kWe:	Elektriksel Güç
kWh:	KiloWatt Saat
m ² :	Metrekare
MW:	MegaWatt
MWh:	MegaWatt Saat
OG:	Orta Gerilim
PV:	Fotovoltaik
W:	Watt
YG:	Yüksek Gerilim

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)	15
Şekil 2.2. Türkiye güneşlenme süreleri (saat).....	16
Şekil 2.3. Monokristal ve polikristal güneş panelleri	20
Şekil 2.4. PV paneli oluşturan katmanlar	22
Şekil 2.5. PV panelde kullanılan cam	22
Şekil 2.6. Hücre	24
Şekil 2.7. Arka koruyucu (Backsheet)	24
Şekil 2.8. Ribon	25
Şekil 2.9. Bağlantı kutusu (Junction Box)	26
Şekil 2.10. Bağlantı kutusu (Junction Box)	26
Şekil 2.11. Hücre bağlantısı	27
Şekil 2.12. PV panel dizisi.....	31
Şekil 4.1. Panel ve inverter uyumluluk hesabı.....	43
Şekil 5.1. Konstrüksiyon montajı 1	47
Şekil 5.2. Konstrüksiyon montajı 2	47
Şekil 5.3. Güneş paneli montajı	48
Şekil 5.4. DC kablo montajı.....	49
Şekil 5.5. DC kablo Kanalı	50
Şekil 5.6. İnverter montajı 1	51
Şekil 5.7. İnverter montajı 2	51
Şekil 5.8. GES panosu yerleşimi	52
Şekil 5.9. GES Panosu	53
Şekil 5.10. İnverter AC kablo montajı.....	53
Şekil 5.11. İnverter 'den GES panosuna gelen AC kablonun TMS montajı	54
Şekil 5.12. Motorlu termik manyetik şalter	55
Şekil 6.1. Tasarım başlangıcı.....	57
Şekil 6.2. Sistem verilerinin giriş sayfası	58
Şekil 6.3. Coğrafi konum seçimi	59
Şekil 6.4. Konum verileri.....	59
Şekil 6.5. Meteorolojik veriler	60
Şekil 6.6. Konum seçimi.....	60
Şekil 6.7. Eğim açısı ve azimut açısı	62
Şekil 6.8. Sistem tasarımı	63
Şekil 6.9. Pv panel teknik özellikleri	64
Şekil 6.10. İnverter teknik özellikleri	64
Şekil 6.11. Kayıplar arayüzü.....	65
Şekil 6.12. Horizon (ufuk çizgisi) arayüzü	66
Şekil 6.13. Yakın gölgeleme.....	67
Şekil 6.14. Yakın gölgeleme perspektifi.....	68
Şekil 6.15. PVsyst programı üretim verileri	69

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. İllere göre yıllık güneş alma değerleri (mgm.gov.tr, 2025)	11
Tablo 2.1. Tablonun devamı	12
Tablo 6.1. Aylara göre 2023 yılı üretim verileri	70
Tablo 7.1. Malzeme listesi ve maliyet analizi	72
Tablo 7.1. Tablonun devamı	73
Tablo 7.2. Maliyet hesabı tablosu	73
Tablo 7.3. 2023 ve 2024 yılları EPDK elektrik tarifeleri	77
Tablo 7.4. 2023 Yılı GES’de üretilen enerjinin %100 tüketiminden elde edilen kazanç tablosu	77
Tablo 7.4. Tablonun devamı	78
Tablo 7.5. 2024 Yılı GES’de üretilen enerjinin %100 tüketiminden elde edilen kazanç tablosu	79
Tablo 7.6. 2023 yılı GES ’de üretilen enerjinin %50’sinin tüketiminden elde edilen kazanç tablosu	81
Tablo 7.7. 2023 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin satışından elde edilen kazanç tablosu	82
Tablo 7.8. 2024 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin tüketiminden elde edilen kazanç tablosu	84
Tablo 7.9. 2024 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin satışından elde edilen kazanç tablosu	85
Tablo 7.10. 2023-2024 Yılları kazanç hesap tablosu	86
Tablo 7.11. 2023-2024 Yılları yatırım bedelleri tablosu	87
Tablo 7.12. Türk lirası kurundan amortisman süresi tablosu	89
Tablo 7.13. Dolar kurundan amortisman süresi tablosu	89

1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik kalkınma ve modern yaşamın temel taşıdır. Günümüzde enerji talebindeki hızlı artış ve fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda güneş enerjisi, çevre dostu yapısı, bol bulunabilirliği ve sürdürülebilirliği sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisi sistemleri hem bireysel hem de endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir ve ekonomik faydaları ile dikkat çekmektedir.

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli açısından dünya sıralamasında üst sıralarda yer almasına rağmen, bu potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilmediği görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, enerji bağımlılığını azaltmak ve sürdürülebilir enerji politikalarına katkı sağlamak için kritik bir öneme sahiptir. Güneş enerjisi santralleri, bireysel ve endüstriyel ölçekte enerji maliyetlerini düşürmenin yanı sıra çevreye duyarlı bir enerji üretim modeli sunar.

Bu çalışma, bir sanayi tesisinin çatısına kurulan güneş enerjisi santralının teknik ve ekonomik analizini kapsamaktadır. Araştırma, 2023 ve 2024 yıllarına ait kurulum maliyetlerini karşılaştırmayı, amortisman sürelerini analiz etmeyi ve güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliğini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada ayrıca, PVsyst programı ile yapılan simülasyonların doğruluğu, gerçek üretim verileri ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Bu analizler, güneş enerjisi yatırımlarının ekonomik fizibilitesine dair daha net bir anlayış sunmayı hedeflemektedir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu tezin temel amacı, güneş enerjisi santralleri hakkında genel bir bilgi sunmak ve belirli bir sanayi tesisine kurulan güneş enerjisi santralının maliyet ve amortisman sürelerini karşılaştırarak ekonomik değerlendirme yapmaktır. Güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetlerinin, elektrik üretim kapasitelerinin ve amortisman sürelerinin finansal fizibilitesi detaylı bir şekilde incelenecektir. Bununla birlikte, PVsyst programının simülasyon sonuçları ve gerçek üretim verileri karşılaştırılarak, bu programın doğruluk düzeyi ve güvenilirliği değerlendirilecektir. Araştırmanın sonunda,

güneş enerjisi santrallerinin ekonomik olarak ne kadar sürdürülebilir olduğu ve yatırımcılara nasıl bir geri dönüş sağladığı belirlenmeye çalışılacaktır.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez, güneş enerjisi santralleri üzerine teknik, ekonomik ve finansal bir değerlendirme sunmaktadır. Araştırma, güneş enerjisinin kullanım potansiyeli, çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin avantajları ve dezavantajları, kurulum süreçleri ve bu santrallerin ekonomik fizibilitesine odaklanmaktadır. Çalışmanın merkezinde, Türkiye'nin Konya ilindeki bir sanayi tesisine doğu ve batı yönlerine bakan bir çatıya kurulan güneş enerjisi santralının detaylı bir analizi yer almaktadır.

Bu analiz kapsamında, güneş enerjisi santralının kurulum maliyetleri, enerji üretim kapasitesi ve amortisman süreleri, 2023 ve 2024 yılları için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca, PVsyst simülasyon programı kullanılarak santralin enerji üretim tahminleri yapılmış ve bu tahminler, gerçek üretim verileri ile karşılaştırılmıştır. PVsyst simülasyonlarının doğruluk oranı, gerçek verilerle kıyaslanarak değerlendirilmiş ve bu bağlamda programın güvenilirliği tartışılmıştır.

Tezin kapsamı şu temel noktaları içermektedir:

- Güneş enerjisi santralleri hakkında genel bilgi: Güneş enerjisinin kullanım alanları, teknolojik altyapısı ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki yeri incelenmiştir.
- Çatı tipi güneş enerjisi santralleri: Çatı tipi santrallerin kurulum süreçleri, avantaj ve dezavantajları, teknik gereksinimleri ve ekonomik faydaları detaylandırılmıştır.
- Finansal ve teknik değerlendirme: Doğu ve batı yönlerine bakan güneş panelleri için yapılan finansal analizler, amortisman süreleri ve enerji üretim kapasiteleri incelenmiştir.
- Kurulum süreçleri ve maliyet analizi: 2023 ve 2024 yıllarında kurulum maliyetleri karşılaştırılmış, malzeme maliyetlerindeki değişiklikler ve ekonomik faktörlerin etkisi değerlendirilmiştir.
- Simülasyon ve gerçek verilerin karşılaştırılması: PVsyst programı ile yapılan simülasyonların, santralin gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu karşılaştırma sonucunda, programın analiz sonuçlarının gerçeğe yakınlığı değerlendirilmiştir.

- Elektrik tüketimi ve satışı üzerine senaryolar: Santralin üretim kapasitesi, elektrik tüketimi ve şebekeye enerji satışı üzerine iki farklı senaryo incelenmiş ve finansal getirileri karşılaştırılmıştır.

Tezin temel amacı, güneş enerjisi santrallerinin kurulum süreçleri, maliyet analizleri ve enerji üretim kapasiteleri üzerine hem teorik hem de uygulamalı bir bilgi birikimi sunmaktır. Bu çalışmanın sonuçları, güneş enerjisi santrallerinin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek isteyen yatırımcılar, mühendisler ve politika yapıcılar için yol gösterici nitelikte olacaktır.

Kapsam itibarıyla bu tez, yalnızca teknik ve ekonomik analizlerle sınırlı kalmayarak, aynı zamanda güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaştırılması için gereken teknik bilgi, finansal analiz ve sektörel stratejilere katkı sunmayı hedeflemektedir.

1.3. Yöntem

Bu çalışmada, Konya ili özelinde bir sanayi tesisinin enerjisinin bir kısmını karşılamak için doğu batı cepheci çatısına kurduğı güneş enerjisi santralinin kurulum maliyetlerinin 2023 ve 2024 yılları için hesaplanarak karşılaştırılması ve gerçek üretim verileri ve PVsyst programı aracılığıyla yapılan üretim analiz verilerinin karşılaştırılması yapılarak PVsyst programının üretim analizi verileri değerlendirilmiş olup ve programın analizlerinin ne kadar gerçeğe yakın olduğı tartışılmıştır. Santralin gerçek üretim verilerine istinaden santralin finansal analizi gerçekleştirilmiş olup finansal anlamda geri dönüş süresi hesaplanmıştır. Finansal Hesaplamalar yapılırken 2 senaryo ele alınmıştır.

Senaryo 1: Sanayi tesisin güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin tamamının tesiste kullanıldığı enerji satışının yapılmadığı varsayılmıştır.

Senaryo 2: Sanayi tesisin güneş enerjisi santralinde üretilen elektriğin yarısını tesiste kullandığı yarısını ise sisteme sattığı varsayılmıştır.

2 senaryo sonucuna göre finansal analizler yapılmış ve 2 senaryoya göre finansal anlamda geri dönüşüm hesapları yapılarak karşılaştırılmıştır.

1.3.1. Çalışmanın varsayımları ve kısıtları

Bu tez, tamamlanmış bir güneş enerjisi santrali üzerine odaklanacak olup, elde edilen bulguların güvenilirliği ve geçerliliği, somut kurulum verilerine dayanarak sağlanacaktır. Ancak, elektrik tarifeleri, malzeme maliyetleri ve döviz kurlarındaki dalgalanmalar gibi ekonomik faktörlerin, araştırmanın sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olabileceği kabul edilmektedir. Bu değişkenlerin zaman içindeki varyasyonları, projenin maliyet etkinliği ve amortisman süreleri üzerinde doğrudan etkili olabilir.

Araştırma kapsamında, elektrik fiyatlarındaki değişimler, güneş enerjisi santralinin ekonomik değerlendirmesine önemli bir boyut eklemekte ve projenin uzun vadeli finansal sürdürülebilirliğini etkileyebilmektedir. Malzeme fiyatlarındaki dalgalanmalar, özellikle güneş paneli, inverter gibi kritik bileşenlerin maliyetlerindeki değişiklikler, toplam kurulum maliyetini doğrudan etkileyerek, projenin maliyet verimliliği üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Ayrıca, döviz kurundaki değişkenlik, özellikle ithal edilen malzemelerin maliyetleri üzerinde etkili olmakta ve bu durum, projenin toplam maliyetini ve finansal performansını etkileyebilmektedir.

Bu çalışmanın varsayımları ve kısıtları bölümünde, bu ekonomik faktörlerin projenin değerlendirilmesi üzerindeki potansiyel etkileri dikkate alınmaktadır. Elektrik fiyatları, malzeme maliyetleri ve döviz kurları gibi değişkenlerin, çalışmanın sonuçları üzerindeki olası etkilerinin analizi, bu çalışmanın kapsamı dâhilinde ele alınacaktır. Bununla birlikte, bu faktörlerin gelecekteki değişikliklerini öngörmek mümkün olmadığı için, çalışmanın bulguları belirli bir zaman dilimi için geçerli olacak ve bu değişkenlerdeki dalgalanmaların çalışmanın sonuçları üzerindeki etkisi, gelecekte yapılacak çalışmalarla daha detaylı incelenebilecektir. Bu kapsamda, araştırmanın sonuçlarının yorumlanması ve genellemesi sırasında, bu varsayımlar ve kısıtlamalar dikkate alınarak, bulguların sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalıdır.

1.3.2. Araştırma sorusu ve hipotezler

Bu tez, 2023 ve 2024 yıllarında aynı kapasite ve güçte kurulan güneş enerjisi santrallerinin maliyet analizi ve amortisman süreçlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Güneş enerjisi santralının gücü ve kapasitesi sabit olduğundan, kullanılan malzemelerin ve sağlanan hizmetlerin maliyetleri önceden belirlenmiş ve bu bağlamda araştırmanın hipotezleri test edilebilir niteliktedir.

Bu çalışma, "2023 ve 2024 yıllarında aynı güç ve kapasitede kurulan güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetleri ve amortisman süreçleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığını" sorgulamaktadır.

Çalışma ile alakalı iki farklı hipotez ortaya konulabilir;

1) 2023 ve 2024 yıllarında aynı güç ve kapasitede kurulan güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetleri arasında anlamlı bir fark yoktur.

2) 2023 ve 2024 yıllarında aynı güç ve kapasitede kurulan güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetleri arasında anlamlı bir fark vardır.

Bu hipotezler, araştırmanın odaklandığı ana sorunun çerçevesini oluşturmakta ve analizin yönünü belirlemektedir. Çalışma, elektrik fiyatlarındaki değişimler, malzeme maliyetlerindeki dalgalanmalar ve döviz kurlarındaki varyasyonlar gibi faktörlerin kurulum maliyetleri ve amortisman süreçleri üzerindeki potansiyel etkilerini dikkate alacaktır. Araştırmanın sonucunda, 2023 ve 2024 yıllarında kurulan santrallerin maliyet ve amortisman süreçlerindeki farklılıkların, yukarıda belirtilen ekonomik değişkenlerle ilişkilendirilip ilişkilendirilemeyeceği değerlendirilecektir.

Bu çalışma, güneş enerjisi santrallerinin ekonomik değerlendirmesine katkıda bulunarak, yatırımcılara ve politika yapıcılara gelecek projeler için önemli bilgiler sağlamayı hedeflemektedir. Araştırmanın bulguları, güneş enerjisi santrallerinin kurulum ve işletme maliyetlerinin optimizasyonuna yönelik stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olacak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir kullanımını teşvik edecektir.

1.3.3. Araştırmanın örnekleme

Bu araştırma, faaliyette olan ve kurulumu tamamlanmış bir güneş enerjisi santrali üzerinde gerçekleştirilecek somut bir örneklem üzerinden yürütülecektir. Çalışmanın temel amacı, bu özel güneş enerjisi santralini 2023 ve 2024 yıllarında karşılaştırmalı bir maliyet analizi ve amortisman süreçlerinin incelenmesidir. Örneklem olarak seçilen santral, belirli bir güç ve kapasiteye sahip olup, kullanılan malzemelerin ve sağlanan hizmetlerin maliyetleri gibi önemli verileri sağlayacak şekilde detaylandırılmıştır.

Araştırmanın örnekleme, sektördeki genel eğilimleri ve maliyet dinamiklerini anlamak için kritik bir öneme sahip olan, önceden belirlenmiş kriterlere göre seçilmiş bir güneş enerjisi santralini içermektedir. Bu santral, araştırma sorularına yanıt bulmak ve

hipotezleri test etmek için gerekli olan veri setini sağlayan, özgün ve temsil edici bir vaka olarak işlev görecektir.

Seçilen santral, analiz edilecek maliyet unsurları, elektrik üretim kapasitesi, kurulum süreci, işletme maliyetleri ve ekonomik performans açısından kapsamlı bir değerlendirme sunacaktır. Bu örneklem, aynı zamanda, güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetleri ve amortisman süreçleri üzerine yapılan karşılaştırmalı analizin, gerçek dünya koşullarında nasıl uygulandığını gösteren somut bir örneği temsil edecektir.

Örneklem olarak kullanılacak santral üzerindeki çalışma, elektrik fiyatlarındaki değişiklikler, malzeme maliyetlerindeki dalgalanmalar ve döviz kurlarındaki varyasyonlar gibi değişkenlerin etkilerini de dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır. Bu somut örnekleme dayanarak, araştırma bulgularının, güneş enerjisi santrallerinin maliyet analizi ve amortisman süreçleri hakkında derinlemesine bir anlayış sağlaması ve sektördeki yatırımcılar, politika yapıcılar ve diğer ilgili taraflar için değerli içgörüler sunması beklenmektedir. Bu yaklaşım, araştırmanın örneklemi olarak belirlenen güneş enerjisi santralinin, çalışmanın genel kapsamı ve amacı doğrultusunda, bilimsel ve pratik katkılar sunmasını sağlayacaktır.

1.3.4. Veri kaynakları ve veri toplama yöntemi

Bu tez çalışması, faaliyette olan ve kurulumu tamamlanmış bir güneş enerjisi santralini referans alarak gerçekleştirilecektir, dolayısıyla kullanılacak olan tüm kaynaklar ve veriler gerçek ve somut nitelikte olacaktır. Araştırma, güneş enerjisi santralinin 2023 ve 2024 yıllarındaki maliyet analizini ve amortisman süreçlerini incelerken, bu santralin sağladığı verileri temel alacak şekilde tasarlanmıştır.

Araştırmanın veri kaynakları, öncelikle seçilen güneş enerjisi santralinin işletme kayıtları, mali raporlar, kurulum ve bakım maliyetleri ile ilgili belgeler ve elektrik üretim verilerini içerecektir. Ayrıca, santralin kurulumu ve işletilmesi sırasında kullanılan malzeme ve hizmetlerin sağlayıcılarından elde edilen maliyet bilgileri de değerlendirilecektir. Elektrik tarifeleri, malzeme fiyatları ve döviz kurları gibi makroekonomik veriler, resmi kurumlar ve finansal piyasalardan sağlanacak olan ikincil veri kaynakları aracılığıyla toplanacaktır.

Veri toplama süreci hem niteliksel hem de niceliksel veri toplama yöntemlerini kapsayacak şekilde planlanmıştır. Nicel veriler, santralin maliyet yapısı ve elektrik üretim

verimliliği ile ilgili kesin sayısal bilgileri sağlarken; niteliksel veriler, santralin kurulumu ve işletilmesi sırasındaki karar verme süreçleri, karşılaşılan zorluklar ve çözüm stratejileri hakkında derinlemesine bilgiler sunacaktır. Veri toplama yöntemleri arasında doküman analizi, mali raporların incelenmesi ve ilgili uzmanlarla yapılan görüşmeler yer alacaktır.

Bu tez çalışması, gerçek dünya koşullarında elde edilen verileri kullanarak güneş enerjisi santrallerinin ekonomik değerlendirmesine yönelik somut ve güvenilir bulgular sunmayı hedeflemektedir. Araştırmanın veri toplama süreci, belirlenen araştırma sorularını yanıtlamak ve hipotezleri test etmek için gerekli olan kapsamlı ve detaylı veri setinin elde edilmesini sağlayacak şekilde dikkatle planlanmıştır. Bu yaklaşım, araştırmanın sonuçlarının güneş enerjisi sektöründeki yatırımcılar, politika yapıcılar ve akademisyenler için değerli ve uygulanabilir bilgiler sunmasına olanak tanıyacaktır.

1.4. Literatür Taraması

Bu tez çalışmasının literatür özetinde, güneş enerjisi santrallerinin kurulumu, maliyet analizi, amortisman süreleri ve bu sistemlerin ekonomik, çevresel ve toplumsal üzerindeki etkileri üzerine yapılmış önceki çalışmalara yer verilmektedir. Güneş enerjisi santrallerinin finansal performansı ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi, yenilenebilir enerji alanında önemli bir araştırma konusudur. Bu bağlamda, literatürdeki çeşitli çalışmalar incelenmiş ve bu tez çalışmasının amacına uygun olarak seçilmiştir.

Öztürk ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, Ağrı/Çukurçayır Köyü'nde bulunan 999 kW gücünde bir güneş enerjisi santralinin örneği üzerinden, enerji sektöründeki teknolojik gelişmeler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki artan yeri incelenmiştir. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle güneş enerjisi santrallerinin, dikkate değer bir artış gösterdiğini vurgulamaktadır. Vekil ve Özyiğit (2020) tarafından yapılan bir araştırma, Sivas ilinin 5 ilçesinde kurulu gücü 10 MW olan monokristal ve 9,999 MW olan polikristal paneller kullanılarak toplam 10 adet güneş enerjisi santralinin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Bu çalışma, Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından verimli bir konuma sahip olduğunu ve bu alanda yapılan çalışmaların önemini ortaya koymaktadır. Uttar Pradesh (2022), Hindistan'da bulunan 10 MWP şebeke bağlantılı güneş fotovoltaik güç santralinin finansal uygulanabilirliğine odaklanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu araştırma, finansal olanakların değerlendirilmesinde yerel koşullar ve güneş radyasyonu seviyelerini

dikkate alarak farklı şehirler arasındaki simulasyon çalışmalarının önemini vurgulamaktadır. İspanya'da yapılan başka bir çalışmada Pradas ve arkadaşları (2020), güneş PV santrallerinin karlılığını ve indirim oranlarını analiz etmiştir. Bu araştırma, İspanya'nın olağanüstü hava ve güneş radyasyon koşullarının yanı sıra iklim değişikliği hakkındaki artan endişelerin, ülkede fotovoltaik enerji üretiminin artmasına yol açtığını belirtmektedir. Çalışma ayrıca, İspanya'da güneş enerjisi üretimini düzenleyen yasal çerçevenin zaman içinde nasıl evrildiğini ve karmaşıklığını da derinlemesine incelemektedir. Doğu İspanya'da bulunan ve kapasitesi 5000 kW olan bir fotovoltaik santralin yatırımında indirim oranını, sermaye varlık fiyatlandırma modeli ve tarihsel getiri analizi gibi finansal teknikler kullanarak hesaplamaktadır. Mariano ve arkadaşları (2021), Tayvan'da farklı güneş fotovoltaik (PV) santrallerinin tarafsız bir performans değerlendirmesini amaçlayan bu çalışma, veri zarflama analizi (DEA) kullanarak güneş PV santrallerinin performans verimliliğini ve sıralamasını hesaplamıştır. Çalışma, radial ve non-radial ölçümlerin bir kombinasyonunu kullanarak daha kesin bir verimlilik ölçüsü elde etmek için EBM modelini kullanmanın avantajlarını göstermiştir. Behar ve arkadaşları (2020), Bu çalışma, güneş kule güç santrallerinin ana bileşenlerinin tasarımını ve özel yatırım maliyetlerini ile ekonomik endeksleri tahmin etmek için bir metodoloji önermektedir. Çalışma, iki işletme ticari güç kule santrali olan Gemasolar ve Crescent Dunes'in tasarım verileriyle başarılı bir şekilde doğrulanan bir tasarım yaklaşımı kullanmıştır. Santralin boyutunun yatırım maliyetleri ve ekonomik endeksler üzerindeki güçlü etkisi, geri ödeme süresi, dahili getiri oranı, toplam yaşam maliyetleri ve elektriğin seviyelendirilmiş maliyeti dahil olmak üzere, gösterilmiştir. Girgin (2011), Karaman bölgesinde kurulması planlanan 5 MW gücünde 36 farklı fotovoltaik sistemin enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi gerçekleştirmiştir. Enerji üretimi incelemesi için PVsyst programı modelleme amaçlı olarak kullanılmış olup meteorolojik veriler için 4 farklı meteorolojik kaynak verisinden yararlanmıştır. Tekkale (2018)'de yaptığı çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin ülkemizin çeşitli bölgelerindeki potansiyeli incelemiştir. Bu doğrultuda PVsyst programının veri doğruluğunun kontrolü yapılmış olup ve bu hususta üretime devam eden 3 adet güneş enerjisinden elektrik üretim santralinin gerçek verileri PVsyst verileri ile karşılaştırılmıştır.

Bu literatür özeti, güneş enerjisi santrallerinin kurulumu, maliyeti, amortisman süreleri, çevresel ve toplumsal etkileri hakkında yapılmış önemli çalışmaları özetlemekte ve tez çalışmasının bu bağlamda nasıl bir katkı sağlayabileceğine dair bir çerçeve

sunmaktadır. Özellikle, güneş enerjisi santrallerinin finansal değerlendirilmesi ve sürdürülebilir enerjiye geçişin teşvik edilmesi konularında bu çalışmalar, önemli bir referans kaynağı oluşturmaktadır.

1.5. Tezin Organizasyonu

Tez, toplamda sekiz ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümü, araştırmanın amacını, kapsamını ve önemini detaylı bir şekilde açıklamaktadır. İkinci bölümde, güneş enerjisi ve fotovoltaik sistemler hakkında teknik ve teorik bilgiler sunulacaktır. Üçüncü bölümde, çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin özellikleri, avantajları ve dezavantajları ele alınacaktır. Dördüncü bölümde, bir güneş enerjisi santralinin kurulum süreci anlatılacaktır. Beşinci bölümde çatı GES örnek çalışmaları ele alınacaktır. Altıncı bölümde PVsyst simülasyonu ile ilgili bilgilendirme ve santralin PVsyst programı ile yapılan üretim analizi ve gerçek üretim verileri karşılaştırılacaktır. Yedinci bölümde maliyet analizleri ve finansal değerlendirmeleri üzerine yoğunlaşılacaktır. Son bölümde ise araştırmanın bulguları tartışılarak, sonuçlar ve öneriler sunulacaktır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN TEMELLERİ

2.1. Güneş Enerjisinin Özellikleri

2.1.1. Güneş ışıınımı

Güneş, hidrojen gazının sürekli olarak helyuma dönüşmesiyle enerji üreten doğal bir füzyon reaktörü olarak tanımlanabilir. Bu süreç sırasında meydana gelen kütle kaybı, enerji formunda açığa çıkar ve bu enerji güneş enerjisi olarak adlandırılır. Füzyon reaksiyonları sonucunda yayılan ve elektromanyetik spektrumun farklı dalga boylarında ilerleyen enerji ise "güneş ışıınımı" olarak tanımlanır.

Dünya atmosferinin dışında ölçülen güneş ışıınımının şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m² olarak kabul edilir. Ancak, atmosferin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı bu enerji kaybolarak veya yansiyarak azalır. Güneş ışıınımının yaklaşık %30'u atmosfer tarafından uzaya geri yansıtılır, %20'si ise atmosfer ve bulutlar tarafından soğurulur. Bu nedenle, yeryüzüne ulaşan güneş ışıınımının miktarı, 0-1100 W/m² arasında değişmektedir. Bu enerji, dünya yüzeyinde sıcaklık artışına neden olur ve yaşam için elverişli bir ortam yaratır. Ayrıca, rüzgâr oluşumları, okyanus akıntıları ve atmosferik döngüler gibi doğal süreçlerin temel itici gücü güneş ışıınımıdır.

Güneş ışıınımının spektral dağılımı incelendiğinde, doğrudan yeryüzüne ulaşan radyasyonun:

- %47'sinin kızılötesi (infrared),
- %46'sının görünür ışık,
- %7'sinin ise morötesi (ultraviyole) ışıınım olduğu belirlenmiştir (Toksoy, 2021).

Dünya yüzeyinden geri yansıtılan enerji genellikle kızılötesi radyasyon formundadır. Bu enerji atmosferde biriken ve özellikle karbondioksit gibi sera gazları tarafından soğurulmaktadır. Atmosferde biriken kızılötesi radyasyon, yerkürenin sıcaklığını artırarak küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu süreç, "sera etkisi" olarak adlandırılır ve modern çevresel sorunlar arasında kritik bir yer tutmaktadır.

Güneş ışıınımı, mevcut enerji ihtiyacının çok üzerinde bir potansiyele sahiptir. Bilimsel çalışmalara göre, yalnızca yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin etkin bir şekilde kullanımıyla dünya genelindeki enerji gereksinimleri karşılanabilir. Bu potansiyelin

gerçekleştirilebilmesi için fotovoltaik teknolojilerin ve enerji depolama çözümlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

2.1.2. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, bol bulunabilirliği ve çevreye zarar vermeyen yapısıyla yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaktadır. Fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ve çevresel sorunların önlenmesi için güneş enerjisi, sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında stratejik bir öneme sahiptir.

Tablo 2.1. İllere göre yıllık güneş alma değerleri (mgm.gov.tr, 2025)

İL	Güneşlenme süresi (saat-yıl)	Radyasyon Değeri (kWh/m ² -yıl)	İL	Güneşlenme süresi (saat-yıl)	Radyasyon Değeri (kWh/m ² -yıl)
Adana	2,953	1,564	İstanbul	2,446	1,612
Adıyaman	2,961	1,595	İzmir	2,986	1,496
Afyonkarahisar	2,705	1,557	Karabük	2,402	1,369
Ağrı	2,778	1,570	Karaman	3,007	1,660
Aksaray	2,886	1,578	Kars	2,537	1,472
Amasya	2,427	1,392	Kastamonu	2,394	1,364
Ankara	2,611	1,473	Kayseri	2,842	1,588
Antalya	3,011	1,646	Kırıkkale	2,648	1,460
Ardahan	2,310	1,472	Kırklareli	2,628	1,321
Artvin	2,124	1,409	Kırşehir	2,769	1,509
Aydın	3,011	1,557	Kilis	2,975	1,575
Balıkesir	2,686	1,418	Kocaeli	2,373	1,329
Bartın	2,376	1,307	Konya	2,898	1,608
Batman	2,873	1,576	Kütahya	2,559	1,490
Bayburt	2,398	1,529	Malatya	2,873	1,599
Bilecik	2,424	1,412	Manisa	2,840	1,486
Bingöl	2,719	1,592	Kahramanmaraş	2,913	1,610
Bitlis	2,690	1,604	Mardin	3,033	1,588
Bolu	2,402	1,416	Muğla	3,040	1,587
Burdur	2,944	1,631	Muş	2,686	1,591
Bursa	2,515	1,393	Nevşehir	2,834	1,537
Çanakkale	2,807	1,375	Niğde	2,930	1,620
Çankırı	2,514	1,432	Ordu	2,263	1,303
Çorum	2,511	1,419	Osmaniye	2,954	1,555
Denizli	2,931	1,591	Rize	2,124	1,403
Diyarbakır	2,613	1,473	Sakarya	2,358	1,342
Düzce	2,362	1,344	Samsun	2,314	1,335
Edirne	2,697	1,319	Siirt	2,828	1,591
Elazığ	2,829	1,588	Sinop	2,347	1,328
Erzincan	2,595	1,555	Sivas	2,653	1,538
Erzurum	2,504	1,393	Tekirdağ	2,606	1,337
Eskişehir	2,479	1,472	Tokat	2,464	1,431
Gaziantep	2,978	1,582	Trabzon	2,132	1,394
Giresun	2,285	1,435	Tunceli	2,716	1,579
Gümüşhane	2,349	1,500	Şanlıurfa	3,033	1,586
Hakkâri	3,508	1,610	Şırnak	2,975	1,601

Tablo 2.1. Tablonun devamı

Hatay	2,997	1,536	Uşak	2,789	1,540
Isparta	2,858	1,612	Van	3,070	1,652
Iğdır	3,340	1,487	Yalova	2,424	1,342
İçel	3,015	1,614	Yozgat	2,683	1,494
			Zonguldak	2,380	1,313

Türkiye, coğrafi konumu ve iklim özellikleri itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır. Özellikle Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde yıllık güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti değerlendirildiğinde, Türkiye'nin avantajlı bir konumda olduğu görülmektedir. Ancak, mevcut potansiyel değerlendirildiğinde, Türkiye'nin güneş enerjisinden faydalanma oranı Avrupa'daki gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında henüz düşük seviyededir.

Son yıllarda yapılan yatırımlar, yenilenebilir enerjiye sağlanan devlet teşvikleri ve enerji politikalarındaki dönüşüm ile Türkiye'de güneş enerjisi kullanım potansiyeli hızla artış göstermektedir. Güneş enerjisi santrallerinin (GES) kurulumunda yaşanan bu artış, ülkemizin enerji ithalatını azaltma hedeflerine de önemli katkılar sağlamaktadır.

Yukarıdaki tablo 2.1'de Türkiye'deki illerin yıllık güneş alma süreleri ve ortalama ısıtım değerleri verilmiştir. Bu veriler, ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin bölgesel olarak nasıl değişiklik gösterdiğini anlamak için önem taşımaktadır.

2.1.3. Güneş açıları

Sabit ya da hareketli güneş enerji sistemlerinde, güneş ışınlamalarının değeri birçok değişkene bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu değişkenler arasında yerleşim yerinin enlemi ve boylamı, tarih ve gün içindeki zaman dilimi gibi faktörler bulunmaktadır. Güneş enerjisi ile ilgili sistem tasarımlarında, güneş ışınlamalarının hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için güneş açıları temel alınmaktadır. Düzlemin yerleşimi ve eğimi gibi fiziksel faktörler, yüzey üzerindeki güneş ışınlamını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu nedenle, tasarım ve hesaplama aşamalarında güneşin pozisyonunu belirlemek kritik bir önem taşımaktadır (Şenpınar, 2005).

Güneşin konumunun belirlenmesi, gelen güneş ışınlamalarını doğru bir şekilde modellemek ve yüzey üzerindeki ışınlamın dağılımını analiz edebilmek için gereklidir. Özellikle, düzlemin eğimi ve yerleşimi gibi parametreler göz önüne alındığında, gelen güneş ışınlamı miktarını optimize etmek mümkün hale gelmektedir. Bu durum, güneş

enerji sistemlerinin verimliliğini artırmak açısından önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Güneş azimut açısı, dünyanın yatay düzlemdeki iz düşümünün kuzey-güney doğrultusu ile yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı, güneşin günlük hareketine bağlı olarak değişim gösterir ve enerji sistemlerinin yönlendirilmesinde temel bir parametre olarak kabul edilir (Yılmaz, 2018).

Ek olarak, güneşin ufuk düzlemine göre yüksekliği, yani güneş yükseklik açısı, ışıının bir yüzey üzerindeki etkisini belirleyen bir diğer önemli faktördür. Yılın farklı zamanlarında güneş ışınlarının eğim açısının değişmesi, sabit sistemler için tasarımda dikkate alınması gereken bir husustur.

2.1.4. Güneş radyasyonu ölçümleri ve güneşlenme süresi

Güneş ışınları yeryüzüne iki temel formda ulaşmaktadır: direkt radyasyon ve difüz radyasyon. Direkt radyasyon, atmosferik saçılma süreçlerine uğramadan doğrudan yeryüzüne ulaşan güneş ışıının ifade eder. Buna karşılık, difüz radyasyon, atmosferde bulunan gaz molekülleri, aerosoller ve bulutlar tarafından saçılmaya uğrayarak yeryüzüne ulaşan güneş ışıının temsil eder. Bu iki bileşenin toplamı ise global güneş radyasyonu olarak tanımlanır.

Global güneş radyasyonu, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve güç kapasitesinin belirlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu radyasyon miktarı; aktinometre, aktinograf ve piranometre gibi özel cihazlar kullanılarak ölçülür. Bu cihazların temel özellikleri şu şekildedir:

- Aktinometre: Direkt güneş radyasyonunu ölçmek için kullanılır.
- Piranometre: Global radyasyonu (direkt + difüz) ölçen cihazdır.
- Aktinograf: Zaman bazında radyasyon değerlerinin kaydını tutar ve uzun süreli ölçümler için uygundur.

Güneş enerjisi santrali kurulumlarının tasarımı sırasında, ölçülen global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri, sistemin verimliliğini ve enerji üretim kapasitesini belirlemek için kullanılmaktadır.

Güneşlenme süresi, bir bölgeye günlük, aylık veya yıllık olarak düşen güneş ışığı süresini ifade eden bir parametredir. Genellikle saat/gün veya ortalama saat/gün

birimleriyle ifade edilir ve güneş enerjisi projelerinin planlaması için hayati bir veri kaynağıdır.

Güneşlenme süresini belirlemek için, küresel, direkt ve difüz güneş ışıınımı şiddeti parametrelerinin düzenli aralıklarla ölçülmesi gereklidir. Bu ölçümler genellikle 1 dakikalık veya daha kısa süreli aralıklarla yapılır ve bölgedeki güneş enerjisi potansiyelini analiz etmek için kullanılır. Ayrıca, bu veriler enerji üretim modelleri, güneş panellerinin yönlendirilmesi ve verimliliğinin artırılması gibi uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır (Kandilci, 2017).

Güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi verileri, güneş enerji sistemlerinin performans değerlendirmesinde ve bölgesel enerji potansiyelinin hesaplanmasında temel unsurlardır. Örneğin, yüksek güneşlenme süresine sahip bölgeler, fotovoltaik panellerin kurulumu için daha elverişlidir. Bunun yanı sıra, mevsimsel ve günlük değişimler de göz önünde bulundurularak enerji üretiminin sürekliliği sağlanabilir.

2.1.5. Türkiye güneş enerjisi durumu

Güneş enerjisi santrallerinin (GES) verimliliği, çeşitli çevresel ve teknik faktörlere bağlıdır. Bu faktörler arasında, santralin kurulacağı bölgenin güneş enerji potansiyeli önemli bir belirleyicidir. Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla güneş ışıınımı açısından avantajlı bir ülke konumundadır (Yolcan & Köse, 2020). Aşağıda Şekil 2.1’de Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası yer almakta olup, bu harita ülkenin farklı bölgelerindeki güneş enerjisi potansiyelini görsel olarak sunmaktadır.

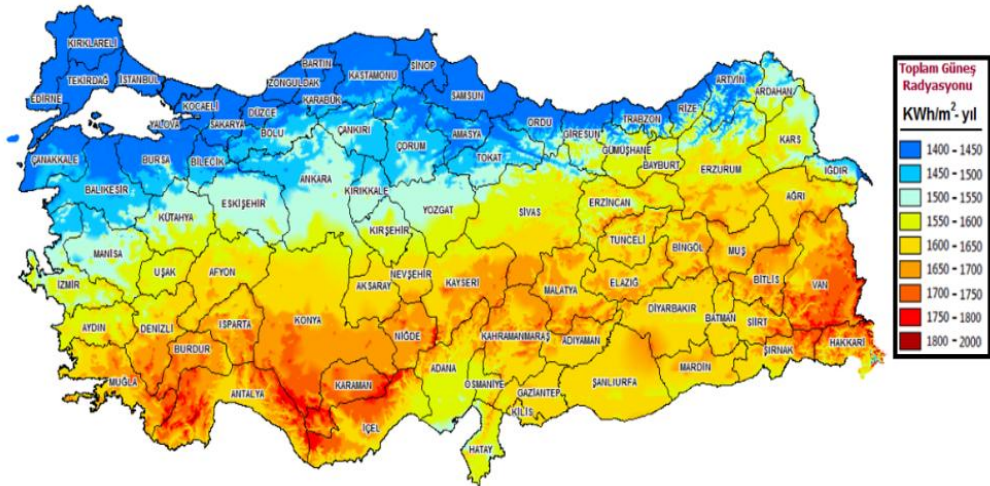
Türkiye’nin yıllık güneş ışıınımı haritası incelendiğinde, güneşlenme potansiyelinin coğrafi bölgelere göre farklılık gösterdiği açıkça görülmektedir. Güneyden kuzeye doğru gidildikçe, güneşlenme süresi ve ışıınım şiddetinde azalma yaşanmaktadır. Türkiye’nin coğrafi bölgelerine göre güneşlenme potansiyeli şu şekilde özetlenebilir:

- Karadeniz bölgesi: Coğrafi konumu, sık yağışlı iklimi ve bulutluluk oranının yüksekliği nedeniyle en düşük güneşlenme potansiyeline sahip bölgedir.
- Marmara ve Ege bölgeleri: Orta düzeyde güneşlenme potansiyeline sahiptir. Bu bölgeler, ılıman iklim koşulları nedeniyle enerji üretimi açısından makul seviyelerde ışıınım alır.
- İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri: Yüksek güneşlenme potansiyeli ile ön plana çıkmaktadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu

ve Akdeniz Bölgeleri, yıllık ışıınım değeri ve güneşlenme süresi açısından Türkiye'nin en verimli bölgeleri arasında yer almaktadır.

Bu farklılıklar, güneş enerjisi santrali kurulacak bölgenin seçiminde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek potansiyele sahip bölgelerde güneş enerjisi yatırımları daha kısa sürede geri dönüş sağlayabilirken, düşük potansiyele sahip bölgelerde enerji verimliliğini artırmak için ilave önlemler ve teknolojiler kullanılabilir.

Türkiye'de güneş enerjisi yatırımları son yıllarda hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerjiye sağlanan teşvikler, GES kurulumu ve işletim maliyetlerini düşürmüş, böylece güneş enerjisine olan ilgiyi artırmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından oluşturulan güneş enerjisi strateji planları doğrultusunda, Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücünün önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde artırılması hedeflenmektedir.



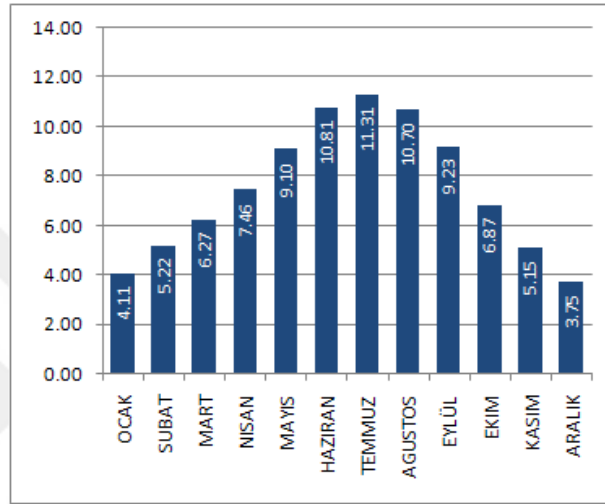
Şekil 2.1. Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)

Yüksek güneşlenme potansiyeline sahip bölgelerde güneş enerjisi yatırımları, enerji üretiminde daha verimli sonuçlar elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Bu bölgelerde kurulacak güneş enerjisi santralleri, daha fazla güneş ışığından faydalanarak enerji üretim kapasitesini artırabilir. Ayrıca, bu avantajlı konumlar sayesinde yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresi, düşük potansiyele sahip bölgelere göre daha kısa olmaktadır.

Özellikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri gibi yıllık ışıınım değeri ve güneşlenme sürelerinin yüksek olduğu bölgelerde, güneş enerjisi santralleri yüksek verimlilikle çalışabilmektedir. Bu durum, yalnızca enerji üretim maliyetlerini düşürmekle

kalmayıp, aynı zamanda bölgenin enerji arz güvenliğini artırma potansiyeli taşımaktadır. Dolayısıyla, güneş enerjisi yatırımları açısından bu tür bölgeler, hem enerji verimliliği hem de ekonomik kârlılık açısından stratejik bir öneme sahiptir (Özgür, 2020).

Aşağıdaki Şekil 2.2’de Türkiye’nin aylara göre saat cinsinden güneşlenme süreleri grafiği yer almakta olup, bu grafik bölgesel ve mevsimsel güneşlenme farklılıklarını detaylı bir şekilde sunmaktadır. Bu tür grafikler, enerji projelerinin planlanmasında ve kaynakların etkin kullanımında önemli bir rehber işlevi görmektedir.



Şekil 2.2. Türkiye güneşlenme süreleri (saat)

2.2. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren sistemler olarak tanımlanır ve yaygın olarak üç farklı şekilde tasarlanmaktadır; şebekeye bağlı sistemler, şebekeden bağımsız sistemler ve tarımsal sulama sistemleri. Bu sistemler, kullanım amaçlarına ve bölgesel ihtiyaçlara göre farklılık göstermektedir. Türkiye’de bu üç sistem türüne ait örnekler bulunmasıyla beraber, her bir türün kendi avantaj ve dezavantajları mevcuttur.

2.2.1. Şebekeye bağlı sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin temel amacı, güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisini doğrudan evlerde veya işyerlerinde kullanmak ve üretilen fazla

enerjiyi şebekeye göndermektir. Bu tür sistemler, enerji talebini karşılayamazsa, eksik kalan enerji miktarı şebekeden temin edilir. Böylece hem enerji maliyetleri düşürülür hem de yenilenebilir enerji kaynakları etkin bir şekilde kullanılmış olur (Donuk, 2014).

Şebekeye bağlı PV sistemler, büyük ölçekli güneş enerji santralleri olabileceği gibi küçük ölçekli ev sistemleri olarak da kurulabilir. Her iki durumda da bu sistemler enerji üretimini optimize etmek ve fazla enerjiyi şebekeye satmak amacıyla tek fazlı veya üç fazlı inverterler kullanır. Şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistem genellikle şu dört temel bileşenden oluşur:

1. Güneş panelleri: Güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren temel bileşenlerdir.
2. İnverterler: Doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürerek şebeke ile uyumlu hale getirir.
3. Çift yönlü sayaçlar: Üretilen fazla enerjinin şebekeye gönderilmesini ve tüketim ölçümünü sağlar.
4. Veri kaydediciler: Sistem performansını izlemek ve kayıt altına almak için kullanılır (Atalay, Yorgun & Erdem, 2019).

Bir şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerji santralinde, PV paneller uygun sayıda seri bağlanarak bir dizi oluşturulur. Bu diziler, enerji üretim kapasitesini artırmak için paralel olarak bağlanır. Dizilerde üretilen doğru akım (DC), inverterler aracılığıyla alternatif akıma (AC) dönüştürülür ve bir trafo yardımıyla yüksek gerilime çıkarılarak şebekeye bağlanır (Nedimoğlu, 2019).

2.2.2. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler, genellikle elektrik şebekesinin olmadığı veya ekonomik olarak erişilemediği bölgelerde tercih edilmektedir. Bu tür sistemler, aynı zamanda şebeke kesintilerinin sık yaşandığı yerlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız PV sistemler şu durumlarda öncelikli olarak tercih edilir:

- Elektrik şebekesinin bulunmadığı uzak bölgelerde,
- Şebeke iletim hatlarının ekonomik olmadığı yerlerde,
- Şebeke kesintilerinin sık ve uzun süreli olduğu durumlarda.

Bu sistemler, aşağıdaki temel bileşenlerden oluşur:

Güneş panelleri: Elektrik üretiminin ana kaynağıdır.

Aküler (Piller): Üretilen elektrik enerjisinin depolanmasını sağlar.

Şarj kontrol cihazları: Akülerin aşırı şarj edilmesini veya tamamen boşalmasını engeller.

İnverterler: Depolanan doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürerek ev veya iş yerinde kullanılan cihazlara uyumlu hale getirir (Kutluca, 2020).

Şebekeden bağımsız bir sistemin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir: Güneş ışımasını, güneş panelleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür ve bu enerji şarj kontrol cihazı aracılığıyla akü paketlerinde depolanır. Depolanan bu enerji, gerektiğinde inverter yardımıyla AC gerilime dönüştürülerek evlerde, tarım alanlarında veya sanayi uygulamalarında kullanılabilir. Bu tür sistemlerde, enerji depolama kapasitesi ve panellerin verimliliği, sistemin performansı üzerinde doğrudan etkilidir.

2.2.3. Tarımsal sulama sistemleri

Tarımsal sulama sistemleri, güneş enerjisinin tarım sektöründe etkin bir şekilde kullanılmasının önemli bir örneğidir. Elektrik şebekesinin bulunmadığı veya erişimin ekonomik olmadığı tarım arazilerinde, güneş enerjisi ile çalışan pompa sistemleri, sulama ihtiyaçlarının karşılanması için ideal bir çözüm sunmaktadır. Bu sistemlerde güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi, sulama pompalarının çalıştırılmasında kullanılır. Özellikle dalgıç pompalar, güneş enerjisi ile elde edilen elektriğin doğrudan veya dolaylı olarak kullanıldığı en yaygın ekipmanlardır (Güre, 2018).

Tarımsal sulama sistemlerinde enerji depolama iki farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir:

Akü ile Depolama: Güneş enerjisinin yoğun olduğu saatlerde üretilen enerji, şebekeden bağımsız sistemlerde olduğu gibi akülerde depolanabilir. Depolanan bu enerji, güneş ışığının olmadığı veya yetersiz olduğu durumlarda sulama pompalarının çalıştırılmasında kullanılır. Bu yöntem, sulama sürekliliği açısından önemli bir avantaj sağlar.

Su Depolama: Alternatif bir depolama yöntemi, güneş enerjisi ile üretilen elektrik kullanılarak pompalanan suyun depolarda biriktirilmesidir. Depolanan su, gece saatlerinde veya güneş ışığının yetersiz olduğu günlerde sulama için kullanılabilir. Bu yöntem hem enerji hem de su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesine katkıda bulunur.

Güneş enerjili tarımsal sulama sistemleri, çevresel açıdan da önemli avantajlar sunmaktadır. Bu sistemler, fosil yakıt kullanımını azaltarak karbon emisyonlarını

düşürmekte ve tarımsal faaliyetlerde sürdürülebilirliğin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, enerji maliyetlerini düşürerek çiftçilerin ekonomik verimliliğini artırmakta ve enerji erişiminin sınırlı olduğu bölgelerde tarımsal üretimin sürekliliğini sağlamaktadır.

2.3. Fotovoltaik Hücreler ve Panel Tipleri

Fotovoltaik hücreler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yenilikçi teknolojilerin temel bileşenleridir. Güneş ışığından doğrudan elektrik üreten bu hücreler, fotovoltaik panellerin yapı taşlarıdır ve farklı üretim teknolojileri ve malzemelerle çeşitli tiplerde üretilmektedir (Kara, 2024). Bu bölümde fotovoltaik hücrelerin temel özellikleri, çalışma prensipleri, türleri ve teknolojik gelişmeleri ele alınmıştır.

2.3.1. Güneş hücreleri

Güneş hücreleri, diğer isimleriyle güneş pilleri veya solar hücreler, yüzeyine gelen güneş ışınlarını (fotonları) doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerdir. Bu dönüşüm, fotovoltaik etki olarak bilinen fiziksel ve kimyasal bir mekanizmaya dayanır. Güneş hücrelerinin üretiminde genellikle yarı iletken silisyum kullanılmaktadır (Akgayev, 2024). Silisyum, dünya genelinde bolca bulunmasına rağmen, güneş hücresi üretimi için gereken saf silisyumun temini ve işlenmesi oldukça maliyetlidir.

2.3.2. Hücrelerin çalışma prensibi

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi, güneş ışınlarını oluşturan enerji yüklü fotonların, yarı iletken bir malzemenin yüzeyine çarpmasıyla başlar (Aydın, 2021). Bu süreç, yarı iletken atomların içindeki elektronların serbest hale geçmesini ve bir elektrik akımı oluşturmalarını sağlar. Devre tamamlandığında, güneş hücreleri güneş ışığına maruz kaldıkları sürece enerji üretimini sürdürebilir. Bu durum, fotovoltaik hücrelerin temel karakteristik özelliğidir.

2.3.3. Güneş hücresi çeşitleri

Güneş hücreleri, kullanılan malzemeler ve üretim tekniklerine bağlı olarak farklı kategorilere ayrılır. Bu çeşitler arasında Polikristal, Monokristal, Amorf Silikon ve CIS/CIGS hücreleri gibi tipler yer alır (Sarıkaya, 2024). Her bir hücre türünün verimlilik, maliyet ve uygulama alanları açısından kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

2.3.3.1. Polikristal güneş hücreleri

Polikristal hücreler, sıvı silikonun bloklar halinde dökülüp dilimlere hâline kesilmesiyle üretilir. Bu üretim yöntemi, maliyetlerin düşük olmasını sağlasa da, Polikristal hücrelerin verimliliği monokristal hücrelere göre daha düşüktür. Kristal yapılarının düzensiz görünümü ile ayırt edilen bu hücreler, düşük maliyetli uygulamalar için uygun bir seçenektir.

2.3.3.2. Monokristal hücreler

Monokristal güneş hücreleri, yüksek saflıkta silisyum kullanılarak üretilir ve polikristal hücrelere kıyasla daha yüksek verimliliğe sahiptir. Bu hücrelerin tek atomlu kristal yapıları, enerjinin daha verimli şekilde dönüştürülmesini sağlar. Pürüzsüz yapısı ve koyu rengi ile dikkat çeken monokristal hücreler, alan kısıtlamalarının olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Şekil 2.3 'te monokristal ve polikristal güneş panelleri görselleştirilmiştir.



Şekil 2.3. Monokristal ve polikristal güneş panelleri

2.3.3.3. İnce film amorf silikon güneş hücreleri

Amorf silikon hücreler, düzenli bir kristal yapıya sahip olmayan silikon malzemelerden üretilir. Bu tür hücreler, düşük maliyetli ve esnek yapılarıyla dikkat çeker. Amorf silikon teknolojisi, sıcaklık dayanıklılığı ve tasarım esnekliği açısından avantaj sağlar. Çeşitli voltaj değerlerine uygun modüller oluşturmak için kolayca ayarlanabilirler ve genellikle esnek güneş panellerinde kullanılırlar.

2.3.3.4. İç içe geçmiş arka kontak güneş hücresi

Arka kontak güneş hücrelerinde, pozitif ve negatif elektrik iletim yolları hücrenin arka yüzeyinde yer alır. Bu tasarım, hücre yüzeyini tamamen siyah bir görünüme kavuştururken, birim alandaki enerji üretimini artırır. Arka kontak teknolojisi, estetik ve verimlilik açısından günümüzde birçok uygulamada tercih edilmektedir.

2.3.3.5. CIS/CIGS güneş hücreleri

CIS (Bakır İndiyum Selenyum) ve CIGS (Bakır İndiyum Galyum Selenyum) teknolojisi, esnek güneş modülleri için idealdir. Bu hücreler, geniş spektral bir yanıt sağlayarak düşük maliyetle yüksek dönüşüm verimliliği sunar. İnce polimer folyolar üzerine kolayca uygulanabilirler ve dönüşüm verimliliğinden ödün vermeden yüksek performans sağlarlar.

2.3.4. Güneş hücresi teknolojileri

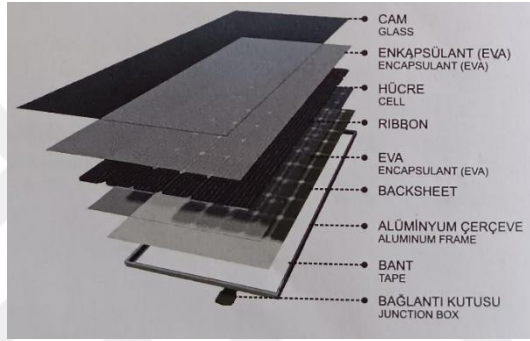
Güneş hücresi teknolojilerinde PERC, Bifacial, Multi-Busbar ve Half-Cut gibi yenilikçi yöntemler öne çıkmaktadır:

- PERC teknolojisi: Hücre verimliliğini artırmak için ışık tutuşunu optimize eden ve daha fazla enerji çıkışı sağlayan bir yöntemdir.
- Bifacial hücre teknolojisi: Güneş panellerinin her iki yüzeyinden enerji üretimine imkân tanır.
- Multi-Busbar teknolojisi: Elektriksel kayıpları en aza indirerek panel verimliliğini artırır.

- Half-Cut teknolojisi: Hücrelerin yarıya bölünmesiyle daha uzun ömürlü ve verimli paneller elde edilmesini sağlar.

2.4. Güneş Paneli Sistem Bileşenleri

Bir fotovoltaik (PV) panel, birbirinden farklı işlevlere sahip birçok katmanın birleşimiyle oluşturulur. Bu katmanlar, panelin enerji üretiminden dayanıklılığına kadar çeşitli kritik özellikleri destekler. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, bir güneş paneli beş ana katmandan oluşur: cam, EVA (etilen vinil asetat), hücre, EVA ve arka koruyucu (backsheet).



Şekil 2.4. PV paneli oluşturan katmanlar

2.4.1. Cam

Güneş panellerinin ön yüzeyinde yer alan cam, panelin dış etkenlere karşı korunmasını sağlarken, yüksek ışık geçirgenliğiyle enerji üretim verimliliğini artırır. Camın temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir:



Şekil 2.5. PV panelde kullanılan cam

- Dayanıklılık: Sertleştirilmiş (temperli) cam, darbelere karşı dayanıklıdır ve standart camdan dört kat daha güçlüdür. Ayrıca kırıldığında küçük parçalar hâline gelerek yaralanma riskini azaltır.
- Işık geçirgenliği: Yansıma önleyici kaplamalar (AR) sayesinde, cam ışığı daha fazla soğurur ve elektrik üretim verimliliğini artırır.
- Su ve nem koruması: Cam, solar modülleri su, nem ve diğer çevresel koşullardan koruyarak uzun ömürlü bir kullanım sağlar.
- Optimum kalınlık: Kristal panellerde genellikle 3-4 mm kalınlık tercih edilir. Bu, mekanik dayanıklılığı artırırken ağırlığı kabul edilebilir düzeyde tutar.

Sonuç olarak camın kalitesi, güneş panellerinin verimliliği ve dayanıklılığı üzerinde doğrudan etkilidir.

2.4.2. EVA (Etilen vinil asetat)

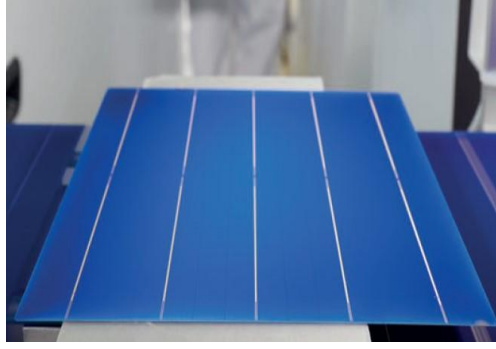
EVA, güneş panelindeki cam ve hücre katmanlarını birleştiren şeffaf, polimer tabanlı bir enkapsülant malzemedir. Güneş paneli üretiminde EVA'nın rolü şu şekildedir:

- Koruma: EVA, hücreleri toz, nem ve darbelere karşı korur.
- Yalıtım: Hücrelerin şok ve titreşimlerden etkilenmesini önler.
- Laminasyon: Katmanlar arasında güçlü bir bağ oluşturur, bu da panelin uzun ömürlü olmasını sağlar.

EVA'nın kalitesi, yüksek sıcaklık ve UV ışınlarına karşı dayanıklılığına bağlıdır. Kalitesiz EVA, uzun vadede panellerde performans kaybına yol açabilir.

2.4.3 Hücre

Güneş panellerinin enerji üretimini sağlayan temel bileşen güneş hücreleridir. Hücreler genellikle monokristal veya polikristal yapıdadır ve proje gereksinimlerine göre seçilir. Hücrelerin düzenlenmesi ve sayısı, panelin enerji üretim kapasitesini doğrudan etkiler. Şekil 2.6 'da bir güneş hücresi örneği gösterilmiştir.



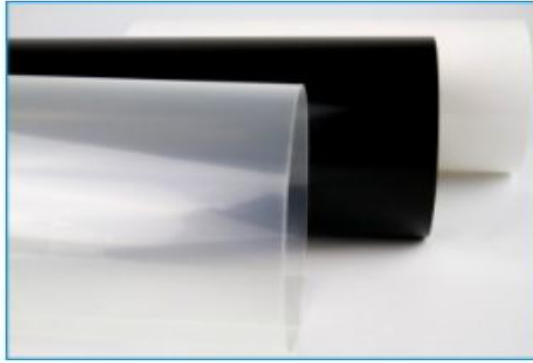
Şekil 2.6. Hücre

2.4.4. Arka koruyucu (Backsheet)

Backsheet, güneş panelinin en alt katmanıdır ve şu temel işlevleri üstlenir:

- Koruma: Backsheet, paneli nem, UV ışınları ve aşınmalara karşı korur.
- Elektriksel yalıtım: Kaçak akımları önleyerek elektriksel güvenliği sağlar.
- İklim direnci: -40°C ile $+85^{\circ}\text{C}$ arasında fiziksel ve kimyasal özelliklerini korur.

Projenin gereksinimlerine göre siyah, beyaz veya saydam backsheet kullanılabilir. Özellikle çift yüzeyli panellerde (bifacial), saydam backsheet tercih edilir. Şekil 2.7’de bir backsheet örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Arka koruyucu (Backsheet)

2.4.5. Ribon

Ribon, güneş hücrelerini birbirine bağlayarak üretilen elektriği bağlantı kutusuna ileten bakır tabanlı bir iletkenidir. İki temel türü bulunur:



Şekil 2.8. Ribon

- Tab ribon: Hücreleri seri bağlamak için kullanılır.
- Bus ribon: Elektrik akımını bağlantı kutusuna taşır.

Yüksek kaliteli ribon, elektrik kayıplarını en aza indirerek panelin performansını artırır. Şekil 2.8’de bir ribon örneği gösterilmiştir.

2.4.6. Alüminyum çerçeve

Alüminyum çerçeve, cam ve arka koruyucu katmanı çevreleyerek panelin yapısal bütünlüğünü sağlar. Çerçevenin başlıca işlevleri şunlardır:

- Mekanik dayanıklılık: Rüzgâr ve kar yüklerine karşı direnci artırır.
 - Topraklama: Elektriksel güvenlik sağlar.
 - Montaj kolaylığı: Panellerin düzenli bir şekilde sabitlenmesini mümkün kılar.
- Çerçevenin kalitesi, panelin uzun vadeli dayanıklılığında kritik bir rol oynar.

2.4.7. Bağlantı kutusu (Junction Box)

Bağlantı kutusu, panelin arka kısmında yer alır ve elektrik akımının yönetilmesini sağlar. Bu kutunun temel özellikleri şunlardır:

- Bypass diyotlar: Gölgeleme durumlarında panelin zarar görmesini önler.
- Bağlantı yönetimi: Modüllerin seri veya paralel bağlanmasını sağlar.
- Koruma: Yüksek sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlere karşı dayanıklıdır.

Bağlantı kutusu, modül performansının sürekliliği açısından kritik bir bileşendir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’da bağlantı kutusu örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Bağlantı kutusu (Junction Box)



Şekil 2.10. Bağlantı kutusu (Junction Box)

2.5. Sistem Tasarımı ve Performans Hesapları

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı, maksimum enerji üretimini sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Bu, güneş panellerinin bağlantı yapısından, elektriksel devre düzenlemelerine ve enerji kayıplarını önlemeye yönelik tasarım kararlarını kapsar.

2.5.1. Güneş paneli bağlantı yapısı

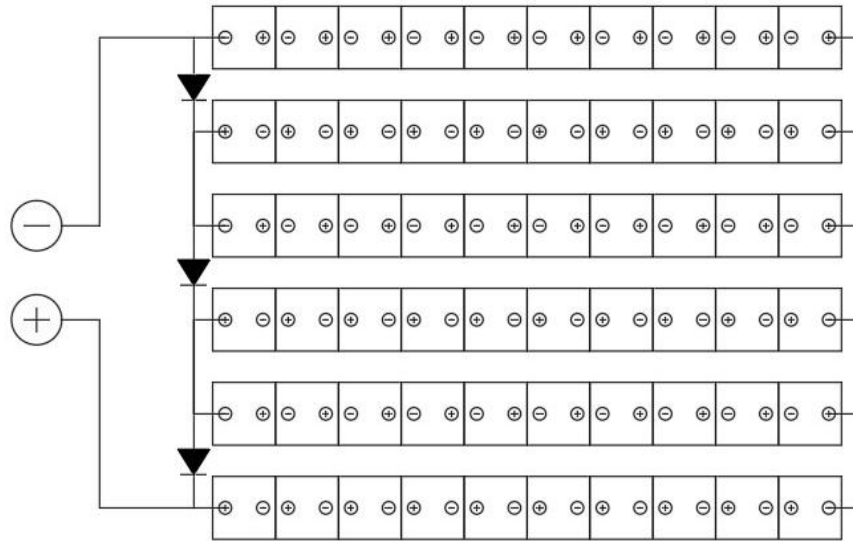
Güneş panellerinin bağlantı yapısı, enerji üretim kapasitesi ve sistem verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Standart bir güneş modülünde genellikle seri bağlantı tercih edilir. Bu bağlantı türü, her bir güneş hücresinin akım taşıma kapasitesini artırarak modül geriliminin toplam değerini yükseltir.

Seri bağlantı, güneş hücrelerinin art arda bir zincir oluşturacak şekilde bağlanmasıyla yapılır. Bu yapıda, akım sabit kalırken, her hücrenin ürettiği gerilim toplam gerilime eklenir. Örneğin:

- 60 hücreli bir panel, her bir hücrenin 0.5 V ürettiği varsayıldığında yaklaşık 30 V gerilim üretir.
- 72 hücreli bir panelde ise toplam gerilim yaklaşık 36 V'a ulaşır.

Seri bağlantı, özellikle yüksek voltaj gereksinimi olan sistemlerde tercih edilir. Ancak, bu bağlantı yapısında herhangi bir hücrenin gölgelenmesi, tüm seri devre boyunca enerji kaybına neden olabilir. Bu durum, güneş panelinin genel performansını olumsuz etkileyebilir.

Güneş panellerinin gölgelenme durumlarında enerji kaybını minimize etmek için Bypass Diyotlar kullanılır. Bypass diyotlar, gölgelenmiş hücrelerin devreden çıkarılmasını sağlayarak, diğer hücrelerin performansını korur. Bu diyotlar, gölgelenme nedeniyle oluşan enerji kaybını yalnızca etkilenen hücre grubuyla sınırlandırır.



Şekil 2.11. Hücre bağlantısı

Bypass diyotların çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir:

- Seri bağlı bir panelde gölgelenen hücre, devre direncini artırarak enerji akışını engelleyebilir.
- Bypass diyotlar, enerji akışını gölgelenmiş hücreden yönlendirerek, toplam verim kaybını minimum seviyede tutar.

Bir güneş panelinin verimliliği, bağlantı yapısına ve çevresel koşullara doğrudan bağlıdır. Gölgelemenin sık yaşandığı alanlarda, Bypass diyotların doğru yerleştirilmesi ve bağlantı düzenlemelerinin optimize edilmesi, panel performansını artırabilir. Şekil 2.11’de bir güneş panelindeki hücre bağlantı yapısı görselleştirilmiştir.

2.5.2. Güneş paneli dizisi bağlantı yapısı

Güneş paneli dizilerinin bağlantı yapısı, temel elektrik devresi kurallarına göre tasarlanır. Güneş panellerinin bir arada çalışabilmesi ve sistem gereksinimlerine uygun enerji üretimini sağlayabilmesi için seri bağlantı, paralel bağlantı veya her iki bağlantı yönteminin bir kombinasyonu kullanılabilir. Bu bağlantı yapılarının seçimi, sistemin istenilen çıkış gerilimi, akımı ve güç kapasitesine bağlıdır.

Seri bağlantıda, güneş panellerinin art arda bağlanmasıyla toplam gerilim artırılırken, akım sabit kalır. Seri bağlantının başlıca özellikleri şunlardır:

- Gerilim artışı: Seri bağlantıda her bir panelin çıkış gerilimi toplam gerilime eklenir. Örneğin, her biri 30 V üreten 10 panelin seri bağlantısı, toplamda 300 V gerilim sağlayacaktır.
- Akım sabitliği: Seri bağlantıda tüm dizinin akımı, en düşük akım kapasitesine sahip panel tarafından belirlenir. Bu nedenle seri bağlı panellerin özelliklerinin birbirine eşdeğer olması önemlidir.
- Gölgeleme etkisi: Seri bağlantılarda bir panelin gölgelemesi tüm dizi üzerindeki enerji üretimini olumsuz etkileyebilir. Bu durumu minimize etmek için Bypass diyotlar kullanılır.

Paralel bağlantıda, panellerin pozitif uçları birbirine, negatif uçları birbirine bağlanır. Bu yöntemle toplam akım artırılırken gerilim sabit kalır. Paralel bağlantının temel özellikleri şunlardır:

- Akım artışı: Paralel bağlantıda her bir panelin akımı toplanır. Örneğin, her biri 8 A üreten 10 panelin paralel bağlantısı, toplamda 80 A sağlar.
- Gerilim sabitliği: Paralel bağlantıda tüm dizinin gerilimi, en düşük gerilim değerine sahip panel tarafından belirlenir.
- Güvenlik ve koruma: Paralel bağlı dizilerde, yüksek akım değerleri nedeniyle kablo kesitlerinin doğru hesaplanması ve uygun sigorta kullanımı gereklidir.

2.5.2.1. Seri ve paralel bağlantıların kombinasyonu

Büyük ölçekli güneş enerji santrallerinde, istenilen çıkış gücünü elde etmek için genellikle seri ve paralel bağlantıların bir kombinasyonu kullanılır. Bu bağlantı yapısı hem yeterli gerilim hem de akım değerlerinin sağlanmasına olanak tanır. Örneğin:

- 10 panelin 2'şerli gruplar hâlinde seri bağlanmasıyla 5 paralel dizi oluşturulabilir.
- Bu bağlantı yöntemi, enerji üretim kapasitesini optimize ederken gölgelenme ve hat kayıplarını minimize eder.

Tasarımda dikkat edilmesi gereken hususları aşağıda ifade edildiği şekli ile göz önünde bulundurabiliriz.

- Uygun kablo kesiti: Seri ve paralel bağlantılarda, yüksek gerilim veya akıma uygun kablo kesitleri seçilmelidir.
- Bypass diyot kullanımı: Gölgeleme kaynaklı kayıpların önlenmesi için her panelde bypass diyotlar yerleştirilmelidir.
- Dizi topraklaması: Sistem güvenliği için panellerin uygun şekilde topraklanması sağlanmalıdır.

Güneş paneli dizilerinin bağlantı yapısı, enerji üretim verimliliğini artırmak ve sistem gereksinimlerini karşılamak amacıyla dikkatle tasarlanır. Şekil 2.12'de, 20 adet güneş panelinden oluşan bir 'U' dizi bağlantı örneği gösterilmiştir. Bu dizideki bağlantılar, junction box (bağlantı kutuları) aracılığıyla yapılır.

Bağlantı kutuları, güneş panellerinden doğru akım (DC) gücün alınmasını ve düzenli bir şekilde invertere iletilmesini mümkün kılar. Dizideki her bir panelin pozitif (+) ve negatif (-) çıkış uçları, yanındaki panelin uçlarına bağlanarak seri bir bağlantı oluşturulur. Dizi tamamlandığında, ilk ve son panellerden alınan pozitif ve negatif uçlar DC kablolar yardımıyla invertere bağlanır.

İlave dizilerde, güneş panelleri yine seri bağlantılarla birleştirilir. Ancak invertere ulaşan her bir dizi, inverter girişine paralel olarak bağlanır. Bu bağlantı düzeni, sistemde yüksek gerilim ve akım gereksinimlerini optimize eder.

Güneş paneli dizilerinde bağlantı yapısı, sistemin enerji gereksinimlerine göre şekillendirilir:

- Yüksek gerilim gereksinimi: Seri bağlantı tercih edilir. Bu yapı, gerilimi artırarak enerji iletim kayıplarını minimize eder.

- Yüksek akım gereksinimi: Paralel bağlantı tercih edilir. Bu yapı, toplam çıkış akımını artırarak enerji depolama ve kullanım sistemlerinin verimliliğini artırır.

Her iki bağlantı türünde de sistemin toplam gücü, bağlantı yapısına, panel özelliklerine ve diğer sistem bileşenlerine bağlı olarak değişir. Bağlantı yapısını etkileyen diğer faktörler şunlardır:

- Sistem türü: Şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız olması, bağlantı yapısının seçimini etkiler.
- Enerji gereksinimi: Üretilmesi hedeflenen toplam enerji, gerilim ve akım değerlerini belirler.
- Diğer sistem bileşenleri: İnverter, akü, şarj kontrol cihazı ve bağlantı ekipmanlarının özellikleri bağlantı düzenini doğrudan etkiler.

Yüksek gerilim gerektiren şebeke bağlantılı sistemlerde, genellikle seri bağlantılı diziler tercih edilir. Bu bağlantı tipinde:

- Dizinin toplam çıkış akımı, bir panelin akım değeriyle aynıdır.
- Toplam çıkış gerilimi ise dizideki tüm panellerin gerilimlerinin toplamı ile elde edilir.

Bu nedenle, şebeke bağlantılı sistemlerde aynı akım değerine sahip panellerin kullanılması kritik öneme sahiptir.

Şebekeden bağımsız sistemlerde, genellikle paralel bağlantı tercih edilir. Bu bağlantı yapısında:

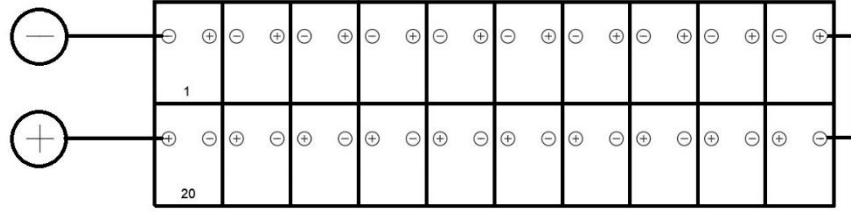
- Toplam çıkış akımı, dizideki tüm panellerin akım değerlerinin toplamıdır.
- Toplam gerilim ise bir panelin gerilim değeriyle aynıdır.

Bu nedenle, paralel bağlantı dizilerinde aynı gerilim değerine sahip panellerin kullanılması önemlidir.

Bağlantı yapısının performansa etkisi, sistem tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir faktördür:

- Seri bağlantı: Gölgeleme veya panel arızası tüm diziyi olumsuz etkileyebilir. Bu durumu önlemek için Bypass diyotlar kullanılmalıdır.
- Paralel bağlantı: Gölgelemeden daha az etkilenir. Ancak yüksek akım taşıyan kablolar ve uygun sigortalarla güvenlik sağlanmalıdır.

Güneş paneli dizilerinde bağlantı yapısı, enerji üretimi ve sistem performansını doğrudan etkileyen bir unsurdur. İhtiyaçlara göre bağlantı düzeni optimize edilerek daha yüksek verimlilik ve güvenilirlik sağlanabilir.



Şekil 2.12. PV panel dizisi

2.6. Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar

Fotovoltaik sistemlerde üretilen enerjinin bir kısmı, çeşitli kayıplar nedeniyle kullanılamaz hâle gelmektedir. Bu kayıplar, sistem bileşenlerinden, çevresel etkilerden veya fotovoltaik hücrelerin yapısal özelliklerinden kaynaklanabilir. Kayıplar, sistem verimliliğini düşüren başlıca etkenler arasında yer alır ve minimize edilmesi gereken önemli unsurlardır (Yiğit, 2023).

2.6.1 Sıcaklık kayıpları

Güneş panellerinin sıcaklıktan etkilenmesi, fotovoltaik hücrelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanır. Panel sıcaklığının artması, akım değerinde çok az bir artış sağlarken gerilim değerinde önemli bir düşüşe neden olur. Gerilimdeki bu düşüş oranı, akımdaki artış oranını geçtiğinden dolayı toplam panel gücü azalır. Bu durum, sıcaklığın fotovoltaik sistemlerdeki negatif etkisini ortaya koymaktadır (Karafil, Kesler, & Özbay, 2016).

Sıcaklık kayıplarını minimize etmek için panellerin soğutulması, yerleştirme açılarının optimize edilmesi ve yüksek sıcaklık dayanımına sahip fotovoltaik malzemelerin kullanılması önerilir.

2.6.2 Gölgeleme kayıpları

Gölgeleme, güneş panellerinin ürettiği enerji miktarını önemli ölçüde azaltabilir. Tek bir hücrenin gölgelemesi bile tüm panelin enerji üretiminde büyük bir düşüşe yol

açabilir. Gölgeleşmiş hücre, elektrik akımına bir direnç gösterir ve diğer hücrelerin ürettiği enerji bu hücre üzerinden geçerken hücrede aşırı ısınma meydana gelir.

Bu durum, yalnızca enerji kaybına değil, aynı zamanda panellerin ömrünün kısalmasına da neden olur. Gölgeleşme kayıplarını azaltmak için:

- PV sistem tasarımında gölge analizleri yapılmalıdır.
- Paneller, gölgeleşmeyi minimize edecek şekilde konumlandırılmalıdır.

İzleme ve optimizasyon sistemleri kullanılarak gölgeleşmenin etkileri azaltılabilir (Gökçe, 2020).

2.6.3 Kirlenme kayıpları

Fotovoltaik modüllerin yüzeyinde biriken kir, toz ve diğer çevresel partiküller, güneş ışınımını engelleyerek enerji üretiminde kayıplara neden olur. Kirli yüzeyler, modül verimliliğini düşürür ve enerji üretimini olumsuz etkiler.

Kirlenme kayıplarını minimize etmek için:

- PV modüller düzenli olarak temizlenmelidir.
- Temizlik, modüllerin performansını artırır ve daha fazla enerji üretimini mümkün kılar.

Tozlu ve kirli ortamlarda temizlik işlemleri daha sık gerçekleştirilmelidir. (Öztürk, 2008).

2.6.4. İnverter kayıpları

İnverter, fotovoltaik sistemlerde doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştüren temel bileşenlerden biridir. Yanlış veya yetersiz inverter seçimi, sistem verimliliğinde kayıplara yol açar. İnverterin kapasitesinden düşük enerji dönüşümü yapılması, enerji kaybına neden olur. İnverter kayıplarını önlemek için doğru kapasiteye sahip inverter seçilmeli ve sistemin ihtiyaçlarına uygun şekilde tasarlanmalıdır.

2.6.5. Yansımaya kayıpları

Fotovoltaik modüllerde, yüzeye gelen ışığın bir kısmı yansıtılarak elektriğe dönüşmeden kaybolur. Yansımaya kayıpları, panel yüzeyindeki kaplamaların optik özelliklerine, ışığın geliş açısına ve modül yüzeyinin kırılma indisine bağlıdır.

- Modül yüzeyinde kullanılan yansımaya önleyici kaplamalar ve optik malzemeler, ışığın emilimini artırarak yansımaya kayıplarını minimize eder.
- Normal ışıınım koşullarında güneş modülleri, gelen ışığın yaklaşık %4'ünü yansıtır (Gürbüz, 2018).

Yansımaya kayıplarını azaltmak için panel yüzey kaplamalarının kalitesi artırılabilir ve paneller optimum açıyla yerleştirilebilir.

2.6.6. Elektriksel kayıplar

Elektriksel kayıplar, fotovoltaiik hücrelerin akım-voltaj eğrisi üzerinden tanımlanabilir. Bu kayıplar, akım ve gerilim değlerindeki düşüşlerden kaynaklanır.

- Seri direnç kayıpları: Hücre içindeki akımın hareketi sırasında oluşan direnç kayıplarıdır.
- Paralel direnç kayıpları (Şönt Direnci): Akımın istenmeyen yollar üzerinden taşınması sonucu oluşur.

Ayrıca, düşük kaliteli diyotlar ve zayıf elektriksel bağlantılar da elektriksel kayıpları artırır. Bu kayıpları azaltmak için kaliteli malzemeler kullanılmalı ve bağlantılar dikkatle yapılmalıdır (Küpeli, 2005).

3. ÇATI TİPİ GÜNEŞ SANTRALLERİ

Çatı tipi güneş enerji santralleri, sanayi işletmeleri, hastaneler, okullar, kamu kurumları, ticarethaneler ve hayvan çiftlikleri gibi enerjiye ihtiyaç duyan tesislerin elektrik gereksinimlerini güneş enerjisinden karşılamak amacıyla işletme çatılarına kurulan sistemlerdir. Bu santraller, temiz, sürdürülebilir ve ekonomik bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden maksimum verim sağlayarak elektrik maliyetlerini düşürmek ve çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirmek için tasarlanmıştır.

3.1. Çatı Tipi Güneş Santrallerinin Avantajları ve Dezavantajları

Çatı tipi güneş santralleri, pek çok avantaj sunmakla birlikte bazı dezavantajları da beraberinde getirebilir. Bu avantajların başında, fotovoltaik sistemlerin uzun ömürlü olması gelir. Kurulum maliyetini birden fazla kez amorti edecek kadar uzun kullanım ömrüne sahip olan bu sistemler, düşük bakım maliyetleri ve kolay müdahale imkânı ile oldukça pratiktir. Yakıt gereksinimi olmaması, sistemin işletme maliyetlerini minimum seviyede tutar ve enerji maliyetlerinin sabit kalmasını sağlar. Ayrıca, çevre dostu yapıları sayesinde enerji üretimi sırasında atık oluşturmazlar ve karbon salınımını önlerler.

Çatı tipi güneş santralleri, enerji üretiminde sessiz çalışmaları ve genişletilebilir yapılarıyla esneklik sağlar. Küçük, orta ve büyük ölçeklerde her türlü ihtiyaca göre özelleştirilebilir. Elektrik şebekesinin olmadığı bölgelerde elektrikle çalışan cihazların kullanımına olanak tanır. Arıza oranlarının düşük olması ve modüler yapısı sayesinde sistemin çalışması bireysel arızalardan etkilenmez. Ömrü 25 yıl olarak hesaplanan bu sistemler, elektrik zamlarından etkilenmez ve enerji maliyetlerini düşürerek uzun vadede önemli bir tasarruf sağlar (Orhan, 2022).

Ancak çatı tipi güneş santrallerinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. İlk yatırım maliyetleri yüksektir ve bu maliyetler arasında paneller, inverter, kablolar ve kurulum masrafları yer alır. Ayrıca, sistemin yalnızca gündüz saatlerinde enerji üretebilmesi, verimliliği güneş ışığının sürekliliğine bağımlı kılar. Çatının sağlam, geniş ve uygun yönlendirilmiş olması gereklidir; aksi takdirde sistemden tam verim alınamaz. Bulutlu ve yağışlı günlerde enerji üretimi azalır, dolayısıyla bu tür iklimlere sahip bölgelerde kullanım sınırlı olabilir. Sistem ayrıca binaya ek yük getirir ve şiddetli rüzgârlarda kötü yapılmış kurulumlar çevreye zarar verebilir.

3.2. Kurulum Teknikleri ve Çeşitleri

Çatı tipi güneş santralleri kurulumunda, çatının yapısal özellikleri ve malzemesi dikkate alınarak doğru montaj yöntemlerinin seçilmesi büyük önem taşır. Çatı tipi belirlenirken, düz çatı, sandviç panel, kenet, membran, shingle (şingil) veya kiremit gibi seçenekler değerlendirilir. Çatının, şiddetli fırtına gibi olumsuz hava koşullarında bütünlüğünü koruyacak ve hasar görmeyecek bir yapıya sahip olması gerekir.

Montaj sırasında, su sızıntısını önlemek amacıyla profil montaj noktaları özenle tasarlanmalıdır. Sandviç panel ve saç çatılar için ejot vida, pop perçin, EPDM bant ve silikon gibi sızdırmazlık malzemeleri kullanılırken, kenet çatılarda delme gerektirmeyen montaj aparatları tercih edilir. Membran çatılarda sızdırmazlık diskleri kullanılırken, düz çatılarda delme gerektirmeyen betonarme profiller tercih edilmelidir.

Kurulum esnasında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise, hadveler arası mesafelerin dikkatle ölçülerek doğru profil seçiminin yapılmasıdır. Bu sayede çatının bütünlüğü korunur ve sistemin dayanıklılığı artırılır. Kurulum tekniklerinin doğru uygulanması, sistemin uzun vadeli verimliliği ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Aşağıda resmi başvuru sürecinde gerçekleştirilen adımlar açıklanmıştır.

- a. Trafo kapasite kontrolü:
 - Tesisin bağlanacağı trafo merkezinde kapasitenin mevcut olup olmadığı kontrol edilir.
 - Kapasite varsa başvuru yapılabilir; kapasite yoksa başvuru reddedilir.
- b. Başvuru süreci:
 - Müşteri, gerekli başvuru evrakları ile dağıtım şirketine başvuru yapar.
 - Başvurular, başvuru yapılan ayı takip eden ilk 20 gün içinde toplu olarak değerlendirilir.
- c. Evrak incelemesi:
 - Belgeler eksik ise, lisanssız elektrik üretim yönetmeliği'nin 12. maddesi 1. fıkrası gereği evrak değerlendirme komisyonu tarafından başvuru reddedilir.
 - “Eksik veya yanlış evrak verenlerin başvuruları teknik değerlendirmeye alınmaz.” hükmü uygulanır.
- d. Teknik değerlendirme:
 - Olumlu sonuçlanan başvurular teknik değerlendirmeye alınır.

- Teknik değerlendirme sonuçları, dağıtım şirketinin internet sitesinde yayınlanır.
- Teknik değerlendirme olumsuz ise başvuru dosyası dağıtım şirketi tarafından müşteriye iade edilir.
- e. Bağlantı görüşü ve çağrı mektubu talebi:
 - Teknik değerlendirme olumlu ise müşteri, sonuçların ilan tarihinden itibaren 1 ay içinde yazılı olarak bağlantı görüşü ve çağrı mektubu talebinde bulunur.
 - Dağıtım şirketi, teknik değerlendirme formu ve aplikasyon krokisini YEGM'ye gönderir.
 - Olumlu teknik değerlendirme sonrası, bağlantı görüşü ve çağrı mektubu hazırlanır.
- f. Proje sunumu ve onay süreci:
 - Çağrı mektubunun tebliğ tarihinden itibaren 90 gün içinde proje TEDAş'a sunulur.
 - TEDAş onayı için verilen süre 180 gündür. Bu süre içinde onay alınmazsa, 180 gün ilave süre talep edilebilir.
- g. GES uygunluk yazısı ve teknik belgeler:
 - Proje onay süreci kapsamında, GES'in bulunduğu bölgenin mülki amirinden (ör. OSB, Belediye) 3194 sayılı imar kanunu kapsamında uygunluk yazısı alınır.
 - Proje, genel yerleşim planı, tek hat şeması, topraklama planı ve diğer teknik belgelerle birlikte TEDAş'a sunulur.
 - Çatı GES'in statik projelendirme ve hesaplamaları üniversiteden onay alınarak tamamlanır.
- h. Bağlantı anlaşması:
 - TEDAş ve üniversiteden alınan onaylarla, bölge dağıtım şirketine bağlantı anlaşması talebi yapılır.
 - Dağıtım şirketi, başvuruyu 30 gün içinde değerlendirerek bağlantı anlaşmasını imzalar.
- i. Kurulum ve geçici kabul süreci:
 - Alçak gerilim bağlantılı tesisler için 1 yıl, orta gerilim bağlantılı tesisler için 2 yıl içinde kurulum tamamlanarak geçici kabul işlemleri gerçekleştirilir.
 - Geçici kabul sonrası, onaylı geçici kabul tutanağı ile kaymakamlığa yazılı başvuru yapılır ve kaymakamlık onayı alınır.

j. Sistem kullanım anlaşması:

- Geçici kabulün tamamlanmasının ardından, müşteri onaylı tutanak veya kaymakamlık yazısını ve iletişim bilgilerini dağıtım şirketine ileterek sistem kullanım anlaşması talebinde bulunur.
- Dağıtım şirketi, 15 gün içinde sistem kullanım anlaşmasını hazırlar ve imzalar



4. KURULUM SÜRECİ

Güneş enerji santrali kurulum süreci, yer seçimi ve analiz aşamalarına dayanır. Doğru bir kurulum için, çatının fiziksel özellikleri ve çevresel faktörlerin detaylı şekilde değerlendirilmesi gereklidir. Statik uygunluk, lokasyon analizi, iklimsel koşullar ve gölge unsurlarının analiz edilmesi, sistemin güvenilirliği ve verimliliği açısından kritik bir önem taşır.

4.1.Yer Seçimi ve Analizi

4.1.1. Statik uygunluk

Kurulacak sistemin çatıda oluşturacağı statik yük, önceden detaylı olarak hesaplanmalıdır. Çatı, güneş panelleri ve destekleyici yapıların yükünü taşıyabilecek kapasitede olmalıdır. Bu yük, panellerin ağırlığına ek olarak montaj bileşenleri, taşıyıcı profiller, elektriksel kablolama ve diğer ekipmanlar tarafından da artırılır.

Bu nedenle, mevcut binanın statik projesi incelenmeli ve çatının taşıma kapasitesinin yeterliliği doğrulanmalıdır. Eğer mevcut proje bulunmuyorsa veya güncel standartlara uygun değilse, profesyonel bir mühendislik ekibi tarafından teknik değerlendirme yapılmalıdır. Bu değerlendirme, uzun vadeli güvenlik ve yapısal bütünlük açısından hayati önem taşır.

4.1.2. Lokasyon

Kurulum alanının güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek için bölgesel veriler analiz edilmelidir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) gibi kaynaklar kullanılarak, kurulacak alanın güneş ışınım değerleri detaylı bir şekilde incelenebilir. Bu analiz, sistem tasarımında kullanılacak temel enerji üretim tahminlerini destekler ve verimlilik hesaplamalarını doğru bir şekilde yönlendirir.

4.1.3. Hava durumu

Santralin bulunduğu bölgedeki iklimsel koşullar, sistem tasarımını doğrudan etkiler (Babacan, 2022). Bu nedenle, kurulacak lokasyona ait geçmiş hava durumu verileri analiz edilmelidir. Bölgedeki:

- Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri,
- Rüzgâr hızları,
- Kar yükü,
- Diğer olumsuz hava koşulları detaylı şekilde ele alınmalıdır.

Bu veriler, taşıyıcı yapıların dayanıklılığı, panel performansı ve ekipman yerleşimi gibi tasarım süreçlerinde dikkate alınmalıdır. Örneğin, yüksek kar yükü olan bölgelerde taşıyıcı sistemin sağlamlığı artırılmalı, yüksek rüzgâr hızlarına sahip bölgelerde ise aerodinamik tasarımlar ve sabitleyici önlemler uygulanmalıdır.

4.1.4. Gölge unsuru

Gölgeleme, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini büyük ölçüde azaltabilir. Çatıdaki bacalar, parapetler, antenler veya diğer yapısal elemanlar, panellerin üzerine düşen güneş ışığını engelleyebilir. Bu nedenle, kuruluma başlamadan önce detaylı bir gölge analizi yapılmalıdır.

Analiz sonucunda, gölge oluşturan unsurların etkisini minimize edecek şekilde panel yerleşimi optimize edilir. Gerektiğinde, gölge oluşturan yapısal elemanların yer değiştirilmesi veya yeniden tasarlanması gibi çözümler uygulanabilir. Gölge etkilerinin minimize edilmesi, sistemin enerji üretimini ve verimliliğini artırır.

4.2. Malzeme Seçimi

Güneş enerji sistemlerinin kurulumunda kullanılacak malzemelerin doğru seçimi, sistemin performansı, güvenilirliği ve uzun ömürlülüğü açısından kritik öneme sahiptir. Malzeme seçiminde her bir bileşenin teknik özellikleri, sistem gereksinimleri ve çevresel koşullara uygunluğu detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir.

4.2.1 Güneş paneli seçimi

Güneş paneli seçiminde, hâlihazırda seri üretimde olan veya seri üretime geçiş aşamasındaki çeşitli teknolojiler bulunmaktadır. Bunlar arasında polikristal, polikristal PERC, monokristal, monokristal Halfcut, monokristal Halfcut PERC ve ince film paneller yer alır. Panel seçimi yapılırken verimlilik, maliyet ve kullanılabilirlik gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Son dönemde, özellikle monokristal Halfcut PERC paneller, yüksek verimlilik ve geniş kullanılabilirlik nedeniyle ana akım teknoloji olarak tercih edilmektedir. Seçim sürecinde, projenin enerji üretim hedefleri ve bütçesi doğrultusunda panel teknolojisinin belirlenmesi önemlidir.

4.2.2. İnverter seçimi

İnverterler, sistemde doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştüren temel bileşenlerdir ve seçim sürecinde dikkat edilmesi gereken belirli kriterler bulunmaktadır. İlk olarak, inverterin kapasitesi, sözleşme gücünde belirtilen AC kurulu gücü aşmamalıdır. Ayrıca, açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve MPPT gerilimi gibi parametrelerin detaylıca incelenmesi gerekir.

İnverterin, string düzeyinde izleme yapabilmesi, şebekede enerji kesildiğinde elektrik iletimini durdurabilmesi ve faz yönü belirleme gibi teknik özelliklere sahip olması, sistem güvenliği ve performansı açısından kritik öneme sahiptir.

4.2.3. DC kablo seçimi

DC kabloların seçimi, sistemin verimli çalışabilmesi için dikkatle yapılmalıdır. Kullanılacak iletkenlerin solar sektörü için özel olarak üretilmiş olması gerekmektedir. String mesafesine göre gerilim düşümü hesaplanmalı ve uygun kesitte kablolar tercih edilmelidir. Ayrıca, pozitif (+) ve negatif (-) iletkenler için farklı renkte kablolar kullanılmalıdır. Bu hem güvenlik hem de kurulum kolaylığı açısından önemlidir.

4.2.4. AC kablo seçimi

AC kabloların seçiminde, iletkenlerin akım-gerilim taşıma kapasitesinin sistem gereksinimlerini karşılayacak şekilde belirlenmesi esastır. Mesafeye göre gerilim düşümü

hesaplanmalı ve uygun kesitte kablolar kullanılmalıdır. İşletmenin standartlarına uygun kablolar (örneğin, NYY, N2XH, NAYY) tercih edilerek sistemin teknik ve güvenlik standartlarına uygunluğu sağlanmalıdır.

4.2.5. Alçak gerilim pano tasarımı

Alçak gerilim panoları, sistemin enerji dağıtımını ve koruma işlevlerini yerine getiren önemli bir bileşendir. Pano tasarımında, öncelikle panonun yerleştirileceği noktanın düzgün bir şekilde belirlenmesi gerekir. Tasarım sırasında akım hesabına göre doğru termik-manyetik şalter (TMS) seçimi yapılmalı, uygun kesitte bara ve akım trafosu kullanılmalıdır. Sayaç, kaçak akım koruma rölesi ve start-stop kumanda rölesi gibi ekipmanların da sistem gereksinimlerine uygun olarak seçilmesi gereklidir.

Ayrıca, mevcut alçak gerilim panosunun içerisine güneş enerjisi santraline özel bir pano yerleştirilecekse, bu iki sistemin birbirinden ayrılması için uygun bir Termik Manyetik Şalterin kullanılması gerektiği unutulmamalıdır. Tüm bu süreçte ilgili standartlara uygunluk sağlanması, sistem güvenliği ve performansı açısından kritik öneme sahiptir.

4.3. Sistem Tasarımı

Enerji piyasası düzenleme kurumu (EPDK) tarafından 10 Mayıs 2019 tarihli yönetmelik çerçevesinde, işletme çatısına lisanssız GES kurmak isteyen yatırımcıların AC kurulu güçleri belirli sınırlamalara tabidir. Sanayi, tarım ve benzeri abone gruplarında, AC kurulu güç, sözleşme gücünün iki katını aşmamalıdır. Diğer abone gruplarında ise kurulu güç, sözleşme gücü ile sınırlıdır. Ayrıca yönetmelik, üretilen elektrik enerjisinin değerlendirilmesine ilişkin olarak, yıllık tüketimin yalnızca iki katına kadar olan kısmının ticarete konu edilebileceğini belirtmektedir. Bu sınırı aşan enerji (50 kW altındaki sistemler hariç), bedelsiz olarak sisteme aktarılır. Bu nedenle, kurulu güç seçimi yapılırken tüketicinin tüketim profili detaylı bir şekilde analiz edilmelidir.

4.3.1. Çatıda panel yerleşim planı süreci

Çatı üzerine panel yerleşimi yapılırken bir dizi teknik husus göz önünde bulundurulmalıdır:

- Öncelikle, binanın azimut açısı belirlenmeli ve panellerin yerleşim alanları buna uygun şekilde düzenlenmelidir. Panellerin doğru yönlendirilmesi, enerji üretim verimliliğini artırır.
- Gölgeleme riskine dikkat edilmelidir. Gölgeleme oluşturacak alanlara panel yerleştirilmemesi gerekir. Ancak gölgelenme kaçınılmazsa, gölge etkisini minimize etmek için optimizer teknolojisine sahip inverterler kullanılmalıdır.
- DC kablo taşıma tavalarının güzergâhları dikkatlice belirlenmelidir. Bu, kurulumun düzenli ve verimli bir şekilde yapılmasını sağlar.
- İşletme döneminde bakım ekiplerinin rahat çalışabilmesi için panel sehpaları arasında yeterli genişlikte kedi yolları bırakılmalıdır.
- Topraklama işlemlerinin yapılacağı alanlar için uygun yerler önceden belirlenmelidir.
- String düzeni oluşturulurken panel ve inverter uyumluluk hesapları detaylı bir şekilde yapılmalıdır.
- Panel sehpalarının düzeni, işletme kolaylığı sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve bina parapeti ile paneller arasında en az 50 cm mesafe bırakılmalıdır. Bu mesafe, gölgeleme hesabına göre artırılabilir.
- Eğer bifacial paneller kullanılacaksa, panel profil yüksekliği, yansıma etkisiyle enerji üretimini artıracak şekilde dikkate alınmalıdır.

4.3.2. İnverter seçim prosedürü

İnverter seçimi, güneş enerji sisteminin doğru çalışması ve maksimum verimlilik elde edilmesi açısından kritik bir adımdır (Baba, 2024). Aynı invertere bağlanacak dizilerde (stringlerde) yön farkı olan, farklı tipte PV modüller içeren veya farklı sayıda PV modül seri bağlanmış diziler mevcutsa, ya da kısmi gölgelenme etkileri varsa, birden fazla MPPT (Maximum power point tracking) özelliği bulunan inverterlerin kullanılması gereklidir. Bu tür inverterler, her bir string için ayrı ayrı maksimum güç noktası izleme yaparak, sistemin toplam enerji üretimini optimize eder.

İnverter seçimi yapılırken projenin yapılacağı lokasyonun çevresel koşulları da dikkate alınmalıdır. Lokasyondaki maksimum ortam sıcaklığı temel alınarak, PV

modüllerin bu sıcaklık altında oluşturacağı maksimum çalışma gerilimi (V_{mpp}) hesaplanmalıdır. Bu değerin, seçilecek inverterin MPPT çalışma gerilimi aralığı içinde kalması gereklidir. Ayrıca, inverterin en verimli çalıştığı gerilim değerine yakın bir çalışma aralığı sağlanmalıdır. Minimum ortam sıcaklığı esas alındığında ise PV modüllerin açık devre gerilimi (V_{oc}) hesaplanmalı ve bu değerin inverterin maksimum giriş gerilim değerini aşmadığından emin olunmalıdır. Bu hesaplamalar, kaç adet PV modülün seri bağlanacağına karar vermek için kullanılır.

PANEL BİLGİLERİ;			INVERTER BİLGİLERİ;		
Maksimum Sıcaklık(t_{max}):	85	°C	Evirici Maks.DC Giriş Gerilimi:	1000	V
Minimum Sıcaklık(t_{min}):	-40	°C	Evirici Min. DC Giriş Gerilimi:	200	V
PV Sıcaklık Verim Oranı($V_{oc}(k)$):	-0,27	%/°C	Evirici Maks. MPPT Giriş Gerilimi:	1000	V
PV Sıcaklık Verim Oranı($V_{mp}(k)$):	-0,35	%/°C	Evirici Min. MPPT Giriş Gerilimi:	200	V
PV Standart Test Koşulları(t_{nom}):	25	°C	MPPT Dizi Giriş Sayısı:	1	Adet
Dizideki Maks. Seri Panel Sayısı(a):	18	Adet	MPPT Maks. Giriş Akımı:	26	A
Maksimum Gerilim(V_{mp}):	42,19	V	MPPT Kısa Devre Giriş Akımı:	40	A
Açık Devre Gerilimi(V_{oc}):	49,96	V			
Kısa Devre Akımı(I_{sc}):	13,94	A			
Maksimum Akımı(I_{mp}):	13,04	A			
1.Durum:	$V_{oc}(-10^{\circ}C)=$	984,262	<	1000	Uygun
2.Durum:	$V_{oc}(25^{\circ}C)=$	790,017	>	200	Uygun
3.Durum:	$V_{mp}(25^{\circ}C)=$	852,449	<	1000	Uygun
4.Durum:	$V_{mp}(70^{\circ}C)=$	639,811	>	200	Uygun
Evirici Maks.Kısa Devre Akımı=		13,94	<	40	Uygun
Evirici Maks. Devre Akımı=		13,04	<	26	Uygun

Şekil 4.1. Panel ve inverter uyumluluk hesabı

Santral sistem tasarımı sırasında panel ve inverter uyumluluğu, şekil 4.1’de gösterildiği gibi teknik analizlerle kontrol edilmelidir. Bu analizler, PV modüllerin gerilim değerlerinin inverterin çalışma aralığına uygun olup olmadığını değerlendirmek için önemlidir. Panel ve inverter uyumluluğu sağlandıktan sonra, çatıya panel yerleşim projesi çizilir. Panel yerleşimi planlanırken GES panosunun genellikle fabrikanın ana dağıtım panosuna yakın bir konuma yerleştirilmesi tercih edilir. Bu düzenleme, AC kablo uzunluğunu kısaltarak maliyet tasarrufu sağlar. Aynı şekilde, inverter platformları da GES panosunun yanına konumlandırılır. Bu, inverter ve GES panosu arasındaki AC kablo mesafesini kısaltarak maliyetleri optimize eder.

Çatıdaki panel yerleşim projesi tamamlandıktan sonra, varsa gölge unsurları analiz edilir. Gölgeleme etkisi tespit edilen panellerin yerleri değiştirilir veya kaldırılır. Gölgeleme etkisini azaltmak için optimizasyon çözümleri uygulanır. Bu aşamaların ardından DC ve AC kablo metrajları, kablo kanalları ve konstrüksiyon bileşenleri detaylı bir şekilde hesaplanarak malzeme listesi oluşturulur.

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi panel ve inverter uyumluluğunun detaylı bir şekilde kontrol edilmesi, sistemin verimli çalışmasını garanti altına almak için önemlidir. Tüm bu süreçler, sistemin uzun ömürlü ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla titizlikle yürütülmelidir. Projede kullanılan inverter ve PV panelin özelliklerinin detaylı bir şekilde açıklandığı datasheet’ler ekler kısmında EK-1 ve EK-2 başlığı altında belirtilmiştir.

4.4. Kurulum ve İşletmeye Alma

Güneş enerji santrali kurulumu ve işletmeye alma süreci, doğru planlama ve uygulama ile sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Kurulum sırasında belirlenen adımlar titizlikle takip edilerek, sistemin verimli ve güvenli bir şekilde devreye alınması sağlanır.

Kurulum sürecine başlamadan önce, hazırlanan proje çizimleri doğrultusunda çatıda ölçümler yapılır ve işaretlemeler tamamlanır. Özellikle konstrüksiyon ayaklarının ve panellerin konumlandırılacağı alanların işaretlenmesi, hatalı montaj riskini minimize eder. Ölçümler ve işaretlemeler tamamlandıktan sonra, gerekli güvenlik önlemleri alınarak konstrüksiyon montajına başlanır.

Konstrüksiyon montajı tamamlandıktan sonra DC kablo kanallarının montajı ve topraklama şeridinin çekilmesi önerilir. Bu işlemin, panel montajından önce yapılması çatıda hareket alanını artırır ve panellerin zarar görme riskini azaltır. Paneller, vinç yardımıyla montaj bölgesine güvenli bir şekilde taşınır. Güneş panelleri taşınırken dikkatli olunmalı, her panel iki kişi tarafından eldivenli şekilde taşınmalı ve panellerin düşmesini engellemek için gerekli önlemler alınmalıdır.

Montaj sırasında panellerin zarar görmemesi için mikro çatlak oluşumunu engelleyecek şekilde dikkatli çalışılmalı; panellere baskı uygulanmamalı, ağır cisimler konulmamalı ve üzerine basılmamalıdır. Panel montajı tamamlandıktan sonra, DC

kablolar çekilir, reglajı yapılır ve kablo kanallarının kapakları kapatılır. Ardından, MC4 konektör montajı tamamlanarak panellerle olan bağlantılar sağlanır.

İnverter platformu tamamlandıktan sonra, inverter montajı gerçekleştirilir. AC ve DC kabloların inverter platformundan geçeceği güzergâhlara kablo kanalları yerleştirilir. GES panosu, inverter platformunun yanına montajlanır ve ardından inverter ile GES panosu arasındaki AC kabloların bağlantıları yapılır. DC kabloların reglajı yapılır, gerekli ölçümler gerçekleştirilir ve varsa hatalar giderilir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra DC kablolar inverter girişlerine bağlanır.

Kurulumun sonraki aşamasında, işletmenin ana dağıtım panosu ile GES panosu arasındaki AC bağlantılar yapılır. Sistem üzerindeki tüm kontroller tamamlandıktan ve herhangi bir eksiklik bulunmadığından emin olunduktan sonra sistem çalıştırılır ve inverter ayarları yapılır. Sistem kapatılıp yeniden açılarak GES panosundaki tüm kontroller gerçekleştirilir. Bu aşamada, tüm uyarı levhalarının eksiksiz şekilde yerleştirildiği doğrulanır.

Santral, bu işlemler tamamlandıktan sonra kabul sürecine hazır hale gelir. Dağıtım şirketi tarafından kabul işlemleri gerçekleştirildikten sonra güneş enerji santrali aktif olarak çalışmaya başlar ve enerji üretimine başlar.

5. ÇATI GES ÖRNEK ÇALIŞMALARI

5.1. Proje Tanımı ve Özellikleri

Konya ili Selçuklu ilçesinde bulunan bir fabrikanın çatısına kurulan 1 MWp güneş enerjisi santrali, toplamda 8 adet inverter, 1836 güneş paneli ve 800 KWe kapasiteli bir GES panosundan oluşmaktadır. Santral tasarımında, enerji verimliliğini maksimize etmek ve kurulum maliyetlerini optimize etmek hedeflenmiştir. Bu bölümde, bu projeye dair çeşitli örnek çalışmaların görselleri paylaşılmakta ve kurulum teknikleri adım adım ele alınmaktadır.

5.2. Kurulum Süreci ve Karşılaşılan Zorluklar

5.2.1. Çatı ölçülerinin alınması

GES kurulumunun ilk adımı, fabrikanın çatı ölçülerinin hassas bir şekilde belirlenmesidir. Çatı ölçülerini almak için öncelikle fabrikanın köşe noktaları belirlenir ve çatının eğimine göre dijital programlar kullanılabilir. Alternatif olarak, manuel yöntemlerle, şerit metre yardımıyla birebir ölçümler yapılabilir. Bu adımda, her ne kadar dijital teknolojiler zaman kazandırsa da manuel ölçüm teknikleri, elde edilen verilerin kontrolü ve doğrulanması açısından hala önemlidir. Bu süreç, kurulumun başarılı bir şekilde tamamlanması için kritik bir adımdır.

5.2.2. Konstrüksiyon montajı

Fabrika çatısında konstrüksiyon montajı, çatı yapısına ve projenin teknik tasarımına uygun bir planlama gerektirir. Öncelikle, konstrüksiyonun kurulacağı alanlar esnek hizalama ipi veya lazer seviyeler yardımıyla hassas bir şekilde işaretlenir. Bu adım, konstrüksiyonun dengeli ve sağlam bir şekilde yerleştirilmesini sağlar. Kurulum şu şekilde ilerler:

- Çatıda tespit edilen alanlara montaj işaretleri yapıldıktan sonra, iş güvenliği ekipmanları sağlanarak montaj ekibi çalışmalara başlar.



Şekil 5.1. Konstrüksiyon montajı 1



Şekil 5.2. Konstrüksiyon montajı 2

- Beton düz çatılarda, konstrüksiyonun çatıya sabitlenmesi için ağırlık blokları kullanılır. Bu yöntem, konstrüksiyonun herhangi bir mekanik sabitleme gerektirmediği durumlarda tercih edilir.

- Diğer yüzeylerde, ejot vida veya perçinleme gibi mekanik sabitleme teknikleri kullanılabilir. Bu teknikler, çatı yapısına zarar vermeden konstrüksiyonun uzun ömürlü ve dayanıklı olmasını sağlar.

Bu adımların başarılı bir şekilde uygulanması hem çatı yapısının hem de güneş paneli montajının güvenli bir şekilde tamamlanmasını temin eder. Aşağıda, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de iki farklı konstrüksiyon montaj yöntemi gösterilmiştir. Bu görseller, farklı çatı yapılarında uygulanan kurulum tekniklerini detaylandırmaktadır.

5.2.3. Güneş paneli montajı

Konstrüksiyon montajı tamamlandıktan sonra, güneş panelleri çatıya dikkatlice taşınarak montaj işlemlerine geçilir. Güneş panelleri, hassas yapıları nedeniyle montaj esnasında özenli bir şekilde taşınmalı ve monte edilmelidir. Montajda dikkat edilmesi gereken noktalar:



Şekil 5.3. Güneş paneli montajı

- Güneş panelleri, mikro çatlak riskini minimize etmek için her zaman iki kişi tarafından taşınmalıdır.

- Montajı yapacak personelin, güneş paneli kurulumu konusunda bilgilendirilmiş ve eğitilmiş olması şarttır.
- Panel montajında, güneş paneli üreticisi tarafından sağlanan kurulum kılavuzuna mutlaka uyulmalıdır. Kurulum kılavuzuna uyulmadığı takdirde, üretici firma tarafından verilen garanti geçersiz sayılabilir ve bu nedenle montaj esnasında kılavuz talimatları titizlikle takip edilmelidir.
- Panellerin yüzeyine kesinlikle ağırlık uygulanmamalı, ağır bir cisim yerleştirilmemelidir.

Bu adımların başarıyla uygulanması, panellerin uzun ömürlü ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Şekil 5.3'te güneş paneli montajının aşamaları görülmektedir.

5.2.4. DC kablo kanalı ve DC kablo montajı

Güneş paneli montajı tamamlandıktan sonra DC kablo kanallarının montajına geçilir. Bu adımda, kablo kanalları dikkatlice yerleştirilerek sabitlenir ve sonrasında DC kablolar kanal içine yerleştirilir. DC kabloların yerleştirilmesinin ardından, kablo düzenlemesi yapılarak plastik klipsler yardımıyla kanal çevresine sabitlenir.



Şekil 5.4. DC kablo montajı



Şekil 5.5. DC kablo Kanalı

Bazı uygulamalarda, güneş panellerinin montajı tamamlanmadan önce DC kablo çekimi yapılabilir. Ancak bu durumda, kablo montajı esnasında olası hasarları önlemek için kablo kanallarında bulunan keskin kenarların ve ek yerlerinin kontrol edilmesi gerekir. Keskin kenarların kabloya zarar vermemesi için uygun yumuşatıcı malzemeler kullanılmalı ve bu bölgeler koruma altına alınmalıdır.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, DC kabloların gerilmeden ve bükülmeden yerleştirilmesidir. Bu, kablo dayanıklılığını artırır ve sistem performansını optimize eder. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te DC kablo kanallarının ve DC kablo montajının aşamaları detaylı bir şekilde görülmektedir.

5.2.5. İnverter platformu ve inverter montajı

İnverter platformunun sağlamlığı ve dayanıklılığı, sistemin uzun vadeli performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Platform tasarımı ve kurulumu yapılırken, 25 yıllık bir kullanım ömrü düşünülmelidir. Platform sabitlemeleri ve kaynak noktalarının titizlikle yapılması, sistemin dayanıklılığını ve güvenliğini artırır.



Şekil 5.6. İnverter montajı 1



Şekil 5.7. İnverter montajı 2

Platform tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar;

- İnverter kurulum kılavuzunda belirtilen askı ölçülerine uygun olarak platform yapılmalıdır.

- İnverterler arasındaki dikey ve yatay mesafeler, kurulum kılavuzunda belirtilen değerlere uygun olmalıdır.
- Kurulum, inverterlerin çalışma koşullarına uygun bir ortam yaratacak şekilde yapılmalıdır.

İnverter montajı esnasında, kurulum kılavuzuna uyulmadığı takdirde inverterler zarar görebilir ve garanti kapsamı dışında kalabilir. Bu nedenle, montaj sürecinde dikkatli ve kılavuz talimatlarına bağlı bir şekilde hareket edilmelidir. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 'de farklı marka inverterlerin montaj aşamaları detaylandırılmıştır.

5.2.6. GES pano yerleşimi

GES panosu genellikle fabrikanın ana dağıtım panosuna ve inverterlere yakın bir konuma konumlandırılır. Bu yakınlık, inverterler ve fabrikanın ana dağıtım panosu arasında kullanılacak AC kablo miktarını azaltarak kurulum maliyetlerini düşürür. Ayrıca, kabloların kısa olması kablo kayıplarının azalmasını ve sistem verimliliğinin artmasını sağlar. Bu nedenle, GES panosunun uygun bir konuma yerleştirilmesi son derece önemlidir.

Şekil 5.8 'de GES panosunun yerleşimi ve Şekil 5.9 'da GES panosu detayları gösterilmektedir.



Şekil 5.8. GES panosu yerleşimi



Şekil 5.9. GES Panosu

5.2.7. AC kablo montajı

İnverter platformunun montajı tamamlanıp, inverter yerleştirildikten sonra GES panosu ilgili alana yerleştirilir ve güvenli bir şekilde sabitlenir.



Şekil 5.10. İnverter AC kablo montajı

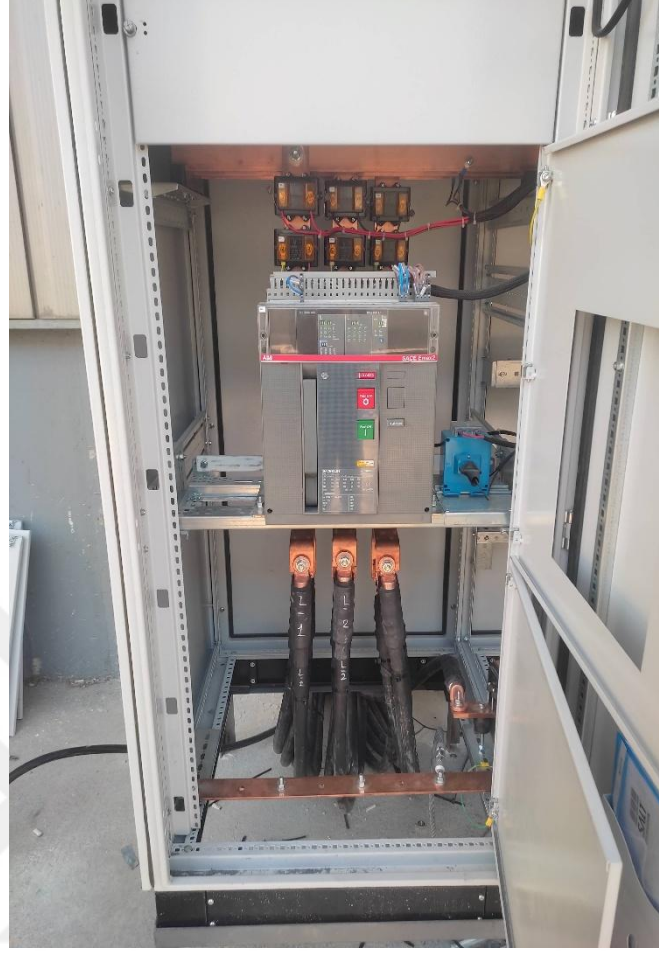
Bu işlemlerin ardından, inverter platformunda bulunan DC ve AC kablo kanallarının montajına geçilir. Bu aşamada, kablo kanallarının doğru yerleştirilmesi ve sabitlenmesi, kabloların düzenli bir şekilde yönlendirilmesi açısından büyük önem taşır.

Kablo kanalları yerleştirildikten sonra inverter ile GES panosu arasındaki AC kablo bağlantıları yapılır. Bu işlem sırasında, AC kablolar inverterin AC kablo bağlantı noktalarına dikkatli bir şekilde bağlanır. Daha sonra, AC kablo uçları GES panosunda yer alan termik manyetik şalter (TMS) girişlerine uygun şekilde bağlanır. Tüm bağlantıların sağlam bir şekilde yapıldığından emin olunmalıdır.

Bir sonraki adımda, GES panosu ile fabrika ana dağıtım panosu arasındaki AC kablo bağlantıları gerçekleştirilir. Bu işlem, GES panosunun motorlu termik manyetik şalterinden (TMS) ana dağıtım panosundaki TMS'ye bağlantı yapılmasını içerir. Burada kullanılan kabloların kesiti ve uzunluğu, enerji iletimi ve güvenlik gereksinimlerini karşılamalıdır.



Şekil 5.11. İnverter 'den GES panosuna gelen AC kablonun TMS montajı



Şekil 5.12. Motorlu termik manyetik şalter

Tüm bağlantılar tamamlandıktan sonra, invertere girecek olan DC dizi kablolarının gerilim ölçümleri ve izolasyon testleri yapılır. Bu testler, bağlantıların doğru yapıldığını ve herhangi bir izolasyon sorunu olmadığını doğrulamak için kritik bir öneme sahiptir. Testler başarıyla tamamlandıktan sonra DC dizi kabloları invertere bağlanır. Bu işlemle birlikte santral, devreye alınmaya ve çalıştırılmaya hazır hale getirilir.

Tüm bağlantı ve test işlemleri dikkatle yürütülerek, sistemin güvenli ve verimli bir şekilde çalışması sağlanır. Şekil 5.10’da inverter AC kablo bağlantı noktası, Şekil 5.11’de ise GES panosundaki termik manyetik şalterler gösterilmektedir.

6. PVSYST SİMÜLASYONU

Bu bölümde, Konya ili Selçuklu ilçesinde kurulu olan 1 MWp'lık güneş enerjisi santralının 2023 yılına ait üretim değerleri ile PVsyst programından elde edilen simülasyon verileri karşılaştırılarak analiz edilecektir. Bu analiz, gerçek üretim verileri ile simülasyon sonuçları arasındaki farkların anlaşılması ve potansiyel iyileştirme alanlarının belirlenmesi açısından önemlidir.

PVsyst programı, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve performans hesaplamalarında dünya çapında kullanılan güvenilir bir yazılımdır (Çınaroğlu, 2023). Program, şebekeye bağlı enerji santralleri, şebekeden bağımsız enerji santralleri ve pompa sistemleri için detaylı tasarım ve simülasyon olanakları sunmaktadır. Bu çalışmada, PVsyst'in şebekeye bağlı sistemler için tasarlanmış modülleri kullanılacaktır. Programın kapsamlı veri tabanı ve esnek simülasyon araçları, enerji santrallerinin performans tahminlerinde yüksek doğruluk sağlamaktadır.

PVsyst programında tasarım yapılması genellikle iki yöntemle mümkündür;

- Enerji talebine dayalı tasarım: Bu yöntemde, santralden beklenen enerji ihtiyacı veya talep verileri programa girilerek, bu talebi karşılayacak en uygun sistem tasarlanır.
- Konuma dayalı optimizasyon: Santral kurulumu için belirlenen coğrafi alan ve bu alana dair meteorolojik veriler (örn. güneş ışınımı, sıcaklık profili) programa tanımlanır. Daha sonra, maksimum enerji üretimi için optimum panel yerleşimi, açıları ve diğer parametreler hesaplanır.

Bu tez kapsamında, PVsyst programı kullanılarak şebekeye bağlı sistem tasarımının adımları detaylandırılmış ve Konya ili Selçuklu ilçesi için bir üretim analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde kullanılan giriş parametreleri, veri kaynakları ve sonuçların değerlendirilmesine ilişkin bilgiler, ilgili alt bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır. PVsyst üretim analiz raporunun tamamı EK-3 kısımda yayınlanacaktır.

6.1. PVsyst Programı ve Şebekeye Bağlı Sistem Tasarımı

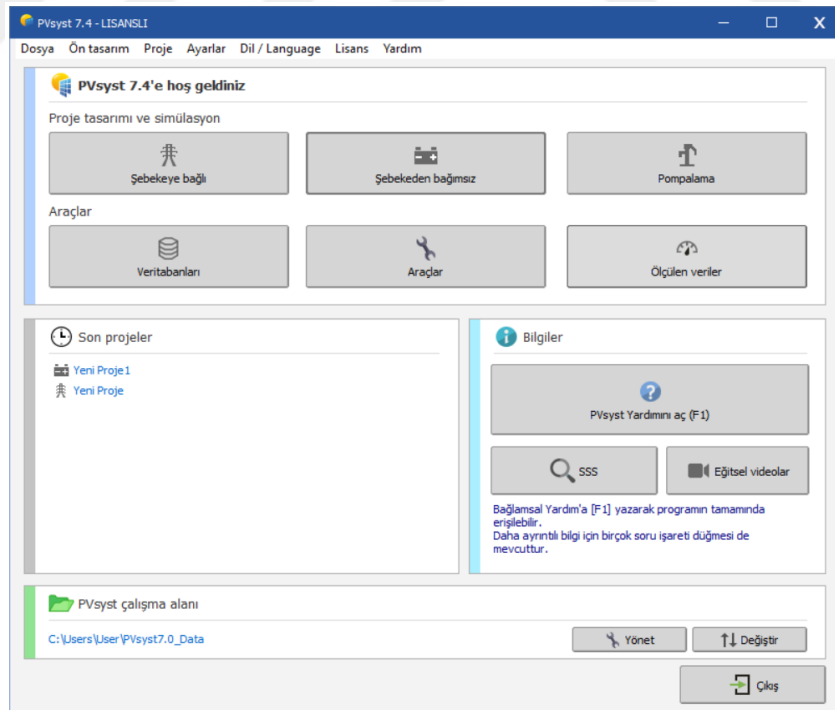
PVsyst programı kullanılarak şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinin tasarım süreci ve hesaplamaları ele alınacaktır. Şebekeye bağlı sistem tasarımı, santral performansını etkileyen temel parametrelerin optimize edilmesi için gereken adımları

içerir. Bu adımlar, enerji talebi ve yerel çevresel koşullar gibi kriterlere göre belirlenir. Bu kapsamda, PVsyst programının sunduğu şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompa sistemlerine yönelik tasarım modülleri incelenmiştir. Bu çalışmada yalnızca şebekeye bağlı sistem modülü kullanılmaktadır.

6.1.1 PVsyst programının tanıtımı

Tasarım başlangıcı, proje türünün belirlenerek sistemin temel gereksinimlerine uygun bir çerçeve oluşturulduğu aşamadır. Bu aşama, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompa sistemleri olmak üzere üç ana tasarım seçeneğini içermektedir. Şebekeye bağlı sistemler, enerji üretiminin doğrudan elektrik şebekesine aktarabilen sistemlerdir ve bu çalışmanın ana odağını oluşturmaktadır.

Tasarım başlangıcı, PVsyst programının ara yüzü ile kolayca yapılabilir. Program, kullanıcının sistem gereksinimlerini hızlı bir şekilde tanımlamasına olanak sağlayan şablonlar sunar. İlk adım olarak, enerji santralinin türü ve genel kapsamı belirlenir. Şekil 6.1’de tasarım başlangıcı adımına ilişkin örnek bir arayüz gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Tasarım başlangıcı

6.1.2 Konum seçimi ve veri entegrasyonu

Şebekeye bağlı sistem tasarımı bölümü seçildikten sonra ilk adım, tasarımın gerçekleştirileceği coğrafi alanın seçimiyle başlar. PVsyst programında, tasarım için yer seçimi, programın veri tabanındaki konumlar arasından seçilebileceği gibi, kullanıcı tarafından koordinatlar girilerek de tanımlanabilir. Eğer veri tabanında uygun bir konum mevcut değilse, Meteonorm, NASA-SSE, PVGIS TMY ve Solcast TMY gibi meteorolojik veri sağlayıcılarının yardımıyla konuma özgü güneş ışıınımı, sıcaklık ve diğer çevresel veriler sisteme entegre edilebilir. Bu sayede, tasarım süreci yerel iklim ve çevre koşullarına uygun bir şekilde optimize edilir.

The screenshot shows the PVsyst software interface. The 'Proje' (Project) tab is active, displaying fields for 'Proje adı' (Project name) and 'Konum dosyası' (Location file). The 'Varyant' (Variant) tab is also visible, showing 'Varyant no' (Variant number) and a list of parameters. The 'Sonuç özeti' (Summary) section on the right displays system type and various performance metrics.

Sonuç özeti	
Sistem tipi	38 sahne tanımlanmadı, gölgelenmez
Sistem üretimi	0.00 kWh/yıl
Üretilebilir	0.00 kWh/KWh/yıl
Performans oranı	0.00
Normalize üretim	0.00 kWh/KWh/yıl
Dış kayıplar	0.00 kWh/KWh/yıl
Sistem kayıplar	0.00 kWh/KWh/yıl

Şekil 6.2. Sistem verilerinin giriş sayfası

Sistemin esas tasarımının yapıldığı proje tasarımı aşamasında, ön tasarım adımlarında olduğu gibi, sistemin kurulacağı alanın konumu ve ilgili çevresel veriler programa girilmektedir. Bu aşamada, kullanıcıdan çeşitli giriş parametreleri talep edilir. Giriş parametreleri, ana parametreler ve opsiyonel parametreler olmak üzere iki gruba ayrılır;

Coğrafi konum seçimi

Mevcut coğrafi konum: Kayacak_PVGIS_API_THY.SIT

Ara Türkiye

Dosya adı	Şehir	Ülke	Veri kaynağı
Burdur	Burdur	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
Gaziantep	Gaziantep	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
İzmit	İzmit	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
İzmir/Candibi	İzmir/Candibi	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
Karadut MH81.SIT	Karadut	Türkiye	Meteonorm 8.1 (2003-2013), Sat=% 100
Kayacak_PVGIS_API_THY.SIT	Kayacak	Türkiye	PVGIS THY 5.2
Kayseri/Arıncık	Kayseri/Arıncık	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
Kayseri/Erkilet	Kayseri/Erkilet	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
Muda/Dirilvan	Muda/Dirilvan	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
Nide/Kumluca	Nide/Kumluca	Türkiye	Meteonorm 8.1 station
Sinop/Bostandil	Sinop/Bostandil	Türkiye	Meteonorm 8.1 station

Sık kullanılanları seç Gönder Yeni Sil Aç Kapat

Şekil 6.3. Coğrafi konum seçimi

Coğrafi konum parametreleri Kayacak_PVGIS_API_THY.SIT için

Coğrafi koordinatlar Ayıklı hava durumu İnteraktif harita

Konum

Konum adı Kayacak

Ülke Turkey Bölge Avrupa

Koordinatları al Haritayı göster

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Ondalık Der. Dik. Sn.

Enlem 37.9868 [°] 37 59 12 (+ = Kuzey, - = Güney yarımküresi)

Boylam 32.6049 [°] 32 36 17 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım 1006 Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi 3.0 Ortalama bir farkla kabul ediyor

Yasal zaman - Güneş zamanı = 0s 50dk

İzlenim al

Hava durumu verilerini getir

Meteonorm 8.1

NASA-SSE

PVGIS THY Sürüm 5.2

NREL / NSRDB THY

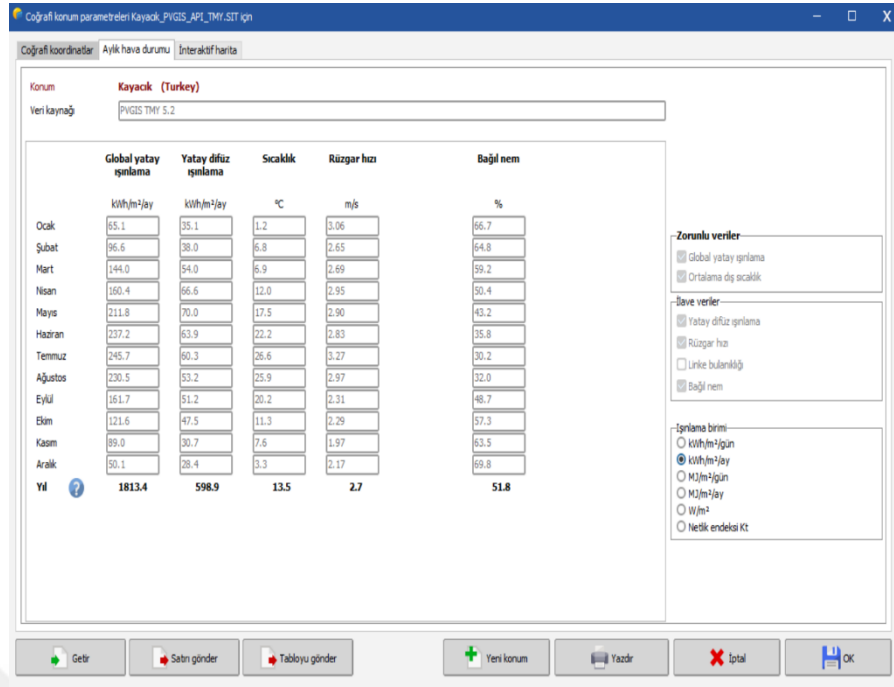
Solcast THY

SolarAnywhere® TGY

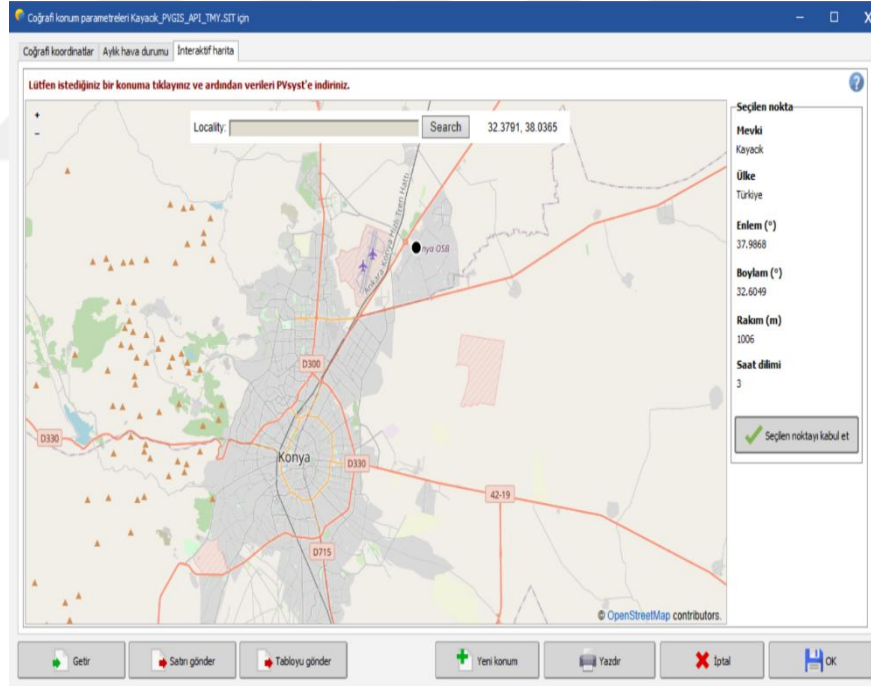
Getir

Getir Satın gönder Tabloyu gönder Yeni konum Yazdır İptal OK

Şekil 6.4. Konum verileri



Şekil 6.5. Meteorolojik veriler



Şekil 6.6. Konum seçimi

- Ana parametreler: Sistem tasarımına devam edilebilmesi için zorunlu olarak girilmesi gereken temel verileri içerir. Örneğin, kurulum alanının yüzölçümü, panel tipi, inverter kapasitesi gibi bilgilerin eksiksiz şekilde girilmesi gereklidir.

- Opsiyonel parametreler: Tasarımın doğruluğunu ve simülasyonun detay seviyesini artırmak amacıyla girilen isteğe bağlı verilerdir. Örneğin, kablo uzunlukları, gölgeleme etkileri veya bölgedeki yıllık tozlanma oranı gibi veriler bu kategoriye girer.

Tasarımın devamında, sistemin fiziksel ve teknik özelliklerinin detaylandırıldığı simülasyon bölümü yer almaktadır. Bu bölümde, sistemin kaplayacağı alan, panellerin yerleşim düzeni, gölgeleme etkileri ve sisteme etki edebilecek diğer çevresel unsurlar görselleştirilir.

Simülasyon ara yüzü, panel yerleşim düzenlerinin enerji üretimine olan etkilerini ve kayıpları analiz etmek için kullanışlı bir araç sunar. Ayrıca, sistemin çevresinde bulunan yapılar ve gölge oluşturabilecek cisimler, tasarımın gerçekçi bir şekilde modellenmesi için bu bölümde tanımlanabilir. Sırasıyla Şekil 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6 tasarım sürecindeki önemli adımları göstermektedir.

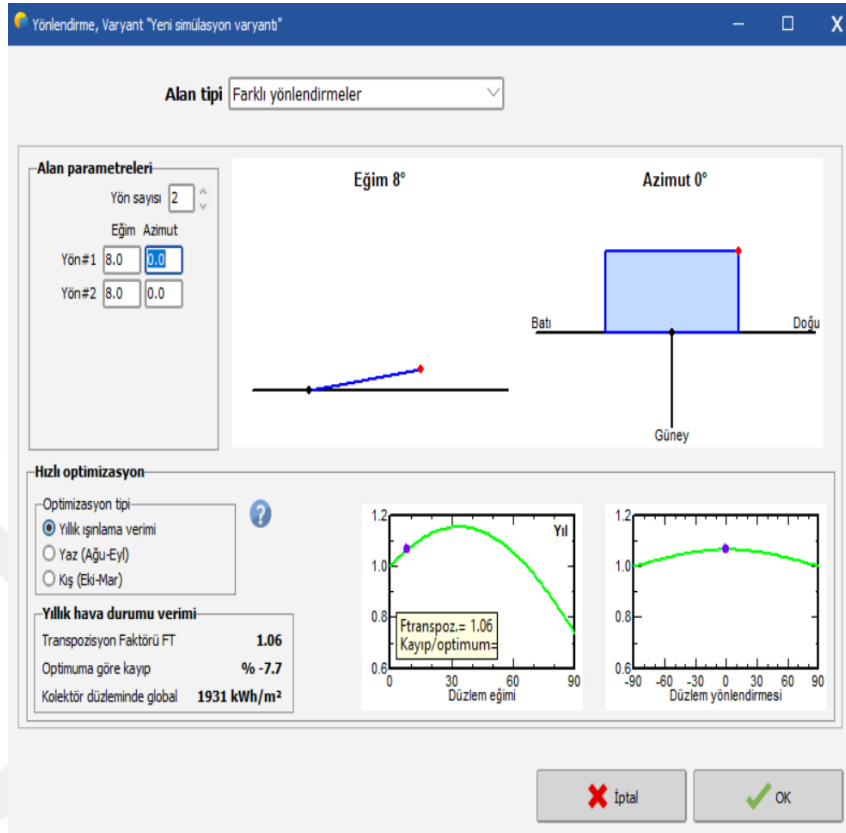
6.1.3 Güneş panellerinin açılandırılması

Güneş panellerinin konumlandırılmasında, panellerin zeminle yaptığı açı ve yönlendirme, enerji üretim performansı üzerinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu bölümde, panellerin eğim açısı ve azimut açısının belirlenmesine yönelik temel kriterler ele alınmaktadır.

Eğim açısı (Tilt angle): Eğim açısı, güneş panellerinin zeminle yaptığı açığı ifade eder ve panellere gelen güneş ışınlarının yoğunluğunu optimize etmek için belirlenir. En doğru eğim açısını bulmak, enerji üretiminde maksimum verim elde edilmesini sağlar. Bu açının belirlenmesinde, kurulum yapılacak yerin coğrafi enlemi esas alınır. Genel bir kural olarak, en uygun eğim açısı, bölgenin enlem açısına eşit veya enlem açısından yaklaşık 4° daha düşük bir değer olarak kabul edilmektedir. Bu yaklaşım, yıl boyunca güneş ışınlamını en verimli şekilde yakalamayı amaçlar. Alternatif eğim açıları denenerek, spesifik kurulum alanı için en uygun değer belirlenir. Bu süreç, enerji üretimindeki kayıpları minimize etmek açısından büyük önem taşır.

Azimut açısı (Azimuth angle): Azimut açısı, güneş panellerinin yatay düzlemdeki yönünü ifade eder ve panel performansını doğrudan etkileyen bir diğer önemli parametredir. Bu açı, genellikle güney yönünü referans alarak ölçülür. Örneğin, paneller tam güneye baktığında azimut açısı 0° olarak kabul edilir. Azimut açısı, özellikle sabit eğimli

sistemlerde, panellerin yıl boyunca güneş ışınlımından en iyi şekilde faydalanabilmesi için optimize edilir.



Şekil 6.7. Eğim açısı ve azimut açısı

Eğim ve azimut açısının enerji üretimine etkisi: Güneş paneli performansı, eğim açısı ve azimut açısının doğru bir şekilde ayarlanmasına büyük ölçüde bağlıdır. Bu açılar, panellere gelen güneş radyasyonunun miktarını etkileyerek enerji üretim verimliliğinde değişimlere neden olabilir. Özellikle, eğim açısı ile güneş ışınlımının yıl içerisindeki değişen açısı arasındaki uyumun sağlanması, toplam enerji üretimini artırabilir. Benzer şekilde, azimut açısındaki küçük sapmalar bile enerji üretimi üzerinde belirgin etkiler ortaya çıkarabilir.

PVsyst programı, eğim ve azimut açılarını optimize etmek için kullanıcıya kapsamlı bir simülasyon ve analiz ortamı sunar. Şekil 6.7 'de, eğim açısı ve azimut açısının belirlendiği arayüz gösterilmektedir. Bu araç, farklı açılardaki yerleşimlerin enerji üretimine olan etkilerini karşılaştırma imkânı sağlamaktadır.

6.1.4 Sistem tasarımı ve bileşen seçimi

Sistem tasarımı aşamasında, PVsyst programı iki temel yöntem sunmaktadır. Bu yöntemler, kurulumun yapılacağı alanın fiziksel sınırlamaları veya enerji üretim hedeflerine göre belirlenir.

- Mevcut alan tabanlı tasarım: Kurulumun yapılacağı alan sabitse ve bu alandan maksimum enerji verimi alınması hedefleniyorsa, mevcut alanın yüzölçümü (m^2) programa girilir. Program, bu alanı kullanarak uygun PV modül sayısını ve sistem gücünü (kWp) otomatik olarak hesaplar.
- Planlanan güç tabanlı tasarım: Eğer kurulum alanında bir sınırlama yoksa ve belirli bir enerji üretim kapasitesi hedefleniyorsa, planlanan güç kapasitesi (kWp) programa girilir. Bu durumda, program gerekli alanı ve bu alanın optimizasyonu için gereken PV modül sayısını belirler.

The screenshot displays the PVsyst software interface for system design. The main window is titled "Şebekeye bağlı sistem tasarımı, Varyant VCO: 'Yeni simülasyon var parsa'". It is divided into several sections:

- Alt alan:** Includes fields for "Alt dizinin ismi ve yönü", "Yön" (Kargik #1 ve #2), "Eğim" (6° / 6°), "Azimut" (-90° / 90°), and "Ön boyutlandırma yardımı" (Boyutlandırmasız, Planlanan güç giriniz: 1000.0 kWp, ... veya mevcut alan(modül): 6736 m²).
- PV modül seçimi:** Includes "Mevcut" and "Filtre" tabs, "Tüm PV modüller" dropdown, "AE Solar" dropdown, "545 Wp 36V Si-mono AE 545MD-144" selection, "2022 yılından beri" date, "Manufacturer 2020" dropdown, "Optimizör kullan" checkbox, "Gerilim boyutlama: Vmpo (60°C) 36.6 V", and "Voc (-10°C) 55.0 V".
- Invertör seçimi:** Includes "Mevcut" dropdown, "Çıkış gerilimi 480 V Tr 50Hz" dropdown, "Huawei Technologies" dropdown, "100 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-100KTL-M1-480VAC" selection, "2021 yılından beri" date, "Invertör sayısı 8" dropdown, "Çalışma gerilimi: 200-1000 V", "Invertör global gücü 800 kWac", "Multi-HPPT kullanımı" checkbox, "Maksimum giriş gerilimi: 1100 V", "10 HPPT ile invertör", "Invertörde güç paylaşımı" dropdown, and "Yeni dağılım" button.
- Dizi boyutlandırması:** Includes "Modül ve zincir sayısı", "Seri mod. sayısı 18" dropdown, "Zincir sayısı 102" dropdown, "Aşırı yük kaybı 0.0 %" dropdown, "Nom. güç oranı 1.25" dropdown, "Yön #1 50" dropdown, "Yön #2 52" dropdown, "İçerme koşulları" table, "Yüzey ısıtım 1000 W/m²", "İmp (STC) 1312 A", "İsc (STC) 1389 A", "İsc (STC'de) 1389 A", "Alan nominal gücü (STC) 1001 kWp", "Veri maks" radio button, "STC" radio button, "Maksimum işletme gücü (1032 W/m² igr. ve 50°C) 942 kW", and "Alan nominal gücü (STC) 1001 kWp".
- Alt alanlar listesi:** A table listing PV areas with columns "İsim", "#Mod #Zincir", and "#Zincir #HPPT".
- Global sistem özeti:** A table summarizing system parameters.

The "Global sistem özeti" table is as follows:

Global sistem özeti	
Panel sayısı	1836
Panel yüzeyi	2416 m²
Invertör sayısı	8
PV nominal gücü	1001 kWp
Nominal AC gücü	800 kWAC
Nom. güç oranı	1.251

At the bottom, there are buttons for "Sistem özeti", "Tek hat şeması", "İptal", and "OK".

Şekil 6.8. Sistem tasarımı

Her iki yöntemde de PV modüllerinin yerleşimi ve bağlantı konfigürasyonları (seri ve paralel bağlantılar) program tarafından hesaplanır. Bu süreç, enerji üretimini maksimize edecek bir tasarım elde edilmesi açısından kritiktir. Sistem tasarımında kullanılacak PV modül modeli, gücü ve voltaj değerleri dikkatlice seçilmelidir. Benzer şekilde, inverter seçiminde de sistem gereksinimlerine uygun marka ve model

belirlenmelidir. Bu seçimler, sistemin verimliliği, performansı ve uzun vadeli işletme maliyetleri üzerinde doğrudan etkilidir. PVsyst programı, kullanıcı tarafından girilen tüm bu veriler doğrultusunda tasarımın uygunluk durumunu değerlendirir ve olası iyileştirme önerileri sunar. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10'da, sistem tasarımı sürecine dair detaylar yer almaktadır.

Şekil 6.9. Pv panel teknik özellikleri

Şekil 6.10. İnverter teknik özellikleri

6.1.5 Enerji kayıpları analizi

Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve performans analizinde, enerji kayıplarının doğru bir şekilde hesaplanması, sistemin gerçek üretim kapasitesinin öngörülmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. PVsyst programı, farklı kayıp türlerini ayrı ayrı modelleyerek, enerji üretimi üzerindeki etkilerini analiz etme imkânı sunmaktadır. Termal (sıcaklık) kayıpları, omik kayıpları (DC kablolama, AC kablolama ve trafo bağlantı kablolarından kaynaklanan), panel kayıpları, uyumsuzluk kayıpları, tozlanma/karlanma kayıpları, yansıma kayıpları, harici ekipman kayıpları (lambda, kamera, klima vb.), panel yaşlanma kayıpları ve arıza bakım kayıpları olarak sisteme aktarılır (Demiryürek, Arifoğlu, & Bolat, 2020).

Şekil 6.11. Kayıplar arayüzü

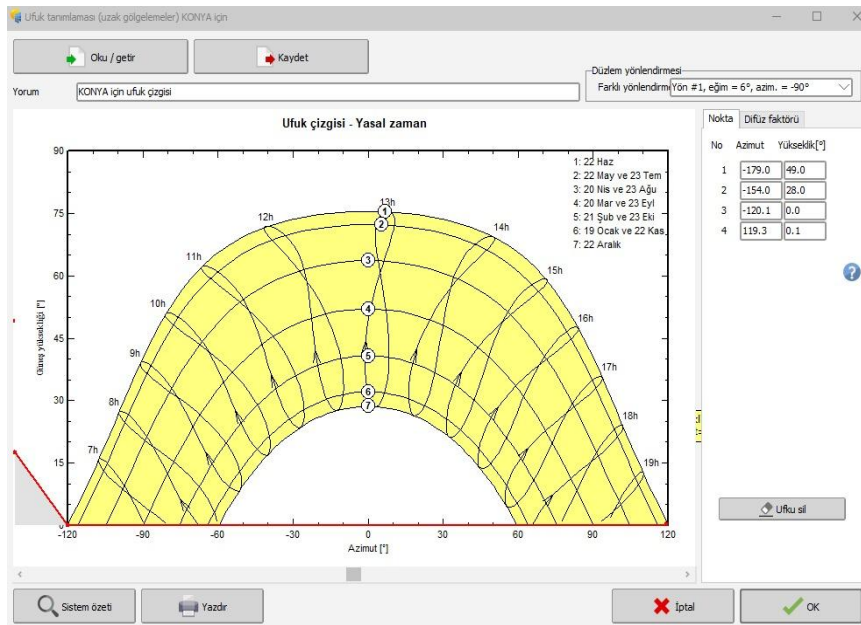
PVsyst programında her bir kayıp türü, belirli bir yüzdelik değer veya sabit kayıp miktarı olarak sisteme girilmektedir. Bu veriler, sahadan elde edilen gerçek ölçümler veya literatürdeki referans veriler kullanılarak belirlenir. Kayıpların doğru bir şekilde sisteme aktarılması, simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini artırır ve gerçek performansa daha yakın bir tahmin yapılmasını sağlar. Şekil 6.11’de, PVsyst programında kayıpların

tanımlandığı ara yüzün bir görüntüsü sunulmuştur. Bu arayüz, kullanıcının farklı kayıp türlerini detaylı bir şekilde analiz etmesine olanak tanır.

6.1.6 Ufuk çizgisi analizi

Ufuk çizgisi (horizon) grafiği, güneşin doğuşundan batışına kadar olan süreçte, belirli bir lokasyonda güneşin konumuna bağlı olarak enerji üretim potansiyelini gösteren bir grafik (Yiğit, 2023). Bu grafik, güneş enerjisi sistemlerinin performansını etkileyen çevresel koşulların değerlendirilmesi açısından kritik bir rol oynar. Ufuk çizgisi analizinde, güneşin belirli saatlerdeki konumuna göre enerji üretim kapasitesinde yaşanabilecek değişiklikler göz önüne alınır. Azimut ve yükseklik parametreleri, enerji üretiminde güneş ışınımının yoğunluğu ve süresi üzerinde doğrudan etkilidir. PVsyst programında, bu parametreler ufuk çizgisi grafiği ile görselleştirilir ve analiz edilir.

Ufuk çizgisi verilerinin doğru bir şekilde tanımlanması, simülasyon sonuçlarının gerçeğe yakın olmasını sağlar. PVsyst, bu verileri kullanarak, güneş ışınımının belirli saatlerdeki yoğunluğunu ve sistemin enerji üretimine olan etkilerini tahmin eder. Bu tahminler, sistemin ekonomik verimliliğini artıracak tasarımlar geliştirilmesine olanak tanır. Bu süreç, özellikle gölgelenme etkilerinin minimize edilmesi ve enerji üretim kayıplarının azaltılması açısından önemlidir.



Şekil 6.12. Horizon (ufuk çizgisi) arayüzü

Şekil 6.12’de, ufuk çizgisi verilerinin tanımlandığı arayüz örneği gösterilmektedir. Bu görsel, ufuk çizgisi değerlerinin düzenlenmesi ve simülasyon sürecine entegrasyonu için kullanılan ara yüzü yansıtmaktadır.

6.1.7 Yakın gölgeleme analizi

Yakın gölgeleme analizi, güneş panelleri üzerinde gölge oluşturan çevresel faktörlerin enerji üretimine etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılır.

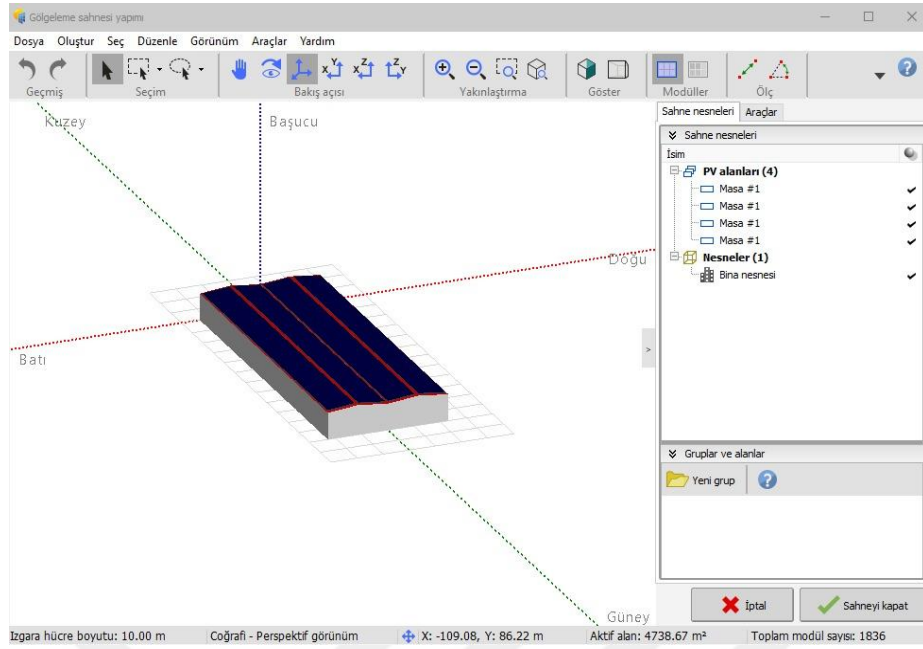
	Yön./Sistem	3B sahne
Aktif alan	2323 / 2416 m ²	2369 / 2369 m ²
Alan eğimi	6.0 / 6.0°	6.0 / 6.0°
Alan azimutu	-90.0 / 90.0°	-90.0 / 90.0°

Şekil 6.13. Yakın gölgeleme

PVsyst programı, bu etkileri simüle ederek enerji kayıplarını belirleme imkânı sunar. Bu analiz, enerji verimliliğini artırmak ve gölgelenmeden kaynaklanan kayıpları minimize etmek için kritik bir adımdır.

Gölgeleme kaynakları arasında ağaçlar, binalar, yapılar veya diğer paneller yer alır. PVsyst programında kullanıcı, bu nesnelerin konum ve boyutlarını tanımlayarak gölgelenme etkisini modelleyebilir. Panellerin yerleşimi, seri ve paralel bağlantılar dikkate alınarak düzenlenir ve gölgelenmenin enerji üretimine etkisi hesaplanır.

Programın simülasyon araçları, kullanıcıya en uygun panel yerleşimi ve tasarım kararlarını vermede rehberlik eder. Şekil 6.13’te yakın gölgeleme arayüzü, Şekil 6.14’te ise gölgeleme perspektifi gösterilmektedir.



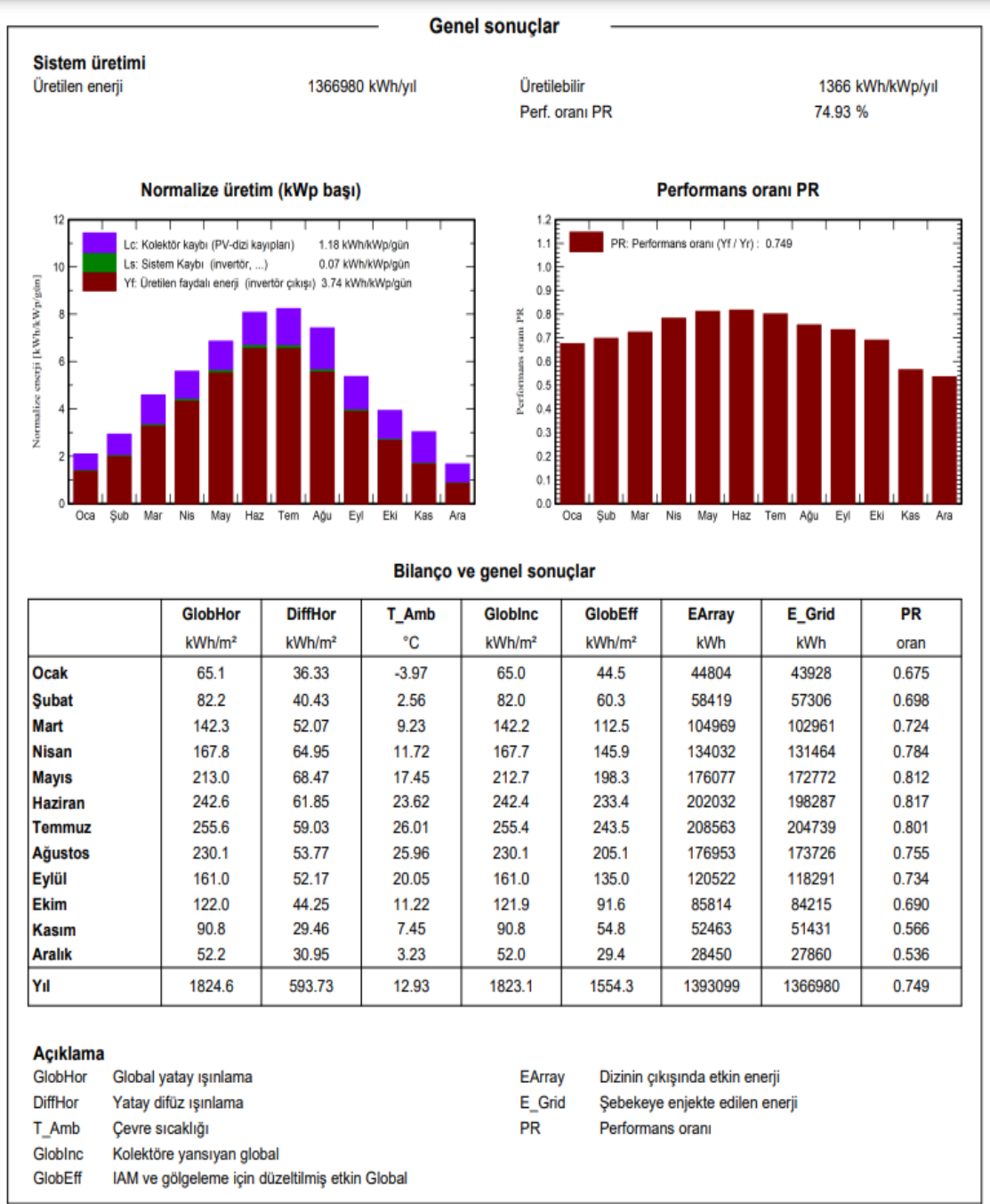
Şekil 6.14. Yakın gölgeleme perspektifi

6.2. Gerçek Üretim Verileri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Konya ilinde bulunan ve aktif olarak çalışan 1 MWp gücündeki bir güneş enerjisi santralinin 2023 yılına ait gerçek üretim verileri, PVsyst programından elde edilen simülasyon sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Analiz, simülasyon verilerinin gerçeğe ne kadar yakın olduğunu belirlemek ve olası sapmaların nedenlerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

PVsyst programında yapılan simülasyona göre, 1 MWp gücündeki güneş enerjisi santrali, Konya'da doğu-batı yönelimli olarak 2023 yılı için toplam 1366,98 MWh (1.366.980 kWh) elektrik üretim kapasitesine sahiptir (Şekil 6.15). Buna karşılık, aynı santralin gerçek üretim verileri, toplam 1.419.434 kWh olarak kaydedilmiştir (Tablo 6.1). Simülasyon verileri ile gerçek üretim verileri arasındaki farkın nedenleri, çevresel faktörler, sistem özellikleri ve beklenmeyen durumlar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1'den görüldüğü üzere, PVsyst simülasyon verileri ile gerçek üretim verileri arasında toplamda 52.454 kWh'lik bir fark bulunmaktadır. Bu fark, %3,84 oranında bir sapmaya işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre sapma nedenleri ve değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.



Şekil 6.15. PVsyst programı üretim verileri

- Yüksek sıcaklık ve ekipman ısınması: Yaz aylarında yaşanan beklenmedik yüksek sıcaklıklar, fotovoltaik paneller, DC/AC kablolar ve inverterlerde aşırı ısınmaya neden olmuş ve enerji üretiminde düşüşlere yol açmıştır.
- Tozlanma ve temizlik sorunları: Yaz aylarında yağış eksikliği nedeniyle paneller üzerinde biriken toz, ışık emilimini azaltarak üretim kayıplarına neden olmuştur.

- Elektrik kesintileri: Elektrik şebekesinde yaşanan kesintiler nedeniyle santralin kısa süreli devre dışı kalması, enerji üretimini etkilemiştir.
- Hava koşullarındaki farklılıklar: Sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde bulutlu ve yağışlı gün sayısının düşük olması, PVsyst programında tahmin edilen değerlerden daha yüksek enerji üretimine olanak sağlamıştır.
- Program sınırlamaları ve ortalama değerler: PVsyst, hesaplamalarında genellikle ortalama meteorolojik verileri kullanır. Gerçek koşullardaki ani değişiklikler ve mikroklimatik faktörler simülasyonun doğruluğunu etkileyebilir.

Tablo 6.1. Aylara göre 2023 yılı üretim verileri

AYLAR	2023 YILIK ÜRETİM (KWh)	PVSYST ÜRETİM VERİLERİ (KWh)	ÜRETİM FARKI (KWh)
OCAK	60994	43928	17066
ŞUBAT	80656	57306	23350
MART	109710	102961	6749
NİSAN	134061	131464	2597
MAYIS	152844	172772	-19928
HAZİRAN	162992	198287	-35295
TEMMUZ	194620	204739	-10119
AĞUSTOS	162445	173726	-11281
EYLÜL	134271	118291	15980
EKİM	105968	84215	21753
KASIM	64441	51431	13010
ARALIK	56432	27860	28572
TOPLAM	1419434	1366980	52454

PVsyst programının hesaplamalarına göre, gerçek verilerle simülasyon verileri arasında yaklaşık %3,84 oranında bir sapma bulunmaktadır. Bu farkın, çevresel koşullar ve sistem tasarımından kaynaklanan beklenmeyen durumlar nedeniyle oluştuğu

değerlendirilmiştir. Bu analiz, PVsyst programının güneş enerjisi santrali performans tahminlerinde genellikle gerçeğe yakın sonuçlar sunduğunu göstermektedir, ancak mikro düzeydeki etkilerin daha doğru modellenmesi için daha fazla saha verisine ihtiyaç duyulabilir.



7. MALİYET VE FİNANSAL ANALİZ

Bu bölümde, 1 MWp kapasitesindeki güneş enerjisi santralının 1 Ocak 2023 ile 1 Ocak 2024 tarihleri arasındaki kurulum maliyetleri analiz edilmiştir. Hesaplamalar, malzeme maliyetleri ve kurulum hizmetleri için gerekli harcamaları detaylandırmakta ve dolar kurundaki değişimlerin yatırım maliyetlerine etkilerini ortaya koymaktadır.

7.1 Malzeme Listesi ve Maliyet Analizi

Santralde kullanılacak malzemeler ve bu malzemelerin birim fiyatları, 2023 ve 2024 yılları için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Malzemelerin toplam maliyeti, her iki yıl için de %20 KDV eklenerek hesaplanmış ve yatırım maliyetleri oluşturulmuştur. Tablo 7.1, malzeme türleri, miktarları, birim fiyatları ve toplam maliyetlerini göstermektedir. Malzeme maliyetleri 2023 yılına kıyasla 2024 yılında birim fiyatlarda düşüş göstermiş olsada, ülkemizde dolar kurunun yükselmesi nedeniyle toplam yatırım maliyetleri Türk Lirası cinsinden artış göstermiştir.

Tablo 7.1. Malzeme listesi ve maliyet analizi

KULLANILAN MALZEME	ADET/ SET/ METRE	2023		2024	
		BİRİM FİYATI \$	TOPLAM FİYATI \$	BİRİM FİYAT \$	TOPLAM FİYATI \$
İNVERTER	8	4200	33600	3800	30400
1 MWP PV PANEL (545W)	1850	152	281200	92	170200
DC KABLO	15000	1	15000	0,92	13800
AC KABLO 70 mm ²	100	1,8	180	2	200
AC KABLO 120 mm ²	300	3,2	960	3,5	1050
AC KABLO 185 mm ²	200	3,7	740	4	800
KABLO TAVASI	1	3500	3500	4500	4500
TOPRAKLAMA ŞERİDİ VE KABLOSU	750	1,5	1125	1,5	1125
GES PANOSU	1	9000	9000	10000	10000
SCADA	1	2500	2500	3000	3000
KURULUM VE MONTAJ İŞÇİLİĞİ	1	23000	23000	21000	21000
NAKLİYE VE VİNÇ HİZMETİ	1	6000	6000	8000	8000

Tablo 7.1. Tablonun devamı

PROJE, RESMİ İŞLEMLER VE MÜHENDİSLİK HİZMETİ	1	2500	2500	2500	2500
SOLAR KONNEKTÖRLER	250	2	500	2,2	550
ALÜMİNYUM KONSTRÜKSİYON	1	16000	16000	12000	12000
İNVERTER PLATFORMU	1	2500	2500	2500	2500
ARTI MASRAFLAR	1	10000	10000	10000	10000
TOPLAM			408307		291625
%20 KDV			81661,4		58325
TOPLAM MALİYET			489968,4		349950
ŞİRKET KARI %15	489968,4 X 0,15=73495		349950 X 0,15=52493		
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ	489968,4 + 73495 = 563463 \$		349950 + 52493 = 402443 \$		

7.2 Maliyetlerin Türk Lirası ve Dolar Cinsinden Analizi

Tablo 7.2, 2023 ve 2024 yılları için yatırım maliyetlerinin dolar ve Türk Lirası cinsinden hesaplamalarını sunmaktadır:

Tablo 7.2. Maliyet hesabı tablosu

		1 OCAK 2023 YATIRIM MALİYETİ	1 OCAK 2024 YATIRIM MALİYETİ	FARK
1 OCAK 2023 DOLAR (\$) KURU	18,73 ₺			
1 OCAK 2024 DOLAR (\$) KURU	29,72 ₺			
2023-2024 TÜRK LİRASI (₺) CİNSİNDEN YATIRIM MALİYETİ FARKI		563463 \$ X 18,73 ₺ =10.553.662 ₺	402443 \$ X 29,72 ₺= 11.960.606 ₺	YATIRIM BEDELİ 2024 YILI 1.406.944 ₺ ARTMIŞ
2023-2024 DOLAR (\$) CİNSİNDEN YATIRIM MALİYETİ FARKI		563.463 \$	402.443 \$	YATIRIM BEDELİ 2024 YILI 161.020 \$ AZALMIŞ

Dolar cinsinden yatırım maliyeti 161.020 \$ azalırken, Türk Lirası cinsinden maliyetin 1.406.944 ₺ arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, döviz kurundaki dalgalanmalar ve TL'nin değer kaybından kaynaklanmaktadır.

7.3. Başlangıç Maliyetleri

Güneş enerjisi santrali kurulumunda, mühendislik hizmetleri dışarıdan temin ediliyorsa, proje, resmi işlemler ve mühendislik hizmetleri için 2,500 USD 'lik bir ödeme yapılması gerekmektedir. Bu ücret, proje ofisine ödenecek olan vekâlet ücretlerini de kapsar. Ancak, firma bu işlemleri kendi bünyesinde gerçekleştiriyorsa, yalnızca gerekli harçlar ve vekâlet ücretleri ödenecektir.

7.4. İşletme ve Bakım Maliyetleri

Güneş enerjisi santralinin işletme, bakım, onarım ve izleme hizmetleri genellikle kurulum sırasında anlaşmaya varılan bir sözleşme ile firma tarafından üstlenilmektedir. Genellikle, santrali kuran firma, santralin işletme ve bakım işlemlerini iki yıl süreyle üstlenir. Bu süre zarfında, günlük izleme, bakım ve onarım işlemleri düzenli aralıklarla yapılır. İzleme işlemleri günlük olarak gerçekleştirilirken, bakım ve onarım işlemleri altı aylık periyotlarla yapılmaktadır.

7.5. Bakım, Onarım ve İzleme İçeriği

7.5.1 Günlük izleme

- Uzaktan izleme ve kontrol işlemleri
- Arıza bildirimleri ve arıza önleyici müdahaleler

7.5.2. Altı aylık bakım ve onarım

- Genel temizlik ve kontroller:
 - Tüm köşk içi temizlikler
 - Sistem genel gözlem ve kontrolleri

- Kablo giriş çıkışlarının gözden geçirilmesi
- Haşere ve sürüngen kontrolleri
- Elektrik bağlantı noktalarının kontrolü
- Stringlerin üretim kontrolü, gözlem altında tutulması gereken stringlerin tespiti
- Otlama kontrolü ve müdahale
- Sabit gölgelenmeye maruz kalan PV modüllerin termal kamera ile kontrolü
- Pano ve inverterlerde kablo bağlantı noktalarının termal kamera ile denetimi
- Tüm pano ve inverterlerin filtre kontrolü
- PV modül kirlilik oranı tespiti
- Diğer teknik kontroller:
 - Hassas işçilik yapılmış yerlerin gözlemi
 - Konstrüksiyon bağlantı ekipmanlarının kontrolü
 - İnvertör yazılımlarının denetimi
 - Tüm sehpa aralarında yürüyerek panel kırığı tespiti
 - Sahada oluşmuş konstrüksiyon hasarlarının tespiti
 - Saha zemininin genel kontrolü
 - Sahada yuva yapmış yabani hayvanların bertaraf edilmesi
 - PV modül temizliği
- Elektrik ve güvenlik sistemlerinin denetimleri:
 - İnvertörler için ölçüm ve denetimler
 - Topraklama ölçümleri
 - Yıldırımdan korunma sistemi ölçümleri
 - Konstrüksiyon için ölçüm ve denetimler
 - PV modüller, panolar ve kabloların görsel muayenesi
 - AG elektrik tesisatı ölçüm ve denetimleri
 - OG elektrik tesisatı ölçüm ve denetimleri
 - Trafo yağ seviyeleri, bağlantıları ve röle kontrolleri
 - Sensör ve rölelerin fonksiyon testleri
 - Kesicilerin otomatik ve manuel kontrolleri

- Diğer güvenlik ve bakım ileri seviye kontrolleri:
 - Korozyon tespiti ve onarımları
 - Kablo taşıma borularının kelepçelerinin sağlamlık testleri
 - Kablo taşıma borularındaki yabani hayvan kontrolü
 - Haberleşme kablolarının ve soketlerinin kontrolü
 - Tork ölçüm kontrolleri

7.6. Geri Ödeme Süreleri ve Maliyet-Etkinlik Analizi

Bu bölümde, kurulan güneş enerjisi santralının (GES) yatırım maliyetinin geri dönüş süresi, iki farklı senaryo üzerinden analiz edilmiştir:

- Senaryo 1: Güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin tamamının fabrikada kullanılması.
- Senaryo 2: Üretilen enerjinin %50'sinin fabrikada kullanılması, kalan %50'sinin ise satılması.

Hesaplamalar, fabrikanın gerçek üretim verileri ve EPDK'nın 2023 ve 2024 yıllarına ilişkin sanayi tarifelerine göre yapılmıştır. EPDK tarafından yayınlanan aylık "Perakende tek zamanlı enerji bedeli" ve "Dağıtım bedeli" değerleri kullanılarak, yatırımın geri ödeme süreleri belirlenmiştir. EPDK'nın 2023 ve 2024 yıllarında yayınladığı tarifeler tezin EK-4 ve EK-5 kısmında yayınlanacaktır.

7.6.1. Senaryo 1

Yıllık kazanç, aylık bazda aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Gelir hesaplama formülü;

Aylık kazanç,

$$A = X(Y + \frac{Z}{2}) \quad (7.1)$$

Burada;

- X: Elektrik üretim miktarı (kWh),
- Y: Perakende tek zamanlı enerji bedeli (kr/kWh),
- Z: Dağıtım bedelini (kr/kWh), temsil eder.

Aylık kazançlar, TL cinsinden hesaplandıktan sonra o ayın son gününe ait dolar kuruna bölünerek dolar cinsinden değerler de elde edilmiştir. Tüm aylık kazançlar toplanarak yıllık kazanç hesaplanmış ve yatırım maliyetine bölünerek geri ödeme süresi bulunmuştur.

Tablo 7.3'te verilen tarifeler, kazanç hesaplamalarında temel alınmıştır. Şebekeye enerji satışı olmasa bile dağıtım bedelinin yarısı kadar maliyet faturalara yansıtacağı için, dağıtım bedelinin yarısı formüle eklenmiştir. Tüm bu veriler kullanılarak, yıllık kazanç ve geri ödeme süresi hesaplanacaktır.

Tablo 7.3. 2023 ve 2024 yılları EPDK elektrik tarifeleri

	2023 SANAYİ TARİFESİ		2024 SANAYİ TARİFESİ	
	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli (kr/kWh)	Dağıtım Bedeli (kr/kWh)	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli (kr/kWh)	Dağıtım Bedeli (kr/kWh)
OCAK	304,1128	58,7641	305,3828	64,7998
ŞUBAT	304,1128	58,7641	305,3828	64,7998
MART	304,1128	58,7641	305,3828	64,7998
NİSAN	304,1128	58,7641	305,3828	64,7998
MAYIS	249,7685	58,7641	305,3828	64,7998
HAZİRAN	249,7685	58,7641	305,3828	64,7998
TEMMUZ	243,7926	64,7998	267,5627	102,9981
AĞUSTOS	243,7926	64,7998	267,5627	102,9981
EYLÜL	243,7926	64,7998	267,5627	102,9981
EKİM	305,3828	64,7998	267,5627	102,9981
KASIM	305,3828	64,7998	267,5627	102,9981
ARALIK	305,3828	64,7998	267,5627	102,9981

Tablo 7.4. 2023 Yılı GES'de üretilen enerjinin %100 tüketiminden elde edilen kazanç tablosu

2023 AYLAR	X	Y	Z/2	TOPLAM(KR)	TOPLAM TL (₺)	DOLAR KURU	TOPLAM (\$)
OCAK	60994	304,1128	29,38205	20341184,9	203411,85	18,79	10825
ŞUBAT	80656	304,1128	29,38205	26898360,6	268983,6	18,86	14262
MART	109710	304,1128	29,38205	36587720	365877,20	19,18	19076
NİSAN	134061	304,1128	29,38205	44708653,1	447086,53	19,44	22998
MAYIS	152844	249,7685	29,38205	42666486,7	426664,86	20,75	20562

HAZİRAN	162992	249,7685	29,38205	45499306,4	454993,07	26,03	17480
TEMMUZ	194620	243,7926	32,3999	53752584,4	537525,85	26,93	19960

Tablo 7.4. Tablonun devamı

AĞUSTOS	162445	243,7926	32,3999	44866090,7	448660,91	26,67	16823
EYLÜL	134271	243,7926	32,3999	37084643,2	370846,43	27,4	13535
EKİM	105968	305,3828	32,3999	35794157,2	357941,57	28,28	12657
KASIM	64441	305,3828	32,3999	21767055	217670,55	28,85	7545
ARALIK	56432	305,3828	32,3999	19061753,3	190617,53	29,67	6425
TOPLAM	1419434			4.290.279.95	4.290.280 ₺		182.148 \$

Tablo 7.4’te, 2023 yılında güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin tamamının fabrikada tüketilmesi durumunda elde edilen aylık ve yıllık kazançlar hesaplanmıştır. Bu analizde, aylık kazanç hesaplama formülü yine (7.1) nolu formülde ifade edildiği gibidir.

7.4 nolu tablodan elde edilen verilere göre aylık ve yıllık Kazançların değerlendirilmesi yapılmıştır.

- Toplam yıllık kazançlar: (Tablo 7.4 ‘e göre)
 - ✓ Türk Lirası (₺): Yıllık toplam kazanç 4.290.280 ₺ olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Dolar (\$): Yıllık toplam kazanç 182.148 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Aylık değişkenlik: (Tablo 7.4 ‘e göre)
 - ✓ Aylık dolar kazançları, enerji üretimi miktarı ve o aya ait dolar kuruna göre değişiklik göstermektedir. En yüksek kazanç Temmuz ayında (537.525,85 ₺ /19.960 \$) elde edilmiştir.
- Değişkenlik faktörleri: (Tablo 7.4 ‘e göre)
 - ✓ Perakende tek zamanlı enerji bedeli yılın farklı aylarında değişiklik göstermiştir. Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında enerji bedelleri görece düşmüş, bu da kazançları etkilemiştir.
 - ✓ Dolar kuru yıl boyunca artış göstermiştir. Bu durum, TL bazlı kazançları olumlu etkilerken, dolar bazında kazançların dalgalanmasına neden olmuştur.

Tablo 7.4 ‘e göre, 2023 yılı boyunca enerji üretiminin tamamının fabrikada tüketilmesi durumunda;

- Yıllık kazanç, Türk Lirası cinsinden 4.290.280 ₺, dolar cinsinden 182.148 \$ olarak gerçekleşmiştir.
- En yüksek kazanç, Temmuz ayında elde edilmiştir, bu dönemde üretim miktarının yüksek ve enerji bedellerinin sabit olduğu gözlemlenmiştir.

- Faktörlerin etkisi, olarak hem enerji bedeli hem de dolar kuru, kazançların hesaplanmasında önemli değişkenler olarak öne çıkmıştır denilebilir.

Tablo 7.5, 2024 yılında güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin tamamının fabrikada tüketilmesi durumunda aylık ve yıllık kazançları göstermektedir. Hesaplamalar, (7.1) nolu formüle göre yapılmıştır. Elde edilen aylık kazançlar TL cinsine çevrilmiş ve dolar kuru kullanılarak dolar bazında kazanç hesaplanmıştır.

Tablo 7.5. 2024 Yılı GES’de üretilen enerjinin %100 tüketiminden elde edilen kazanç tablosu

2024 AYLAR	X	Y	Z/2	TOPLAM(KR)	TOPLAM (₺)	DOLAR KURU	TOPLAM (\$)
OCAK	60994	305,3828	32,3999	20602718	206027,18	30,3	6800
ŞUBAT	80656	305,3828	32,3999	27244201	272442,01	31,23	8724
MART	109710	305,3828	32,3999	37058140	370581,4	32,35	11455
NİSAN	134061	305,3828	32,3999	45283487	452834,87	32,32	14011
MAYIS	152844	305,3828	32,3999	51628059	516280,59	32,15	16059
HAZİRAN	162992	305,3828	32,3999	55055878	550558,78	32,62	16878
TEMMUZ	194620	267,5627	51,49905	62095798	620957,98	33,07	18777
AĞUSTOS	162445	267,5627	51,49905	51829986	518299,86	33,91	15285
EYLÜL	134271	267,5627	51,49905	42840740	428407,4	34,12	12556
EKİM	105968	267,5627	51,49905	33810336	338103,36	34,22	9880
KASIM	64441	267,5627	51,49905	20560658	205606,58	34,7	5925
ARALIK	56432	267,5627	51,49905	18005293	180052,93	35,3	5101
TOPLAM	1419434			466015293,3	4.660.153 ₺		141.450 \$

7.5 nolu tablodan elde edilen verilere göre aylık ve yıllık kazançların değerlendirilmesi yapılmıştır.

- Toplam yıllık kazançlar: (Tablo 7.5 ‘e göre)
 - ✓ Türk Lirası (₺): Yıllık toplam kazanç 4.660.153 ₺ olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Dolar (\$): Yıllık toplam kazanç 141.450 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Aylık değişkenlik: (Tablo 7.5 ‘e göre)
 - ✓ Aylık kazançlar, üretim miktarı ve dolar kuruna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. En yüksek kazanç Temmuz ayında (620.957,98 ₺/18.777 \$) elde edilmiştir.
- Değişkenlik faktörleri: (Tablo 7.5 ‘e göre)

- ✓ 2024 yılında Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında enerji bedellerinin düşmesi, buna karşın dolar kurunun artışı kazançlarda belirgin dalgalanmalara neden olmuştur.
- ✓ Dağıtım bedellerindeki artış, özellikle yılın ikinci yarısında aylık kazançları etkilemiştir.

Tablo 7.5 'e göre, 2024 yılı boyunca enerji üretiminin tamamının fabrikada tüketilmesi durumunda;

- Yıllık kazanç, Türk Lirası cinsinden 4.660.153 ₺, dolar cinsinden 141.450 \$ olarak hesaplanmıştır.
- En yüksek kazanç, Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Bu ayda üretim miktarının yüksekliği etkili olmuştur.
- Faktörlerin etkisi, olarak hem enerji bedeli hem de dolar kuru, kazançların hesaplanmasında önemli değişkenler olarak öne çıkmıştır denilebilir.

7.6.2. Senaryo 2

Tablo 7.6, Tablo 7.7, Tablo 7.8 ve Tablo 7.9'da güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin %50'sinin fabrikada tüketilmesi ve geri kalan %50'sinin şebekeye satılması durumunda yıllık kazanç hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için (7.1) ve (7.2) olmak üzere iki temel formül kullanılmıştır:

Kullanılan formüller:

- Tüketimden kazanç formülü (A):

(7.1) Formülü, üretilen enerjinin fabrikada tüketilmesinden sağlanan ekonomik tasarrufu ifade eder. Dağıtım bedelinin yarısı, tüketim kazancına eklenir.

- Satıştan kazanç formülü (B):

$$B = X(Y - Z) \quad (7.2)$$

(7.2) formülü, üretilen enerjinin şebekeye satışından elde edilen net kazancı ifade eder. Dağıtım bedeli, satış fiyatından düşürülerek net gelir bulunur.

- Toplam kazanç (C):

$$C = A + B \quad (7.3)$$

- Elektrik üretim miktarı (X): Güneş enerjisi santralının aylık ürettiği elektrik miktarını ifade eder.
- Perakende tek zamanlı enerji bedeli (Y): EPDK tarafından belirlenen enerji birim fiyatıdır (kr/kWh).
- Dağıtım bedeli (Z): Elektrik dağıtım maliyetini ifade eder (kr/kWh).
- Dağıtım bedelinin yarısı (Z/2): Tüketim kazancının hesaplanmasında kullanılan bir bileşendir.

Yıllık kazançların hesaplanması

- Tüketimden kazanç (A): Fabrikada tüketilen enerji miktarı üzerinden hesaplanan ekonomik fayda.
- Satıştan kazanç (B): Şebekeye satılan enerji miktarından elde edilen gelir.
- Toplam kazanç (C): Her iki kazanç kaleminin toplamı.

Tablo 7.6. 2023 yılı GES 'de üretilen enerjinin %50'sinin tüketiminden elde edilen kazanç tablosu

2023 AYLAR	X	Y	Z/2	TOPLAM(KR)	TOPLAM TL (₺)	DOLAR KURU	TOPLAM (\$)
OCAK	30497	304,1128	29,38205	10170592,44	101705,92	18,79	5412,77
ŞUBAT	40328	304,1128	29,38205	13449180,31	134491,80	18,86	7131,06
MART	54855	304,1128	29,38205	18293860	182938,60	19,18	9537,99
NİSAN	67030,5	304,1128	29,38205	22354326,54	223543,27	19,44	11499,14
MAYIS	76422	249,7685	29,38205	21333243,33	213332,43	20,75	10281,08
HAZİRAN	81496	249,7685	29,38205	22749653,22	227496,53	26,03	8739,78
TEMMUZ	97310	243,7926	32,3999	26876292,18	268762,92	26,93	9980,06
AĞUSTOS	81222,5	243,7926	32,3999	22433045,33	224330,45	26,67	8411,34
EYLÜL	67135,5	243,7926	32,3999	18542321,58	185423,22	27,4	6767,27
EKİM	52984	305,3828	32,3999	17897078,58	178970,79	28,28	6328,53
KASIM	32220,5	305,3828	32,3999	10883527,49	108835,28	28,85	3772,45
ARALIK	28216	305,3828	32,3999	9530876,663	95308,77	29,67	3212,29
TOPLAM	709717			2.145.139.97,7	2.145.140 ₺		91.074 \$

Tablo 7.6 'da, 2023 yılında güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin %50'sinin fabrikada tüketilmesi durumunda elde edilen aylık ve yıllık kazançlar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, (7.1) formülüne dayanılarak gerçekleştirilmiştir.

- Toplam yıllık kazanç: (Tablo 7.6 'ya göre)

- ✓ Türk lirası (₺): Yıllık toplam kazanç 2.145.140 ₺ olarak hesaplanmıştır.
- ✓ Dolar (\$): Yıllık toplam kazanç 91.074 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Aylık değişkenlik: (Tablo 7.6 'ya göre)
 - ✓ En yüksek kazanç Temmuz ayında elde edilmiştir (268.762,92 ₺/9.980,06 \$).
 - ✓ Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında enerji bedellerindeki düşüş ve dolar kurundaki artış, aylık kazançlarda dalgalanmaya neden olmuştur.
- Değişkenlik faktörleri: (Tablo 7.6 'ya göre)
 - ✓ Dağıtım bedelinin yarısı (Z/2): Tüketim kazancını artıran önemli bir faktör olmuştur.
 - ✓ Dolar kuru: Yıl boyunca artış göstermesi, TL bazlı kazancı desteklerken dolar bazlı kazançlarda belirgin bir değişkenlik yaratmıştır.

Tablo 7.6 'ya göre, 2023 yılı boyunca enerji üretiminin %50'sinin fabrikada tüketilmesi durumunda:

- Yıllık kazanç, Türk Lirası cinsinden 2.145.140 ₺, dolar cinsinden 91.074 \$ olarak gerçekleşmiştir.
- En yüksek kazanç, Temmuz ayında elde edilmiştir, bu dönemde üretim miktarının yüksek ve enerji bedellerinin sabit olduğu gözlemlenmiştir.

Faktörlerin etkisi olarak hem enerji bedeli hem de dolar kuru, kazançların hesaplanmasında önemli değişkenler olarak öne çıkmıştır denilebilir.

Tablo 7.7 'de, 2023 yılında güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin %50'sinin şebekeye satılması durumunda aylık ve yıllık kazançlar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, (7.2) formülüne dayanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 7.7. 2023 yılı GES 'de üretilen enerjinin %50'sinin satışından elde edilen kazanç tablosu

2023 AYLAR	X	Y	Z	TOPLAM(KR)	TOPLAM TL (₺)	DOLAR KURU	TOPLAM (\$)
OCAK	30497	304,1128	58,7641	7482399,30	74824	18,79	3982,12
ŞUBAT	40328	304,1128	58,7641	9894422,37	9894,22	18,86	5246,25
MART	54855	304,1128	58,7641	13458602,94	134586,03	19,18	7017,00
NİSAN	67030,5	304,1128	58,7641	16445846,04	164458,46	19,44	8459,80
MAYIS	76422	249,7685	58,7641	14596938,26	145969,38	20,75	7034,67
HAZİRAN	81496	249,7685	58,7641	15566094,58	155660,95	26,03	5980,06
TEMMUZ	97310	243,7926	64,7998	17417789,37	174177,89	26,93	6467,80
AĞUSTOS	81222,5	243,7926	64,7998	14538242,70	145382,43	26,67	5451,16

EYLÜL	67135,5	243,7926	64,7998	12016771,12	120167,71	27,4	4385,68
EKİM	52984	305,3828	64,7998	12747049,67	127470,50	28,28	4507,44
KASIM	32220,5	305,3828	64,7998	7751704,55	77517,04	28,85	2686,90
ARALIK	28216	305,3828	64,7998	6788289,93	6788290	29,67	2287,93
TOPLAM	709717			148704150,83	1.487.041 ₺		63.507 \$

- Toplam yıllık kazanç: (Tablo 7.7 ‘ye göre)
 - ✓ Türk Lirası (₺): Yıllık toplam kazanç 1.487.041 ₺ olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Dolar (\$): Yıllık toplam kazanç 63.507 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Aylık değişkenlik: (Tablo 7.7 ‘ye göre)
 - ✓ En yüksek kazanç Temmuz ayında elde edilmiştir (174.177,89 ₺/6.467,80 \$).
 - ✓ Perakende enerji bedelinin düşüş gösterdiği Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında aylık kazançlarda da düşüş gözlenmiştir.
- Değişkenlik faktörleri: (Tablo 7.7 ‘ye göre)
 - ✓ Dağıtım bedelinin (Z) yüksek olduğu aylar (örneğin, Temmuz, Ağustos), net kazançları düşürmüştür.
 - ✓ Dolar kurundaki artış, TL bazlı kazançların sabit kalmasına karşın dolar bazında dalgalanmalara neden olmuştur.

Tablo 7.7 ‘ye göre, 2023 yılı boyunca enerji üretiminin %50’sinin şebekeye satılması durumunda:

- Yıllık kazanç, Türk Lirası cinsinden 1.487.041 ₺, dolar cinsinden: 63.507 \$ olarak gerçekleşmiştir.
- En yüksek kazanç, Temmuz ayında elde edilmiştir, bu dönemde üretim miktarının yüksek ve enerji bedellerinin sabit olduğu gözlemlenmiştir.

Faktörlerin etkisi olarak, hem enerji bedeli hem de dağıtım bedeli, kazançların hesaplanmasında önemli değişkenler olarak öne çıkmıştır denilebilir.

Tablo 7.8 ‘de, 2024 yılında güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin %50’sinin fabrikada tüketilmesi durumunda aylık ve yıllık kazançlar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, (7.1) formülüne dayanılarak gerçekleştirilmiştir.

- Toplam yıllık kazanç: (Tablo 7.8 ‘e göre)
 - ✓ Türk Lirası (₺): Yıllık toplam kazanç 2.330.077 ₺ olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Dolar (\$): Yıllık toplam kazanç 70.725 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Aylık değişkenlik: (Tablo 7.8 ‘e göre)
 - ✓ En yüksek kazanç Temmuz ayında elde edilmiştir (310.478,99 ₺/9.388,54 \$).

- ✓ Yıl içerisinde dağıtım bedeli ve enerji bedellerindeki değişiklik, kazançların dalgalanmasına yol açmıştır.
- Değişkenlik faktörleri: (Tablo 7.8 ‘e göre)
 - ✓ Dağıtım bedelinin yarısı (Z/2): Tüketim kazançlarını artırıcı bir etki sağlamıştır.
 - ✓ Dolar kuru: Yıl boyunca artış göstermesi, TL bazlı kazançları desteklerken dolar bazlı kazançlarda dalgalanmalara neden olmuştur.

Tablo 7.8. 2024 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin tüketiminden elde edilen kazanç tablosu

2023 AYLAR	X	Y	Z/2	TOPLAM(KR)	TOPLAM TL (₺)	DOLAR KURU	TOPLAM (\$)
OCAK	30497	305,3828	32,3999	10301359	103013,59	30,3	3399,79
ŞUBAT	40328	305,3828	32,3999	13622100,73	136221,01	31,23	4361,86
MART	54855	305,3828	32,3999	18529070,01	185290,70	32,35	5727,69
NİSAN	67030,5	305,3828	32,3999	22641743,27	226417,43	32,32	7005,49
MAYIS	76422	305,3828	32,3999	25814029,5	258140,29	32,15	8029,25
HAZİRAN	81496	305,3828	32,3999	27527938,92	275279,39	32,62	8438,98
TEMMUZ	97310	267,5627	51,49905	31047898,89	310478,99	33,07	9388,54
AĞUSTOS	81222,5	267,5627	51,49905	25914992,99	259149,93	33,91	7642,29
EYLÜL	67135,5	267,5627	51,49905	21420370,12	214203,70	34,12	6277,95
EKİM	52984	267,5627	51,49905	16905167,76	169051,68	34,22	4940,14
KASIM	32220,5	267,5627	51,49905	10280329,12	102803,29	34,7	2962,63
ARALIK	28216	267,5627	51,49905	9002646,338	90026,46	35,3	2550,32
TOPLAM	709717			233007646,6	2.330.077 ₺		70.725 \$

Tablo 7.8 ‘e göre, 2024 yılı boyunca enerji üretiminin %50’sinin fabrikada tüketilmesi durumunda:

- Yıllık kazanç, Türk Lirası cinsinden 2.330.077 ₺, dolar cinsinden 70.725 \$ olarak gerçekleşmiştir.
- En yüksek kazanç, Temmuz ayında elde edilmiştir, bu dönemde üretim miktarının yüksek ve enerji bedellerinin sabit olduğu gözlemlenmiştir.

Faktörlerin etkisi olarak, hem enerji bedeli hem de dağıtım bedeli, kazançların hesaplanmasında önemli değişkenler olarak öne çıkmıştır denilebilir.

Tablo 7.9 'da, 2024 yılında güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin %50'sinin şebekeye satılması durumunda aylık ve yıllık kazançlar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, (7.2) formülüne dayanılarak gerçekleştirilmiştir.

- Toplam yıllık kazanç: (Tablo 7.9 'a göre)
 - ✓ Türk Lirası (₺): Yıllık toplam kazanç 1.434.485 ₺ olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Dolar (\$): Yıllık toplam kazanç 43.740 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Aylık değişkenlik: (Tablo 7.9 'a göre)
 - ✓ En yüksek kazanç Haziran ayında elde edilmiştir (196.065,52 ₺/6.010,59 \$).
 - ✓ Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında dağıtım bedellerinin artışı, kazançlarda düşüşe neden olmuştur.
 - ✓ Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında enerji bedelinin düşüşü, kazançlarda düşüşe neden olmuştur.
- Değişkenlik faktörleri: (Tablo 7.9 'a göre)
 - ✓ Dağıtım bedeli (Z): Yüksek olduğu aylarda net kazançları düşürmüştür.
 - ✓ Enerji bedeli (Y): Düşük olduğu aylarda net kazançları düşürmüştür.
 - ✓ Dolar kuru: Yıl boyunca artış göstermesi, TL bazlı kazancı desteklerken dolar bazında kazançlarda dalgalanmalara neden olmuştur.

Tablo 7.9. 2024 yılı GES 'de üretilen enerjinin %50'sinin satışından elde edilen kazanç tablosu

2023 AYLAR	X	Y	Z/2	TOPLAM(KR)	TOPLAM TL (₺)	DOLAR KURU	TOPLAM (\$)
OCAK	30497	305,3828	64,7998	7337059,751	73370,60	30,3	2421,47
ŞUBAT	40328	305,3828	64,7998	9702231,224	97022,31	31,23	3106,70
MART	54855	305,3828	64,7998	13197180,47	131971,80	32,35	4079,50
NİSAN	67030,5	305,3828	64,7998	16126398,78	161263,99	32,32	4989,60
MAYIS	76422	305,3828	64,7998	18385834,03	183858,34	32,15	5718,77
HAZİRAN	81496	305,3828	64,7998	19606552,17	196065,52	32,62	6010,59
TEMMUZ	97310	267,5627	102,9981	16013781,23	160137,81	33,07	4842,39
AĞUSTOS	81222,5	267,5627	102,9981	13366348,22	133663,48	33,91	3941,71
EYLÜL	67135,5	267,5627	102,9981	11048126,7	110481,27	34,12	3238,02
EKİM	52984	267,5627	102,9981	8719290,766	87192,91	34,22	2548,01
KASIM	32220,5	267,5627	102,9981	5302353,694	53023,54	34,7	1528,06
ARALIK	28216	267,5627	102,9981	4643354,754	46433,55	35,3	1315,40
TOPLAM	709717			143448511,8	1.434.485 ₺		43.740 \$

Tablo 7.9 ‘a göre, 2024 yılı boyunca enerji üretiminin %50’sinin şebekeye satılması durumunda:

- Yıllık kazanç, Türk Lirası cinsinden 1.434.485 ₺, dolar cinsinden 43.740 \$ olarak gerçekleşmiştir.
- En yüksek kazanç, Temmuz ayında elde edilmiştir, bu dönemde üretim miktarının yüksek ve enerji bedellerinin sabit olduğu gözlemlenmiştir.

Faktörlerin etkisi olarak, hem enerji bedeli hem de dağıtım bedeli, kazançların hesaplanmasında önemli değişkenler olarak öne çıkmıştır denilebilir.

Tablo 7.10’da, 2023 ve 2024 yıllarında güneş enerjisi santralinde üretilen enerjinin %100 fabrika içi tüketimi ve %50 tüketim- %50 satış senaryolarında elde edilen kazanç miktarları detaylandırılmıştır. Bu kazançlar Türk Lirası (₺) ve Dolar (\$) cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 7.10. 2023-2024 Yılları kazanç hesap tablosu

2023-2024 Yıllarına Ait Kazançlar	Türk Lirası	Toplam Türk Lirası	Dolar	Toplam Dolar
2023 Yılı GES ‘de üretilen enerjinin %100 tüketiminden elde edilen kazanç	4.290.280	4.290.280	182.148	182.148
2024 Yılı GES ‘de üretilen enerjinin %100 tüketiminden elde edilen kazanç	4.660.153	4.660.153	141.450	141.450
2023 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin tüketiminden elde edilen kazanç	2.145.140	3.632.181	91.074	154.581
2023 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin satışından elde edilen kazanç	1.487.041		63.507	
2024 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin tüketiminden elde edilen kazanç	2.330.077	3.764.562	70.725	114.465
2024 yılı GES ‘de üretilen enerjinin %50’sinin satışından elde edilen kazanç	1.434.485		43.740	

- %100 Tüketim kazançları: (Tablo 7.10 ‘a göre)
 - ✓ 2023 Yılı: Türk Lirası kazancı 4.290.280 ₺ ve Dolar bazında kazanç 182.148 \$ olarak gerçekleşmiştir.

- ✓ 2024 Yılı: Türk Lirası kazancı 4.660.153 ₺ ve Dolar bazında kazanç 141.450 \$ olarak hesaplanmıştır.
- ✓ Değişim: Dolar cinsinden kazançta azalma gözlenirken Türk Lirası bazında kazanç artışı olmuştur. Bu durum, kur artışı ve EPDK tarifelerindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır.
- %50 Tüketim- %50 Satış Kazançları: (Tablo 7.10 'a göre)
 - ✓ 2023 Yılı: Türk Lirası bazında toplam kazanç 3.632.181 ₺ ve Dolar bazında kazanç 154.581 \$ olmuştur.
 - ✓ 2024 Yılı: Türk Lirası bazında toplam kazanç 3.764.562 ₺ ve Dolar bazında kazanç 114.465 \$ olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Değişim: Türk Lirası kazancı artış göstermiş ancak Dolar bazında kazanç düşmüştür.
- %50 Satış kazançları: (Tablo 7.10 'a göre)
 - ✓ 2023 Yılı: Türk Lirası bazında 1.487.041 ₺ ve Dolar bazında 63,507 \$ kazanç elde edilmiştir.
 - ✓ 2024 Yılı: Türk Lirası bazında 1.434.485 ₺ ve Dolar bazında 43,740 \$ kazanç sağlanmıştır.
 - ✓ Değişim: Hem Türk Lirası hem de Dolar bazında azalma gözlenmiştir.
- %100 Tüketim senaryosu: Fabrika içi tüketim, şebekeye satış senaryosuna göre daha yüksek kazanç sağlamaktadır. Özellikle 2024 yılında, %100 tüketim kazancı %50 tüketim- %50 satış kombinasyonuna kıyasla daha avantajlıdır.
- %50 Tüketim- %50 satış senaryosu: Bu senaryo, gelir çeşitliliği sağlar ancak dağıtım bedelinin etkisiyle toplam kazanç, %100 tüketim senaryosundan daha düşük gerçekleşmiştir.

Tablo 7.11, 2023 ve 2024 yıllarındaki güneş enerjisi santrali yatırım bedellerini Türk Lirası (₺) ve Dolar (\$) cinsinden karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Bu değerler, Tablo 7.1 (malzeme ve hizmet maliyetleri) ve Tablo 7.2 (döviz kurları) kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.11. 2023-2024 Yılları yatırım bedelleri tablosu

Yatırım Bedelleri	Türk Lirası	Dolar
2023 Yılı GES Yatırım Bedeli	10.553.662	563.463
2024 Yılı GES Yatırım Bedeli	11.960.606	402.443

- 2023 Yılı yatırım bedeli: (Tablo 7.11 'e göre)
 - ✓ Türk Lirası: 10.553.662 ₺,
 - ✓ Dolar: 563.463 \$.
 - ✓ Bu bedel, 2023 yılında uygulanan döviz kuru üzerinden hesaplanmıştır (Tablo 7.2 'de 1 Ocak 2023 için 18.73 ₺/Dolar).
- 2024 Yılı yatırım bedeli: (Tablo 7.11 'e göre)
 - ✓ Türk Lirası: 11.960.606 ₺,
 - ✓ Dolar: 402.443 \$.
 - ✓ Bu bedel, 2024 yılı döviz kuru (Tablo 7.2 'de 1 Ocak 2024 için 29.72 ₺/Dolar) dikkate alınarak hesaplanmıştır.
- Farklılıkların sebepleri: (Tablo 7.11 'e göre)
 - ✓ Türk Lirası cinsinden artış: 2023 yılına kıyasla, 2024 yılında yatırım bedeli Türk Lirası bazında artmıştır. Bu artışın nedeni, döviz kurundaki yükseliştir.
 - ✓ Dolar cinsinden azalma: 2024 yılında yatırım bedeli dolar bazında düşmüştür. Bu durum, malzeme ve hizmet fiyatlarındaki düşüşten kaynaklanmaktadır.
- Türk Lirası ve Dolar bazlı karşılaştırma: (Tablo 7.11 'e göre)
 - ✓ Türk Lirası yatırım bedeli, 2024 yılında 1.406.944 ₺ artış göstermiştir.
 - ✓ Dolar yatırım bedeli, 2024 yılında 161,020 \$ azalmıştır.

Tablo 7.11'de görülen veriler, döviz kuru ve piyasa koşullarının yatırım bedelleri üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

- Türk Lirası cinsinden: Artan döviz kuru, yatırım maliyetini yükseltmiştir.
- Dolar cinsinden: Malzeme fiyatlarındaki azalma, dolar bazlı yatırım maliyetlerini düşürmüştür

Tablo 7.12'de, 2023 ve 2024 yıllarına ilişkin kazançların yatırım bedellerine bölünmesiyle amortisman süreleri Türk Lirası (₺) bazında hesaplanmıştır. Tabloda, hem enerjinin %100 fabrikada tüketilmesi hem de %50 tüketim ve %50 satış senaryoları dikkate alınmıştır.

- %100 Fabrikada tüketim senaryosu: (Tablo 7.12 'ye göre)
 - ✓ 2023 Yılı: Yatırımın amorti süresi 2,46 yıl olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ 2024 Yılı: Yatırımın amorti süresi 2,57 yıl olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Değişim: 2023 yılı, 2024 yılına kıyasla yaklaşık 1 ay daha kısa sürede amorti edilmektedir.
- %50 Tüketim / %50 Satış Senaryosu: (Tablo 7.12 'ye göre)

- ✓ 2023 Yılı: Amorti süresi 2,91 yıl olarak belirlenmiştir.
- ✓ 2024 Yılı: Amorti süresi 3,18 yıl olarak hesaplanmıştır.
- ✓ Değişim: 2023 yılı, 2024 yılına kıyasla ortalama 3 ay daha kısa sürede amorti edilmektedir.
- %100 Tüketim ve %50 Tüketim / %50 Satış Karşılaştırması: (Tablo 7.12 'ye göre)
 - ✓ 2023 Yılı: %100 tüketim senaryosu, %50 tüketim ve %50 satış senaryosuna kıyasla yaklaşık 6 ay daha kısa sürede amorti edilmektedir.
 - ✓ 2024 Yılı: %100 tüketim senaryosu, %50 tüketim ve %50 satış senaryosuna kıyasla yaklaşık 7 ay daha kısa sürede amorti edilmektedir.

Tablo 7.12. Türk lirası kurundan amortisman süresi tablosu

	Yatırım Bedeli	Yıllık kazanç	Amorti Süresi
2023 Yılı GES 'de üretilen enerjinin %100 fabrikada tüketiminden elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	10.553.662	4.290.280	2,46 Yıl
2024 Yılı GES 'de üretilen enerjinin %100 Fabrikada tüketiminden elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	11.960.606	4.660.153	2,57 Yıl
2023 yılı GES 'de üretilen enerjinin %50'sinin tüketiminden ve %50 satıştan elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	10.553.662	3.632.181	2,91 Yıl
2024 yılı GES 'de üretilen enerjinin %50'sinin tüketiminden ve %50 satıştan elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	11.960.606	3.764.562	3,18 Yıl

Tablo 7.13. Dolar kurundan amortisman süresi tablosu

	Yatırım Bedeli	Yıllık kazanç	Amorti Süresi
2023 Yılı GES'de üretilen enerjinin %100 fabrikada tüketiminden elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	563.463	182.148	3,09 Yıl
2024 Yılı GES'de üretilen enerjinin %100 fabrikada tüketiminden elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	402.443	141.450	2,85 Yıl

2023 yılı GES’de üretilen enerjinin %50’sinin tüketiminden ve %50 satıştan elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	563.463	154.581	3,65 Yıl
2024 yılı GES’de üretilen enerjinin %50’sinin tüketiminden ve %50 satıştan elde edilen kazanç ve yatırım bedeli	402.443	114.465	3,52 Yıl

- Daha hızlı amortisman: (Tablo 7.12 ‘ye göre)
 - ✓ GES’de enerjinin tamamının fabrikada tüketilmesi, hem 2023 hem de 2024 yıllarında daha hızlı amortisman süreleri sağlamaktadır. Bu durum, satış senaryosunda dağıtım bedellerinin kazanç üzerinde yarattığı negatif etkiyi açıkça göstermektedir.
- Yıllar arasındaki farklar: (Tablo 7.12 ‘ye göre)
 - ✓ Döviz kurundaki artış ve yatırım bedellerindeki artış, 2024 yılında amortisman sürelerinin uzamasına neden olmuştur.

Tablo 7.13, 2023 ve 2024 yıllarında güneş enerjisi santralının farklı kullanım senaryolarına göre yıllık kazançlarının yatırım bedellerine bölünmesiyle amortisman sürelerini Dolar (\$) bazında sunmaktadır. %100 fabrika içi tüketim ve %50 tüketim- %50 satış senaryoları ayrı ayrı ele alınmıştır.

- %100 Fabrikada tüketim senaryosu: (Tablo 7.13 ‘e göre)
 - ✓ 2023 Yılı: Yatırımın amorti süresi 3,09 yıl olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ 2024 Yılı: Yatırımın amorti süresi 2,85 yıl olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Değişim: 2024 yılında, 2023 yılına göre amorti süresi yaklaşık 3 ay daha kısa olmuştur. Bu durum, 2024 yılında düşen yatırım bedelinden kaynaklanmaktadır.
- %50 Tüketim / %50 Satış Senaryosu: (Tablo 7.13 ‘e göre)
 - ✓ 2023 Yılı: Amorti süresi 3,65 yıl olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ 2024 Yılı: Amorti süresi 3,52 yıl olarak hesaplanmıştır.
 - ✓ Değişim: 2024 yılında, 2023 yılına kıyasla amorti süresi yaklaşık 1 ay daha kısa olmuştur.
- %100 Tüketim ve %50 Tüketim / %50 Satış karşılaştırması: (Tablo 7.13 ‘e göre)
 - ✓ 2023 Yılı: %100 tüketim senaryosu, %50 tüketim ve %50 satış senaryosuna kıyasla yaklaşık 7 ay daha kısa sürede amorti edilmektedir.

- ✓ 2024 Yılı: %100 tüketim senaryosu, %50 tüketim ve %50 satış senaryosuna kıyasla yaklaşık 8 ay daha kısa sürede amorti edilmektedir.
- Yıllar arasındaki farklar: (Tablo 7.13 'e göre)
 - ✓ Dolar bazında yatırım bedeli: 2024 yılında yatırım bedelinin düşmesi, amorti sürelerinin 2023'e göre daha kısa olmasına yol açmıştır.
- Daha hızlı amortisman:
 - ✓ %100 fabrika içi tüketim senaryosu, hem 2023 hem de 2024 yıllarında daha hızlı amortisman süresi sunmaktadır.
 - ✓ Bu avantaj, dağıtım bedelinin kazançlar üzerindeki etkisini minimize etmesiyle açıklanabilir.
- 2024 Yılı'nın avantajı:
 - ✓ Dolar bazında yatırım maliyetlerinin düşmesi nedeniyle amortisman süreleri, her iki senaryoda da 2023 yılına kıyasla daha kısadır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma, güneş enerjisi santralinin (GES) ekonomik ve teknik değerlendirmelerini içermekte, 2023 ve 2024 yıllarındaki yatırım maliyetlerini Türk Lirası ve Dolar bazında analiz etmektedir. Sonuçlar hem yıllık kazanç hem de amortisman süreleri açısından değerlendirilmiş ve farklı senaryoların ekonomik etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın sonuçları, 2023 yılında yapılan yatırımların Türk Lirası bazında 2024 yılına göre daha düşük maliyetli olduğunu göstermektedir. Ancak aynı değerlendirme Dolar bazında yapıldığında, 2024 yılında yatırım maliyetlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, malzeme fiyatlarında Dolar cinsinden düşüşler yaşanmasına rağmen, Türkiye'deki ekonomik koşullardan kaynaklanan devalüasyonun etkisiyle Türk Lirası'nın Dolar karşısında değer kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. Bu farklılık, yatırımın hangi para birimi üzerinden yapılacağı kararının ne kadar kritik olduğunu gözler önüne sermektedir. Yatırımcıların, bu parametreleri detaylı bir şekilde analiz ederek yatırım kararlarını şekillendirmeleri gerekmektedir.

Enerji üretim senaryoları değerlendirildiğinde, üretilen enerjinin tamamının iç tüketim için kullanıldığı durumlarda amortisman süresinin, enerjinin bir kısmının satıldığı senaryolara kıyasla daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Dağıtım bedellerinin iç tüketim senaryosunda daha az etkili olması, bu farkın temel nedenini oluşturmaktadır. 2023 ve 2024 yıllarında üretilen enerjinin %100'ünün fabrika içi tüketimi halinde amortisman sürelerinin sırasıyla 2,46 yıl ve 2,57 yıl olduğu hesaplanmıştır. Enerjinin %50'sinin iç tüketim, %50'sinin satış olarak değerlendirildiği senaryolarda ise amortisman süreleri 2023 yılı için 2,91 yıl, 2024 yılı için 3,18 yıl olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, iç tüketim odaklı kullanımın ekonomik açıdan daha avantajlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

PVsyst simülasyon programı ile gerçek üretim verilerinin karşılaştırılması sırasında yaklaşık %3,84 oranında bir sapma tespit edilmiştir. Bu sapma, yıl boyunca değişkenlik gösteren hava koşulları ve programın hesaplama varsayımlarından kaynaklanmaktadır. Yatırım kararı verirken bu sapmanın dikkate alınması, gelecekteki kazançların daha doğru bir şekilde öngörülmesini sağlayacaktır. Programın geliştirilmesiyle birlikte bu sapmanın azalması beklenmektedir, ancak yatırım öncesi simülasyon sonuçlarının dikkatle değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Yatırımın Türk Lirası üzerinden yapılması durumunda amortisman süresinin, Dolar üzerinden yapılan yatırıma göre daha kısa olduğu görülmüştür. Ancak Türk

Lirası'nın alım gücündeki zayıflama, yatırımcılar açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken bir husustur. Aynı zamanda, Dolar bazında yapılan yatırımların 2024 yılında, 2023 yılına göre daha kısa sürede amorti edildiği gözlemlenmiştir. Bu, 2024 yılında Dolar bazında yatırım maliyetlerinin düşmesiyle ilişkilidir.

Çalışmada, enerji üretimi için fabrikanın çatısında kullanılmayan alanların değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu, enerji maliyetlerini düşürmenin yanı sıra karbon salınımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır. Ayrıca, yatırım öncesinde ulusal ve uluslararası teşvik programlarının detaylı bir şekilde araştırılması önerilmektedir. Teşviklerin sağlanması, yatırımın amortisman süresini önemli ölçüde kısaltarak yatırımı daha cazip hale getirecektir.

Gelecek araştırmalar için, farklı malzeme türleri, panel yerleşim açıları ve yönlendirmeleri üzerinde çalışılması önerilmektedir. Özellikle EPDK'nın yayınladığı farklı fiyat tarifeleri dikkate alınarak yapılacak karşılaştırmalar, yatırımcılar için daha avantajlı seçeneklerin belirlenmesini sağlayabilir. Ayrıca, sabit açılı sistemler ile güneş takibi yapan hareketli sistemlerin performans ve finansal analizlerinin karşılaştırılması, yatırım kararlarına ışık tutacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, güneş enerjisi santrallerinin ekonomik ve teknik fizibilitesini detaylı bir şekilde ele almış ve farklı senaryoların finansal etkilerini ortaya koymuştur. Çalışmanın bulguları, güneş enerjisi yatırımlarının ekonomik olarak sürdürülebilir olduğunu ve enerji maliyetlerini düşürerek çevresel fayda sağladığını açıkça göstermektedir. Yatırım kararları alınırken, lokasyon, teşvikler, simülasyon sonuçları ve ekonomik değişkenler dikkatle değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, yatırımın verimliliğini ve uzun vadeli karlılığını artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Akgayev, B. (2024). *Fotovoltaik Silisyum Güneş Hücreleri İçin Nikel Metal Kontak Geliştirilmesi* (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- Atalay, Ö., Yorgun, B., & Erdem, R. (2019). *Fotovoltaik (PV) Güneş Enerjisi Sistemleri ve Çatı Uygulamaları*.
- Aydın, A. O., & Şişman, İ. (2021). Bileşik yarıiletken ince filmlerin ve nanotellerin elektrokimyasal sentezi ve karakterizasyonu.
- Baba, Ş. (2024). *Konya şartlarında bir güneş santralinin tasarımı ve üretim değerleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması* (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- Babacan, B. (2022). *Sıcak-Kuru İklim Bölgelerinde İklimle Uyumlu Çağdaş Konut Tasarım Yaklaşımları ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi* (Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Çınaroğlu, H. (2023). *Bağımsız bir fotovoltaik sistemin PVsyst yazılımı kullanılarak tasarımı ve simülasyonu* (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Demiryürek, H. K., Arifoğlu, U., & Bolat, M. (2020). *Lebit Enerji Güneş Santralinin PVsyst Programı ile Analizi*. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 9 (3), 1351-1363.
- Donuk, K. (2014). *Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemlerde Üretilen Enerjinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi
- Gökçe, İ. (2020). *Fotovoltaik (PV) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Çukurova Üniversitesi
- Gürbüz, D. (2018, Mart). *Kir ve Tozlanmanın Fotovoltaik Sistem Verimi Üzerindeki Etkisi*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi.
- <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- İnce, İ. T. (2021). *Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde örnek uygulamalar*. *Disiplinler arası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 1-10.
- Kandilci, G. N. (2017, Haziran). *Türkiye için Global Güneş Radyasyonu Persistans Haritalarının Oluşturulması*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Karanfil, A., Kesler, M., & Özbay, H. (2016, Mayıs). Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi.

- Kara, R., Ekici, M., & Yıldırım, G. (2024). Fotovoltaik Hücrelerin Panel Açılarına Göre Enerji Verimliliği. *International Journal of Engineering Research and Development*, 16(2), 573-584.
- Kutluca, M. (2020, Haziran). *Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Analizi*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Kırklareli Üniversitesi.
- Küpeli, A. Ö. (2005). *Güneş Pilleri ve Verimleri*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Osmangazi Üniversitesi.
- Nedimoğlu, E. (2019, Temmuz). *Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrallerinin Harmonik Etkilerinin Araştırılması*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Dicle Üniversitesi.
- Öztürk, H. H. (2008). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- PVsyst. (2014). PVsyst User's Manuel.
- Sarıkaya, S. (2023). Çift katmanlı düşürücü tip dc-dc çevirici tabanlı yeni bir adaptif mppt algoritması geliştirilmesiyle enerji verimliliğinin artırılması= Increasing energy efficiency by developing a new adaptive mppt algorithm based on a two-legged interleaved dc-dc buck converter.
- Orhan, N., & Şahin, S. (2022). Bir besi çiftliğinde güneş enerji sisteminin uygulanması ve ekonomik analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(1), 33-40.
- Özgür, E. (2020, Mart 17). Türkiye’de Güneş Enerjisi.
- Şenpınar, A. (2005). *Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar ile Kontrolü*. [Yayınlanmamış doktora Tezi]. Fırat Üniversitesi.
- Toksoy, M., Sofuoğlu, S. C., Karadeniz, Z. H., & Ekren, O. (2021). Ultraviyole Işınım ile Dezenfeksiyon. *Journal of Engineering and Science*, 6(2), 196-215. <https://doi.org/10.34186/klujes.793471>
- Yılmaz, G. (2018). *Türkiye’deki Güneş Panellerinin Optimum Eğim Açılarının Analizi*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Yiğit, F. (2023). *Şebekeye Bağlı 1 MW Güneş Enerji Santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin Değerlendirilmesi*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi
- Yolcan, O. O., & Köse, R. (2020). *Türkiye’ nin Güneş Enerjisi Durumu Ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler*. Kırklareli University

EKLER

EK 1. Inverter datasheet

Smart String Inverter



SUN2000-100KTL-M1



Smart

Smart I-V Curve Diagnosis supported



Efficient

Max. efficiency 98.8%



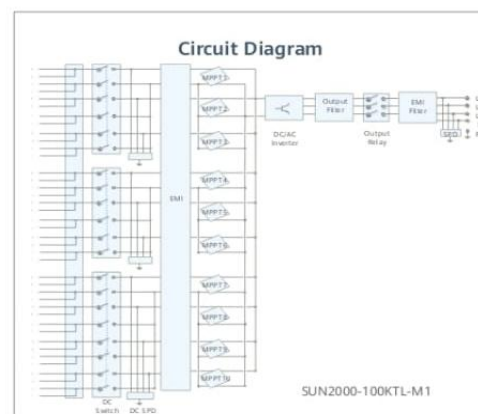
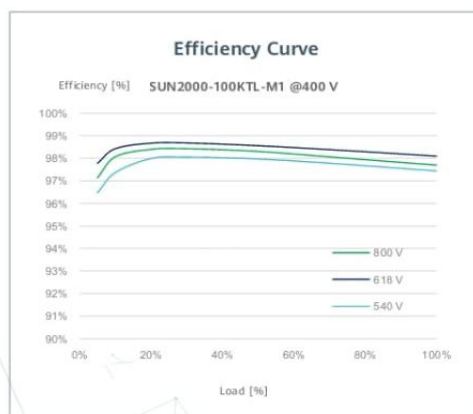
Safe

Fuse free design



Reliable

Type II surge arresters for DC & AC



8

SOLAR.HUAWEI.COM

SUN2000-100KTL-M1
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-100KTL-M1
Efficiency	
Max. efficiency	98.8% @480 V, 98.6% @380 V / 400 V
European efficiency	98.6% @480 V, 98.4% @380 V / 400 V
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	26 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1,000 V
Nominal Input Voltage	720 V @480 Vac, 600 V @400 Vac, 570 V @380 Vac
Number of MPP trackers	10
Max. number of inputs	20
Output	
Nominal AC Active Power	100,000 W
Max. AC Apparent Power	110,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	110,000 W
Nominal Output Voltage	480 V / 400 V / 380 V, 3W+(N)+PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current	120.3 A @480 V, 144.4 A @400 V, 152.0 A @380 V
Max. Output Current	133.7 A @480 V, 160.4 A @400 V, 168.8 A @380 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED indicators; WLAN adaptor + FusionSolar APP
RS485	Yes
USB	Yes
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (isolation transformer required)
General Data	
Dimensions (W x H x D)	1,035 x 700 x 365 mm
Weight (with mounting plate)	90 kg
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Staubli MC4
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	< 3.5 W
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683
Grid Connection Standards	VDE-AR-N4105, EN 50549-1, EN 50549-2, RD 661, RD 1699, C10/11, DEWA, G99, NRS 097-2-1

¹ The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
² Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.

SOLAR.HUAWEI.COM

EK 2. PV panel datasheet



Deutsche
Qualität
Garantiert





AURORA
P-TYPE PERC TECHNOLOGY

MD-144

530W-550W

High in energy yield, reliability and durability

21.31%

MAXIMUM EFFICIENCY

144

HALF CELLS

30 YEARS

Performance Warranty

up to 30 YEARS*

Product Warranty

*The regular product warranty is 15 years, please refer to the latest version of AESOLAR Limited Warranty for the duration of the product warranty under special conditions. For extensions, please contact AESOLAR staff.



LID
RESISTANT



PID
RESISTANT



SALT CORROSION
RESISTANT



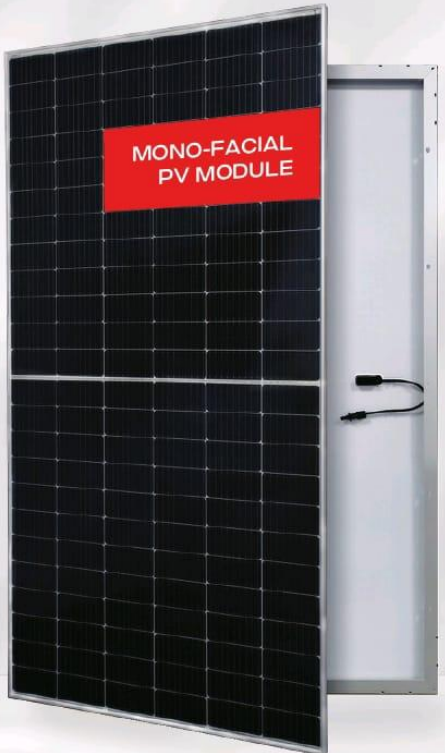
SAND
RESISTANT



AMMONIA
RESISTANT



HIGHLY STABLE
AND TOUGH



OUR PERFORMANCE WARRANTY

Years	Commercial modules	AESOLAR
1	97.50%	97.50%
30	-	81.55%

SYSTEM AND PRODUCT CERTIFICATIONS

ISO 9001:2015
 ISO 14001:2015
 CE
 Ariel RoHS
 IEC 61215 IEC 61730
 Regular Production Surveillance
 www.aesolar.com
 ID 1111251295
 IEC 62716 (Ammonia corrosion)
 IEC 61701 (Salt mist corrosion)
 IEC 60068 (Sand and dust)
 IEC 62804 (PID resistance)

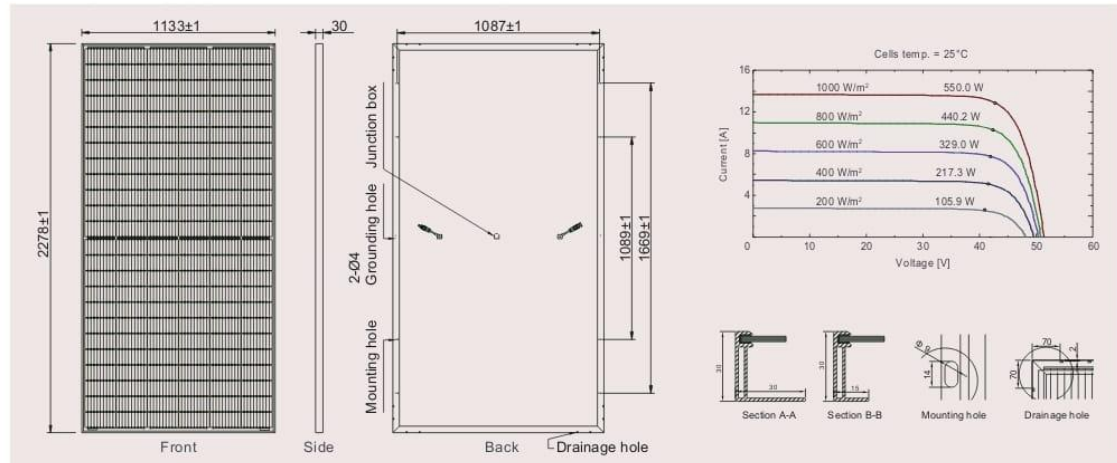
www.ae-solar.com

98

AE MD-144 530W-550W

P-TYPE PERC TECHNOLOGY PV MODULE

MONO-FACIAL PV MODULE



Electrical specifications (STC*):

Nominal max. power	P_{max} (Wp)	530	535	540	545	550
Maximum operating voltage	V_{MPP} (V)	41.70	41.93	42.15	42.38	42.57
Maximum operating current	I_{MPP} (A)	12.71	12.76	12.81	12.86	12.92
Open-circuit voltage	V_{oc} (V)	49.65	49.78	49.90	50.01	51.44
Short-circuit current	I_{sc} (A)	13.47	13.52	13.57	13.62	13.67
Module efficiency	η (%)	20.53	20.73	20.92	21.12	21.31
Power tolerance	(W)	0~+5				
Maximum system voltage	(V)	1500				
Maximum series fuse rating	(A)	25				

*STC: Standard Test Conditions (irradiance 1000 W/m², cell temperature 25°C and air mass of AM1.5), measurement tolerance P_{max} : ±3%

Electrical specifications (NMOT*):

Nominal max. power	P_{max} (Wp)	400	403	407	410	414
Maximum operating voltage	V_{MPP} (V)	39.30	39.50	39.70	39.90	40.10
Maximum operating current	I_{MPP} (A)	10.17	10.21	10.25	10.29	10.34
Open-circuit voltage	V_{oc} (V)	47.00	47.20	47.40	47.60	47.80
Short-circuit current	I_{sc} (A)	10.78	10.82	10.86	10.90	10.94

*NMOT: Normal Module Operating Temperature (irradiance 800 W/m², ambient temperature 20°C, air mass of AM1.5 and wind speed of 1 m/s)

Mechanical and design specification

Cell type	Gallium-doped mono c-Si PERC, half-cut cells
No. of cells	144
Front cover	3.2 mm glass, high transmission, AR coated, tempered
Encapsulation	EVA
Back cover	White backsheet
Junction box	IP68 rated, 3 bypass diodes
Frame	30 mm anodized aluminium alloy
Cable	1 x 4 mm², 350 mm length or customized
Connectors	MC 4 / MC 4 compatible
Dimension	2278 mm x 1133 mm x 30 mm
Weight	26.5 kg
Hail resistance	Max. Ø 25 mm at 23 m/s
Wind load	2400 Pa or 244 kg/m²
Snow load	5400 Pa or 550 kg/m²

Temperature ratings

Operating temperature	-40 to +85°C
Temp. coefficient of P_{max}	-0.35 %/°C
Temp. coefficient of V_{oc}	-0.275 %/°C
Temp. coefficient of I_{sc}	0.045 %/°C
Nom. operating cell temp. NOCT	45 ± 2°C

Packaging information

Packaging configuration	36 pcs / pallet
Loading capacity	720 pcs / 40 HQ
Size / Pallet	2310 mm x 1140 mm x 1245 mm
Weight	998 kg / pallet

The specifications and characteristics contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the product developments and uncertainty of measurement devices. The specifications included in the datasheet are subject to change without prior notice.



+49 8231 978268 0
sales@ae-solar.com
www.ae-solar.com

AESOLAR
Messerschmitttring 54
86343 Königsbrunn, Germany

Ver. 24.5.1

EK 3. PVsyst raporu



Sürüm 7.4.0

PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Bina üzerinde

Sistem gücü : 1001 kWp

KONYA - Türkiye



PVsyst V7.4.0
VCO, Simülasyon tarihi:
10/07/24 16:20
v7.4.0 ile

Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Proje özeti

Coğrafi konum KONYA Türkiye	Konum Enlem 37.94 °N Boylam 32.55 °E Rakım 1015 m Saat dilimi UTC+3	Proje ayarları Albedo 0.20
Hava durumu verileri KONYA PVGIS api TMY		

Sistem özeti

Şebekeye bağlı sistem Kolektör düzleminin yönlendirmesi Sabit düzlemler 2 yönlendirme Eğim/azimut 6 / -90 ° 6 / 90 °	Bina üzerinde Yakın gölgelermeler Lineer gölgelermeler	Kullanıcı ihtiyaçları Sınırsız yükleme (şebeke)
Sistem bilgisi PV alanı Panel sayısı 1836 adet Toplam nom. güç 1001 kWp	İnvertör Öge sayısı 8 adet Toplam nom. güç 800 kWac Nom. güç oranı 1.251	

Sonuçların özeti

Üretilen enerji 1366980 kWh/yıl	Üretilebilir 1366 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR 74.93 %
---------------------------------	-------------------------------	------------------------

İçindekiler

Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Ufuk tanımlaması	4
Yakın gölgelermelerin tanımlanması - İzo gölgeleme diyagramı	5
Genel sonuçlar	7
Kayıplar diyagramı	8
Ön tanımlı grafikler	9
Tek hat şeması	10



Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V7.4.0

VCO, Simülasyon tarihi:

10/07/24 16:20

v7.4.0 ile

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem	Bina üzerinde		
Kolektör düzleminin yönlendirmesi			
Yönlendirme	Dizi ayarları		Kullanılan modeller
Sabit düzlemler 2 yönlendirme	Dizi sayısı 4 adet		Transpozisyon Perez
Eğim/azimut 6 / -90 °	Farklı yönlendirmeler		Diffüz İndirildi
6 / 90 °			Circumsolar aynı
Ufuk	Yakın gölgelemeler		Kullanıcı ihtiyaçları
Ortalama yükseklik 24.8 °	Lineer gölgelemeler		Sınırsız yükleme (şebeke)

Kolektör alanının özellikleri

PV modül		Invertör	
Üretici	AE Solar	Üretici	Huawei Technologies
Model	AE 545MD-144	Model	SUN2000-100KTL-M1-400Vdc
(Orjinal PVsyst veritabanı)		(Orjinal PVsyst veritabanı)	
Birim gücü	545 Wp	Birim gücü	100 kWac
PV modül sayısı	1836 adet	Invertör sayısı	8 adet
Nominal (STC)	1001 kWp	Toplam güç	800 kWac
Modül	102 Zincir x 18 Serl	Çalışma gerilimi	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)		Maks güç (→33°C)	110 kWac
Pmpp	913 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)	1.25
U mpp	687 V	Invertörde güç paylaşımı	
I mpp	1329 A		
Total PV gücü		Invertör toplam gücü	
Nominal (STC)	1001 kWp	Toplam güç	800 kWac
Toplam	1836 modül	Maks güç	880 kWac
Panel yüzeyi	4739 m²	Invertör sayısı	8 adet
Hücre yüzeyi	4379 m²	Nom. güç oranı	1.25

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü	DC kablolama kaybı	Modül kalite kaybı	
Işınımına göre modül sıcaklığı	Global alan direnci 8.6 mΩ	Kayıp oranı	-0.8 %
Uc (sabit) 20.0 W/m²K	Kayıp oranı 1.5 STC'de%		
Uv (rüzgar) 0.0 W/m²K/m/s			
Modül uyumsuzluk kaybı	Dizi uyumsuzluk kaybı		
Kayıp oranı 2.0 MPP'de%	Kayıp oranı 0.2 %		
IAM kayıp faktörü			
Yansımaya etkisi (IAM): Fresnel, yansımaya önleyici, n(cam)=1.526, n(AR)=1.290			
0°	30°	50°	60°
70°	75°	80°	85°
90°			
1.000	0.999	0.987	0.962
0.892	0.816	0.681	0.440
0.000			



PVsyst V7.4.0
VC0, Simülasyon tarihi:
10/07/24 16:20
v7.4.0 ile

Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Ufuk tanımlaması

KONYA için ufuk çizgisi

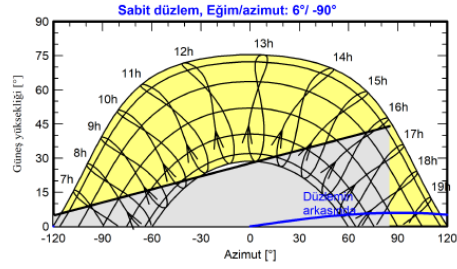
Ortalama yükseklik 24.8 ° Albedo faktörü 0.57
Difüz faktörü 0.85 Albedo oranı 100 %

Ufuk profili

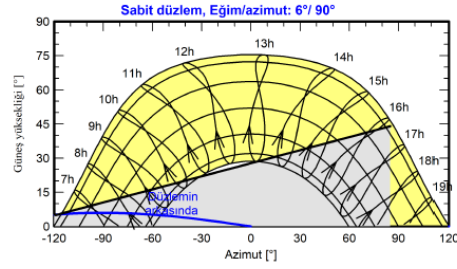
Azimet [°]	-179	-154	-119	85
Yükseklik [°]	49.0	28.0	5.0	44.0

Güneş yörüngesi (yükseklik/azimet diyagramı)

Yönlendirme #1



Yönlendirme #2



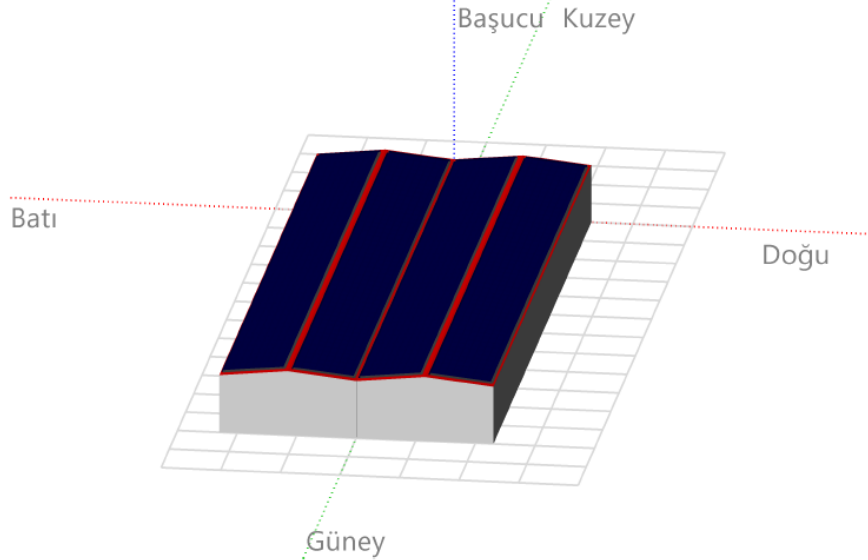
PVsyst V7.4.0
VC0, Simülasyon tarihi:
10/07/24 16:20
v7.4.0 ile

Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Yakın gölgelermeler için ayarlar

Yakın gölgeleme sahnesinin perspektifi





PVsyst V7.4.0

VCO, Simülasyon tarihi:

10/07/24 16:20

v7.4.0 ile

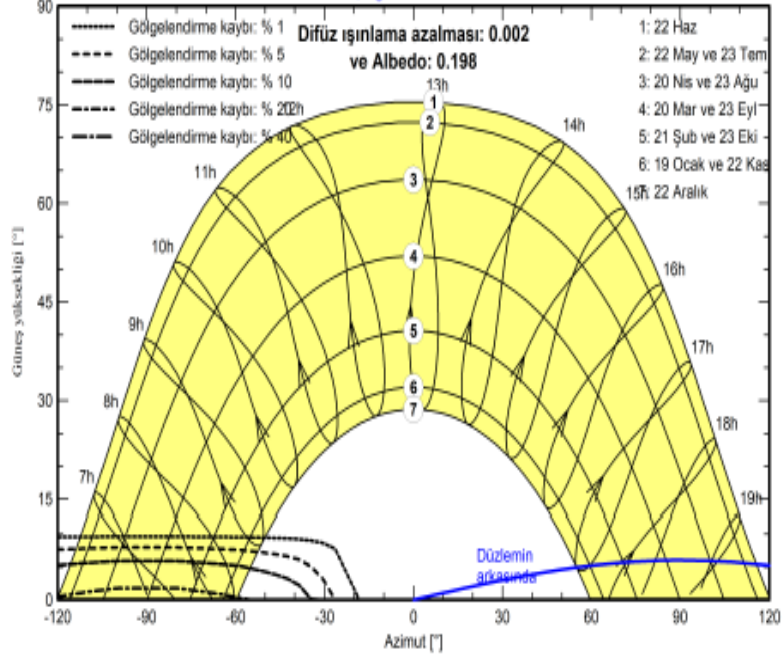
Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

İzo gölgeleme diyagramı

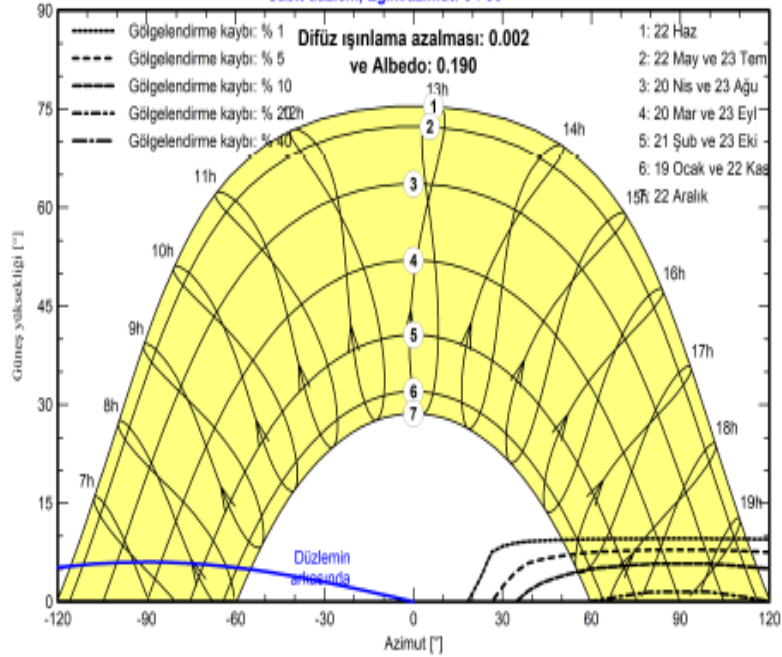
Yönlendirme #1

Sabit düzlem, Eğim/azimut: 6°/ -90°



Yönlendirme #2

Sabit düzlem, Eğim/azimut: 6°/ 90°





Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V7.4.0

VCD, Simülasyon tarihi:

10/07/24 16:20

V7.4.0 ile

Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji

1366980 kWh/yıl

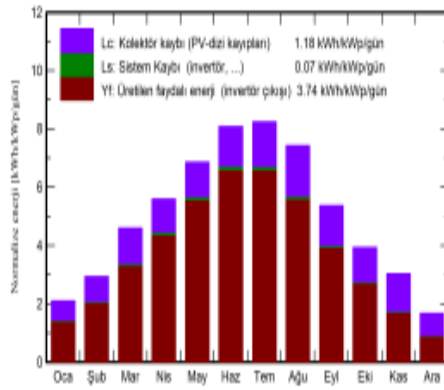
Üretilebilir

1366 kWh/kWp/yıl

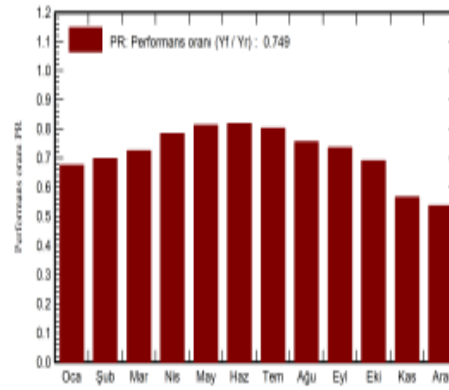
Perf. oranı PR

74.93 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	65.1	36.33	-3.97	65.0	44.5	44804	43928	0.675
Şubat	82.2	40.43	2.56	82.0	60.3	58419	57306	0.698
Mart	142.3	52.07	9.23	142.2	112.5	104969	102961	0.724
Nisan	167.8	64.95	11.72	167.7	145.9	134032	131464	0.784
Mayıs	213.0	68.47	17.45	212.7	198.3	176077	172772	0.812
Haziran	242.6	61.85	23.62	242.4	233.4	202032	198287	0.817
Temmuz	255.6	59.03	26.01	255.4	243.5	208563	204739	0.801
Ağustos	230.1	53.77	25.96	230.1	205.1	176953	173726	0.755
Eylül	161.0	52.17	20.05	161.0	135.0	120522	118291	0.734
Ekim	122.0	44.25	11.22	121.9	91.6	85814	84215	0.690
Kasım	90.8	29.46	7.45	90.8	54.8	52463	51431	0.566
Aralık	52.2	30.95	3.23	52.0	29.4	28450	27860	0.536
Yıl	1824.6	593.73	12.93	1823.1	1554.3	1393099	1366980	0.749

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı



PVsyst V7.4.0

VC0, Simülasyon tarihi:

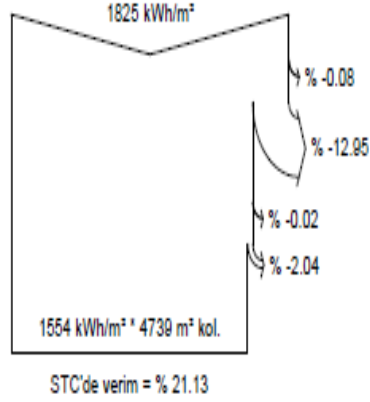
10/07/24 16:20

v7.4.0 ile

Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Kayıplar diyagramı



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Uzak gölgelemeler / ufuk

Yakın gölgelemeler: ışınlam kaybı

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Nominal dize enerjisi (STC veriminde)

Işınlam seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül kalite kaybı

Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler

Omik kablolama kaybı

Farklı yönler için uyumsuzluk kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan invertör kaybı (verim)

Invertör kaybı, aşırı güç

Invertör kaybı, akım sınırı

Invertör kaybı, aşırı gerilim

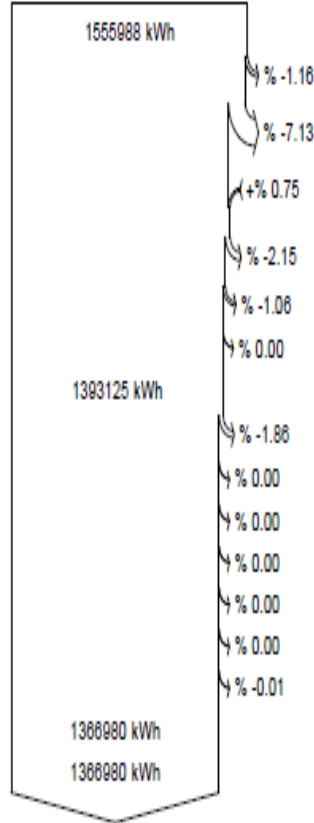
Invertör kaybı, güç sınırı

Invertör kaybı, gerilim sınırı

Gece tüketimi

Invertör çıkışında kullanılabilir enerji

Şebekeye enjekte edilen enerji





PVsyst V7.4.0

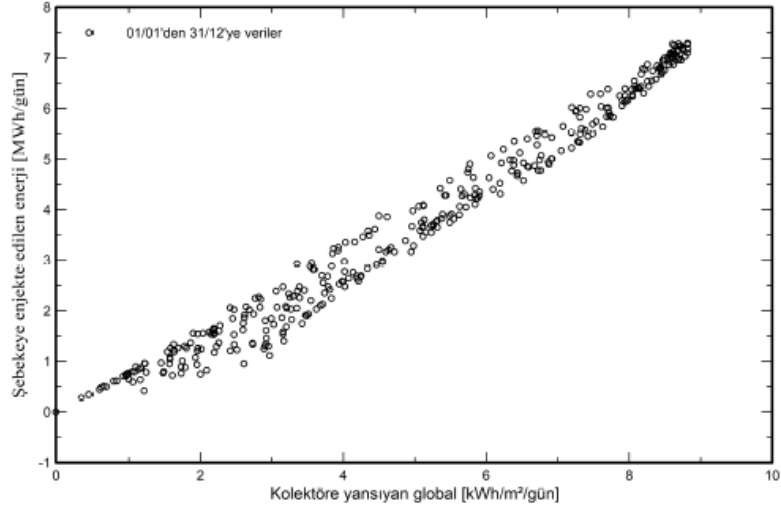
VC0, Simülasyon tarihi:
10/07/24 16:20
v7.4.0 ile

Proje: MEHMET FURKAN YILDIZ

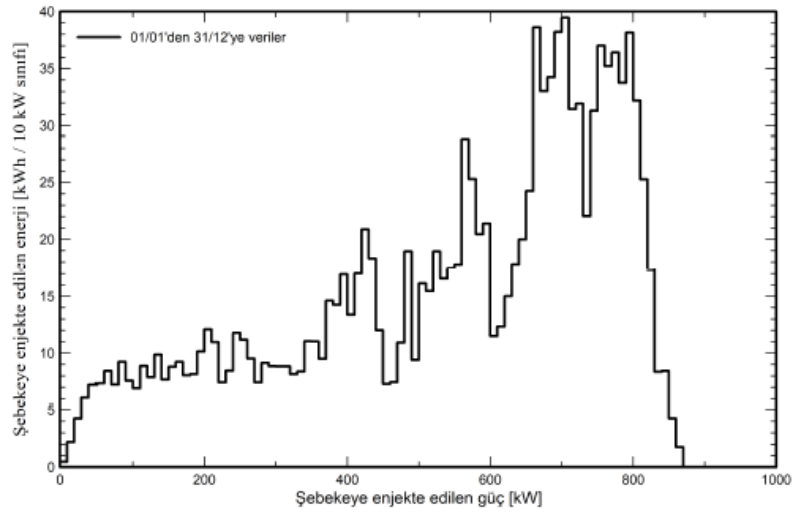
Varyant: Yeni simülasyon varyantı

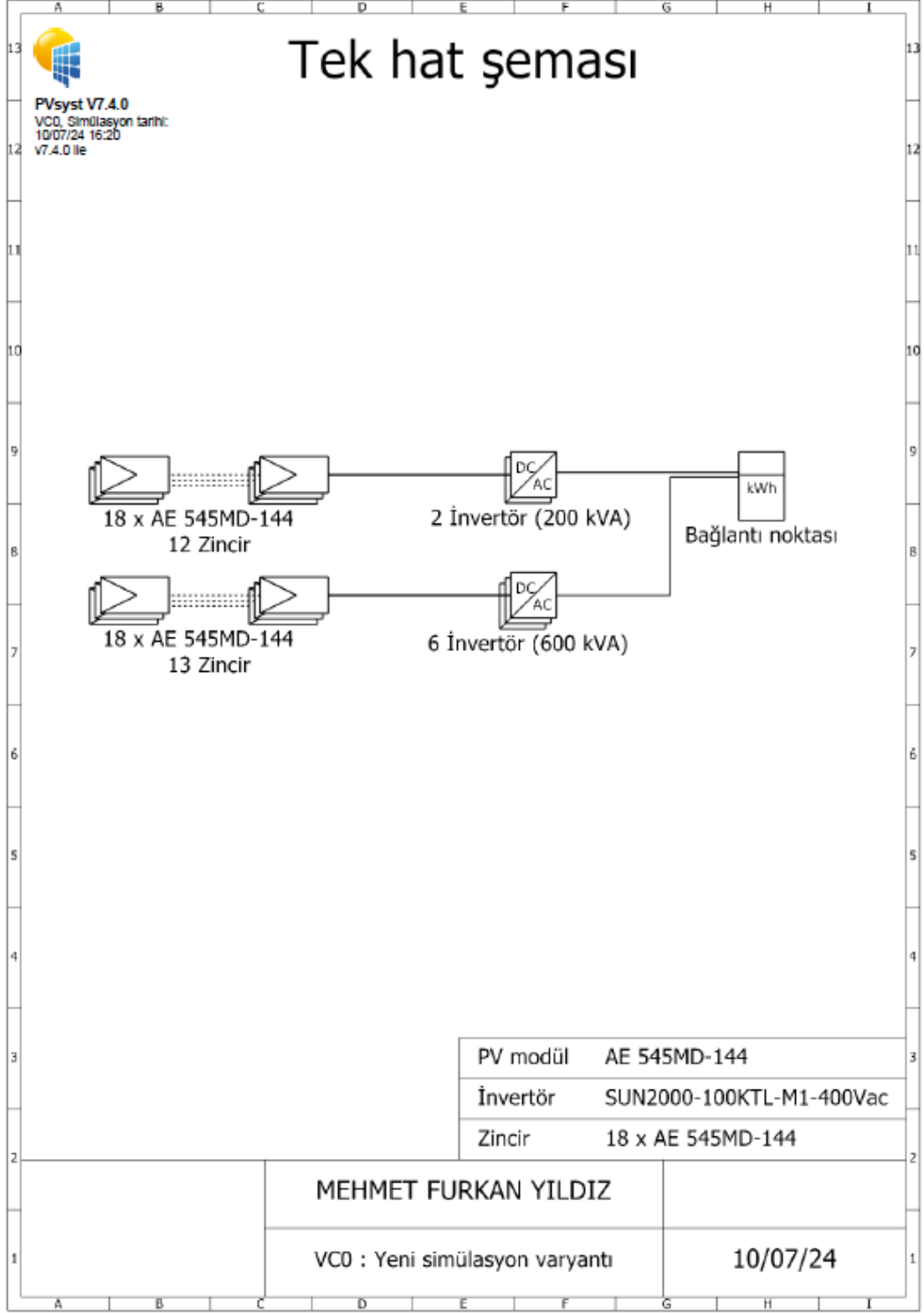
Ön tanımlı grafikler

Günlük giriş / çıkış diyagramı



Sistem çıkış gücü dağılımı





EK 4. 2023 EPDK tarafından onaylanan ve uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ocak 2023 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/1/2023		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	306,1338	310,0554	497,4675	158,7949	0,0000	306,1338	310,0554	497,4675	158,7949
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Orta Gerilim Çift Terimli					Orta Gerilim Çift Terimli				
	Sanayi	295,6209	299,4085	480,4840	153,2625	34,3846	330,0055	333,7931	514,8686	187,6471
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	274,6910	277,6525	447,2829	142,6846	53,5875	328,2785	331,2400	500,8704	196,2721
	Mesken	156,7637	159,7546	268,6899	72,6412	53,0783	209,8420	212,8329	321,7682	125,7195
	Tarımsal Faaliyetler	166,6156	168,5521	279,0882	80,2231	44,1334	210,7490	212,6855	323,2216	124,3565
	Aydınlatma	252,1772				51,4324	303,6096			
	Tek Terimli					Tek Terimli				
	Sanayi	306,1338	310,0554	497,4675	158,7949	37,9808	344,1146	348,0362	535,4483	196,7757
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	277,5562	280,5177	450,1481	145,5490	66,8442	344,4004	347,3619	516,9923	212,3932
	Mesken	155,2981	158,2892	267,2229	71,1746	65,5380	220,8361	223,8272	332,7609	136,7126
	Tarımsal Faaliyetler	166,3751	168,3116	278,6479	79,9815	54,9507	221,3258	223,2623	333,7986	134,9322
	Aydınlatma	254,8080				64,1580	318,9660			
	Alçak Gerilim Çift Terimli					Alçak Gerilim Çift Terimli				
	Sanayi	304,1128	307,8387	485,9961	164,0484	58,7641	362,8769	366,6028	544,7602	222,8125
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	193,6229	286,4067	456,0369	151,4386	79,6378	273,2607	366,0445	535,6747	231,0764
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	283,4458	286,4067	456,0369	151,4386	79,6378	363,0836	366,0445	535,6747	231,0764
	Mesken (8 kWh/gün ve altı)	78,7820	158,2541	267,1888	71,1394	77,8883	156,6703	236,1424	345,0771	149,0277
	Mesken (8 kWh/gün üstü)	155,2625	158,2541	267,1888	71,1394	77,8883	233,1508	236,1424	345,0771	149,0277
	Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	22,2035				52,8263	75,0298			
	Tarımsal Faaliyetler	167,1218	172,1930	279,5952	80,7283	65,4368	232,5586	237,6298	345,0320	146,1651
	Aydınlatma	260,3841				76,2756	336,6597			
Genel Aydınlatma	389,0440				76,2756	465,3196				

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Nisan 2023 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/4/2023		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	258,4316	261,7649	421,0652	133,1935	0,0000	258,4316	261,7649	421,0652	133,1935
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Orta Gerilim Çift Terimli					Orta Gerilim Çift Terimli				
	Sanayi	245,6997	248,9192	402,8333	124,6951	34,3846	280,0843	283,3038	437,2179	159,0797
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	225,1019	227,6192	371,8050	112,8965	53,5875	278,6894	281,2067	425,3925	166,4840
	Mesken	124,9545	127,4968	220,0918	53,4504	53,0783	178,0328	180,5751	273,1701	106,5287
	Tarımsal Faaliyetler	134,6139	136,2599	230,2156	61,1803	44,1334	178,7473	180,3933	274,3490	105,3137
	Aydınlatma	206,2774				51,4324	257,7098			
	Tek Terimli					Tek Terimli				
	Sanayi	254,5730	257,9064	417,2067	129,3350	37,9808	292,5538	295,8872	455,1875	167,3158
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	226,3736	228,8909	373,0767	114,1675	66,8442	293,2178	295,7351	439,9209	181,0117
	Mesken	122,6408	125,1832	217,7769	51,1358	65,5380	188,1788	190,7212	283,3149	116,6738
	Tarımsal Faaliyetler	133,5687	135,2148	229,1706	60,1342	54,9507	188,5194	190,1655	284,1213	115,0849
	Aydınlatma	207,4214				64,1580	271,5794			
	Alçak Gerilim Çift Terimli					Alçak Gerilim Çift Terimli				
	Sanayi	249,7685	252,9356	404,3693	130,7138	58,7641	308,5326	311,6997	463,1334	189,4779
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	153,2026	232,0689	376,2545	117,3460	79,6378	232,8404	311,7067	455,8923	196,9838
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	229,5521	232,0689	376,2545	117,3460	79,6378	309,1899	311,7067	455,8923	196,9838
	Mesken (8 kWh/gün ve altı)	55,8378	123,3891	215,9836	49,3416	77,8883	133,7261	201,2774	293,8719	127,2299
	Mesken (8 kWh/gün üstü)	120,8462	123,3891	215,9836	49,3416	77,8883	198,7345	201,2774	293,8719	127,2299
	Sehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	11,3264				52,8263	64,1527			
	Tarımsal Faaliyetler	132,7054	137,0159	228,3078	59,2709	65,4368	198,1422	202,4527	293,7446	124,7077
	Aydınlatma	210,4300				76,2756	286,7056			
Genel Aydınlatma	389,0440				76,2756	465,3196				

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Temmuz 2023 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/7/2023		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	258,4316	261,7649	421,0652	133,1935	0,0000	258,4316	261,7649	421,0652	133,1935
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
Orta Gerilim Çift Terimli	Orta Gerilim Çift Terimli						Orta Gerilim Çift Terimli			
		241,8802	245,0997	399,0138	120,8756	37,9163	279,7965	283,0150	436,9301	158,7919
Sanayi	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	219,3600	221,8773	366,0631	107,1546	59,0916	278,4516	280,9689	425,1547	166,2462
	Mesken	119,2748	121,8171	214,4121	47,7707	58,5300	177,8048	180,3471	272,9421	106,3007
Tarımsal Faaliyetler		129,8143	131,4603	225,4160	56,3807	48,6664	178,4807	180,1267	274,0824	105,0471
	Aydınlatma	200,7493				56,7151	257,4644			
Tek Terimli	Tek Terimli						Tek Terimli			
		250,7106	254,0440	413,3443	125,4726	41,8818	292,5924	295,9258	455,2261	167,3544
Sanayi	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	219,8349	222,3522	366,5380	107,6288	73,7099	293,5448	296,0621	440,2479	181,3387
	Mesken	116,2298	118,7722	211,3659	44,7248	72,2696	188,4994	191,0418	283,6355	116,9944
Tarımsal Faaliyetler		128,1934	129,8395	223,7953	54,7589	60,5948	188,7882	190,4343	284,3901	115,3537
	Aydınlatma	201,1455				70,7477	271,8932			
Alçak Gerilim Tek Terimli	Alçak Gerilim Tek Terimli						Alçak Gerilim Tek Terimli			
		243,7926	246,9597	398,3934	124,7379	64,7998	308,5924	311,7595	463,1932	189,5377
Sanayi	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	145,4124	224,2787	368,4643	109,5558	87,8175	233,2299	312,0962	456,2818	197,3733
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	221,7619	224,2787	368,4643	109,5558	87,8175	309,5794	312,0962	456,2818	197,3733
Mesken (8 kWh/gün ve altı)		48,2187	115,7700	208,3645	41,7225	85,8883	134,1070	201,6583	294,2528	127,6108
	Mesken (8 kWh/gün üstü)	113,2271	115,7700	208,3645	41,7225	85,8883	199,1154	201,6583	294,2528	127,6108
Sahit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler		6,1590				58,2521	64,4111			
	Tarımsal Faaliyetler	126,3044	130,6149	221,9068	52,8699	72,1579	198,4623	202,7728	294,0647	125,0278
Aydınlatma		202,9688				84,1099	287,0787			
	Genel Aydınlatma	389,0440				84,1099	473,1539			

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ekim 2023 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/10/2023		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084	0,0000	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
Orta Gerilim Çift Terimli	Orta Gerilim Çift Terimli						Orta Gerilim Çift Terimli			
		298,4576	302,3210	487,0179	153,2520	37,9163	336,3739	340,2373	524,9342	191,1683
Sanayi	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	275,5610	278,5817	451,6047	140,9145	59,0916	334,6526	337,6733	510,6963	200,0061
	Mesken	119,2748	121,8171	214,4121	47,7707	58,5300	177,8048	180,3471	272,9421	106,3007
Tarımsal Faaliyetler		166,0829	168,0581	280,8049	77,9626	48,6664	214,7493	216,7245	329,4713	126,6290
	Aydınlatma	252,7690				56,7151	309,4841			
Tek Terimli	Tek Terimli						Tek Terimli			
		309,1461	313,1462	504,3066	158,8605	41,8818	351,0279	355,0280	546,1884	200,7423
Sanayi	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	277,8419	280,8626	453,8856	143,1945	73,7099	351,5518	354,5725	527,5955	216,9044
	Mesken	116,2298	118,7722	211,3659	44,7248	72,2696	188,4994	191,0418	283,6355	116,9944
Tarımsal Faaliyetler		165,3739	167,3493	280,0962	77,2525	60,5948	225,9687	227,9441	340,6910	137,8473
	Aydınlatma	254,8504				70,7477	325,5981			
Alçak Gerilim Tek Terimli	Alçak Gerilim Tek Terimli						Alçak Gerilim Tek Terimli			
		305,3828	309,1833	490,9037	162,5171	64,7998	370,1826	373,9831	555,7035	227,3169
Sanayi	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	191,2220	285,8616	458,8843	148,1941	87,8175	279,0395	373,6791	546,7018	236,0116
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	282,8414	285,8616	458,8843	148,1941	87,8175	370,6589	373,6791	546,7018	236,0116
Mesken (8 kWh/gün ve altı)		48,2187	115,7700	208,3645	41,7225	85,8883	134,1070	201,6583	294,2528	127,6108
	Mesken (8 kWh/gün üstü)	113,2271	115,7700	208,3645	41,7225	85,8883	199,1154	201,6583	294,2528	127,6108
Sahit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler		6,1590				58,2521	64,4111			
	Tarımsal Faaliyetler	165,3096	170,4822	280,0325	77,1882	72,1579	237,4675	242,6401	352,1904	149,3461
Aydınlatma		259,5835				84,1099	343,6934			
	Genel Aydınlatma	389,0440				84,1099	473,1539			

EK 5. 2024 EPDK tarafından onaylanan ve uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ocak 2024 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/1/2024		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084	0,0000	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084
	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Orta Gerilim Çift Terimli					Orta Gerilim Çift Terimli				
	Sanayi	298,4576	302,3210	487,0179	153,2520	37,9163	336,3739	340,2373	524,9342	191,1683
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	275,5610	278,5817	451,6047	140,9145	59,0916	334,6526	337,6733	510,6963	200,0061
	Mesken	119,2748	121,8171	214,4121	47,7707	58,5300	177,8048	180,3471	272,9421	106,3007
	Tarım Faaliyetleri	166,0829	168,0581	280,8049	77,9626	48,6664	214,7493	216,7245	329,4713	126,6290
	Aydınlatma	252,7690				56,7151	309,4841			
	Tek Terimli					Tek Terimli				
	Sanayi	309,1461	313,1462	504,3066	158,8605	41,8818	351,0279	355,0280	546,1884	200,7423
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	277,8419	280,8626	453,8856	143,1945	73,7099	351,5518	354,5725	527,5955	216,9044
	Mesken	116,2298	118,7722	211,3659	44,7248	72,2696	188,4994	191,0418	283,6355	116,9944
	Tarım Faaliyetleri	165,3739	167,3493	280,0962	77,2525	60,5948	225,9687	227,9441	340,6910	137,8473
	Aydınlatma	254,8504				70,7477	325,5981			
	Alçak Gerilim Çift Terimli					Alçak Gerilim Çift Terimli				
	Sanayi	305,3828	309,1833	490,9037	162,5171	64,7998	370,1826	373,9831	555,7035	227,3169
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	191,2220	285,8616	458,8843	148,1941	87,8175	279,0395	373,6791	546,7018	236,0116
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	282,8414	285,8616	458,8843	148,1941	87,8175	370,6589	373,6791	546,7018	236,0116
	Mesken (8 kWh/gün ve altı)	48,2187	115,7700	208,3645	41,7225	85,8883	134,1070	201,6583	294,2528	127,6108
Mesken (8 kWh/gün üstü)	113,2271	115,7700	208,3645	41,7225	85,8883	199,1154	201,6583	294,2528	127,6108	
Sehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	6,1590				58,2521	64,4111				
Tarım Faaliyetleri	165,3096	170,4822	280,0325	77,1882	72,1579	237,4675	242,6401	352,1904	149,3461	
Aydınlatma	259,5835				84,1099	343,6934				
Genel Aydınlatma	389,0440				84,1099	473,1539				

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Temmuz 2024 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/7/2024		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084	0,0000	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Orta Gerilim Çift Terimli						Orta Gerilim Çift Terimli			
	Sanayi	274,2853	278,1487	462,8456	129,0797	60,2673	334,5526	338,4160	523,1129	189,3470
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	306,6641	310,2889	517,9165	145,0883	93,9251	400,5892	404,2140	611,8416	239,0134
	Mesken	151,8262	155,3345	283,1156	53,1505	93,0324	244,8586	248,3669	376,1480	146,1829
	Tarım Faaliyetleri	200,9917	203,5594	350,1303	86,4353	77,3544	278,3461	280,9138	427,4847	163,7897
	Aydınlatma	311,4197				90,1476	401,5673			
	Tek Terimli						Tek Terimli			
	Sanayi	284,7019	288,7020	479,8624	134,4163	66,5704	351,2723	355,2724	546,4328	200,9867
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	306,0686	309,6935	517,3211	144,4918	117,1606	423,2292	426,8541	634,4817	261,6524
	Mesken	145,9788	149,4873	277,2666	47,3019	114,8713	260,8501	264,3586	392,1379	162,1732
	Tarım Faaliyetleri	198,2802	200,8482	347,4192	83,7224	96,3144	294,5946	297,1626	443,7336	180,0368
	Aydınlatma	311,8006				112,4522	424,2528			
	Alçak Gerilim Tek Terimli						Alçak Gerilim Tek Terimli			
	Sanayi	267,5627	271,3632	453,0836	124,6970	102,9981	370,5608	374,3613	556,0817	227,6951
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	246,3661	310,4593	518,0865	145,2583	139,5844	385,9505	450,0437	657,6709	284,8427
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	306,8350	310,4593	518,0865	145,2583	139,5844	446,4194	450,0437	657,6709	284,8427
Mesken (8 kWh/gün ve altı)	49,4065	142,6273	270,4077	40,4418	136,5179	185,9244	279,1452	406,9256	176,9597	
Mesken (8 kWh/gün üstü)	139,1181	142,6273	270,4077	40,4418	136,5179	275,6360	279,1452	406,9256	176,9597	
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	6,1590				82,8453	89,0043				
Tarım Faaliyetleri	195,0087	201,7331	344,1485	80,4509	114,6937	309,7024	316,4268	458,8422	195,1446	
Aydınlatma	314,2697				133,6912	447,9609				
Genel Aydınlatma	389,0440				133,6912	522,7352				