

**ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE GÜNEŞ
ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI
VE YATIRIM ANALİZİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

Onur ÖZCAN

**ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE YATIRIM ANALİZİ**

Onur ÖZCAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Nisan 2019**

Onur ÖZCAN tarafından hazırlanan “ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE YATIRIM ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı



Doç. Dr. Semra BORAN

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

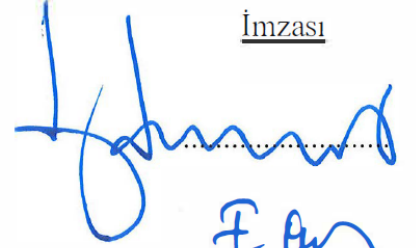


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 02/04/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN (GÜ)



Üye : Prof. Dr. Filiz ERSÖZ (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Mehmet KABAK (GÜ)



Üye : Doç. Dr. Semra BORAN (SAÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Taner ERSÖZ (KBÜ)



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Onur ÖZCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE YATIRIM ANALİZİ

Onur ÖZCAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Doç. Dr. Semra BORAN

Nisan 2019, 131 sayfa

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik fotovoltaik sistem uygulaması ve yatırım analizi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Uygulama aşamasında, belirlenen bir alan için FV sistem boyutlandırması yapılmıştır. Bu alan, 5 alt üretim alanından oluşmakta ve 180 330 m² yer kaplamaktadır. Oluşturulan FV sistemin toplam nominal kurulu gücü 8 865 MW'tır. Sistemde kullanılan teçhizat, çalıştırılan personel aynı olmak koşuluyla, sistemin üretim ve finansal performansı; Türkiye'nin sosyo-ekonomik gelişmişliği en fazla olan İstanbul, İzmir ve Ankara şehirleri için karşılaştırılmıştır. Bölgelerin yıllık güneş radyasyonu verilerine ve ilgili optimal güneş paneli açılarına; PVSyst programı, ilgili literatür ve GEPA verileri kullanılarak ulaşılmış olup, sistemin belirlenen şehirler için yıllık üretim hesaplamaları yapılmıştır. Üretim simülasyonlarına, kullanılan alana (parsel) ve teçhizata ilişkin sonuçlar, finansal hesaplamaların yapılmasında kullanılmıştır.

Çalışmanın finansal analiz kısmında, proje ömrü boyunca oluşan ve oluşabilecek tüm maliyetler hesaplanmıştır. Oluşturulan üç alternatif için yatırımın getirisi ve proje geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Üç şehir için, yıllık üretim ve finansal performansa yönelik karşılaştırmalar yapılmış olup, yatırımlara yönelik sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Yenilenebilir enerji, fotovoltaik enerji, enerji yatırımı, maliyet analizi, enerji üretimi simülasyonu, pvsyst.

Bilim Kodu : 906.1.233



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF SOLAR ENERGY POTENTIAL IN ORGANIZED INDUSTRIAL ZONES AND INVESTMENT ANALYSIS

Onur ÖZCAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Filiz ERSÖZ

Assoc. Prof. Semra BORAN

April 2019, 131 pages

In this study, the implementation of photovoltaic system for the evaluation of the solar energy potential of Turkey and investment analysis is presented in comparative. In the application phase, PV system sizing is performed for a designated area. This area consists of 5 sub-production areas and occupies 180 330 m². The total nominal installed power of the PV system is 8 865 MW. Production and financial performance of the system, provided that the equipment used in the system is the same as the operated personnel; Turkey's socio-economic development has been compared for the cities of Istanbul, Izmir and Ankara. The regions ' annual solar radiation data and their respective optimal solar panel angles; The Pvsyst program was accessed using the relevant literature and GEPA data and annual production calculations were made for the specified cities of the system. The results of the production simulations, the area used (parcel) and the equipment were used to perform financial calculations. In the

financial analysis part of the study, all costs incurred during the lifetime of the project were calculated. The return on investment and project Payback times were calculated for the 3 alternatives created. For the three cities, comparisons have been made for annual production and financial performance, and the results of the investments have been investigated.

Key Word : Renewable energy, photovoltaic energy, energy investment, cost analysis, energy production simulation, pvsyst.

Science Code : 906.1.233



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Prof. Dr. Filiz ERSÖZ'e ve eşi Dr. Öğr. Üyesi Taner ERSÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans sürecimde aldığım derslere girerek akademik katkıda bulunan hocalarıma ve tezin eş danışmanlığını üstlenen Doç. Dr. Semra BORAN'a,

Görüş ve önerileriyle desteğini esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Emrah DENİZ'e ve Arş. Gör. Selçuk ÖZCAN'a,

Çalışmanın simülasyon aşamasında yazılım lisansı desteği sunan PVsyst firması ekibine,

Çalışmamda desteğini esirgemeyen Maden Yüksek Mühendisi eniştem, Kazım ÖZCAN'a,

Çalışmanın her aşamasında yanımda olup destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen teyzem, Nurcan İNAL'a ve arkadaşım Hatice EROL'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Cesaret ve motivasyon kaynağım olan annem, babam ve kardeşime, hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
YENİLENEBİLİR ENERJİ, DÜNYA VE TÜRKİYE’NİN POTANSİYELİ.....	3
2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	4
2.1.1. Hidroelektrik Enerji	5
2.1.2. Rüzgâr Enerjisi.....	5
2.1.3. Biyokütle Enerjisi	6
2.1.4. Jeotermal Enerji	7
2.1.5. Güneş Enerjisi.....	8
2.2. DÜNYA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAPASİTESİ VE KURULU GÜCÜ	10
2.3. TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ VE	
HEDEFLERİ.....	11
2.3.1. Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yaklaşımı	13
2.3.2. Güneş Enerjisi Potansiyeli Açısından Türkiye’nin Durumu	14

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	17
GÜNEŞ VE FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ	17
3.1. GÜNEŞ ENERJİSİNİN VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KULLANIMININ TARİHSEL GELİŞİMİ	19
3.2. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ	20
3.2.1. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları	20
3.2.2. Fotovoltaik Sistem Elemanları.....	22
3.3. FOTOVOLTAİK HÜCRE TEKNOLOJİLERİ	24
3.3.1. Kristal Silikon Hücreler.....	25
3.3.2. İnce Film Teknolojisi	26
3.3.3. Kristal Silikon Hücreler ve İnce Film Teknolojisinin Karşılaştırılması .27	
3.4. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ENERJİ ÇIKTISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE ENERJİ ÜRETİMİ HESAPLAMASI	28
3.4.1. Enerji Çıktısına Etki Eden Faktörler	28
3.4.2. Ortalama Güneş Enerji Üretiminin Hesaplaması.....	29
3.4.3. Panel Yerleştirme ve Modül Alanı.....	34
3.4.4. Panel Yerleştirme, Modül Sayısı ve Modül Alanı Hesaplama	35
BÖLÜM 4	40
GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIM ANALİZİ TEKNİKLERİ VE TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMLARININ DESTEKLENMESİNE YÖNELİK YASAL YAPISI	40
4.1. YATIRIM ANALİZ TEKNİKLERİ	40
4.1.1. Yatırım Getirisi Oranı Yöntemi	40
4.1.2. Yatırım Geri Ödeme Süresi	41
4.2. TÜRKİYE’NİN GES YATIRIMLARININ DESTEKLENMESİNE YÖNELİK YASAL YAPISI.....	42
4.2.1. YEK Kanun Değişikliği ve Elektrik Alımı Teşvikleri.....	43
4.2.2. EPDK Elektrik Piyasasında Lisans Almaya Yönelik 2018 yılı Uygulama Kararı	45
4.2.3. Organize Sanayi Bölgesinde Yer Alan Parsellerin Tamamen veya Kısmen Bedelsiz Tahsisine İlişkin Devlet Teşviki.....	46
BÖLÜM 5	47
LİTERATÜR İNCELEMESİ	47

BÖLÜM 6	59
TÜRKİYE’NİN FARKLI ÜÇ COĞRAFİ BÖLGESİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ PERFORMANSININ PROJE VE MALİYET TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ: YATIRIM ANALİZİ UYGULAMASI	59
6.1. PVSYST YAZILIMI	60
6.2. UYGULAMA ALANI.....	62
6.2.1. Kullanılan Güneş Paneli, Evirici ve Bunlara İlişkin Fiyatlar	65
6.2.2. Uygulamaya İlişkin Hesaplamalarda Yapılan Bazı Kabuller	66
6.3. BELİRLENEN OSB’LERİ İÇİN PVSYST PROGRAMI İLE FV ŞEBEKE BAĞLANTILI SİSTEM TASARIMININ VE YILLIK ELEKTRİK ÜRETİMİ SİMÜLASYONUNUN YAPILMASI.....	67
6.3.1. İzmir Aliağa OSB Yatırımı için Yıllık Elektrik Üretimi Simülasyonu...68	
6.3.2. İstanbul Tuzla OSB ve Ankara Sincan OSB FV Yatırımları için Yıllık Elektrik Üretimi Simülasyon Sonuçları ve Simülasyon Karşılaştırmaları	85
6.4. BELİRLENEN OSB’LERİ İÇİN YATIRIM UYGULAMASI	87
6.4.1. İzmir OSB Fotovoltaik Yatırımı Analizi.....	89
6.4.1.1. Pvsyst Yazılımı Ekonomik Değerlendirme Aşaması.....	92
6.4.2. Ankara OSB Fotovoltaik Yatırımı Analizi	97
6.4.3. İstanbul OSB Fotovoltaik Yatırımı Analizi.....	100
6.5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	103
6.5.1. Yatırımların Organize Sanayi Bölgesi Bedelsiz Arsa Tahsisinden Faydalandırılması Durumunda Uygulanabilirliği.....	107
6.6. YATIRIMLARIN SAĞLAYACAĞI FAYDALAR	109
6.6.1. FV Uygulamasının Mesken ve OSB Eneri Tüketimlerine Sağlayacağı Fayda.....	109
BÖLÜM 7	111
SONUÇ VE TARTIŞMA	111
KAYNAKLAR.....	116
EK AÇIKLAMALAR: DİĞER PVSYST ÇIKTILARI.....	124
ÖZGEÇMİŞ.....	131

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. 2017 küresel birincil enerji tüketim oranları.....	3
Şekil 2.2. Dünya yenilenebilir enerjisi kümülaif kapasitesi 2006-2016.	4
Şekil 2.3. Güneş kulesinin çalışma prensibi ve Türkiye'de kurulan ilk güneş kulesi, Mersin.	9
Şekil 2.4. Yenilenebilir enerji elektrik kapasitesi açısından en iyi beş ülke.	10
Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi radyasyon haritası.	16
Şekil 3.1. Güneş ışınlarına ilişkin açılar.....	18
Şekil 3.2. Azimut açısı	18
Şekil 3.3. Şebekeye bağlı müstakil sistemler.	20
Şekil 3.4. Şebekeye bağlı üretim sistemleri.	21
Şekil 3.5. Şebekeden bağımsız sistemler.	21
Şekil 3.6. Rüzgar ve fotovoltaik hibrit sistemler.	22
Şekil 3.7. Fotovoltaik hücre, panel, dizi.....	23
Şekil 3.8. Monokristal hücreler.	25
Şekil 3.9. İnce film teknolojisi.....	26
Şekil 3.10. İzmir ili yıllık toplam güneş radyasyonu GEPA.....	31
Şekil 3.11. İzmir ili aylık güneşlenme süreleri ve güneş paneli tipine göre üretilebilecek enerji miktarı GEPA.	32
Şekil 3.12. Niğde GES örneği ve örnek panel yerleşimi.	34
Şekil 3.13. Kullanılan panelin fiziki özellikleri.....	36
Şekil 3.14. Modül masası konumlandırma ve paralel yerleşim gölgelenme kaybı. ..	37
Şekil 6.1. Dünya meteonorm ölçüm istasyonu sayısı ve Türkiye'deki meteonorm istasyonları.	61
Şekil 6.2. PVsyst veri tabanı.....	62
Şekil 6.3. GES proje alanı İzmir.....	63
Şekil 6.4. FV üretim alanları.	64
Şekil 6.5. PVsyst giriş ekranı	68
Şekil 6.6. Proje ekranı.	69
Şekil 6.7. Meteo verilerinin içe aktarılması.	70
Şekil 6.8. Parametrelerin girilmesi ve simülasyon.	71
Şekil 6.9. Sistem tanımlaması giriş ekranı.	72

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.10. Güneş paneli ve eviricinin seçilmesi.	73
Şekil 6.11. Saha 1’de evirici sayısının belirlenmesi.	73
Şekil 6.12. Saha 1’de dizi/ evirici sistem boyutlandırması.	74
Şekil 6.13. Sistem özeti.	76
Şekil 6.14. Sistem kayıpları girdi ekranı.	77
Şekil 6.15. Bölge ufuk çizgisi bilgisi.	78
Şekil 6.16. Çevre gölgelenmesi girdi ekranı.	78
Şekil 6.17. Gelişmiş simülasyon ayarları penceresi	79
Şekil 6.18. Simülasyon ekranı.	80
Şekil 6.19. İzmir OSB FV yatırımı dönemsel kar/zarar grafiği.	91
Şekil 6.20. PVsyst programı ekonomik değerlendirme girdi ekranı.	93
Şekil 6.21. Ankara OSB FV yatırımı dönemsel kar/zarar grafiği.	99
Şekil 6.22. İstanbul OSB FV yatırımı dönemsel kar/zarar grafiği.	102
Şekil 6.23. Yatırımların enerji üretim maliyetleri ve satış fiyatları.	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Dünya yenilenebilir enerji kapasite göstergeleri 2016-2017.	11
Çizelge 2.2. Yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli.	11
Çizelge 2.3. Bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli Türkiye.	15
Çizelge 4.1. YEK kanunu devlet fiyat garantisi I sayılı cetvel.	44
Çizelge 4.2. YEK kanunu devlet fiyat garantisi II sayılı cetvel.	44
Çizelge 4.3. 2018 yılı lisans alma bedelleri.....	45
Çizelge 5.1. Endüstri mühendisliği alanında yapılan çalışmalar.	50
Çizelge 5.2. Fotovoltaik uygulamalar ve kullanılan analizler.	51
Çizelge 5.3. Literatürdeki bazı çalışmaların ilgili FV sistem bilgileri.....	57
Çizelge 6.1. Sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi İstanbul, Ankara, İzmir.	59
Çizelge 6.2. Proje ve üretim alanı.	64
Çizelge 6.3. Proje modül, modül masası hesaplama sonuçları.....	65
Çizelge 6.4. Üretim sahalarında kullanılan evirici sayısı.	65
Çizelge 6.5. Kullanılan güneş paneli, evirici özellikleri.	66
Çizelge 6.6. Üretim sahaları için PVsyst'te belirlenen evirici sayıları.	75
Çizelge 6.7. İzmir Aliğa OSB fotovoltaik sistem uygulaması teknik raporu	81
Çizelge 6.8. Simülasyon parametreleri ve simülasyon sonuçları.	86
Çizelge 6.9. Yatırım maliyeti.	87
Çizelge 6.10. 2017 yılı arsa rayiç bedeli ve OSB arsa maliyeti	88
Çizelge 6.11. Yıllık işletim maliyetleri.....	88
Çizelge 6.12. Devlet satış fiyatı garantisi.....	89
Çizelge 6.13. İzmir OSB yatırımı dönemlik maliyet ve kar/zararı.	90
Çizelge 6.14. İzmir OSB yatırımın getirisi oranı.....	92
Çizelge 6.15. PVsyst ekonomik değerlendirme sonucu; İzmir OSB.....	95
Çizelge 6.16. Ankara OSB FV yatırımı dönemlik kar/zarar ve PVsyst ekonomik durum çıktısı.	98
Çizelge 6.17. Ankara OSB yatırımın getirisi oranı.....	99
Çizelge 6.18. İstanbul OSB FV yatırımı dönemlik kar/zarar ve PVsyst ekonomik durum çıktısı.	101
Çizelge 6.19. İstanbul OSB yatırımın getirisi oranı.....	102

Sayfa

Çizelge 6.20. Proje yıllık güneş radyasyonu ve üretilebilecek enerji miktarının karşılaştırılması.	103
Çizelge 6.21. Yatırımlara ilişkin özet maliyetler ve kar/zarar	104
Çizelge 6.22. Yatırımların sermaye bütçeleme teknikleriyle karşılaştırılması.	106
Çizelge 6.23. Bedelsiz parsel tahsisinin yatırıma etkisi.....	107
Çizelge 6.24. Bedelsiz parsel tahsisinin olması durumunda yatırımların getirisi. ...	108
Çizelge 6.25. Bölge mesken ihtiyacının GES üretimiyle karşılanması.	110
Çizelge 6.26. Üretimin OSB'ye katkısı.	110
Çizelge EK 1. PVsyst Ankara yıllık enerji kaybı diyagramı.....	125
Çizelge EK 2. Simülasyon sonucu PVsyst çıktısı Ankara.	126
Çizelge EK 3. PVsyst yıllık enerji kaybı diyagramı İstanbul.....	127
Çizelge EK 4. Simülasyon sonucu PVsyst çıktısı İstanbul.	128
Çizelge EK 5. PVsyst Ankara ekonomik değerlendirme özeti	129
Çizelge EK 6. PVsyst İstanbul ekonomik değerlendirme özeti	130

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

γ : yüzey azimut açısı

θ : geliş açısı

δ : deknilyasyon açısı

CdTe : kadmiyum tellürid

CIS : bakır indiyum diselenid

KISALTMALAR

- AC : Alternatif Akım
DC : Doğru Akım
DMİ : Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİGM : Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPK : Elektrik Piyasası Kanunu
EÜAŞ : Elektrik Üretimi Anonim Şirketi
FV : Fotovoltaik
GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES : Güneş Enerjisi Santrali
HES : Hidroelektrik Santral
IEA : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
KDV : Katma Değer Vergisi
MB : T.C. Merkez Bankası
MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MPPT : Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takipçisi)
OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
OSB : Organize Sanayi Bölgesi
PV : Fotovoltaik
ROI : Return on Investment (Yatırımın Getirisi)
STC : Standard Test Conditions (Standart Test Koşulları)
YEK : Yenilenebilir Enerji Kanunu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yaşamın sürdürülebilirliği için enerji vazgeçilmez bir kaynaktır. Sanayi devrimiyle birlikte hızla gelişen teknoloji, dünya nüfusundaki artış ve küreselleşme, enerjiye olan talebi her geçen gün arttırmaktadır. Günümüzde enerji sistemlerinde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Bu yakıtlar sonlu kaynaklar olduklarından hızla tükenmektedirler. Bu durum geleceğe yönelik enerji talebi için büyük bir sorundur. Ayrıca, fosil yakıtların günümüzde yoğun bir şekilde kullanılıyor olması, ortaya çıkan CO₂ salınımlarıyla beraber küresel ısınmaya, dolayısıyla iklim değişikliklerine ve doğada geri dönüşü olmayan problemlere de yol açmaktadır. Bu durum da gelecek için oldukça önemli bir sorundur.

Sanayileşme, gelişen teknoloji, nüfus artışı ve demografik değişimler enerji talebini etkilemektedir. Dünya nüfusu, 2017 yılında 7,6 milyara ulaşmış ve 2040 yılında 9,2 milyardan daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Uzun vadede %3,4 büyümenin beklendiği dünya ekonomisi; nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, enerjiye ve doğal kaynaklara olan talebin önemli ölçüde artacağını göstermektedir [1].

Günümüzde dünya enerji talebinin %20'sine yakını; güneş, biyokütle, hidro, rüzgâr, jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklarından sağlanmaktadır. Çevreye verilen zararları azaltmak ve geleceğe yönelik enerji taleplerini karşılamak için Türkiye gibi birçok ülkede yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması teşvik edilmektedir [2].

Yenilenebilir enerjinin öneminin kavranmasıyla Türkiye'de enerji üretimine yönelik önemli adımlar atılmıştır. Yenilenebilir enerji nominal kurulu gücü 2018 yılı itibarıyla 36 GW seviyesinin üzerine çıkmıştır. Bu kapasitenin büyük bir çoğunluğu hidrolik enerjiden sağlanmaktadır. Güneş ve rüzgardan elde edilen enerji miktarı bu gün tatmin edici düzeyde olmasa da her yıl artış göstermektedir [3].

Coğrafi konumu itibariyle Türkiye'nin güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi açısından oldukça yüksek bir potansiyeli vardır [4]. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.738 saattir. Bu durum günlük ortalama 7,5 saatlik bir güneşlenme süresini ifade etmektedir [5]. Yapılan araştırmalar Türkiye'nin güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretiminde 189 GWh/yıl potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [6]. Üretim potansiyeli açısından bu değer Türkiye'yi; İspanya, Fransa ve çoğu Avrupa ülkesinin önüne geçirmektedir.

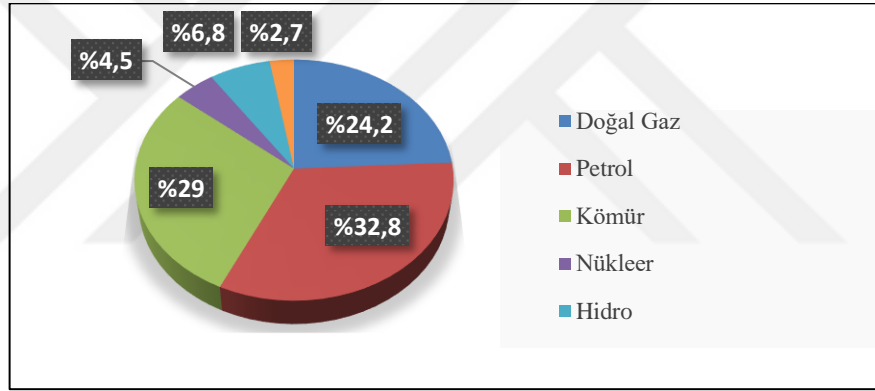
Türkiye güneş enerjisine yönelik avantajların yanı sıra, güneş enerjisinden faydalanma konusunda bazı zorluklarla da karşı karşıyadır. Karşılaşılan en büyük zorluk, teknoloji ve finansal kısıtlılıklardır. Ayrıca kalifiye iş gücüne ihtiyaç oldukça fazladır. Yerli üretime teşvik ve yatırımcıyı özendirilmeye yönelik devlet teşvikleri bu konuda oldukça önemlidir [6].

Bu çalışmada; Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin fotovoltaik paneller vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilmesine yönelik olarak değerlendirilmesi, günümüz koşullarında belirli bir düzeyde elektrik üretimi için katlanılması gereken maliyetlerin incelenmesi, fotovoltaik yatırımların karlılığı ve geri dönüş performansının incelenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ, DÜNYA VE TÜRKİYE’NİN POTANSİYELİ

Enerji, toplumsal hayatı kolaylaştıran, vazgeçilmez bir girdidir. Çoğu teknolojik konforun temelinde enerji vardır. Teknolojik gelişmeler sayesinde farklı kaynaklardan enerji üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Kaynak çeşitliliği, bir sınıflandırmayı da beraberinde getirmiştir. Enerji kaynağının işlem veya dönüşüme tabi olmadığı hali birincil enerji kaynağı olarak ifade edilir [6]. Bu kaynaklar Şekil 2.1’de verilmiştir.

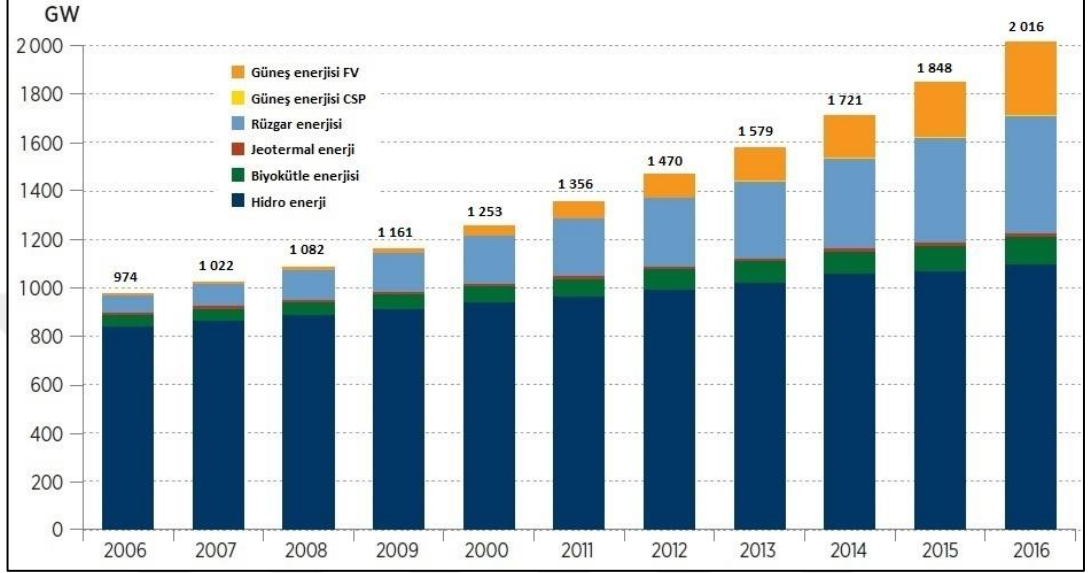


Şekil 2.1. 2017 küresel birincil enerji tüketim oranları [7].

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere, enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır. Bu kaynaklar sanayi, ulaştırma, konut, ticarethane ve alt sektörlerinde yoğun olarak tüketilmektedir. Sektörlerde tüketilen enerjinin %86’sı doğal gaz ve petrol kaynaklıdır [7].

2018 yılında, birincil enerji talebinde görülen artışın %70’ini elektrik oluşturmuştur. Yenilenebilir enerji kullanımının sürekli artış göstermesi ve 2040 yılına kadar birincil enerji talebinin %25’ini karşılaması beklenmektedir [8]. Bu beklentiye rağmen kömürün 2040 yılına kadar güç üretiminde en çok kullanılan kaynak olmayı sürdüreceği beklenmektedir [7].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünde meydana gelen değişim Şekil 2.2’de verilmiştir. Küresel yenilenebilir enerji elektrik üretimi kapasitesinin %50’den fazlasını hidroelektrik enerji oluşturmuştur. Hidroelektrik enerjiyi sırasıyla rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal enerji takip etmiştir [9].



Şekil 2.2. Dünya yenilenebilir enerjisi kümülaif kapasitesi 2006-2016 [9].

Yenilenebilir enerji kullanımı 2018 yılında bir önceki yıla göre %400’ün üzerinde artarak küresel enerji üretimindeki önemlilik artışın %50’sinden fazlasını oluşturmuştur [8]. Güçlü büyümenin arkasındaki faktör, rüzgâr ve güneş enerjisinin rekabet gücünde meydana gelen sürekli artıştır [9].

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji, doğal süreçlerde oluşan enerji akışından elde edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynağı; kaynağından üretilen enerjinin tüketilme hızına eşit veya daha hızlı kendini yenileyen kaynaklardır [10].

Yenilenebilir enerji kaynakları “5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununda”; Rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi

veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun hidro enerji olarak sınıflandırılmıştır [11].

2.1.1. Hidroelektrik Enerji

Yaşam için en önemli kaynaklardan birisi sudur. Suyun sağladığı enerji, endüstriyel alanda mekanik enerji üretmek için farklı uygulamalarla kullanılmıştır. Su enerjisi ilk olarak İngiltere’de elektrik üretimi için kullanılmıştır. Suyun doğal etkilerle hareketinden faydalanılarak üretilen elektrik enerjisi, hidroelektrik santrallerinin elektrik üretimindeki payını arttırmıştır. Hidroelektrik santrallerin; akarsu üzerinde su tutmayan (enerji üretimi yaklaşık olarak 10 MW veya daha az) ve baraj uygulamasıyla suyun tutulduğu ve böylece daha fazla elektrik enerjisi üretildiği uygulamaları vardır. Santrallerin temel çalışma prensibi, barajda tutulan suyu serbest bırakarak elektrik türbini çarklarının dönmesini sağlayıp elektrik üretmektir [12].

Hidroelektrik enerji santralleri yüksek miktarda elektrik enerjisi üretimine imkan sağlaması, elektrik üretimi için sürekli enerjinin bulunması ve düşük bakım maliyetlerinin olması açısından avantajlıdır [12]. Ancak, uzun inşaat ve yatırım süreci, yüksek olan kurulum maliyetleri de bu yatırımlarda katlanılması gereken maliyetlerdir. Ayrıca, HES’lerin kurulduğu bölgelerde akarsu ve dere yatağında yapılan değişikliklerin, doğal yaşamı etkileme riski de vardır.

2.1.2. Rüzgâr Enerjisi

Kullanımı eski çağlara dayanan rüzgâr enerjisi, yel değirmenleriyle buğday öğütme ve çiftlik uygulamalarında kullanılmasıyla insan hayatına girmeye başlamıştır. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi, Amerika Birleşik Devletleri’nde kurulan santralle yaygınlaşmaya başlamıştır. Rüzgâr santralleri (çiftlikleri) çevre dostu sistemlerdir. Santral, birkaç türbinin rüzgardan ürettikleri enerjinin toplanarak bir sisteme aktarılmasıyla işlemektedir [6].

Rüzgar santrallerinin; off- shore (deniz) ve on- shore (kara) olmak üzere iki farklı şekilde uygulaması mevcuttur [12]. Özellikle açık denizlerde rüzgâr hızının fazla

olması off-shore kurulumların elektrik üretimi açısından daha verimli olmasını sağlamaktadır. Açık denizlerde yapılacak olan kurulum; sistem bağlantı maliyetlerinin artması açısından dezavantajlıdır. Karada yapılan kurulumlarda katlanılacak olan benzer maliyetler, deniz yatırımına göre daha düşüktür. Diğer kaynaklara göre rüzgârdan üretilen elektrik enerjisinin sürekliliği, dalgalıdır. Bu nedenle, üretilen elektriğin iletilmesinde kullanılan teknolojiler daha farklı ve maliyetli olabilmektedir [12].

Dünya'nın en büyük rüzgâr elektriği üreticilerinden biri olan ABD'de üretilen toplam enerjinin %4,5'i rüzgâr enerjisinden oluşmaktadır. Bu oran Çin'de %3,2; Danimarka'da %50, Portekiz, Uruguay, İspanya ve İrlanda'da %15 civarındadır [7]. Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisi üretiminde kullanım oranları artış eğilimindedir. 2050 yılına kadar rüzgar enerjisinin dünya elektrik üretiminin % 18'e yakın bir kısmını karşılayacağı düşünülmektedir [1].

2.1.3. Biyokütle Enerjisi

Bir canlı türüne ait organizmaların herhangi bir zamanda organik aktivitelerine bağlı olarak sahip oldukları toplam enerji biyokütle enerjisidir. Odun, saman veya hayvan dışkısının kullanılmasıyla üretilen enerji olarak da tanımlanır [13].

Biyokütle enerjisinin kullanımı, ateşin bulunmasına kadar dayanmaktadır. Günümüzde biyokütle uygulamalarına bakıldığında kaynakların biyodizel, biyogaz, biyotanol, biyoyağ gibi enerji kaynaklarına dönüştürülerek kullanıldığı görülmektedir. Biyokütle enerjisini, klasik ve modern enerji olarak ikiye ayırmak mümkündür [14]. Ağaç kesiminden elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin basit şekilde yakılması, klasik biyokütle enerjisi olarak tanımlanırken; orman ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen biyodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Biyo dönüşüm teknolojilerinde kullanılan yakıtlar aşağıda özetlenmiştir [12,14].

- Biyo-ormancılık yakıtları: Ormanlarda bulunan kurumuş ağaç, ağaç dalları gibi yanıcı maddelerin veya hızlı büyüyen bitkilerdir. Bu bitkiler kullanılarak elde edilen yakıtların termik santrallerde yakılmasıyla üretilen elektrik enerjisidir.
- Biyo-bitki yakıtları: Evsel yağlar, yağlı tohumu olan bitkilerden toplanan yağların fermantasyon sonucunda etanol eldesi ve bu etanolün mazot ile belirli oranda karıştırılmasıyla elde edilen biyo-dizel yakıtlar termik santrallerde yakılarak elektrik üretilir.
- Biyo-gaz yakıtlar: Hayvansal atıklar ve çöplerden üretilen metan gazı biyo-gaz üretiminde kullanılır. Üretilen biyo-gaz termik santrallerde yakılarak elektrik üretilmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi, üretilen biyolojik materyallerin santrallerde yakılması sonucu elektrik enerjisi üretilmesi de mümkündür. Geleneksel enerji üretim kaynaklarına ulaşım az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde daha kısıtlıdır. Bu durum biyo-enerji kullanımının bu ülkelerde daha yaygın olmasını sağlamıştır.

2.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer kürenin ısısıyla yer kabuğunun derinliklerinde bulunan birikmiş basınçlı su ve sıcak kayaların içerdiği kurulu enerji olarak tanımlanabilir [12]. Jeotermal enerji ilk olarak M.Ö. 10000 yılında jeotermal akışkanlar kullanılarak çanak çömlek imalatı için kullanılmıştır [15,16]. Roma ve Çin jeotermal kaynakları banyo ve ısınma ihtiyacını karşılamak için kullanmışlardır. Avrupa ülkeleri 12. yüzyılda jeotermal kaynaklarla yerleşim birimlerinin ısıtılmasının mümkün olduğunu keşfetmiştir [17].

İtalya'da 1943 yılında jeotermal enerji buharından ilk defa elektrik üretilmesiyle jeotermal elektrik üretiminin ilk adımı atılmıştır. İlk jeotermal enerji santrali 1966 yılında Japonya'da kurulmuştur [16]. Türkiye'nin ilk Avrupanın ikinci jeotermal elektrik santrali 1984 yılında 20,4 MW kapasite ile Denizli'de hizmete alınmıştır [17].

Jeotermal kaynaklar genellikle termal turizm, bölgesel ısıtma, tarımsal ürünleri kurutma, mineral elde etme ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır [15]. Farklı

derinliklerde bulunan ve doğal şartlarla oluşan jeotermal kaynaklar, içlerinde barındırdıkları tuz, mineral ve elementler yönünden farklılık göstermektedir. Bu nedenle kullanım açısından farklılıkları vardır. Jeotermal enerji kullanılarak işletilen santraller yakma işlemi olmadan buhar üretilmesi ve enerjinin sınırsız olması açısından diğer termik santrallere göre avantajlıdır. Ayrıca, düşük maliyet ve enerji arz güvenliği katkısı, bölgesel olarak sürekli kullanımı mümkün kılmaktadır [6]. Jeotermal enerji kaynaklarının hava koşullarından etkilenmemesi rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklara karşı bir avantaj olarak değerlendirilebilir [6]. Jeotermal kaynakların bulunup çıkarılma aşaması dışında bariz dezavantajı bulunmamaktadır [12].

2.1.5. Güneş Enerjisi

İnsanlık için hayat ve enerji kaynağı olan güneş diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının da oluşmasını sağlayan önemli bir kaynaktır. Güneş enerjisi tüm organik yapılara hayat verir. Canlıların yaşamak için ihtiyaç duydukları enerjinin üretilmesi sonucu meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler güneşin etkisiyle olur. Enerji bu ve benzer organik faaliyetlerle zamanla biyoenerjiye ve fosil yakıtlara dönüşür [18].

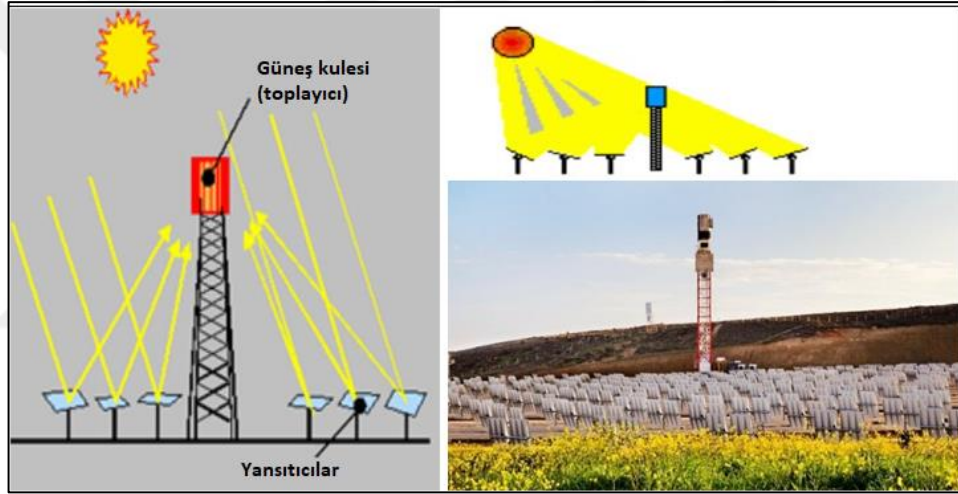
Dünya'daki tüm su döngüsü de güneşin etkisiyle oluşmaktadır. Atmosfer olaylarının, akarsu faaliyetleri bu duruma örnektir. Denizden karaya doğru olan rüzgâr; karanın, denize göre daha hızlı ısınması ana nedenine bağlı olarak oluşur. Isınan hava yükselir ve daha az yoğun hale gelerek boşluklar oluşturur. Deniz, karaya göre daha geç ısındığından denizde yoğunlaşan hava karadaki hava boşluklarını doldurmak için karaya doğru hareket eder ve böylece rüzgar oluşur [19]. Görüldüğü üzere enerji kaynaklarının oluşmasında güneş enerjisinin etkin bir rolü vardır.

Güneşin ışına yoluyla yaydığı enerji yaklaşık olarak saniyede 4×10^{23} kW'tır. Atmosferde soğurulan bu enerji, yeryüzüne $1\ 000$ watt/m² olarak düşer. Dünyaya gelen güneş radyasyonu eğer doğru uygulamalarla kullanılırsa, birincil enerji tüketiminin kat kat fazlasını karşılayabilecek düzeyde enerji üretimi sağlanabilir. Güneş radyasyonunun %0,1'lik kısmının %10 verimle kullanılırsa, dünyanın toplam enerji üretimi kapasitesinin dört katı kadar üretim yapılabilir [12].

Güneş enerjisinden üç farklı şekilde faydalanmak mümkündür;

- Su ısıtma sistemleri
- Buharlı elektrik üretimi
- Fotovoltaik sistemler aracılığıyla doğrudan elektrik üretimi

Güneş ışınları termal uygulamalarla su ısıtma için oldukça uygun bir kaynaktır. Ev ısıtma sistemleri konusunda da sıklıkla kullanılır. Güneş ışınlarıyla ısıtılan suyun farklı bir uygulaması da ısıtılıp kaynatılan sudan elde edilen buhar ile elektrik üretimidir [20].



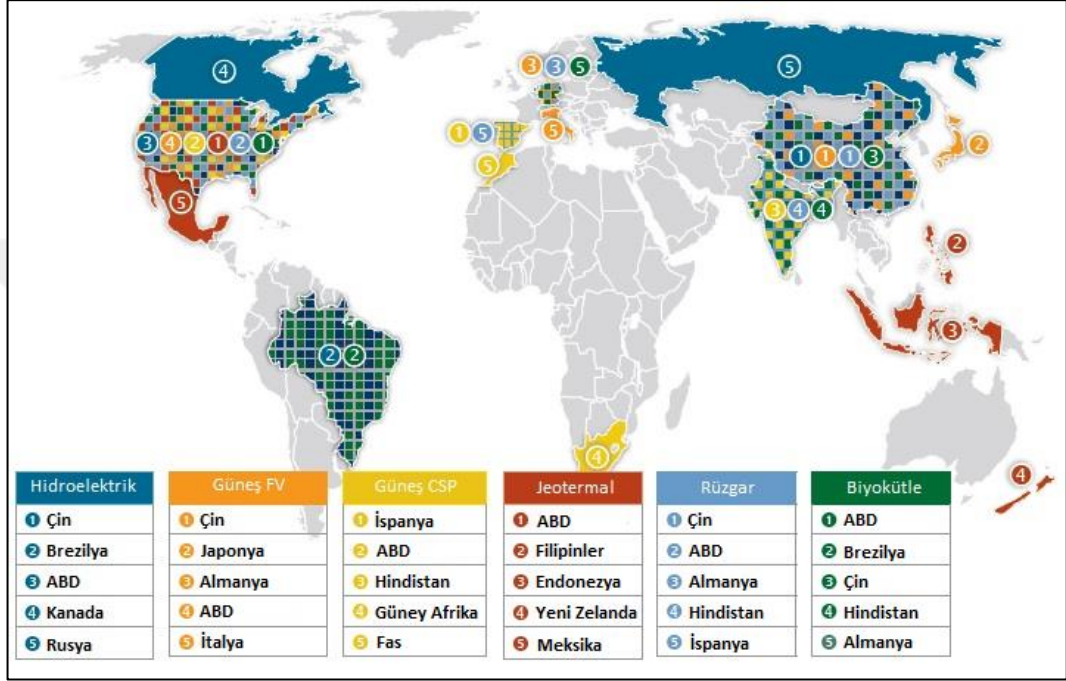
Şekil 2.3. Güneş kulesinin çalışma prensibi ve Türkiye'de kurulan ilk güneş kulesi, Mersin.

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere bu sistemlerde (CSP) güneş ışınlarını termal, mekanik enerji ve ardından elektrik enerjisine dönüştüren güneş kuleleri vardır. Güneş kulelerinin ortasında bulunan tüp şeklindeki yapılardan geçen su, ısıtılır ve elde edilen buhar sistem içerisindeki türbinleri döndürerek elektrik üretilmesini sağlar [20].

Fotovoltaik (FV) sistemler güneş enerjisinden kullanılan paneller aracılığıyla doğrudan elektrik üretilmesini sağlar. İhtiyaç duyulan enerjiyi karşılayabilmek için birbirine bağlı fazla sayıda panele ve yeterli alana ihtiyaç duyar. Güneş enerjisinin sürekli olmadığı düşünüldüğünde elektrik üretilmeyen zamanlardaki kullanım için FV sistemlere elektrik depolama ünitesi de ihtiyaç duyulabilmektedir.

2.2. DÜNYA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAPASİTESİ VE KURULU GÜCÜ

Son yıllarda dünya yenilenebilir enerji kapasitesi istikrarlı bir şekilde artış göstermiştir. Kümülatif kurulu güç 2016 yılında bir önceki yıla göre %9,1 artış göstermiştir (Bkz. Şekil 2.2).



Şekil 2.4. Yenilenebilir enerji elektrik kapasitesi açısından en iyi beş ülke [9].

Yenilenebilir enerji kaynakları, 2016 dünya elektrik üretiminin yaklaşık olarak %26'sını karşılamıştır [9]. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi Çin, kümülatif yenilenebilir enerji kurulu gücünde öncü ülke konumundadır. Çin, özellikle rüzgâr, şebekeye bağlı güneş FV ve hidroelektrik enerji kümülatif kapasitesinde ilk sırada yer almıştır. İspanya güneş- buharlı elektrik enerjisi CSP kurulu gücünde öncülük eden ülke pozisyonundadır. Jeotermal ve biyokütle enerjisi kurulu gücünde ABD ilk sırada yer alan ülkedir. Ayrıca, Amerika kümülatif yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesinde ikinci öncü ülke pozisyonundadır [9,21].

Çizelge 2.1. Dünya yenilenebilir enerji kapasite göstergeleri 2016-2017 [21].

	2016 (GW)	2017 (GW)
Yenilenebilir enerji kapasitesi (Hidro enerji dahil)	2 016	2 195
Yenilenebilir enerji kapasitesi (Hidro enerji dahil değil)	922	1 081
Hidroelektrik kapasitesi	1 095	1 114
Biyokütle kapasitesi	114	122
Jeotermal güç kapasitesi	12,1	12,8
Güneş enerjisi FV kapasitesi	303	402
Güneş enerjisi (CSP- güneş kuleleri) kapasitesi	4,8	4,9
Rüzgar enerjisi kapasitesi	487	539

Çizelge 2.1’de 2017 yıllı yenilenebilir enerji dünya kümülatif kapasitesi, bir önceki yıla göre %8,9 artarak 2 195 GW’a ulaştığı görülmektedir. Güneş FV enerji, 2017 yılında kurulan yenilenebilir kaynakların %55’ini oluşturmaktadır. Rüzgâr ve hidroelektrik enerji ise %29’luk kapasite eklemesi ile 2017 yılı yenilenebilir enerji kaynakları arasında 2. sırada yerini almıştır.

2006-2017 yılları verilerine göre, yenilenebilir enerji kapasitesinde en çok büyümeyi sağlayan enerji kaynakları, güneş ve rüzgardır. Bu kaynakları sırasıyla biyokütle, jeotermal ve hidroelektrik enerji takip etmiştir [21].

2.3. TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ VE HEDEFLERİ

Türkiye yenilenebilir enerji konusunda oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Çizelge 2.2’de Türkiye’nin 2018 yılı Ağustos ayı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü, yıllık elektrik üretimi ve potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli [22–24].

	Kurulu Güç 2018 yılı (MW)	2023 Kurulu Güç Hedefi (MW)	Potansiyel
Hidroelektrik	28 106,2	36 000	158 TWh/h
Rüzgâr	6 742,4	20 000	48 000 MW
Güneş	4 792,9	5 000	1 500 kWh/m ² -yıl
Biyokütle	622,5	1 000	20 Milyon TEP
Jeotermal	1 163,6	1 000	31 500 MWt 2000MW

Verilere göre hidrolik enerji kurulu gücü 28 106,2 MW' tır. Bu kaynağı rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle enerjisi izlemektedir.

2018 yılının ilk yarısı sonu itibariyle Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre; %32'si hidrolik enerji, %26,4'ü doğal gaz, %21,4'ü kömür, %7,7'si rüzgar enerjisi, %5,4'ü güneş enerjisi, %1,3'ü jeotermal enerji, %5,8'i ise diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır [23].

Dünya teorik hidroelektrik potansiyelinin %1,5'i, Avrupa teorik potansiyelinin ise %17,6 'sına sahip olan Türkiye, bölge (Avrupa) ülkeleri içerisinde Rusya'dan sonra en büyük ikinci potansiyele sahip ülke konumundadır. Ülkelerin hidroelektrik potansiyelini geliştirme açısından değerlendirilmesi yapıldığında, teknik potansiyelinin %86'sını ABD, %78'ini Japonya, %72'sini Norveç, %56'sını Kanada ve %37,3'ünü Türkiye kullanmaktadır [25]. Türkiye'nin teorik hidroelektrik üretim potansiyeli (tüm akar kaynakların %100 verimle kullanılması) 433 milyar kWh, ekonomik açıdan yatırım yapılabilir olarak değerlendirilen hidroelektrik potansiyeli 158 milyar kWh/yıl'dır. Türkiye'de yapımı devam etmekte olan hidroelektrik santrallerle birlikte toplam kurulu hidroelektrik gücünün 47 573 MW olması beklenmektedir [25].

Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü kapasitesi 2017 yılsonu itibariyle 539 581 MW olarak gerçekleşmiştir [21]. Bu kapasitenin %35'ine Çin sahiptir. Çin'i ABD, Almanya ve Hindistan takip etmektedir [18]. Türkiye farklı bölgeleriyle farklı iklim koşullarına sahip olması nedeniyle rüzgâr enerjisi açısından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle Marmara ve Ege Bölgesi sahilleri rüzgâr enerjisinin kullanılabilirliği açısından önemli bölgelerdir. Türkiye'deki ilk rüzgâr santrali İzmir-Çeşme'de kurulmuştur. Şu anda işletmedeki rüzgar santrali (kurulu) sayısı 152'dir [26]. Bu santrallerin kurulu gücü 6 106,05 MW'tır. Tesislerin bölgelere göre dağılımına bakıldığında Ege Bölgesi %38,92; Marmara Bölgesi %34,49; Akdeniz Bölgesi %14,55; İç Anadolu Bölgesi %8,76; Karadeniz Bölgesi %2,83; Güneydoğu Anadolu Bölgesi %0,45 olduğu görülmektedir [26].

Biyokütle enerjisi potansiyelinin %85'i gübre gazından, kalanı ise katı atık düzenli depolama sahası gazından elde edilir. Gübre gaz potansiyelinin %50'si koyundan, %43'ü büyük baş ve %7'si kümes hayvanlarından elde edilmektedir [27].

Türkiye'deki jeotermal kaynakların %94'ü düşük ve orta sıcaklıktadır [17]. Bu enerji; ısıtma, termal turizm ve mineral elde etmek için kullanılabilir. Geriye kalan %6'luk kısım ise elektrik enerjisi üretimi için kullanıma uygundur [17,28]. MTA yaptığı çalışmalarda ülkemizde 234 jeotermal saha tespit etmiştir [28]. Elde edilen verilere göre Türkiye'nin jeotermal kurulu gücü 2016 yılı verilerine göre 821 MW'e iken, 2017 yılında 860 MW'e olarak gerçekleşmiş ve 5 000 MWt olan kullanılabilir ısı kapasitesi vardır [29].

2.3.1. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yaklaşımı

Türkiye'de yenilenebilir enerji üretimine verilen önem sürekli artmaktadır. Kaynakların kullanılmasına ilişkin çalışmalar, kanunlar ve belirlenen hedeflerle desteklenmektedir. Yenilenebilir enerji kanunuyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımlanması ve ülkemizde bu kaynakların kullanılarak elektrik üretiminin sağlanması konusunda bazı teşvikler getirmiştir. Değişen ülke dinamiklerine uyum sağlamak için 6094 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile revize edilmiştir [30]. Böylece ilgili teşvikler enerji kaynağı temelinde çeşitlendirilerek, bu konuda ulusal geliştirmelerin yapılmasının önü açılmıştır.

Türkiye'nin 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynakların kullanılmasına yönelik başlıca hedefleri [31]:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının yükseltilmesi,
- Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek hidroelektrik potansiyelin tamamının elektrik üretiminde kullanılması,
- Rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20 000 MW'a çıkarılması,
- Elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesinin 110 000 MW'ın üzerine çıkarılması,

- Toplam elektrik üretiminin 400 milyar kWh'ye yükseltilmesi olarak özetlenebilir.

Ayrıca belirlenen 2019 hedeflerine bakıldığında [31,32]:

- Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim santrallerinin toplam kurulu gücünün 46 710 MW'a çıkarılması,
- Jeotermal enerjisinden elektrik üretimi açısından kurulu gücün 1 000 MW'a çıkarılması,
- Hidrolik santral kurulu güç toplamının 32 000 MW'a çıkarılması,
- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı kurulu gücün 3 000 MW'a çıkarılması hedefleri de vardır.

Yapılan kanuni düzenlemeler ve hedefler, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretilmesinin teşvik edilmesi, çevreci-ekonomik enerji üretiminin sağlanması ve enerji üretiminde dışa bağılılığın azaltılması açısından oldukça önemlidir.

2.3.2. Güneş Enerjisi Potansiyeli Açısından Türkiye'nin Durumu

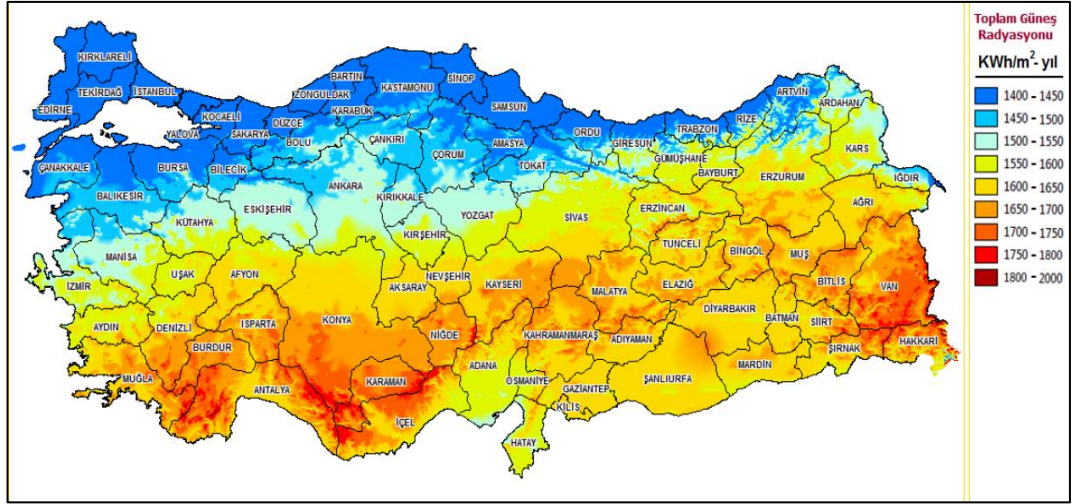
Türkiye'nin coğrafi konumu itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli dünyanın birçok ülkesine göre oldukça yüksektir. Güneşten dünyaya gelen enerji miktarı yaklaşık olarak 170 milyon MW/saniyedir [4]. Ülkemizin enerji üretiminin 100 milyon MW/yıl olduğu düşünülürse, bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisinin ülkemizde üretilen yıllık enerjinin 1700 katı olduğu görülür [33]. Bu durum güneş enerjisinin yenilenebilir kaynak olarak değerlendirilmesinin hem ülkemiz hem de dünya ekonomisi açısından oldukça önemli olduğunu göstermektedir [33]. Çizelge 2.3'de Türkiye'nin bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli, Türkiye [33].

	Yıllık Güneşlenme Ort. Saat/yıl	Aylık Güneşlenme Max saat/ay	Aylık Güneşlenme Min saat/ay	Güneş Enerjisi kWh/m²,yıl
Güneydoğu Anadolu	3 016	407	126	1 491,2
Akdeniz	2 923	360	101	1 452,2
İç Anadolu	2 712	381	98	1 432,6
Ege	2 726	371	96	1 406,6
Doğu Anadolu	2 693	373	165	1 398,4
Marmara	2 528	351	87	1 144,2
Karadeniz	1 966	373	82	1 068,3

Çizelge 2.3 incelendiğinde Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgesinin en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip olan iki bölge olduğu görülür. Bu bölgeleri sırasıyla İç Anadolu, Ege, Doğu Anadolu, Marmara ve Karadeniz bölgeleri izler. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli 110 (2 640 saat) gündür. Ülkemizde gerekli yatırımların yapılması halinde yılda ortalama 1 100 kWh/m²'lik enerji teknik olarak üretilebilir durumdadır [34].

Türkiye’de güneş ışınımının, bölgesel kaynak etkinliğini görebilmek amacıyla bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Şekil 2.5’te verilen “Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) “Enerji İşleri Genel Müdürlüğü” (EİGM) tarafından oluşturulmuştur. Oluşturulan atlasla kullanılan parametrelerin hesaplanmasında EİGM ve “Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü” (DMİ) istasyonları 1985 – 2006 yılını kapsayan 22 yıllık; saatlik güneş ölçümü verileri kullanılmıştır [34].



Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi radyasyon haritası [34].

GEPA’da m^2 ’ye düşen kW elektrik üretimi açısından üretim verimliliği en fazla olan bölgeler koyu kırmızıdır. Ortalama üretim düştükçe belirtilen renkler turuncu, sarı yeşil ve koyu mavi olacak şekilde değişim göstermektedir.

GEPA ile yapılan çalışmalara göre ülkemizde yaklaşık 56.000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerjisi potansiyelinin bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmesi mümkün olduğu hesaplanmıştır [34].

BÖLÜM 3

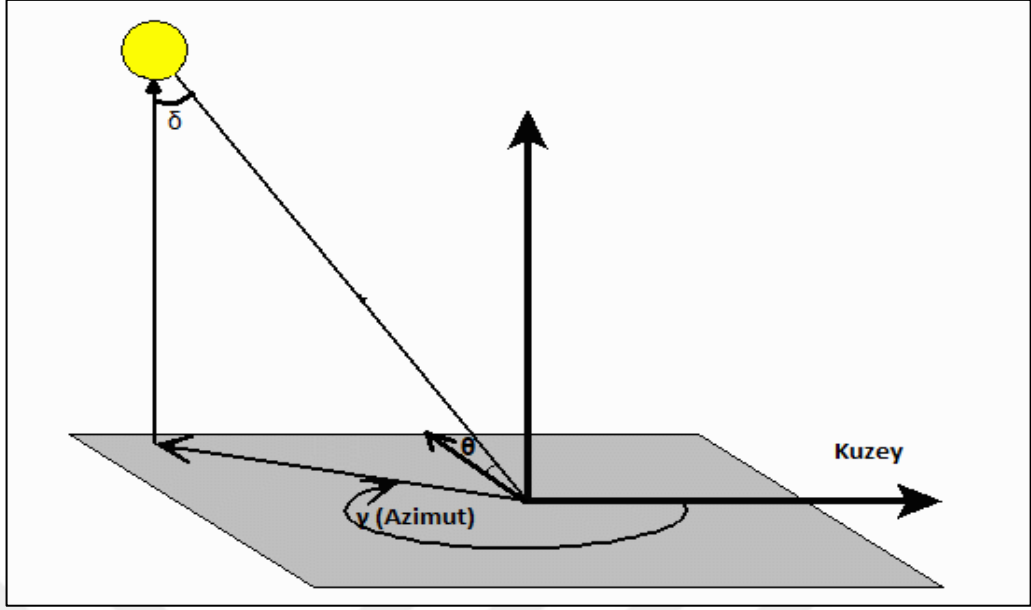
GÜNEŞ VE FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ

Güneş, Dünya için oldukça önemli ve sınırsız bir kaynaktır. Fotovoltaik enerji konusuna geçilmeden önce Güneş enerjisinin anlaşılması önemlidir. Bu nedenle öncelikle güneş enerjisi konusuna değinilmiştir.

Güneşten gelen enerji ışınıdır. Dünya'ya gelen güneş ışınları atmosferde yansıma ve soğurma yoluyla etkilenip yer yüzüne güneş radyasyonu olarak ulaşır. Güneş ışınlarının bir kısmı yeryüzünde bazı cisimlere çarparak yansır, bu yansımaya da "Albedo" denir [35].

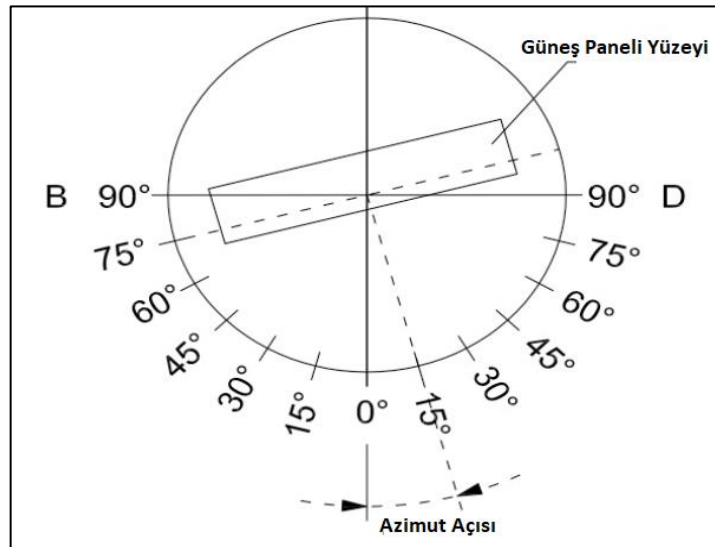
Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisini matematiksel olarak; metrekare başına düşen watt (watt/m^2) olarak ifade etmek mümkündür. Işınım belirli bir zamanı ifade ediyorsa Wh/m^2 şeklinde saatlik olarak da gösterilebilir.

Güneş ışınlarının Dünya yüzeyiyle yaptığı farklı açılar vardır. Bu açılar bölgeye göre güneş enerjisinden en uygun şekilde faydalanmayı sağlayacak sistemlerin kurulmasında kullanılır. Açılar Şekil 3.1'de verilerek aşağıda açıklanmıştır [36].



Şekil 3.1. Güneş ışınlarına ilişkin açılar.

- Yüzey Azimut Açısı (γ): Yüzey dikeyinin yerel boylama göre izdüşümünü gösteren açıya denir. Açı $-180^{\circ} \leq \gamma \leq 180^{\circ}$ aralığında değişim gösterir. Doğu yönüne bakan yüzeylerde artı, batıda eksi değer alır. Güneye bakan yüzeylerde azimut açısı sıfırdır. Ülkemiz kuzey yarımkürede yer almaktadır. Ülkemizin ekvatorun kuzeyinde kalması durumu, kurulacak en verimli sistemin güney bakılı olmasını gerektirmektedir [36]. Şekil 3.2’de azimut açısının belirlenmesine yönelik panel yerleşimi örneği verilmiştir.



Şekil 3.2 Azimut açısı.

- Geliş Açısı (θ): Yüzeye gelen güneş ışınının yüzeyin dikisi ile yapmış olduğu açıya denir.
- Deknilasyon Açısı (δ): Mevsimlere göre güneş ışınlarının dünyaya geliş açısını ifade eder. Güneş ışınlarının ekvator düzlemiyle yapmış olduğu açı olarak da tanımlanabilir [36].

3.1. GÜNEŞ ENERİSİNİN VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KULLANIMININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Güneş enerjisi kullanımının M.Ö. 1700'li yıllarda güneş saatinin yapılmasıyla başladığı düşünölmektedir. Güneş ve elektrik konusu 19. yüzyılda araştırma konusu olmaya başlamıştır [37]. Becquerel ve diğeri araştırmacıların 19. yüzyılda yaptığı çalışmalarda güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürme, önemli bir araştırma konusu olmuş ve bazı nesnelere güneş ışığı altında elektrik üretebildiğinin keşfedilmesiyle de araştırmalar hız kazanmıştır. İlk güneş pili 1890'lı yıllarda üretilmiş ve gelişimini sürdürmüştür. Fotovoltaik göze verimliliği 20. yüzyılın başlarında %1 iken 1954 yılında güneş enerjisinden elektrik üretiminde bir dönüm noktası olan silikon kristal gözelerin yapılmasıyla %5'in üzerinde verimlilik sağlanmıştır [38].

Bu gelişmeleri takiben yapılan fotovoltaik güç tasarımları uzay araçlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş ve bu alanda güvenilir bir kaynak olmuştur [35]. Güneş pili sistemlerinin karada kullanılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar 1950'li yıllarda başlamıştır. Silikon kristalinin verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar; daha ucuz üretilen, daha az yarı iletken malzeme kullanılmasına imkan sağlayan ince film güneş pillerinin geliştirilmesini sağlamıştır [35].

Geleneksel elektrik üretim yöntemlerinin yanında güneş enerjisinden elektrik üretimi yakın geçmişte oldukça maliyetli bir alternatif olarak görölmekteydi. Günümüzde Güneş enerjisine yönelik geliştirme ve desteklerin de etkisiyle fotovoltaik sistemler, güç üretiminde gelecek vaat eden bir alternatif olmuştur [18].

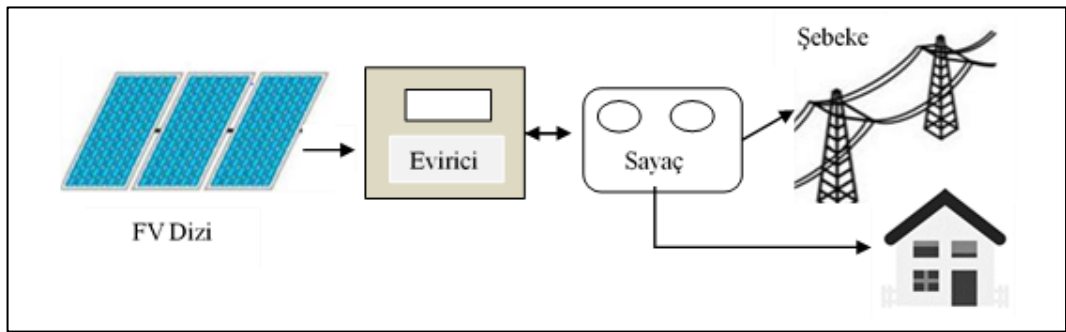
3.2. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ

Fotovoltaik enerji sistemleri, içerisinde bulunan yarı iletken malzemeler sayesinde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir [39,40]. Fotovoltaik teknoloji içerisinde yer alan güneş pilleri, doğrudan elektrik üretimini sağlayan hücrelerdir. Standart bir güneş pili, birden fazla yarı iletken tabakadan oluşur [39]. Yarı iletken tabaka olarak çoğunlukla silikon kullanılır. Tek hücreden elde edilen elektrik enerjisi oldukça düşüktür. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerde birden fazla hücrenin birleştirilmesiyle oluşan güneş panelleri kullanılır [40].

Fotovoltaik enerji sistemleri elektrik üretimi sırasında sadece güneşten yayılan ışınları elektrik enerjisine dönüştürdükleri için, sera gazı yaymazlar. Hava kirliliğine yol açmadıkları gibi tamamen çevreci sistemlerdir [39].

3.2.1. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları

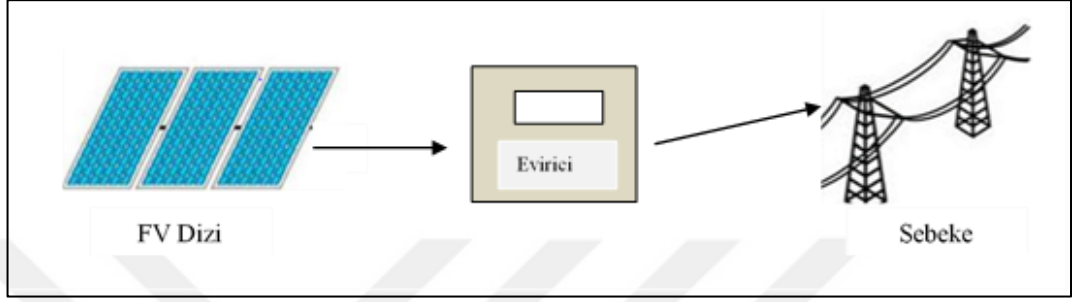
Fotovoltaik sistem teknolojisinin, şebeke bağlantılı “On-Grid” ve şebeke bağlantısız “Off- Grid” olmak üzere temel iki uygulaması vardır. Fotovoltaik uygulamalar kullanım amacına göre farklılaştırılma esnekliğine sahiptir [41]. Temel sistem uygulamaları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.3. Şebekeye bağlı müstakil sistemler.

Şekil 3.3'te şebekeye bağlantılı müstakil sistem örneği verilmiştir. Sistemde çift yönlü sayaç aracılığıyla, fazladan üretilen enerjinin elektrik dağıtıcısına satışı ve üretimin olmadığı akşam saatlerinde dağıtıcıdan enerji temini sağlanmaktadır. Bu sistemler;

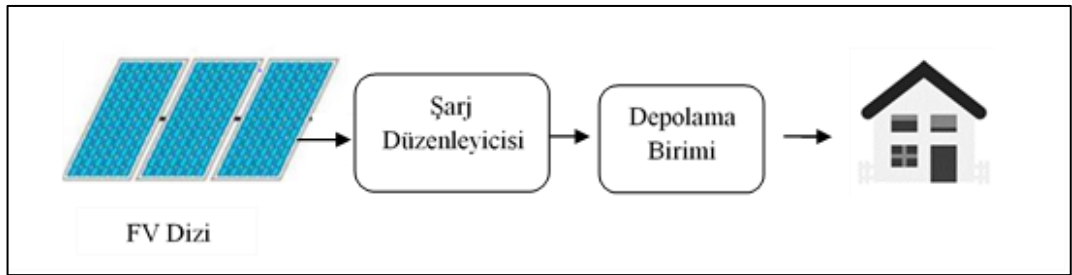
çatıya veya araziye kurulabilir. Sistem niteliğine göre sağladıkları karlılık ile kendini ödeyebilen sistemlerdir. Şebekeye bağlantılı olarak kurulan FV sistemler ürettiği fazla elektrik enerjisini şebekeye verebileceği gibi sadece elektrik şebekesine satılmak üzere elektrik üretimi de yapabilen sistemlerdir [18]. Şebekeye bağlı üretim sistemi temel görüntüsü Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Şebekeye bağlı üretim sistemleri.

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere sistem temel olarak FV diziler, eviriciler ve bunların bağlı olduğu şebeke sistemlerinden oluşur. Temel hedef, elektrik enerjisinin üretilerek satılmasıdır.

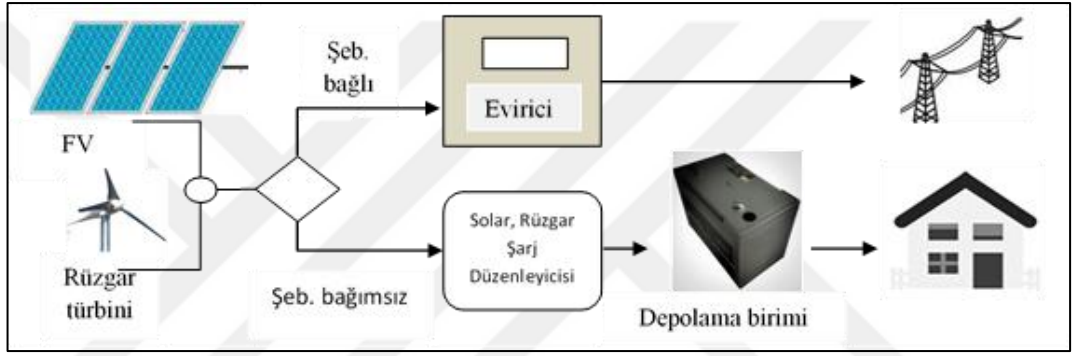
Şebekeden bağımsız FV sistemler; ana elektrik şebekesiyle bağlantısı olmayan sistemlerdir [18]. Bu sistemler, şebeke elektriğine ulaşımın olmadığı; dağ evi, bağ, bahçe gibi kırsal alanlarda kullanılması için oldukça uygundur. Ayrıca; trafik uyarı ışıkları, şehir içi reklam panoları gibi hizmetlerin ihtiyaç duyduğu enerji, bu sistemlerle sağlanabilmektedir [41]. Şekil 3.5’te şebekeden bağımsız olan bir evin temel düzeyde elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Şebekeden bağımsız sistemler.

Bu sistemlerde ihtiyaç duyulan enerji sadece güneşten sağlanmaktadır. İhtiyaç fazlası olarak üretilen elektrik, üretimin yapılamadığı zamanlarda kullanılmak üzere uygun akü birimlerine depolanır (Şekil 3.5). Sistemdeki akülerin sağlıklı bir şekilde şarj edilmesi ve elektriğin dağıtılması için şarj düzenleyicisi kullanılır.

Ayrıca, Fotovoltaik sistemler ek olarak bağlanacak rüzgâr türbinleri veya dizel jeneratör ve benzeri yenilenemeyen kaynaklarla beraber kullanılabilir. Bu şekilde oluşturulan sistemlere hibrit elektrik üretimi sistemi denir [18]. Şekil 3.6'da rüzgâr-güneş hibrit sistemi elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Rüzgâr ve fotovoltaik hibrit sistemler.

Şekil 3.6'da verilen hibrit sistemler, kullanım amacına göre şebekeye bağlanabilen yapıda veya depolama ünitesiyle desteklenerek bağımsız yapıda kullanım esnekliği sunmaktadır. Şebekeden bağımsız tasarlanan bir hibrit sistemde üretim mekanizmaları, şarj düzenleyicileri, depolama birimleri ve iletim sistemlerinden oluşmaktadır. Şebeke bağlantılı hibrit sistemler de üretim birimleri, evirici ve diğer şebeke elemanlarından oluşmaktadır

3.2.2. Fotovoltaik Sistem Elemanları

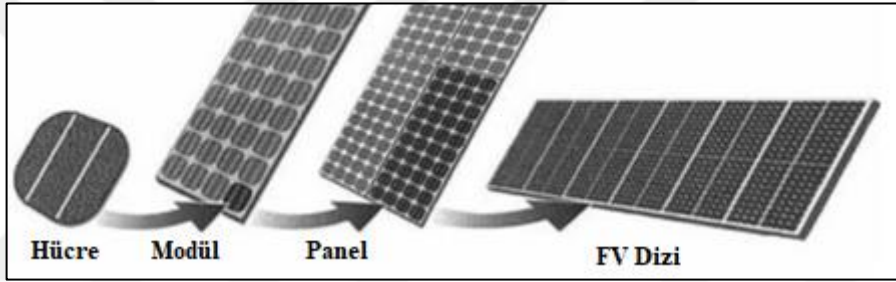
FV sistemlerin temel elemanı güneş enerjisinden elektrik üretilmesini sağlayan fotovoltaik hücrelerdir. Üretilen elektriği doğru akımdan alternatif akıma dönüştüren, elektrik enerjisini taşıyan, sistem güvenliğini, izlenebilirliğini ve üretilen elektriği depolamayı sağlayan diğer sistem elemanları üretim amacına göre sisteme dahil

edilmektedir [40]. Temel üretime yönelik; fotovoltaik panel, evirici, iletim kabloları ve diğer sistem elemanları aşağıda verilmiştir.

Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik paneller bir grup güneş pilinin bir araya gelmesiyle oluşur. Paneller genellikle 36 güneş pili kullanılarak oluşturulmaktadır. Farklı kullanımlarda bu sayı 80 adet güneş piline ulaşabilmektedir [37].

Fotovoltaik sistemlerin ev ve buna benzer bireysel müstakil uygulamalarından elektrik ihtiyacını karşılamak için 10-15 panel genellikle yeterli olmaktadır. Daha büyük enerji üretimleri için yüzlerce fotovoltaik dizi kullanılır [18].



Şekil 3.7. Fotovoltaik hücre, panel, dizi.

Fotovoltaik diziler, bir grup FV panelin birleştirilmesiyle oluşturulur. FV diziler, özellikle Güneş tarlası gibi çok büyük elektrik enerjisi üretimi sağlayan uygulamalarda kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücre, panel ve dizi Şekil 3.7’de ayrı ayrı verilmiştir.

Evirici

Fotovoltaik paneller doğru akım (DC) üretmektedirler. Elektrığın sanayi ve ev tipi tüketimlerde kullanılabilmesi için alternatif (AC) akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Evirici, güneş panelinin ürettiği doğru akım gücünün alternatif akım gücüne dönüştürülmesinde kullanılır [35,37]. Elektrik tüketimi yapan cihazların alternatif akım gücünü kullanması nedeniyle FV sistemlerde evirici kullanımı gereklidir.

Diğer sistem elemanları

FV sistemin güvenliğine ve performansına etki eden diğer sistem elemanları aşağıda belirtilmiştir [18,37].

- Elektrik iletim kabloları: Güneş enerjisiyle üretilen elektriğin iletilmesinde kullanılır. Panellerin ömürleri gözetilerek üretildikleri için oldukça dayanıklıdır. Genellikle -40 °C ve +120 °C aralığındaki sıcaklıklara dayanıklı olarak üretilirler [37].
- Devre kesicileri: Üretilen doğru akım ve alternatif akımın sistem içerisinde güvenliğinin sağlanmasında kesici görevi üstlenirler. Sistemde ayırma ve koruma özellikleri vardır. Sistemde Doğru akım kesicilerin, güneş paneli ve evirici arasında; güneş paneli dizisi ile sistem arasında ayırıcı görevi olduğu gibi, panel dizisini hata sonucu oluşabilecek hasarlardan korumak için akım kesici görevi de vardır. Alternatif akım kesicileri, eviricinin tek veya çok (multi) girişli (fazlı) olma durumuna göre değişiklik gösterebilir [37]. Sistemin enerji üretimi değerleri sürekli değişim gösteren akımının kontrolü için kullanılırlar.
- Montaj yapıları: Güneş panellerinin arazi, sanayi tesisleri, bina uygulamalarında panellerin yerleştirilmesinde kullanılan özel modüler yapılardır.
- Konektör: Kabloların birbirine bağlanmasında kullanılan bağlantı elemanlarıdır. Kullanılan kabloların dayanıklılığına benzer özellikleri sağlamaları ve su geçirmez yapıda olmaları beklenir [18].
- Yıldırım koruma ünitesi: FV sistemler açık alana kuruldukları için yıldırıma maruz kalabilirler. Yıldırım koruma üniteleri, yıldırımın oluşturabileceği yüksek gerilim hasarını önlemek için kullanılırlar [18].

3.3. FOTOVOLTAİK HÜCRE TEKNOLOJİLERİ

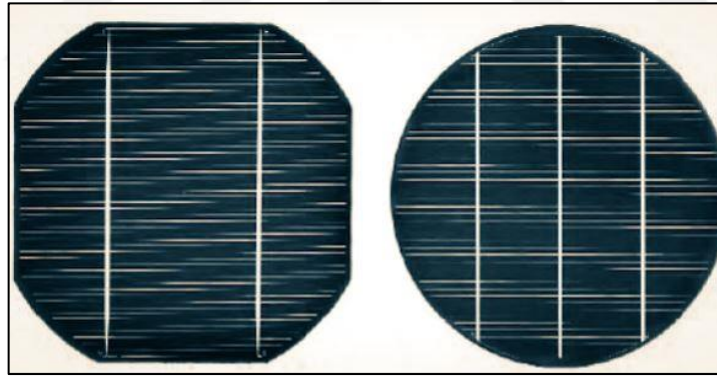
Fotovoltaik hücreler, ince silikon ve ince film hücre teknolojileri olarak iki temel grupta incelenir [39]. Belirtilen hücre teknolojileri takip eden alt başlıklarda incelenmiştir.

3.3.1. Kristal Silikon Hücreler

Kristal silikon hücre teknolojisi, fotovoltaik uygulamalarda kullanılan en yaygın teknolojidir. Üretiminde kullanılan Silisyumun Oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan element olması ve yarı iletken olması, kristal silikon hücrelerin FV hücre üretimindeki tercih nedenlerinin arasındadır. Standartlaştırılmış %25'e kadar ulaşan verim, güvenilirlik ve 20-25 yıllık kullanım ömrü de bu teknolojinin kullanım oranını olumlu yönde etkilemektedir [39]. Dünya fotovoltaik pazarının %90 ila %95'lik kısmını bu teknolojiyle üretilen çözümler oluşturur. Kristal silikon hücrelerin, monokristal ve polikristal olmak üzere iki tipi vardır [40].

Monokristal silikon hücre

Fotovoltaik panel üretiminde kullanılan en eski hücre tipidir. Polikristal hücreye ve ince film hücre teknolojilerine göre daha pahalı olmasına rağmen, diğer hücre teknolojilerine göre biraz daha yüksek verimliliğe sahiptir [42].



Şekil 3.8. Monokristal hücreler.

Ayrıca, Monokristal pillerden laboratuvar koşullarında %25, ticari panellerde ise %18'in üzerinde verim elde edilebilmektedir [42]. Monokristal hücrelerin renkleri maviden siyaha doğru değişim gösterebilmektedir. Şekil 3.8'de verilen monokristal hücreler farklı şekillerde üretilmektedirler.

Polikristal silikon hücre

Polikristal hücreler, monokristal hücrelere göre daha ucuz olmasına rağmen, %14-%17 gibi daha düşük verimliliğe sahiptir [42]. Hücreler çok kristalli yapıda olduklarından yüzeye gelen ışıklarda yansımalar meydana gelir. Bu yansımalar genellikle yansımayı önleyen (antirefleksif kaplama) tabakalar yardımıyla önlenmektedir.

3.3.2. İnce Film Teknolojisi

İnce film teknolojisi, ışığı daha iyi soğuran ve 1 mikron kalınlığında olan yenilikçi bir teknolojidir [43]. Düşük maliyeti ve kısa tedarik süresiyle sektördeki önemi artmıştır. Şekil 3.9'da bir örneği verilen ince film modülleri, birkaç fotovoltaik malzeme katmanının bir destek malzemesiyle entegre kullanımıyla üretilmektedir. Bu teknolojinin daha düşük maliyetli FV malzemeleri kullanılması ve düşük üretim maliyetleri sağlamaktadır. Ayrıca, düşük ışınım ve bulutlu günlerde etkin üretim sağlayabilmektedir [40]. Verimlilik ve estetiğe yönelik kullanım avantajları nedeniyle, bina yüzeylerinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bu avantajların yanı sıra, ince film teknolojisi 15 yıldan daha az kullanım ömrüne sahiptir [40].



Şekil 3.9. İnce film teknolojisi.

Dört tip ince film modülü vardır. Bunlar [40,43];

- Amorf silikon (Düzensiz silikon)
- Kadmiyum Tellürid (CdTe)

- Bakır İndiyum Selenid (CIS)
- Çoklu bağlantı hücreleri (Bakır İndiyum Galyum Diselenid – CIGS) dir.

Bakır İndiyum Selenit ve çoklu bağlantı hücresi ince film modülleri hafiftir ve genellikle entegre fotovoltaik sistemler oluşturmak için tercih edilirken, kadmiyum tellürit ince film güneş pilleri sektörde en çok kullanılanlardır. İnce film teknolojisi verimlilikleri; Amorf silikon için yaklaşık %6 -%9, çoklu bağlantı hücreleri için %8-%19 ve Kadmiyum tellürid için %9 – %20 aralığındadır [43].

3.3.3. Kristal Silikon Hücreler ve İnce Film Teknolojisinin Karşılaştırılması

Her iki fotovoltaik teknolojinin de kullanım alanları kurulum yeri ve çevresel koşullara göre farklılık gösterebilmektedir. İnce film teknolojisi yüksek sıcaklıklarda kristal silikon hücrelere oranla verim düşüşü daha azdır. Nispeten sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu bölgelerde kristal silikon hücrelerin ikamesi olarak kullanılabilir düzeydedir.

İnce film teknolojisi kristal silikon hücrelere oranla daha az yer kaplayan tedariki daha kolay bir alternatif olsa da kullanım ömrü açısından dezavantajlıdır. Kristal silikon hücrelerin 25 yıla kadar verimli kullanım ömrünün olduğu, ince film 15 yıldan daha az kullanım ömrü olduğu bilinmektedir [39].

Verimliliğin ve maliyete yönelik kullanım ömrünün önemli olduğu büyük ölçekli elektrik üretimi yatırımlarda kristal silikon hücreli panellerin kullanılması daha uygundur. Estetiğe yönelik olan, az yer kaplaması beklenen, havanın kapalı olduğu günlerde dahi belirli düzeyde ihtiyaca cevap veren ve özellikle panel teknolojisinin daha az verimli olacağı veya uygulama alanı yetersizliği nedeniyle kullanılmasının mümkün olmadığı bina cephe uygulamalarında, ince film kullanılması daha uygundur. Ayrıca, hesap makinesi gibi az enerji tüketen küçük aletlere enerji sağlamak için ince film teknolojisi entegrasyonu panel teknolojisine göre daha avantajlı olmaktadır [41].

Bina uygulaması, elektrik üretim santrali veya müstakil kullanım için kullanılacak panel teknolojisini belirlemede; projenin çevresel koşulları, projenin amacı gibi özel

durumların dikkate alınması gerekmektedir. Teçhizat pazarında en çok kullanılan hücre tipinin kristal silikon hücre olması, ince film teknolojisine oranla daha verimli ve uzun süreli elektrik üretimi sunması, projelerde kristal silikon hücrelerin tercih edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, monokristal-polikristal silikon hücreler arasında çok büyük verimlilik farklarının olmaması ve polikristal hücrenin maliyet avantajının bulunması, polikristal hücreye uygulama avantajı sağlamaktadır [43].

3.4. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ENERJİ ÇIKTISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE ENERJİ ÜRETİMİ HESAPLAMASI

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında meydana gelen kayıpların hesaplanması, sistemin verimliliğine yönelik olarak istenen kurulu güce ulaşma ve gerekli panel ihtiyacının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bu başlık altında fotovoltaik sistemlerin enerji çıktısına etki eden faktörlere değinilmiş ve bu faktörlere ilişkin ulaşılan referans değerlerle örnek bir sistemin panel ihtiyacı hesaplaması sunulmuştur.

3.4.1. Enerji Çıktısına Etki Eden Faktörler

FV uygulamalarında kullanılan teçhizat, uygulamanın yapıldığı bölgenin coğrafî ve çevresel koşulları modül performansını etkilemektedir. Modül üreticileri, üretilen modülleri; standart test koşulları altında 100 – 300 watt doğru akım değerleri arasında değişkenlik gösteren, 1000W/m² güneş ışınımının olduğu ortamda ve 25°C güneş pili sıcaklığında derecelendirmektedirler [41,44]. Modül derecelendirmesi temelinde, modülün belirli koşullarda sağladığı performans, yıllık performans kayıpları ve modül kullanım ömrü konusunda tüketiciye bilgi vermek vardır. Böylece belirli koşullarda modülün üretim performansının üretime etkisi tahmin edilebilir.

Sistem performansını etkileyen çeşitli çevresel, teknik faktörler ve kayıp sonrası kullanılabilir güç katsayıları aşağıda belirtilmiştir [41,45].

- Sıcaklık faktörü: Özellikle hava sıcaklığının yüksek olduğu günlerde modüllerin aşırı ısınması söz konusudur. Bu durumda modül üretkenliğinde

azalma beklenir. Bu azalmayı açıklayabilmek için, yüksek sıcaklığa ilişkin performans kaybı sonrası üretilebilen enerji standart bir faktörle 0,89 olarak önermektedirler [41].

- **Kir ve toz faktörü:** Güneş paneli üretim performansı, zamanla meydana gelen kirlenme ve tozlanmadan etkilenmektedir. Zamanla oluşan kir ve toz faktörüne ilişkin belirlenen standart üretilen enerji azaltma katsayısı 0,93 olarak verilmiştir [41].
- **Doğru akımdan alternatif akıma dönüşüm kaybı (DC-AC):** Üretilen doğru akım elektriği evirici aracılığı ile alternatif akıma dönüştürülürken güç kayıpları meydana gelir. Bu işlemler için belirlenen standart dönüşüm kaybı katsayısı 0,90'dır [41].
- **Güneş açısı faktörü:** Güneş açısı gün içerisinde sürekli değişim göstermektedir. Farklı bölgelerde güneşlenme sürelerinin farklılıkları da dikkate alındığında uygulama bölgelerinde maksimum enerji üretiminin sağlanması için panellerin optimum açılarla yerleştirilmesi gerekmektedir [35].
- **Kablolama ve uyumsuzluk kayıpları:** Kablolama ve uyumsuzluk kayıpları için belirlenen standart kayıp katsayısı 0,95'tir [45]. Tek bir modülün üretebileceği en yüksek enerji ile FV dizisinin üretebileceği en yüksek enerjiden fazladır. Bu durum modüller arasında meydana gelebilecek tutarsızlıklardan ve yapılan birleştirmeden uyumsuzluklardan kaynaklanır.

Enerji çıktısına etki eden faktörlerin etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda, oluşan enerji kayıplarına yönelik standart değerler hesaplanmıştır [41,45]. Kullanılan parça ve zorlu çevresel koşulların etkisi, hesaplanan değerlerde sapmalara neden olabilir.

3.4.2. Ortalama Güneş Enerji Üretiminin Hesaplaması

Yıl içerisinde üretilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanması yapılacak olan projenin başarısı açısından oldukça önemlidir. Ortalama enerji üretiminin hesaplanabilmesi için FV panellere gelen güneş radyasyonu miktarı, radyasyon miktarına göre panelin ürettiği elektrik enerjisini hesaplanmalıdır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için

sistemin kurulacağı bölgenin “En yoğun güneşlenme süresinin” hesaplanması gerekir [35].

En yoğun güneş saatleri birim m² alandaki güneş ışımalarının 1 kWh olduğu saatlerdir. Bir örnek verilecek olursa günde 8 kWh/m² güneş ışımaları alan bir yerin en yoğun 8 saat güneşlendiği söylenebilir. Bu hesaplamayı farklı bir yolla aşağıdaki gibi formüle edilir [35].

$$\text{En yoğun güneş saatleri} = \frac{\text{Toplam güneş radyasyonu [Wh/m}^2 \text{ veya kWh/m}^2 \text{ yıl]}}{\text{Yoğun güneş saatleri üretimi [Wh/m}^2 \text{ veya kWh/m}^2 \text{ yıl]}} \quad (3.1)$$

Ortalama enerji üretimini hesaplamak için de aşağıdaki formül kullanılır [35].

$$\text{Ortalama enerji üretimi} = \text{Yoğun güneş saatleri} \times \text{Nominal güç} \times 365 \quad (3.2)$$

Belirlenen sistemin istenilen kapasiteye ulaşması için kullanılacak fotovoltaik panellerin sayısının hesaplanması da gerekmektedir. FV panellerin belirtilen nominal watt değerleri çeşitli faktörlerden etkilenecek değer kaybına uğrayabilir. Bu nedenle gerekli olan panel sayısı önceki bölümde açıklanan sistem kayıpları da göz önünde bulundurularak hesaplanmalıdır. FV panellerin net watt miktarının belirlenmesinin ardından ihtiyaç duyulacak panel sayısı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Panel sayısı} = \frac{\text{Ortalama enerji üretimi [yıl]}}{\text{Bir panelin ortalama enerji üretimi [yıl]}} \quad (3.3)$$

Fotovoltaik panellerin üretim alanında kapladıkları alan da ortalama üretimin belirlenmesi açısından önemlidir. Paneller marka ve hücre sayısına bağlı olarak 1-2 m² alan kaplamaktadırlar. Panellerle ilgili bu veriler üreticiler tarafından belirtilen değerlerdir.

Hesaplanan panel sayısı net watt miktarının belirlenmesinin ardından yıl içerisindeki ortalama yoğun güneş saatleriyle çarpılarak ortalama yıllık üretim hesaplanabilir. Takip eden (3.4) formülünde vermektedir.

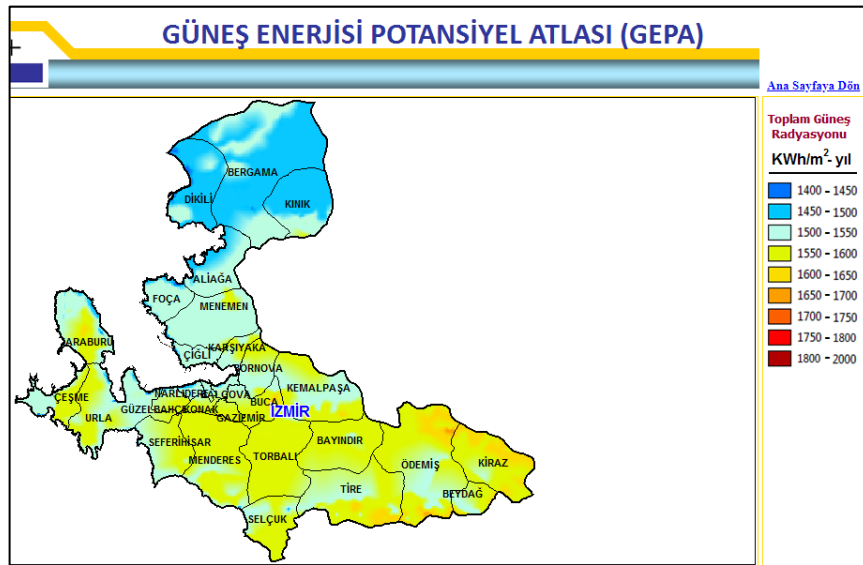
Ortalama üretilen enerji =

$$\text{Panel sayısı} \times \text{Enerji üretimi (panel saat)} \times \text{Yoğun güneş saatleri} \times 365 \quad (3.4)$$

Fotovoltaik güç hesaplama uygulaması

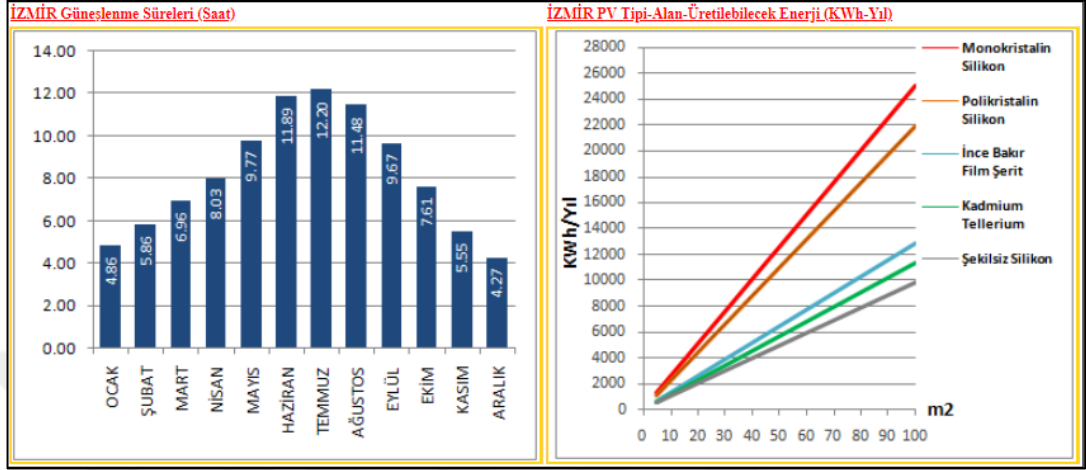
Bu bölümde, yukarıda belirtilen formüllerin uygulanmasına yönelik olarak; belirlenen bir bölgede, belirli bir kurulu güce ulaşma hedefi için kullanılması gereken panel adedinin program kullanmaksızın hesaplandığı örnek bir uygulama verilmiştir. Hesaplamalar; bölgenin yoğun güneş saatlerinin hesaplanması ve yoğun güneş etkisinde hedeflenen kurulu güçle yıl içerisinde üretilebilecek enerjinin hesaplanmasıyla sürdürülmüştür. Ardından, çevresel faktörlere bağlı olarak yaşanan birim panel üretim kayıpları hesaplanarak, bir panelin yıl içerisinde aynı üretim bölgesinde üretebileceği ortalama elektrik enerjisi hesaplanmıştır. Belirlenen kurulu güçte ulaşılan yıllık üretim miktarı, birim panelin yıllık üretimine bölünerek ihtiyaç duyulan panel sayısı hesaplanmıştır. Sistemde kullanılacak olan güneş panelinin özellikleri, kurulacak bölgeye ilişkin GEPA verileri ve yıllık ortalama güneşlenme saatleri aşağıda özetlenmiştir.

İzmir ilinde 1 500 kW kurulu güce sahip olacak bir sistemin örnek bir hesaplaması yapılmıştır. Uygulamada 250 watt-saatlik nominal üretim gücüne sahip 60 hücreli kristal silikon güneş paneli kullanılmıştır.



Şekil 3.10. İzmir ili yıllık toplam güneş radyasyonu GEPA [34].

Örnek hesaplama ile ilgili güneş radyasyonu GEPA verileri İzmir için Şekil 3.10'da verilen yeşil ve sarı alanların haritadaki yoğunluğu dikkate alınarak $1\,575\text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ olarak belirlenmiştir [34].



Şekil 3.11. İzmir ili aylık güneşlenme süreleri ve güneş paneli tipine göre üretilen enerji miktarı GEPA [34].

GEPA atlasında farklı panel türlerinin birim m^2 alanda saatlik üretilenleri elektrik miktarı verilmiştir. Şekil 3.11'de İzmir ili için yıllık kW bazında üretimi verilen panellerden en verimlisinin yoğun güneş saatleri üretimi $24\,500\text{ kWh-yıl}/100\text{ m}^2$ yani 245 kWh/m^2 olduğu verilmiştir. Şekil 3.11'deki GEPA verilerine göre İzmir'in ortalama güneşlenme süresi de 8,19 saat- gündür.

Sistem ve bölge verileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Toplam güneş radyasyonu: $1\,575\text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$
- Yoğun güneş saatleri üretimi: $245\text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$
- Ortalama güneşlenme Süresi: 8,19 Saat-gün
- Panel voltajı: 250 Watt
- Kurulu güç: 1 500 kW (1,5 MW)
- Panel (Modül) alanı: $10\,000\text{ m}^2$

Panellerle ilgili çeşitli faktörlere bağlı kayıp değerleri bir önceki bölümde bahsedilmiş olan değerler kullanılarak hesaplanacak olup katsayıları aşağıda belirtilmiştir.

- Sıcaklık Faktörü: 0,89 (0,11 kayıp)
- Kir ve Toz Faktörü: 0,93 (0,7 kayıp)
- DC- AC dönüşüm kaybı faktörü: 0,90 (0,10 kayıp)
- Kablolama kayıpları: 0,95 (0,05 kayıp)

1. Aşama; Yoğun Güneş Saatlerinin Hesaplanması

Toplan güneş radyasyonunun panel yoğun güneş saatleri üretimine bölünmesiyle (3.1) denkleminde olduğu gibi hesaplanır.

$$\text{Yoğun güneş saatleri} = \frac{1\,575 \text{ kWh/m}^2}{245 \text{ kWh/m}^2} = 6 \text{ saat}$$

Yapılan hesaplama sonucunda yoğun güneş saatleri 6 saat olarak bulunmuştur.

2. Aşama; Yıllık Ortalama Enerji Üretimi Hesaplaması

En yoğun güneş saatleri hesaplamasının ardından, yıllık ortalama enerji üretimi; yıllık toplam takvim günü, yoğun güneş saatleri ve sistem kurulu gücünün kW cinsinden değerinin çarpılmasıyla (3.2) denkleminde olduğu gibi hesaplanır.

$$\text{Ortalama enerji üretimi} = 6 \times 1500 \times 365 = 3\,285\,000 \text{ kWh/yıl}$$

3. Aşama; Panel Sayısının Hesaplanması

Panel sayısı hesaplanmadan önce çevre ve diğer faktörlerden kaynaklanan kayıplar sonucu birim panelin üreteceği saatlik net watt değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu kayıplar sonrası 250 watt saat nominal üretim kapasitesi olan bir panelin saatlik watt değeri; sıcaklık, kir ve toz, DC-AC dönüşüm kaybı, kablolama kaybı faktörlerinin panel nominal watt değeriyle çarpılmasıyla bulunur.

$$\text{Net panel Watt değeri} = 0,89 \times 0,93 \times 0,90 \times 0,95 \times 250 = 177 \text{ Wh}$$

İzmir'in günlük ortalama güneşlenme süresi Şekil 3.11'deki GEPA verileri kullanılarak 8,19 saat olarak hesaplanmıştır. 365 takvim gününde 2 989,35 saat güneşli saati olan İzmir'de bir panel (2 989,35 x 177 Wh) yılda 529 053 watt elektrik üretimi

yapar. İhtiyaç duyulan panel sayısı, kurulu güce bağı olarak hesaplanan ortalama yıllık enerji üretiminin bir panelin yıllık üretimine bölünmesiyle hesaplanır.

$$\text{Panel sayısı} = \frac{3\,285\,000 \text{ kWh/yıl}}{529\,053 \text{ W}} = \frac{3\,285\,000\,000 \text{ W}}{529\,053 \text{ W}} = 6\,210 \text{ adet}$$

Hesaplama sonucu gösteriyor ki 3 613,5 MWh/yıl enerjiyi üretebilmek için ortalama 6 210 adet panelin kullanılması gerekmektedir.

3.4.3. Panel Yerleştirme ve Modül Alanı

Şebeke bağlantılı sistemler için panel yerleştirilmesi yapılırken dikkat edilmesi gereken önemli noktalar vardır. Özellikle panellerin birbirine paralel bir şekilde konumlandırılması sonucunda panel yüzeyinde oluşabilecek gölgelenmenin azaltılması/yok edilmesi, sistem içerisindeki uygun panel serisinin yerleşimiyle sağlanmaktadır. Ayrıca; panel bakımının yapılabilmesi ve arızalara kolay müdahale edilebilmesi için, uygulama alanında iyi bir güneş paneli dizisi konumlandırılmasının yapılması oldukça önemlidir.



Şekil 3.12. Niğde GES örneği ve örnek panel yerleşimi [46].

Panel serisi, birden fazla güneş panelinin birbirine seri bağlanması sonucu oluşturulmaktadır. Serilerin uygun destek malzemeleriyle desteklenerek bölge için belirlenen uygun açıyla konumlandırılması için kullanılan sabit mekanizmaya “Modül masası”, serilerde bulunan güneş panellerine de “Modül” adı verilmektedir. Yapılan bu tanımlamalar ilerleyen bölümlerde de kullanılmıştır.

Şekil 3.12’de işletilmekte olan bir GES ve örnek panel yerleşimi verilmiştir. Niğde’de 100 000 m² araziye kurulan 5 MW kurulu güce sahip GES Şekil 3.12-1’de görülmektedir. GES’in kurulu alanı 80 000 m² dir. Her ünite 1 MW güce sahip olan GES’te yıllık ortalama 10 MW üretim hedeflenmektedir [46].

Birbirine paralel olarak yerleştirilen güneş paneli serileri Şekil 3.12’de 2 ile numaralandırılan kısımda görülmektedir. Serilerin her birinde 20 adet güneş paneli bulunmaktadır. Montaj mekanizmalarına yerleştirilen güneş paneli sayısı tercihe göre değiştirilebilmektedir.

Şekil 3.12’de de görüldüğü üzere üretim alanlarında panel için ayrılan alanların yanı sıra; evirici, trafo, ulaşımı sağlamak için yol, tesisi kontrol için gerekli olan bina ve ekipmanlarına da yer ayrılması gerekmektedir. Bu alanlar projenin büyüklüğü ve niteliğine göre değişim göstermektedir. Alt başlıkta örnek bir sistem yerleşimi verilmiş ve kullanılacak; modül, modül alanı ve yapılabilecek elektrik üretimi hesaplanmıştır.

3.4.4. Panel Yerleştirme, Modül Sayısı ve Modül Alanı Hesaplama

Bu alt başlıkta modül yerleşimine ilişkin temel hesaplamalar verilmiştir. Daha sonra çalışmanın uygulama aşamasının bir kısmını oluşturan Saha 1’de konumlandırılacak olan güneş paneli sayısının belirlenmesine yönelik hesaplamalar yapılmıştır.

Yan yana konumlandırılacak modül masası sayısına; uygulama alanının genişliğinin, modül masasının genişliği ile yan yana konumlandırılacak modüller arasında boş bırakılacak mesafenin toplamına bölünmesiyle ulaşılır. İlgili denklem (3.5) aşağıda verilmiştir.

$$\text{Yan yana modül masası sayısı} = \frac{\text{Uygulama alanı genişliği}}{\text{Modül M.genişliği} + \text{Boşluk mesafesi}} \quad (3.5)$$

Birbirine paralel olarak konumlandırılacak modül masa sırası sayısına; uygulama alanının uzunluğunun, toplam paralel boşluğa bölünmesiyle bulunur. İlgili denklem (3.6) aşağıda verilmiştir.

$$\text{Paralel modül masası sayısı} = \frac{\text{Uygulama alanı boyuna uzunluk}}{\text{Modül masası izdüşümü} + \text{bırakılan boşluk}} \quad (3.6)$$

Belirli bir alan için kullanılacak olan modül-sabitleme mekanizması sayılarına; yan yana belirli aralıklarla konumlandırılacak modül sıraları ve birbirine belirli uzaklıklarda paralel olarak konumlandırılacak panel sıralarının hesaplanmasının ardından, ulaşılan yatay ve dikey sıraların birbiriyle çarpılmasıyla ulaşılr.

Saha 1 modül yerleştirme hesaplamaları

Bu çalışmanın uygulama bölümünün bir kısmını oluşturan saha 1'in modül yerleştirmesine ilişkin parametreler aşağıda tanımlanmıştır. Örnek, bu parametreler üzerinden yapılacak hesaplamalarla sürdürülmüştür.

Saha 1; 246 metre genişliğe, 180 m uzunluğu olan 44 280 m² modül yerleştirme alanına sahiptir. Üretim alanının modül yerleştirmesi Güney bakılı (Azimut açısı 0⁰) olacak şekilde yapılmıştır.

Definition of a PV module			
Basic data		Sizes and Technology	
Description Solarturk Energy. Poly 250 w 60 Cells			
Module		Cells	
Length	1640 mm	In series	60
Width	992 mm	In parallel	1
Thickness	40.0 mm	Cell area	243.4 cm ²
Weight	18.50 kg	Total nb. cells	60
Module area	1.627 m²	Cells area	1.46 m²

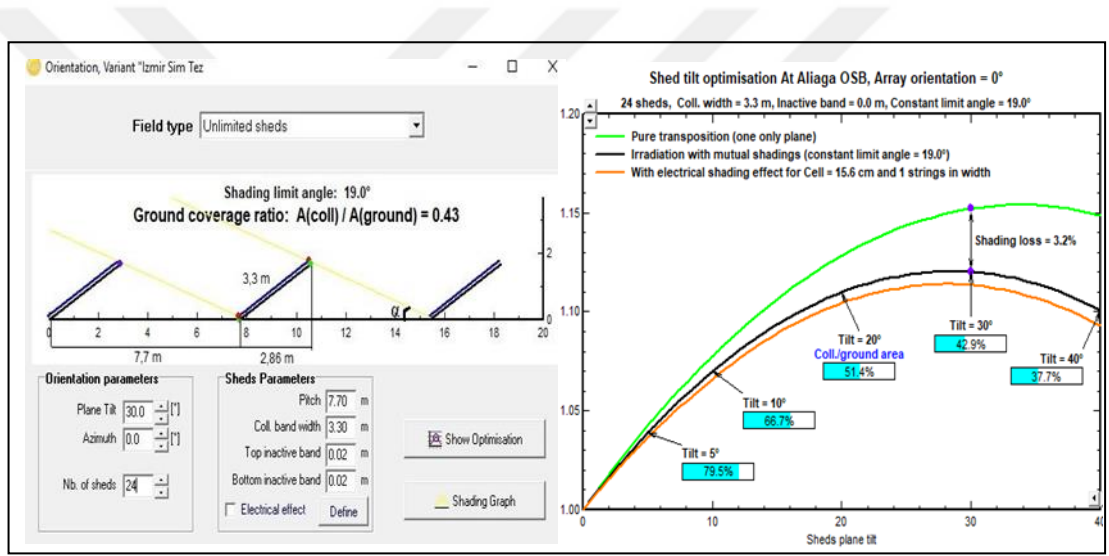
Şekil 3.13. Kullanılan panelin fiziki özellikleri [44,47].

Şekil 3.13'te belirtilen Polikristal 250 watt nominal güce sahip 60 hücreli panelin uzunluğu 1,640 metre, genişliği "0,952 ≈ 1 metre", modül alanı 1,627 m² 'dir.

Hesaplamalar modül alanı ve modül genişliği ve uzunluğu verileri kullanılarak yapılmıştır.

Kullanılacak modül masası 12 metre genişliğe ve 3,3 metre uzunluğa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu ölçülere iki sıra panel (1,640 panel metre boyu x 2=3,28 m) ve her sıraya 10 adet panel yerleştirilebilmektedir.

Proje uygulayıcılarıyla yapılan görüşmeler ve örnek saha ziyaretleri sonucu; modül masalarının iki yanında çerçeveler dahil 0,5 metre, toplam 1 metre boşluk bırakılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.14. Modül masası konumlandırma ve paralel yerleşim gölgeleme kaybı.

Şekil 3.14'te PVsyst programındaki modül masasının yerleştirilmesine ilişkin yerleştirme şekli parametreleri; α 19° gölgeleme limitini, "Pitch" masalar arasındaki toplam uzaklığı, "Coll board width" modül masasının uzunluğunu "Number of sheds" gölgelemecek paralel masaları, "Plane tilt" modül masası eğim açısını ifade eder.

Modül masalarının arasına bırakılacak mesafeler; bakım onarım, modül temizliğinin daha verimli sağlanması, gölgeleme kayıplarının kabul edilebilir seviyede tutulması ve özellikle iş güvenliğinin sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Şekil 3.14'te örnek veri girişi ve sonuçları görülmektedir. Eğim 25-35 derece aralığında, paralel uzaklık 2,5 – 5 metre aralıklarında denenerek simüle edilmiştir. Programda belirlenen uygun paralel uzaklık 4 metredir. Bölge için kullanılan eğim açısı Özdemir (2013), Bakırcı (2012), Günerhan ve Hepbaşı (2007), referanslarında İzmir için ulaşılan eğim açısı hesaplama sonuçları PVsyst programında denenerek 30⁰ olarak belirlenmiştir. Eğim açısı hesaplanırken Moghadam ve diğ (2011), Benghanem (2011) referanslarında yapılan eğim açısı hesaplamaları da dikkate alınmıştır. Şekil 3.14'te örnek veri girişi görülmektedir [35,48–51].

Saha 1'de kullanılan modül sayısını belirlemek için yapılan hesaplamalar; Şekil 3.14'te girilen değerler ve uygulama alanı boyutları kullanılarak aşağıdaki hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Paralel modül masası sayısı} = \frac{180 \text{ m}}{7,7 \text{ m}}$$

Denklem (3.6) kullanılarak üretim alanında 23 paralel modül sırası bulundurulabileceği hesaplanmıştır.

$$\text{Yan yana modül masası sayısı} = \frac{246 \text{ m}}{12 \text{ m} + 1 \text{ m}}$$

Denklem (3.5) kullanılarak hesaplanan uygulama alanında yan yana konumlandırılacak modül masası sayısı 19'dur.

Alanda konumlandırılacak toplam modül masası sayısı, yan yana konumlandırılacak modül masası sayısı ile paralel konumda yerleştirilebilecek modül masası sayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır. Uygulama alanında "19 x 23" 437 tane modül masası konumlandırılmıştır. Her modül masasında 20 adet panel (modül) olduğundan uygulamada, "437 x 20" modül toplam 9 120 adet güneş paneli yerleştirilmiştir.

Toplam modül alanı belirtilen bir güneş panelinin alanı ile uygulamada kullanılan modül sayısı çarpılarak hesaplanır. Örnek çalışmanın toplam modül alanı Şekil 3.13'te

belirtilen 1,627 m² 'lık tek modül alanıyla kullanılan 8 740 adet panelin çarpılması sonucu 14 219,98 m² olarak hesaplanmıştır.

Uygulama alanında kullanılacak panel sayısının hesaplanmasının ardından 3.4.2. bölümünde verilen ortalama enerji üretimi formülleri kullanılarak yıllık ortalama elektrik üretimi de hesaplanabilir.



BÖLÜM 4

GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIM ANALİZİ TEKNİKLERİ VE TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIMLARININ DESTEKLENMESİNE YÖNELİK YASAL YAPISI

Bu bölümde sonraki bölümlerde gerçekleştirilecek uygulamaya yönelik olarak simülasyon uygulamasının haricinde kullanılacak olan yatırım analizi tekniklerine değinilmiştir. Daha sonra devletin yenilenebilir kaynaklara yönelik sunduğu teşvikler verilmiştir.

4.1. YATIRIM ANALİZ TEKNİKLERİ

Fotovoltaik yatırımları analiz etmek için kullanılacak sermaye bütçeleme teknikleri bu başlık altında açıklanmıştır.

4.1.1. Yatırım Getirisi Oranı Yöntemi

Yatırım getirisi oranı yöntemi, projenin karlı olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan bir hesaplama yöntemidir. “Return on Investment” (ROI) olarak da bilinen yöntem; yatırımın performansını analiz eder [52]. ROI yatırımın faydalı ömrü boyunca karlılığı hesaplanabilmesi için kullanılacağı gibi, belirli bir muhasebe takvimi boyunca karlılık hesaplaması için de kullanılabilir.

Yatırım getirisi oranı net gelirlerin (gelir-maliyet) toplam maliyete bölünmesiyle hesaplanır. Buradaki net gelir vergi ve faiz öncesi net geliri ifade eder. Bu hesaplamadaki maliyet; envanter, ekipman ve nakit alacaklar gibi maliyet kalemleri ve diğer varlıkları içerir (işletme aktifleri). Yatırım geri dönüş oranı formülü aşağıdaki gibi ifade edilebilir [52]:

$$\text{Yatırım getirisi} = \frac{\text{Proje getirisi}(\text{gelir} - \text{maliyet})}{\text{Proje maliyeti}} \times 100 \quad (4.1)$$

Yatırım getirisi projenin faydalı ömrü sonucunda 1'in (100) üzerinde olması projenin yatırım yapılması halinde faydalı ömür sonucunda elde edeceği karı gösterir. Örneğin bir projenin yatırım maliyeti 100 birim-TL olsun. Yatırımın getirisi 1.500 birim-TL olsun. Bu durumda, yatırım getirisi 140 (%140) olarak hesaplanır. Yani, yatırılacak her 100 birim-TL'den 40 TL getiri sağlanacağı söylenebilir.

İncelenen literatürde, fotovoltaik yatırım uygulamaları arttıkça, yatırım için uygun olan getiri oranı da zamanla belirleneceği yönünde olacağına değinilmiştir. Yatırım karlılığı pozitif nakit akışında 1 (%100) ve üzerinde olması proje için olumlu bir sonuçtur. Varsa alternatif yatırımlarla karşılaştırma yapılarak uygun yatırım kararı alınabilir [52].

4.1.2. Yatırım Geri Ödeme Süresi

Yatırım geri ödeme süresi, enerji yatırımları alanında kullanımı yaygın olan bir göstergedir. Bir yatırımın geri dönüş süresi; fırsat maliyeti ve paranın zaman içerisindeki değeri göz ardı edildiğinde oluşan net yatırımın geri ödenmesi için gerekli olan süre olarak tanımlanabilir [35]. Ayrıca, yatırım anından itibaren projenin kâr etmeye başladığı zaman olarak da ifade edilebilir.

Geri ödeme süresi yöntemi kârlılığın ölçülmesinde kullanılmamakta olup, sadece yatırımın kâr'a geçeceği zamanın belirlenmesine yönelik yorumlanabilir sonuçları sunmaktadır. Projelerin geri ödeme süreleri kısaltıkça, yatırıma yönelik risklerin azalması ve likiditenin artması beklenir [35,37].

Geri ödeme süresi aşağıdaki formül ile ifade edilebilir [37];

$$\text{Geri ödeme süresi} = \frac{\text{Yatırım tutarı}}{\text{Yıllık kar}} \quad (4.2)$$

Geri ödeme süresi; yapılan yatırım tutarının, yıllık net kara bölünmesiyle hesaplanır. Formül yıllık nakit akışının değişmeyeceğini varsayarak projelerin finansal olarak karşılaştırılmasını sağlar.

4.2. TÜRKİYE’NİN GES YATIRIMLARININ DESTEKLENMESİNE YÖNELİK YASAL YAPISI

Devlet teşvikleri, ülke içerisinde ekonomiye katkıda bulunabilecek potansiyel alanları desteklemek amacıyla düzenlenir. Yenilenebilir enerji alanı yüksek başlangıç maliyetlerinin olması nedeniyle teşvik politikalarına ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması ve yatırımcıların teşviki için birçok ülke teşvik mekanizması geliştirmiştir. Bu bölümde Türkiye’nin elektrik enerjisi üretimine ilişkin kanunları ve Güneş enerjisinden elektrik üretimi destek mekanizması incelenmiştir.

4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile Türkiye’nin elektrik piyasa faaliyetleri düzenlenmektedir [53]. Aynı kanunun birinci maddesinde; Her türlü elektrik üretimi, dağıtım, satışı, ithalatı ve ihracatı, diğer tüm işlemlerin “Enerji Piyasası Denetleme Kurumuna” (EPDK) bağlanarak yürütülmesi kararlaştırılmıştır [53].

Güneş enerjisi santrallerinin kurulması ve işletilmesine ilişkin genel hükümler; 10.05.2005 tarihli, 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanılmasına Dair Kanun (YEK)” da belirlenmiştir [11]. Ayrıca, YEK’te diğer yenilenebilir kaynaklardan da elektrik enerjisi üretilmesi konusundaki genel hükümler mevcuttur. YEK kanunu kamu ve hazine arazilerinde yenilenebilir kaynak kullanımını veya verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilecek imara yönelik düzenlemeyi yasaklamaktadır [11]. YEK kanunu uyarınca; yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi yapan tüzel kişilere “Yenilenebilir enerji Kaynak Belgesi/YEK belgesi” verilerek, enerji ticaretinde üretilen enerjinin kaynağının belirlenmesine ve takibine yönelik sertifikasyon yapılması sağlanmıştır [11].

5346 sayılı YEK kanunu ile tüm yenilenebilir kaynakları alımları için alım fiyatı 5,5 Avro-sent/kWh olarak belirlenmiştir [11]. Belirlenen alım garantili fiyatlar özellikle

güneş enerjisinden elektrik üretimine ilişkin yapılacak olan yatırımları sabit yatırım maliyetlerini karşılayamaması gibi nedenlerle olumsuz yönde etkilemiştir [54].

“4628 Elektrik Piyasası Kanunu” Türkiye’deki yatırım ortamının geliştirilmesi amacıyla 14.03.2013’te “6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu” olarak yenilenmiştir [53,55]. Yenileme ile GES’e konu olan bazı değişiklikler aşağıda verilmiştir [53,55]:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik üretimde tesis kurulu gücüne bağlı şirket kurma ve lisans alma muafiyeti 500 kW’tan 1 MW’a çıkartılarak, genişletilmiştir. Böylece yenilenebilir enerji üretimlerinde şirket kurma ve lisans alma zorunluğu 1 MW ve üzeri kurulu güce sahip üreticileri kapsar hale gelmiştir.
- Sadece kendi ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan, şebekeye elektrik vermeyen yenilenebilir enerji tesislerine bir sınırlama getirilmemiştir.

Ayrıca yapılan diğer düzenlemeler ile; yenilenebilir enerji tesislerinin dağıtım sistemine aynı noktadan bağlanması koşuluyla, birden fazla binadan oluşan tesisler, tek bir üretim tesisi olarak kabul edilebilmesinin yolu açılmıştır [55].

4.2.1. YEK Kanun Değişikliği ve Elektrik Alımı Teşvikleri

08.01.2011 yayın tarihli, 6094 Sayılı; “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanılmasına Dair Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile yenilenebilir enerji teşvik mekanizmasına önemli yenilikler getirilmiştir. Bu değişiklikler [11,30];

- Her yenilenebilir enerji kaynağı için eşit olmamak suretiyle yeni sabit fiyat garantisi getirilmiştir. Üreticiler (gerçe veya tüzel kişilik) ürettikleri elektrik enerjisini dağıtım sistemine göndermeleri halinde Çizelge 4.1’deki cetvelde sabit alım fiyatlandırmasından 10 yıl süre ile faydalanabileceklerdir.
- Lisans sahibi üreticiler işletmeye başlanan tesislerinde kullandıkları mekanik, elektro-mekanik aksamın yurt içinde üretilmesi halinde, üretim tesislerinden

iletim/dağıtım sistemine gönderdikleri elektrik enerjisine Çizelge 4.1'deki fiyatlara ek olarak, Çizelge 4.2'de yer alan yerli malzeme katkı ilavesi eklenerek sabit fiyat garantisi sağlanmıştır.

- Yatırım ve işletme halinde olan (2020 yılına kadar kurulacak, ilk 10 yıl) tesislerin; kira, irtifak hakkı ve diğer kullanım izni bedellerinde %85'lik indirim uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. YEK kanunu devlet fiyat garantisi I sayılı cetvel [30].

I Sayılı Cetvel	
Yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisi tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD doları cent/kWh)
Hidroelektrik üretimi tesisi	7,3
Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Devletin sağladığı satış fiyatı garantisine ilişkin “I sayılı cetvel” Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yukarıda iki madde ile bahsedilen sabit satınalma fiyatı garantisi bu kanunla 31.12.2015 tarihinden önce işletmeye giren tesisleri kapsarken, “2013/5625 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı” ile 31.12.2020 tarihinden önce işletmeye giren YEK destekleme mekanizmasına tabi YEK belgeli üretim lisansına sahip tesisler olarak genişletilerek teşvik süresi on yıl olarak belirtilmiştir. Aynı bakanlar kurulu kararıyla yukarıda belirtilen yerli teçhizata yönelik desteğin beş yıl süreyle sağlanması kararı alınmıştır [56].

Çizelge 4.2. YEK kanunu devlet fiyat garantisi II sayılı cetvel [30].

II Sayılı Cetvel		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD doları sent/kWh)
Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1-PV Panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2-PV modülleri	1,3
	3-PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4-İnvertör	0,6
	5-PV modül üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,5

Uygulama kısmında Çizelge 4.2'deki II Sayılı Cetvele ilişkin kWh üretim başına alınacak yerli malzeme katkısı, cetvelde bulunan 1,2,3 ve 5 yerli teçhizat kullanımı teşviğinden faydalanılarak 6,1 dolar-sent/kWh hesaplamaya katılmıştır. Uygulamada kullanılan evirici yabancı kaynaklı olduğundan teşviğe dahil edilmemiştir. Böylece uygulama kısmında faydalandırılan teşvikler; ilk beş yıl 13,3 (cetvel I) dolar-sent/kW'a ek olarak 6,1 dolar-sent/kW eklenerek 19,4 Dolar-sent/kW olmuştur. Sonraki beş yıl için 13,3 dolar-sent/kW sabit elektrik alım fiyatı garantisi teşviği sağlanacak şekilde hesaplanmıştır. Devlet sabit fiyat garantisinin bitmesinin ardından fiyat 1.1 Dolar-sent/kW'a sabitlenerek satış getirisi hesabı yapılmıştır [35].

4.2.2. EPDK Elektrik Piyasasında Lisans Almaya Yönelik 2018 yılı Uygulama Kararı

EPDK'nın 2018 yılında uygulayacağı lisans alma bedelleri Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 21/12/2017 tarihli toplantısında belirlenmiş ve üretim faaliyetleri için lisans bedelleri Çizelge 4.3'te verilmiştir [57]. Buna göre;

Çizelge 4.3. 2018 yılı lisans alma bedelleri [57].

Kurulu güç değeri, "P(MW)"	
$0 < P \leq 10$ MW	7 000 ₺
$10 < P \leq 25$ MW	13 800 ₺
$25 < P \leq 50$ MW	20 700 ₺
$50 < P \leq 100$ MW	34 500 ₺
$100 < P \leq 250$ MW	69 000 ₺
$250 < P \leq 500$ MW	138 000 ₺
$500 < P \leq 1000$ MW	207 000 ₺
$P > 1000$ MW	345 000 ₺

- Lisans alma bedelleri; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak üzere alınacak lisanslar için, alınacak bedellerde tabloda belirtilen değerlerin %10'u tahsil edilir.

- Yıllık lisans bedeli üretim yapılan kW başına 0,003 kuruş olarak tahsil edilir (1000kW=1 MW üretim için 3 kuruş) [57].

4.2.3. Organize Sanayi Bölgesinde Yer Alan Parsellerin Tamamen veya Kısmen Bedelsiz Tahsisine İlişkin Devlet Teşviki

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından organize sanayi bölgelerinde yer alan parsellerin tüzel kişilere veya gerçek kişilere kısmi bedelli veya tamamen bedelsiz tahsis edilmesi amacıyla 09.02.2018 tarihinde 30327 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Organize Sanayi Bölgelerinde Yer Alan Parsellerin Tamamen veya Kısmen Bedelsiz Tahsisine Dair Yönetmelik” çıkarılmıştır [58].

Yönetmelik belirtilen tahsise ilişkin koşullar ve uygulamaları kapsamaktadır. Yapılacak tahsisler aşağıda belirtilen istihdam koşullarının sağlanmasıyla yapılabilmektedir [58].

- Gerçek veya tüzel kişilere; 5 000 m²'ye kadar yapılacak olan tahsisler için en az 10 çalışanın,
- Büyüklüğü 5 000 m²'den fazla ve 10 000 m²'ye kadar olan parsellerin tahsisi için en az 20 çalışanın,
- Büyüklüğü 10 000 m²'den fazla ve 20 000 m²'ye kadar olan parsellerin tahsisi için en az 30 çalışanın,
- 20 000 m²'den fazla büyüklüğü olan parsellerin tahsisi için en az 50 çalışanın istihdam edilmesi koşulu vardır.

Yapılan tahsis başvuruları yatırımın niteliği ve istihdamın niteliğine göre değerlendirilerek öncelik sırası oluşturulur ve değerlendirilir [58].

BÖLÜM 5

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Konuyla ilgili literatürde öncelikle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili farklı alanlarda yapılan çalışmalara yer verilmiş, ardından güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmasına yönelik olan çalışmalar incelenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili olarak yapılan başlıca çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Şeker (2010) konvansiyonel (fosil yakıt enerjisi) enerjiye sahip yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının karşılaştırmasının yapılması konusunu ele almıştır. Özellikle Türkiye için birincil enerji kaynağı açısından bir tercih sırası oluşturmayı hedeflemiştir. Karar verme yöntemi olarak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden ANP'yi kullanarak elde ettiği sonuçlar; Türkiye'de birincil enerji kaynağı olarak hidroelektrik santraller ve jeotermal santrallerin elektrik üretimi ve üretilen elektriği şebekeye verilme kolaylığı açısından öne çıktığını, güneş ve rüzgar enerjisinden elde edilen elektriğin ana şebeke sistemleriyle bağlantısının daha zor olduğu sonucuna ulaşmıştır [12].

Kim vd. (2010) çalışmalarında yeşil bina tasarımında öğrenen sistemleri kullanmışlar, bu sistemi ABD'de farklı iklim özelliklerine sahip 15 bölgeye uyarlayarak kullanmışlardır. Karar ağacı gibi veri madenciliği yöntemlerinin kullanıldığı uygulamada; binanın konumu, enerji maliyeti, bölge ortalama sıcaklığı, bina ısıtılması gereken günler dikkate alınmış ortalama nem ve yıllık en düşük sıcaklık verileri uygulama başında dikkate alınmamıştır. Böylece farklı iklim bölgelerinde ortalama sıcaklığın ve ortalama enerji maliyetinin belirli iklim bölgelerindeki bina özelliklerine etki eden faktörlerin önem düzeyi analiz edilmiştir. Çalışmada, bina tasarımına olan iklimsel etkilerin oldukça yüksek seviyede gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir [59].

Aydınlı (2013) yenilenebilir enerjinin geliştirilerek kullanılmasına etki eden faktörleri incelemiş ve bu faktörler arasında hükümet politikalarının etkisi ve teşviklerin rolü üzerinde durmuştur. Panel veri analizi kullanılan ampirik çalışmada, yenilenebilir enerji geliştirmelerinde etkili olan faktörlerin teşvik mekanizmaları da göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi sabit etkiler yöntemi kullanılarak yapılmıştır. OECD Ülkeleri ve belirlenen diğer ülkeler (40 ülke) olmak üzere iki ülke grubu üzerinde yapılan uygulama sonucunda; ithal enerji bağımlılığı, karbondioksit emülsiyonu, fosil kaynaklardan elde edilen enerji payının ve doğal kaynaklardan elde edilen enerjinin toplam kira bedelinin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını olumsuz yönde etkilediği görülürken, yenilenebilir enerji geliştirici politikaların ve gayri safi yurtiçi hasılanın yenilenebilir enerji gelişimi üzerinde olumlu etki yarattığı görülmüştür. Ayrıca çalışmada, yenilenebilir enerjinin kurulum maliyetleri, geleneksel alışkanlıkların değiştirilmesi ve var olan düzenin bozulması gibi engellerle karşılaştığı için geliştirmeyi destekleyen politikaların sınırlı düzeyde kaldığı görülmüştür. Genel bulgularda, politik istikrar ve sürdürülebilirlik etkisinde yapılan yenilenebilir enerji atılımlarında Avrupa Birliği'nin daha etkili olduğu görülmüştür [20].

Mutlu (2013), Dünya ve Türkiye'nin enerji piyasası politikaları, enerji taşıma konusunda Türkiye'nin transit ülke olma rolü konusunda çalışmıştır. Yapılan SWOT analiziyle Ankara ili yenilenebilir enerji sağlama açısından değerlendirilmiştir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve Ankara ilinde yenilenebilir enerji olanakları değerlendirildiğinde; rüzgar enerji potansiyelinin yetersiz olduğu ve güneş santralleri için gerekli teşviklerin yetersiz olduğu ve Ankara ilinin sanayi açısından yenilenebilir enerji üretim ekipmanları sağlama konusunda Türkiye'nin dışa bağımlılığını azaltabilecek potansiyelinin olduğu sonucuna varılmıştır [60].

Ata ve Öcal (2014) çalışmalarında, Dünya ve Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarını ele almışlardır. Manisa'daki yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini bölge verilerini dikkate alarak değerlendirmişlerdir. Manisa ili için yenilenebilir kaynakların kurulu gücü ve potansiyeli yıllara göre verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Araştırmanın genel bulgularında Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin büyük ölçüde kullanılmadığı görülmüştür. Manisa ili için özellikle rüzgâr ve jeotermal enerji üretimi konusundaki potansiyelin diğer yeşil

kaynaklara oranla üretim için değerlendirilmesinin daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır [61].

Arık (2016) çalışmasında bazı Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji kullanımına olan bakış açılarını, bu yönde izlenen ülke politikalarını incelemiştir (Türkiye, İngiltere, Almanya, Danimarka, İsveç, Fransa). Özellikle küresel iklim değişikliklerinin önüne geçilmesi, sera gazı salınımının azaltılması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, temiz ve güvenilir enerji sektörünün oluşturulması için yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi vurgulanmıştır. Temelinde içerik analizi bulunan çalışma literatürü ve politik raporları ele almıştır. Ayrıca, uluslararası organizasyonların ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji eylem planlarına yer verilirken ilgili kurumlardan elde edilen uzman görüşlerine de yer verilmiştir. Araştırma sonucunda incelenen ülkelerin neredeyse tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik olarak teşvik düzeyinin iyi bir seviyede olduğu görülmüştür. Desteklerin özellikle elektrik üretimi yönünde yeterli olduğu ulaşım, ısıtma ve soğutma alanında yenilenebilir enerji kullanımı yönünde teşviklerin yetersiz olduğu görülmüştür. Çalışmada dikkat çekilen bir nokta da enerji şebekesi alt yapısıdır. Bu konuda incelenen ülkeler arasında Türkiye ve Fransa'nın ciddi altyapı problemleri olduğu ve akıllı şebeke sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği; İngiltere, Almanya, İsveç ve Danimarka'nın bu konuda yeterli düzeyde altyapıya sahip olduğu gibi alt sonuçlara da araştırmada yer verilmiştir [62].

Sağiroğlu (2016) çalışmasında, Türkiye'nin illerine ait detaylı elektrik tüketim verilerinden yola çıkarak elektrik ihtiyacının analizi ve yapılabilecek yenilenebilir enerji yatırımları için bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Veri madenciliği metotlarından faydalanılan çalışmada, iller 5 ana grupta kümelenebilir ve kümeleme sonucunda illerin coğrafi koşullarından bağımsız olarak yeni komşuluklara sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca güneş ve rüzgâr enerjisi yönünden illerin potansiyellerine göre komşuluk kümeleri de oluşturulmuştur. Elde edilen verilerin işlenerek kullanılmasında de MATLAB ve Rapid Miner programları ve K-Means, Fuzzy C Means ve Self Organisation Maps kümeleme algoritmalarından faydalanılmıştır. Uygulama aşamasında Fuzzy C Means algoritmasının Rapid Miner programında en kümeleme sonuçlarını verdiği görülmüştür. Çalışmanın bulgularıyla Türkiye'nin 2023

hedefleri doğrultusunda düzenlenen teşvik sisteminin büyük oranda yoruma dayalı olarak çakıştığı görülmüştür. Uygulama ve bulguların ışığında yenilenebilir enerji yatırımlarının veri madenciliği uygulamalarında seçilen algoritma ve paket program değerlendirme, yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarının yapılmasında ihtiyaç duyulan kaynakların optimal faydayla sağlandığı bir karar destek sistemi önerilmiştir [63].

Yenilenebilir enerjiye ilişkin Endüstri Mühendisliği alanında yapılan çalışmalar Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çalışmalar incelendiğinde; yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkemiz açısından genel değerlendirilmesinin yapıldığı ve özellikle rüzgâr, güneş enerjisi konularına dikkat çekildiği görülmüştür. Çalışmalarda genellikle çok kriterli karar verme yöntemleri [64,65], yerel arama algoritmaları, veri madenciliği ve simülasyon uygulamasına yönelik uygulamalara ağırlık verilmiştir [12,66,67]. Ayrıca maliyet analizlerine de bazı çalışmalarda yer verilmiştir[68]. Endüstri mühendisliği alanında yapılan çalışma sayısı uygulama çeşitliliği ve örnek teşkili açısından yeterli olmasa da uygulayıcı ve araştırmacılar için yol gösterici niteliğe sahiptir.

Çizelge 5.1. Endüstri mühendisliği alanında yapılan çalışmalar [12,63,64,66–70].

Yazar	Çalışmanın Konusu	Yılı	Uygulama
Şeker, V.	Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi için kullanımı	2010	ÇKKV (ANP)
Demirtürk, C.	Yenilenebilir enerji yatırım karşılaştırılması	2013	Ekonomik Analiz
Yörükoğlu, H.	Yenilenebilir enerji riskleri	2014	Risk Analizi (Fuzzy-FMEA)
Çolak, M., Kaya, İ.	Türkiye'nin yenilenebilir enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi	2015	ÇKKV (TOPSİS, BULANIK AHP)
Olcan., C.	Güneş radyasyon tahmini	2015	Bulanık Zaman Serileri
Sağiroğlu, Ç	Türkiye lisanssız yenilenebilir enerji yatırımları için karar destek önermesi	2016	Veri Madenciliği, Yatırım karar destek sistemi önerisi
Demirer, A.	Güneş tarlası yer seçimi problemi	2017	ÇKKV (AHP)
Aktaş, A., Kabak, M.	Güneş enerjisi santrali yer seçimi problemi için bulanık karar verme modeli	2018	Melez bulanık karar verme model (Bulanık TOPSİS-AHP)

Yenilenebilir enerji konusunda yapılan çalışmalarda genellikle; çevre duyarlılığı odaklı [61,62,71], ekonomik yönden yapılan değerlendirme ve karşılaştırmaların [20,60] öne çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisinin kullanımına yönelik yenilenebilir çözümlere ilişkin; performans değerlendirme, sistem tasarımı ve FV (Fotovoltaik) sistemlere ilişkin literatür aşağıda özetlenmiştir. Çalışmalarda yapılan uygulamalara ilişkin özet bilgiler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Fotovoltaik uygulamalar ve kullanılan analizler.

Yazar	Kaynak	Şehir/Bölge	Uygulama
Çolak, Ş. Ç., 2010	Güneş	Muğla, İzmir, İstanbul, Münih, Toledo	Simülasyon ve Maliyet analizi
Çubukçu, M.,2011	Hibrit	Muğla, İzmir, Gebze Gökçeada	Simülasyon ve Maliyet analizi
Girgin, M. H., 2011	Güneş	Karaman	Yatırım geri ödeme süresi, İç karlılık oranı/ Fizibilite
Karaca, C. 2012	Hibrit	Konya	Maliyet analizi, Simülasyon
Shivrath Y. Vd., 2012	Hibrit	Hindistan	Maliyet analizi
Sahin, A.Z., Rehman, S., 2012	Güneş	Sudi Arabistan	Maliyet analizi
Özdemir, G.2013	Güneş	Karaman, Niğde, Denizli, Van	Toplam Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC), Yatırım Geri Dönüş Oranı (ROI), Yatırım Geri Ödeme Süresi
Üçgül, İ. vd., 2014	Güneş	Isparta	Net şimdiki değer analizi, Karbon geliri, Yatırım geri ödeme süresi
Demircan, C.,2014	Güneş	Muğla	Veri analizi, verimlilik
Olcan., C., 2015	Güneş	Antalya	Sistem Optimizasyonu
Diantari ve Pujotomo, 2016	Güneş	Endonezya	Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC), proje maliyeti analizi
Gülkokan, O.,2017	Hibrit	Muğla, Berlin	Üretim Simülasyonu (720 tekrar)
Demirer, A., 2017	Güneş	Diyarbakır, Konya, Karaman	ÇKKV(AHP)

Çolak (2010) çalışmasında; FV sistem ile elektrik üretiminin maliyetini, sistemin Türkiye’de kullanımını ve güneş enerjisinden sağlanacak üretimin enerji ithalatına etkisini incelemiştir. Bu amaçla beş farklı bölgede (Muğla, İzmir, İstanbul, Münih, Toledo kurulabilecek 10 MW sistemin maliyet analizini yapmıştır. Bir FV panelin farklı bölgelerdeki değişen koşullara göre elektrik tüketimini hesaplamak için bir matematiksel model kurmuş ve her bölgenin hedeflenen kurulu gücü sağlayabilmesi

için gerekli olan malzeme miktarının hesaplamasını yapmıştır. PVSYST programını kullanarak her bölge için birim maliyetler (monokristal ve polikristal paneller için ayrı ayrı maliyet hesaplaması yapılarak analiz edilmiştir) ve yıllık üretim miktarları enerji kayıplarıyla birlikte analiz edilerek hesaplanmıştır. Bölgeler için kurulum sonrası 30 yılın sonunda elde edilecek kar/zararın verildiği çalışma bulgularında, yıllık global radyasyon miktarı ortalamasının 1700 kWh/m² ve üzerinde olan bölgelerde monokristal panellerin, 1500 kWh/m² ve daha az olan bölgelerde ise polikristal panellerin fayda/maliyet açısından daha iyi sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışmanın yapıldığı zaman şartlarında ülkemiz tarafından verilen desteklerin (enerji satılma garantisi: 0,055 Avro kWh) üretim maliyetlerini karşılayacak düzeyde olmaması nedeniyle yapılacak yatırımların olumsuz yönde etkilenebileceği de görülmüştür [18].

Çubukçu (2011) doktora çalışmasında dört farklı bölge için dört ayrı FV tabanlı enerji sistemi başarımlarını incelemiştir. Şebekeden bağımlı, şebekeden bağımsız, rüzgâr-güneş ve mazot yakıt desteği olan jeneratör yapıları sistem başarımları hem simülasyon hem de gerçek ölçüm verileriyle hesaplanarak verilmiştir. Çalışma bulgularında en iyi sistem başarımları; Fethiye, İzmir, Gökçeada, Gebze olarak bulunmuştur. Rüzgâr enerjisinin kullanılması açısından sadece Gökçeada'nın verimli olduğuna da bulgularda yer verilmiştir. Ayrıca, sonuçlar uluslararası standartlarla karşılaştırılarak sunulmuştur [72].

Girgin (2011) çalışmasında, Karaman ilinde kurulacak olan 5 MW kurulu güce sahip güneş takip sistemli bir güneş tarlasına ilişkin üretim değerlendirme ve ekonomik analiz (İç karlılık Oranı, Geri Ödeme Süresi; Fizibilite Örneği) uygulaması yapmıştır. Uygulama bölgesinin fiziki özelliklerinin de değerlendirildiği çalışmada, farklı panel türlerine göre katlanılacak maliyetler ve üretilecek olan elektrik de hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda en iyi üretimi vermeyen ama, diğer sistemlere göre verimliliği yüksek olan İnce Film Güneş paneli sisteminin kullanılmasına karar verilmiş ve yapılacak olan yatırımların ortalama dört yıl geri ödeme süresinin olduğu kanısına varılmıştır [37].

Karaca (2012) Konya ilinde gerçekleştirdiği proje bazlı çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisini kullanarak bir evin tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek sistemi tasarlamıştır. Evin elektrik ihtiyacını karşılamak için 5 kW'lık hibrit sistem kurulum maliyetleri araştırılmıştır. Sistem sadece evin ihtiyacını karşılayacak şekilde tüketim amaçlı kullanım (off-grid/şebekeden bağımsız) için planlanmıştır. Bu ihtiyaçlara cevap veren sistem materyalleri bir uygulama alanında kurularak güneş panelleri için 5 ay (Eylül- Ocak), rüzgâr türbini için 3 ay (Mayıs-Temmuz) elektrik üretimi ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında Konya'nın güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için ihtiyaçları karşılayacak bir potansiyelinin olduğu görülmüştür. Özellikle kış aylarında güneş enerjisinden yararlanma oranı kısıtlanacağı düşünüldüğünde kurulacak rüzgar enerjisi destekli hibrit sistemin, üretilen enerjinin istenilen seviyede kalmasını sağlayacağı gözlemlenen verilerle desteklenmiştir [73].

Sahin ve Rehman (2012) FV sistemlerinin su pompalama sistemlerinde kullanılmasının ekonomik analizini yapmışlardır. Belirledikleri beş (Zahran, Riyad, Cidde, Guriat ve Najran) farklı bölgede; geri ödeme süresi, kapasite faktörü, iç verim oranı ve enerji maliyeti parametrelerini hesaplamışlardır. Yapılan analizler sonucu Najran bölgesini FV su pompalama sistemi kurulumu için; geri ödeme süresi, enerji maliyeti ve maksimum iç verim faktörleri açısından diğer bölgelere göre daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşılmıştır [74].

Shivrath vd. (2012) Hindistan'da yaptıkları çalışmada; rüzgâr-FV hibrit sulama sistemi tasarımı maliyet optimizasyonu uygulaması yapmışlardır. Öncelikle tarlanın ihtiyacı olan su miktarı hesaplaması yapılmıştır. İhtiyaç duyulacak olan rüzgâr türbini, FV panel, akü miktarı hesaplanarak birim maliyetler belirlemiştir. MATLAB programında hazırlanan maliyet minimizasyonu modeli ile en düşük maliyeti sunan panel, türbin ve pil sayıları hesaplanmıştır. Bulgulara göre; optimum sistem maliyetin yarısından fazlasının rüzgar türbininden, toplam maliyetin %20'sinin ise kullanılan panel maliyetinden oluştuğu görülmüştür [75].

Özdemir (2013) Türkiye'nin FV sistemler açısından uygunluğunu açıklayabilmek amacıyla farklı bölgelerde kurulabilecek On-Grid sistem finansal yatırım maliyetleri

ve güneş radyasyonu üzerine çalışmıştır. Ülke çapında belirlediği Karaman, Niğde, Van, Denizli illerine 10 MW kurulu güce sahip sistem kurulumu üzerine sürdürdüğü çalışmada; seçilen bölgelerde farklı panel açılarındaki güneş radyasyon değerleri ve buna bağlı olarak yıllık elektrik üretimi hesaplamaları yapılmıştır. Üretilen enerji miktarına yönelik olarak belirlenen alanlarda kullanılacak panel sayıları hesaplanarak maliyetteki değişimler incelenmiştir. Ayrıca panel ve kullanılan diğer malzeme miktar hesaplamaları, kurulum bölgesindeki coğrafi özelliklere göre verimlilikler dikkate alınarak yapılmıştır. Belirlenen bölgeler için temel bütçeleme yöntemleri kullanılarak yatırım geri dönüş oranı, geri ödeme süresi ve kurulum maliyetleri hesaplanmıştır. Aylık güneş radyasyonu verilerine göre hesaplanan panel açısı dört bölge için de 30° olarak bulunmuştur. Maliyet hesaplaması üç farklı panel türü (250W/h; polikristal, monokristal ve ince film güneş paneli) için yapıldığında monokristal panel hem maliyet hem de geri ödeme periyodu açısından en uygun panel olarak seçilmiştir. Çalışmada yapılan finansal analizler sonucunda belirlenen dört şehir arasında en iyi sonucu veren şehir Karaman olmuştur. Uygulama sonucunda FV sistem performansının bölgedeki iklim koşulları, kullanılan malzemenin verimliliği faktörlerinden etkilendiği de görülmüştür [35].

Chehri ve Mouftah (2013) çalışmalarında, akıllı evler için bulanık tabanlı enerji yönetim sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Akıllı cihazların ev içerisindeki kullanım sıklığı ve ücret tarifelerine yönelik olarak elektrik enerjisi üretimi için güneş enerjisi kullanımının planlanması ve bir kontrolör tarafından yönetilmesini amaçlayan bir Fuzzy enerji yönetim sistemi önerisinde bulunmuşlardır. Önerilen model ile ilgili bulgularda, akıllı evlerde enerji tüketimi ile oluşan maliyetlerden büyük oranda (%20'ye varan tasarruf) tasarruf edilebileceği görülmüştür [76].

Demirtürk (2013) yenilenebilir kaynaklara ilişkin yatırım fizibilitesi karşılaştırması yaptığı çalışmada; rüzgâr/güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretimi yapılabilecek bir yatırımın kurulum ve elektrik üretimi yönünden karşılaştırmasını amaçlamıştır. Uygulamada, Muğla ilinde seçilen bir arazide her iki enerji türü için 2 MW gücünde elektrik üretimi için kurulacak sistemin yatırım projesi oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır. Kurulacak güneş enerjisi sisteminin ilk yatırımda daha avantajlı olacağının görülmesinin yanı sıra, bu sistemin düşük verimliliği nedeniyle uzun

vadede rüzgar enerjisi santralının kurulmasının hem karlılık hem de geri ödeme süresi açısından avantajlı olacağı sonucuna varılmıştır [68].

Üçgül, İ. vd. (2014) On-grid fotovoltaik sistem çatı uygulaması olarak Süleyman Demirel Üniversitesinde gerçekleştirdikleri çalışmada, üniversitenin kullanılabilir FV potansiyelini değerlendirerek bir analiz sunmuşlardır. Kurulan sistemin finansal yatırım analizini; karbon emisyon ölçümü ve alınacak karbon sertifikasını da hesaba katarak yapmıştır. Uygulama aşamasında “Sunny Design” programı kullanılarak üniversitenin güneye bakan çatılarının her birine 25 KW güce sahip On-Grid (Şebekeye bağlı) sistem tasarımı yapılmıştır. Çalışmada böyle bir sistem ile birlikte üniversitenin yıllık 39394,80 KW elektrik ihtiyacının karşılanabileceği ve çatı alanlarının tamamının kullanılması halinde toplam tüketimin %15’lik kısmının karşılanabileceği hesaplanmıştır. Finansal analizler (net şimdiki değer analizi, yatırım geri ödeme süresi) ve karbon geliri hesaplamaları sonucunda sistemin dokuz yıldan sonra kâr’a geçebileceği yapılan analizler sonucu ortaya konulmuştur [77].

Olcan (2015) doktora çalışmasında; güneş radyasyonundaki değişimlerin tahmini ve referans bir güneş enerjisi sisteminden üretilen enerjinin hesaplanması konusu ile ilgili bir sistem optimizasyonu çalışması yapmıştır. Güneş radyasyonu ve sağladığı enerjinin tahmininde, Bulanık Zaman Serileri Analizi ve Zaman Serileri Analizi karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Farklı bölgeler için elde edilen geriye dönük radyasyon verileriyle kurulan modeller sonucunda Antalya ilinin verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan optimizasyonda; FV enerji destekli sulama sistemleri için farklı eğim açılarının mevsimsel olarak değiştirilmesi, su depolama birimi, pil gibi modüllerin farklılaştırılması ve bu modüllerin maliyetlerinin de incelemesi farklı senaryolarla denenerek verilmiştir. Sistem için Antalya’da konumlandırılan limon ağacı bahçesi optimizasyon için örnek alınmıştır. Optimizasyon 25 yıllık model karşılaştırmasıyla desteklenmiştir [70].

Maheshwari vd. (2016) çalışmalarında, Hindistan’daki bir üniversite binasının enerji ihtiyacını hesaplamış ve 155 kWp gücünde kurulabilecek bir FV sistemin Geri ödeme süresine yönelik maliyet hesaplamasını yapmışlardır. Binanın 712,53 kWh olarak hesapladıkları enerji ihtiyacını karşılamak için 6 saatlik güneşlenme süresinde enerji

üreten 14 panele ihtiyaç olduğunu hesaplamışlardır. Maliyet hesaplamaları sonucunda sistemin kendisini üç yılda amorti edebileceği görülmüştür. Çalışma bulgularında, FV sistem için hesaplanan maliyetin oldukça yüksek olduğunu ve yapılacak geliştirme çalışmalarıyla sistem maliyetlerinin kabul edilebilir düzeye düşebileceği değerlendirilmiştir [78].

Bir başka çalışmada Diantari ve Pujotomo (2016) off-grid FV çatı uygulaması ile ilgili maliyet analizi sunmuşlardır. Uygulamada 8,75 kW kurulu güce sahip olacak sistem için 50 m² alan yer kaplayacak 68 adet monokristal 130 W panel kullanılmıştır, invertör ve panel kaynaklı enerji kayıplarını da hesaplayarak malzeme ihtiyaçları belirlenmiştir (Panel, invertör). Analiz kısmında; sistemin yatırım maliyeti, yaşam döngüsü maliyeti (LCC), bakım maliyetleri 25 yıllık sistem ömrü için hesaplayarak sistemin yatırım yapılabilir olduğu sonucuna varmışlardır [79].

Gülkokan (2017) farklı iklim özelliklerine sahip iki bölgede bulunan Muğla ve Berlin şehirlerindeki müstakil elektrik tüketimlerinin hibrit (Güneş ve rüzgâr) enerji ile karşılanmasına yönelik simülasyon tabanlı bir sistem konfigürasyonu yapmıştır. Amaca yönelik olarak her iki bölgedeki rüzgâr ve güneş verileri karşılaştırılarak kullanılmıştır. Uygulama aşamasında iki farklı senaryo üzerinde çalışma sürdürülmüştür. Birinci senaryoda konutun bütün enerji ihtiyacını neredeyse sıfırlayan “Yakıt optimizasyonu” üretim optimizasyonu, ikinci senaryoda konutun yıllık enerji ihtiyacı kadar üreten optimizasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Her iki uygulama bölgesi için de 720 tekrardan oluşan simülasyon “Homer Pro” yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki senaryo için On Grid sistem planlanmış ve üretimin yapılmadığı saatlerde ihtiyaç duyulan enerji şebeke üzerinden karşılanmaktadır. Yapılan simülasyonlar sonucunda her iki hibrit sistemde de %69’luk yenilenebilir enerji kullanım payının olduğu hesaplanmıştır. Simülasyon verilerine göre Berlin için yıllık elektrik üretiminin %35,8’i Muğla için %51’i fotovoltaik sistemlerden karşılanmıştır. Muğla için yıllık üretimin %19,86’sı rüzgâr enerjisinden karşılanırken Berlin için %34,49’u rüzgâr enerjisinden karşılanmıştır. Yapılan çalışmayla iki farklı uygulama bölgesinde kurulabilecek yenilenebilir enerji hibrit sisteminin sağladığı fayda ortaya konularak simülasyon verileriyle desteklenmiştir [80].

Demirer (2017) güneş tarlası (santrali) yer seçimi üzerine çalışmıştır. Çalışmada yatırım için uygun üç farklı alternatif bölge (Diyarbakır, Konya, Karaman) belirlenmiş ve alternatiflere ilişkin kriterler belirlenmiştir. Kriterler; çevresel, maliyet odaklı ve fırsat odaklı kriterler olmak üzere üç ana başlıkta sıralanmıştır. Alternatif bölgeler alanında uzman üç danışmanın görüşlerine başvurularak değerlendirilmiştir. AHP yöntemi kullanılarak yapılan karar analizi sonucunda Konya ilinde kurulabilecek 3,15 MW kurulu güce sahip güneş santrali yatırımını diğer alternatiflere göre daha uygun olacağı görülmüştür [66].

Çizelge 5.3. Literatürdeki bazı çalışmaların ilgili FV sistem bilgileri.

Yazar	Kurulu Güç	Sistem/Uygulama	Panel Türü/Gücü/Adet
Çolak, Ş. Ç., 2010	10 Mw	On Grid	Monokristal, polikristal/ 170w,167w/58.812(mono);59.588(poli)
Girgin, M. H., 2011	5 MW	On Grid	İnce Film
Karaca, C., 2012	5 kW	Off Grid /Çatı	PoliKristal / 130Wh, /6 adet; Rüzgâr Türbini (300W)
Özdemir, G.2013	10MW	On Grid	MonoKristal/250W/ Karaman:71.765, Denizli:71.728, Van:73.975, Niğde:73.416
Demircan, C.,2014	40,39KW	On Grid/	İnce Film/140W-64W/220
Diantari ve Pujotomo, 2016	8,75 kW	On grid	Monokristal/ 130W /68 adet
Gülkokan, O.,2017	4kW	On grid	Polikristal / Muğla;10 KW güç, Berlin: 10KW güç/-

Literatürdeki bazı çalışmalara ilişkin FV sistem bilgileri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bu çalışmalar dışında güneş panellerinin yerleştirilme açıları ve konumlandırılmalarına ilişkin yapılan çalışmalar; Günerhan ve Hepbaşlı (2007) belirli bir gün ve zamana dayalı optimum eğim açısını bulmaya yönelik bir çalışma yapmış [49], Ghosh ve diğ. (2010), Moğhadam ve diğ. (2011) ve Benghanem (2011) konuyu, mevsimsel ve yıllık optimum eğim açıları belirlemeye yönelik çalışmalar yapmışlardır [50,51,81]. Ajder (2011) panel eğimleri belirlemede bölgesel açı haritası oluşturma üzerine çalışmıştır [82]. Bakırcı (2012) Türkiye'nin 8 ilini kapsayan optimum eğim açısını bulmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. İstatistiki tekniklerden faydalanılarak yapılan çalışmada 0-90° eğim açısı aralığında en iyi açı hem mevsimsel hem de ortalama değerler verilerek hesaplanmıştır. Bu hesaplamada dört mevsim açı değerleri ortalaması; İzmir

32,80; Ankara 32,70; İstanbul 32,60 olarak bulunmuştur. Mevsimsel değişmelerle şehirlerde açı değerlerinin yıllık ortalama değerlere göre 10-15⁰ sapma gösterdiği görölmüştür [48]. Özdemir (2013) Türkiye'nin dört bölgesinde yaptığı eğim açısı hesabında bölgelerde belirlenen şehirlerin her birindeki en iyi eğim açısının 30⁰ olduğunu hesaplamıştır [35].

Binaya entegre FV sistemler konusunda Koryürek'in (2008) bina uygulamalarını PV*SOL programı ile FV tasarım simölasyonu uygulaması, Aydöner'in (2010) çatı, cam-cephe panel uygulamalarına yönelik çalışması, ve Demircan'ın (2014) bina entegre FV sistem veriminin bir yıla ilişkin verimliliğini incelediği çalışma da farklı FV uygulamalar arasındadır[83–85].

Güneş enerjisinin enerji üretiminde kullanılması konusunda verilen literatürde; güneş takipli sistem simölasyonları, hibrit sistemler, bölgesel güneş paneli eğiminin belirlenmesi, ekonomik analizler ile sistem karşılaştırmaları yer almaktadır.

Bu tez; bir FV sistem uygulamasını farklı üç organize sanayi bölgesi (OSB) için karşılaştırmalı olarak vermesi, arsa maliyetlerinin yatırım performansına olan etkisinin ve buna yönelik devletin sağladığı desteklerin diğer maliyetlere ve yatırım performansına etkisinin görölmesi; yapılan üretimlerin çevreye sağladığı faydaların görölmesi açısından literatüre katkı sağlayacaktır.

BÖLÜM 6

TÜRKİYE’NİN FARKLI ÜÇ COĞRAFİ BÖLGESİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ PERFORMANSININ PROJE VE MALİYET TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ: YATIRIM ANALİZİ UYGULAMASI

Bu bölümde, çalışmanın uygulaması aşamalarıyla verilmiştir. Öncelikle uygulamaya konu olan bölgelere değinilmiş ve uygulamanın metodolojisi verilmiştir. Ardından bölümün alt başlıklarında uygulama ve ilişkin hesaplamalar sonuçlarıyla birlikte verilmiştir.

Türkiye’nin farklı bölgelerinde güneş enerjisinden faydalanılarak fotovoltaik potansiyelin değerlendirilmesi ve muhtemel yatırımların karşılaştırılabilmesi amacıyla; İzmir, Ankara ve İstanbul konumları seçilmiştir. Konumların seçilmesine ilişkin ilk etken iklim koşulları ve yıl içerisindeki güneşlenme sürelerindeki farklılıklardır. İkinci ve diğer bir önemli etken ise; sosyo-ekonomik gelişmişlik açısından benzer konumda olmalarıdır.

Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Endeksi; demografik özellik, sağlık, eğitim gibi bölgesel etmenlerin yanı sıra; mali erişilebilirlik, yenilikçi ve rekabetçi kapasite (ticari) gibi gösterge değerlerini içerisinde barındıran ve yerel etkileri gözetenek iller ve bölgeler arasında gerçekçi sonuçlar ortaya koyan bir değerdir [86].

Çizelge 6.1. Sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi İstanbul, Ankara, İzmir [86].

	SEGE 2011 Sırası	SEGE-2011 Değeri (endeks)
İstanbul	1	4,5154
Ankara	2	2,8384
İzmir	3	1,9715

Kalkınma Bakanlığı tarafından en son 2011 yılında hazırlanarak sunulan Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik araştırmasında, Türkiye'nin 81 ili arasında ilk üç sırada bulunan İstanbul, Ankara, İzmir illeri Çizelge 6.1'de belirtilmiştir [86].

Belirlenen her ildeki bir organize sanayi bölgesi seçilerek, şebekeye bağlı FV sistem yatırımı yapılacak şekilde planlanmıştır. Uygulama alanları İzmir-Aliğa; İstanbul-Tuzla; Ankara-Sincan'dır. Uygulama alanı seçimleri, GEPA verileri kullanılarak şehrin toplam güneş radyasyon yoğunluğunun az olduğu bölgeler dikkate alınarak yapılmıştır [34].

Aliğa için yapılan FV sistem boyutlandırması çevresel faktörlerin etkisiyle üretim performansındaki değişimin maliyetlere etkisinin ölçülebilmesi için, diğer iki bölge için de aynı kabul edilmiştir. Bu nedenle; kullanılan güneş paneli, evirici ve diğer teçhizatlar üç şehir için de aynı sayıdadır. Böylece aynı niteliklere sahip bir üretim sisteminin farklı bölgelerdeki performansı hem üretim maliyeti hem de bölgeye sağlayacağı katkı açısından incelenmiştir.

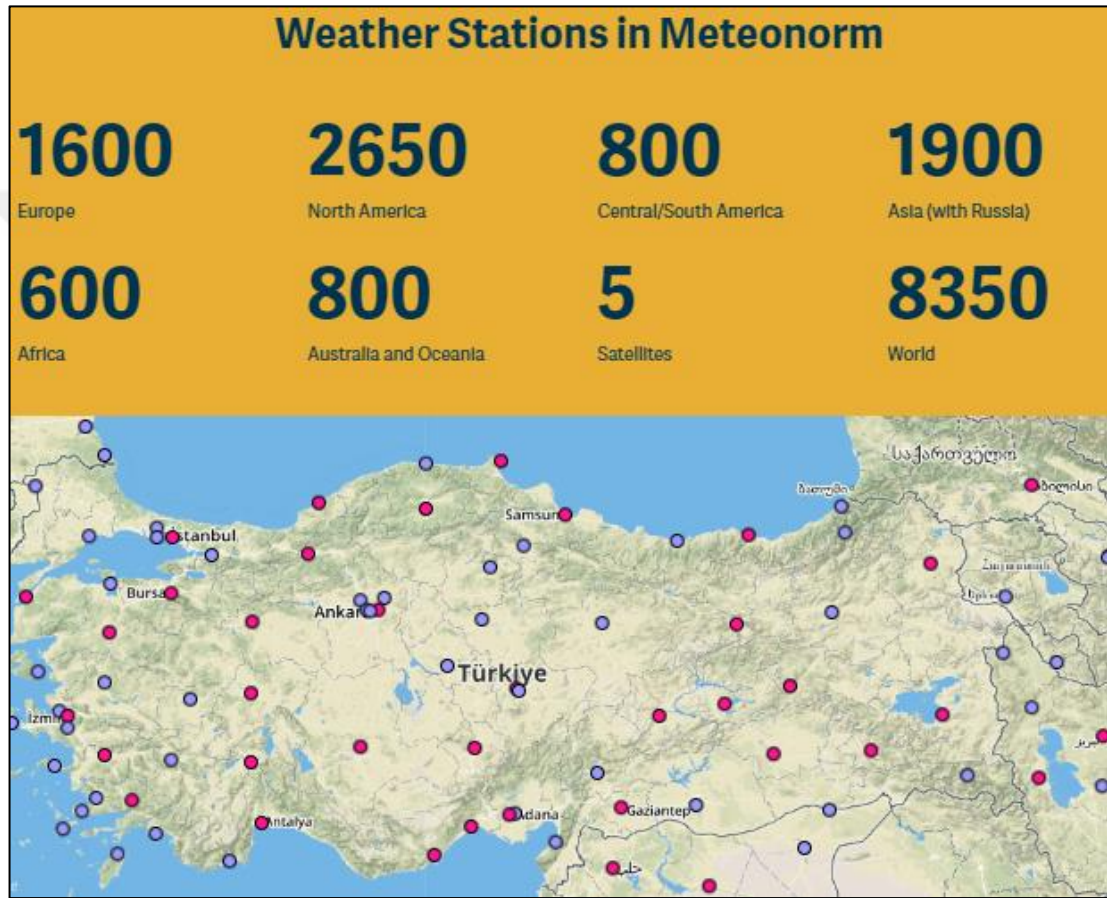
Kullanılacak panel sayısının belirlenmesinin ardından; üretime yönelik optimum panel-evirici bağlantısının sağlanması/uygun evirici sayısının belirlenmesi ve yıllık elektrik üretiminin yapılmasına ilişkin simülasyonu, PVsyst programı kullanılarak yapılmıştır.

Yıllık üretimlerin her OSB uygulaması için hesaplanmasının ardından maliyet analizleri 25 yıllık yatırım ömrü için yapılarak; yatırım getirileri ve yatırım geri ödeme süreleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca, yıllık üretimlerin OSB'lere sağlayacağı fayda ve Türkiye'nin yıllık elektrik ihtiyacına yönelik hane tüketimi karşılama oranı da hesaplanmıştır.

6.1. PVSYST YAZILIMI

PVsyst yazılımı 1992 yılında Andre Mermound tarafından İsviçre'nin Cenevre Üniversitesinde geliştirilmeye başlanmıştır. Kısa zamanda FV profesyonellerine hizmet vermeye başlayan yazılım, kullanıcı dostu öğretici bir arayüze sahiptir. FV

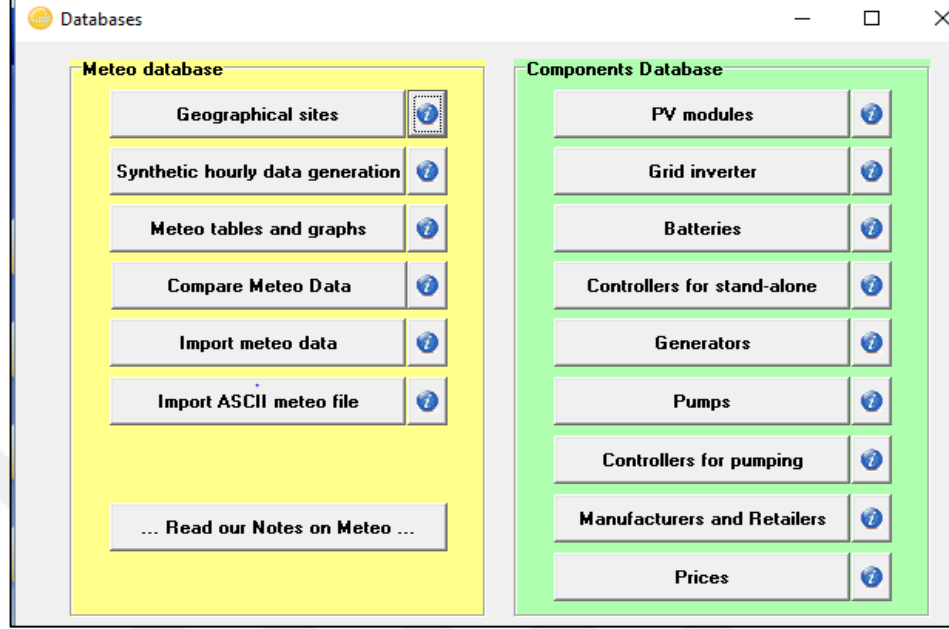
uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yazılım, çıktılarıyla ön proje aşamasında yenilenebilir enerji yatırımları için banka kredisi ve diğer fizibilite çalışmalarında kabul edilmektedir. PVsyst yazılımıyla FV sistem boyutlandırması, simülasyonu, veri analizi ve ekonomik analizi yapılabilmektedir [47]. Bu özellikleri ve sektörel tecrübesi PVsyst yazılımını; “PV SOL, INSEL, PLAN4SOLAR PV” gibi yazılım alternatiflerinin önüne geçirmektedir.



Şekil 6.1. Dünya meteonorm ölçüm istasyonu sayısı ve Türkiye'deki meteonorm istasyonları [87].

Uluslararası Meteorolojik Veri Bankası, Meteonorm ile dünyanın birçok noktasında bulunan meteorolojik veri istasyonlarından; günlük, aylık, yıllık güneş radyasyonu ve bölgeye ilişkin diğer hava olayları verilerini derleyerek, ilgili uygulayıcılara güncel ölçüm değerlerini sağlamaktadır. Dünya üzerinde Meteonorm sistemine veri sağlayan ölçüm istasyonu sayıları ve Türkiye’de Meteonorm’a veri sağlayan ölçüm istasyonları

Şekil 6.1’de görülmektedir. PVsyst arazi güneş radyasyonu verilerini Meteonorm’un güncel ölçüm değerlerini kullanarak kütüphanesini güncel tutmaktadır.



Şekil 6.2. PVsyst veri tabanı [47].

Yazılım simülasyon hesaplamalarını yaparken, bölgeye ilişkin ayrıntılı güneş radyasyonu, bölge kirlilik oranı, yüzey yansımaya oranı (Albedo) verilerinin yanı sıra; güneş paneli, batarya ve diğer sistem araçlarına ilişkin marka-model fiziki, verimlilik, yıllık verim azalışı diğer fiziki ve teknik özelliklerini barındıran veri bankasını kullanır. Ayrıca, program bölgeye ilişkin detaylı topografik verilerin girilmesine de imkân sağlamaktadır. PVsyst’in veri bankası Şekil 6.2’de kategoriler halinde görülmektedir.

PVsyst programının, içerisinde barındırdığı güncel ve gerçek verilerden oluşan veri tabanını kullanarak simülasyonlar gerçekleştirmesi, ulaşılan sonuçların da gerçeğe yakın olmasını sağlamaktadır.

6.2. UYGULAMA ALANI

İzmir’deki proje için Şekil 6.3’te Aliğa OSB’de yatırımcılar için tahsis edilecek olan 260 000 m²’lik alanın kullanılacağı varsayılmıştır. İzmir alternatifi için hesaplanan

teçhizat adeti ve diğer sistem karakteristikleri, Sincan ve Tuzla OSB bölgeleri için yapılacak olan analizlere de kaynak olarak kullanılmıştır.



şekil 6.3. GES proje alanı İzmir.

şekil 6.4'te görülen proje alanı gerekli iş güvenliği önlemlerinin alınabilmesi, üretim alanları arası ulaşımın sağlanması, kontrol kolaylığı, diğer bina, trafo ve iletim araçlarının etkin konumlandırılabilmesi için beş ayrı üretim sahasına bölünmüştür. Her retim alanının modül konumlandırması, güneşten alınacak en iyi verimin güney yönünde olması sebebiyle modül yüzeyi güney bakılı ve azimut açısı 0^0 olacak şekilde konumlandırılmıştır. Glgelenmeye yönelik bölgesel tahminler yerinde gözlemlenemediği için, paralel seriler arası uzaklık PVsyst programıyla hesaplamalarıyla belirlenmiştir.



Şekil 6.4. FV üretim alanları.

Sistemin üretim alanları Şekil 6.4'te verilmiştir. Koyu mavi ile gösterilen proje alan sınırı ile açık mavi ile gösterilen üretim sahası arasında gerekli güvenlik önlemlerini almak için, en az 5 metre alan bırakılması planlanmıştır.

Modül eğim açıları literatürde yapılan analizler referans alınarak üç alternatif şehir için belirlenmiştir [35,48–51]. Referans çalışmalar incelendiğinde, üç uygulama şehrinin optimum yıllık modül eğim açılarının birbirine benzer olduğu görülmüştür [35,48,49]. PVsyst simülasyon programında referans sapma aralıkları üç şehir için de değerlendirilerek eğim açısının 30^0 olarak hesaplamaya katılmıştır.

Çizelge 6.2. Proje ve üretim alanı.

	Saha 1	Saha 2	Saha 3	Saha 4	Saha 5
En (m)	246	325	296	246	90
Boy (m)	180	180	180	65	92
Alan (m ²)	44 280	58 500	53 280	15 990	8 280
Toplam Üretim Alanı (m ²)	180 330				

Şekil 6.4'te konumlandırılmış olan üretim alanlarının toplam 180 330 m² alan kapladığı Çizelge 6.2'de görülmektedir. Bu alan 260 000 m²'lik proje alanının %70'ini oluşturmaktadır. Diğer alanlar yönetim binası, trafo alanı ve gelecek dönemlerde üretim alanı olarak değerlendirilecek alanlar olarak ayrılacağı kabul edilmiştir.

6.2.1. Kullanılan Güneş Paneli, Evirici ve Bunlara İlişkin Fiyatlar

Alan 1 için; yerleşimi planlanan modül özellikleri ve kullanılan modül masası (dizi) özellikleri, modül masaları arasındaki uzaklık bilgileri Bölüm 3.4.4'te açıklamalı olarak verilmiş, kullanılabilir modül sayısı ve modül alanı hesaplanmıştır. Diğer üretim için ayrılan alanlar için, detaylı hesaplamalar benzer şekilde yapılarak Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Proje modül, modül masası hesaplama sonuçları.

	En (metre)	Yan Yana Dizilecek Modül Masası	Boy (metre)	Paralel Konumlandırılacak Modül Masası Sırası	Toplam Masa (Adet)	Toplam Modül (Adet)	Toplam Modül Alanı (m ²)
Saha 1	246	19	180	23	437	8 740	14 219
Saha 2	325	25	180	23	575	11 500	18 710
Saha 3	296	22	180	23	506	10 120	16 465
Saha 4	246	19	65	9	171	3 420	5 564
Saha 5	90	7	92	12	84	1 680	2 734
Toplam					1773	35 460	57 689

Sistemde, Türkiye pazarında yaygın olarak kullanılan Goodwe marka (GW20K-D T) 20kW 50Hz evirici kullanılmıştır. Elektrik iletiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için iletim frekansının kontrol altında tutulması gerekmektedir. Türkiye'de elektrik sistemine bağlı olan tüm kullanıcılar; 50 Hertz (Hz) frekans aralığında (49,8Hz-50,2Hz) iletim sistemine girdi/çıkı yapabilmektedir.

Çizelge 6.4. Üretim sahalarında kullanılan evirici sayısı.

	Saha 1	Saha 2	Saha 3	Saha 4	Saha 5
Evirici (Adet)	96	126	111	39	19

Bu nedenle 50Hz destekli evirici tercih edilmiştir. Üretim sahalarında ihtiyaç duyulan evirici sayısı üretim kaybı veya aşırı yüklenmeye bağlı kayıpların önlenmesi için PVsyst simülasyon programında hesaplanmış ve Çizelge 6.4'te verilmiştir. Detaylı bilgi simülasyonun yapıldığı bölümde verilmiştir.

Çizelge 6.5. Kullanılan güneş paneli, evirici özellikleri [47,88].

Ürün tanımlaması	Üretici ve ürün	Ürün özellikleri ve gücü (Nominal)	Birim fiyat (TL)
Güneş Paneli Çok Kristalli	SolarTürk, ST H P 250W	60 Hücreli, 250 W	561 ₺/adet+ KDV; 2,21₺/W+KDV
Evirici	GoodWe, GW 20K-DT	20 kW	15 608₺/adet

Tüm proje alanlarında kullanılacak olan güneş paneli ve evirici özellikleri Çizelge 6.5'te gösterilmiştir. Panellerin yerli üretim olması ve eviricinin ülkemizde kullanımı yaygın ve ulaşılabilir olması nedeniyle tablodaki markalar tercih edilmiştir. Yapılan pazar araştırmasına göre belirlenen fiyatlar yukarıda belirtildiği gibidir.

6.2.2. Uygulamaya İlişkin Hesaplamalarda Yapılan Bazı Kabuller

Yapılan hesaplamalarla kararlı sonuçlara ulaşabilmek için bazı değişkenlere ilişkin kabullerin yapılması gerekmektedir. Uygulamaya ilişkin kabuller sektöre yönelik uzman görüşü ve incelenen literatürden faydalanılarak yapılmıştır [18,35,37,72,77,85]. Hesaplamalarda dikkate alınan kabuller aşağıda kategorize edilerek verilmiştir:

- Yer Şekilleri: Proje inşası için ve proje alanının topografik yapısı uygundur.
- Proje alanı/sahası: Proje alanında mülkiyet ile ilgili belirsizlik yoktur. Proje sahasına ulaşım altyapısı vardır. Sahada boru hattı bulunmamaktadır. Proje sahası trafo merkezine (kamu veya özel elektrik iletim idaresi trafosu) yakındır ve trafo merkezi üretim karşılayacak yeterliliktedir.
- Gölge oluşumu durumu; proje alanında gölge oluşturabilecek yapı ve bitki bulunmamaktadır.
- Proje arazisi: Proje arazisinin üretim sahası dışında kalan %31'lik kısmı yönetim binası, elektrik iletim alanı, çevre güvenliği ve iş güvenliğinin sağlanması, kurulabilecek yeni sahalar için ayrılmıştır.
- Arsa satınalma bedeli: Arsa bedelleri her il için proje adreslerine (OSB) dayalı olarak arsa rayiç bedelleri üzerinden 2017-2018 verileri kullanılarak hesaplanmıştır [89]. YEK kanunu değişikliği dikkate alınarak her bölge için

arsa maliyet kalemi; arsa rayiç bedellerinde %85 indirim olacak şekilde hesaplamaya katılmıştır.

- Bakım bedeli: Temel olarak güneş paneli temizliğini içermektedir. Bakım bedeli her güneş paneli için yıllık 6 Türk Lirası olup yıllık 212.760 TL (35.460 panel x 6 TL) olarak kabul edilmiştir.
- Sigorta bedeli: Sigorta bedeli güneş paneli ve eviricilerin KDV'den arındırılmış toplam maliyetlerinin faydalı ömürlerine bölünmesi sonucunda oluşan değer %10'u olacak şekilde yıllık 103.983 TL olarak yansıtılmıştır.
- Çalışan personel gideri: Santrallerde; 2 elektrik-elektronik mühendisi, 1 makina mühendisi, 4 teknisyen, 3 bakım/temizlik görevlisi, 2 güvenlik görevlisi çalıştırılacağı kabul edilmiştir. Toplam personel gideri yıllık 504.000 TL (personel başına 3.500 TL ortalama maliyet) olarak kabul edilmiştir.
- Nakit akışı net bugünkü değer indirim oranı: 2017 yılı faiz oranları %11 - %12,75 aralığında gerçekleşmiş ve enflasyon oranı %9,22 - %11,92 seviyesinde gerçekleşmiştir[90,91]. İndirim oranı, faiz oranından enflasyon oranının çıkarılmasıyla belirlenebilir [35]. Uygulanacak oran: %11 faiz oranı ve %9,22 enflasyon oranı dikkate alınarak, %2 olarak kullanılmıştır.

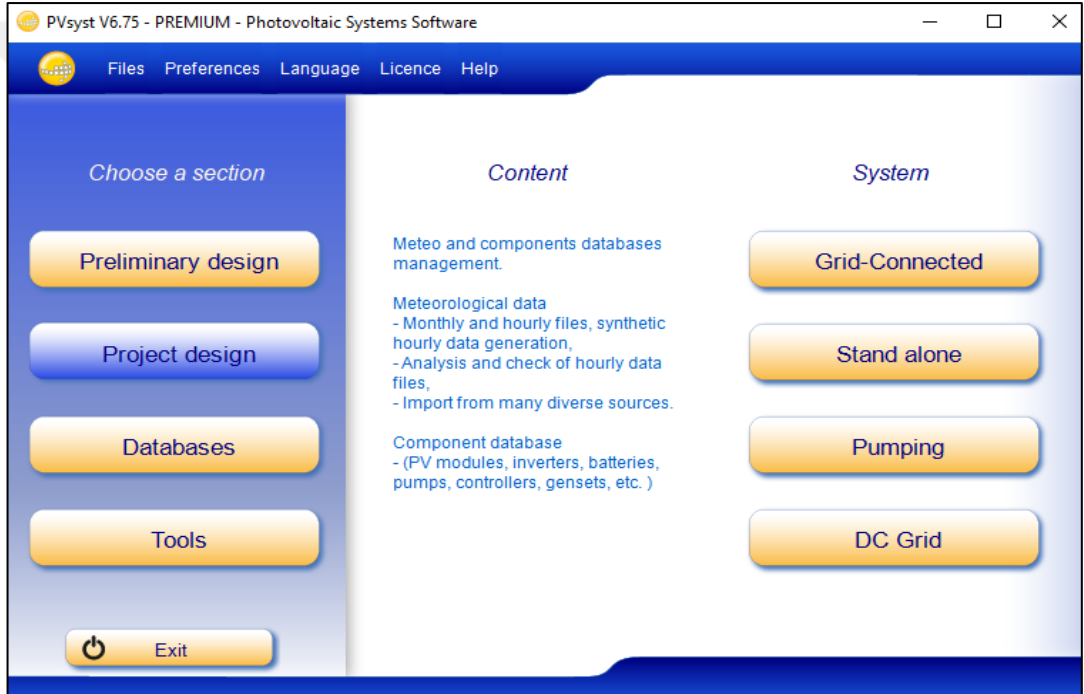
6.3. BELİRLENEN OSB'LERİ İÇİN PVSYST PROGRAMI İLE FV ŞEBEKE BAĞLANTILI SİSTEM TASARIMININ VE YILLIK ELEKTRİK ÜRETİMİ SİMÜLASYONUNUN YAPILMASI

Seçilen üç şehir için 6.2. bölüm başlığı altında oluşturulan sistem parametreleri, Pvsyst programına girilerek kararlı bir sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemin üç OSB için ayrı ayrı simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

PVsynt programı ile yapılan hesaplamalar İzmir Aliğa için program görselleriyle detaylı olarak anlatılmıştır. Ankara Sincan ve İstanbul Tuzla için sadece simülasyon sonuçları verilmiştir.

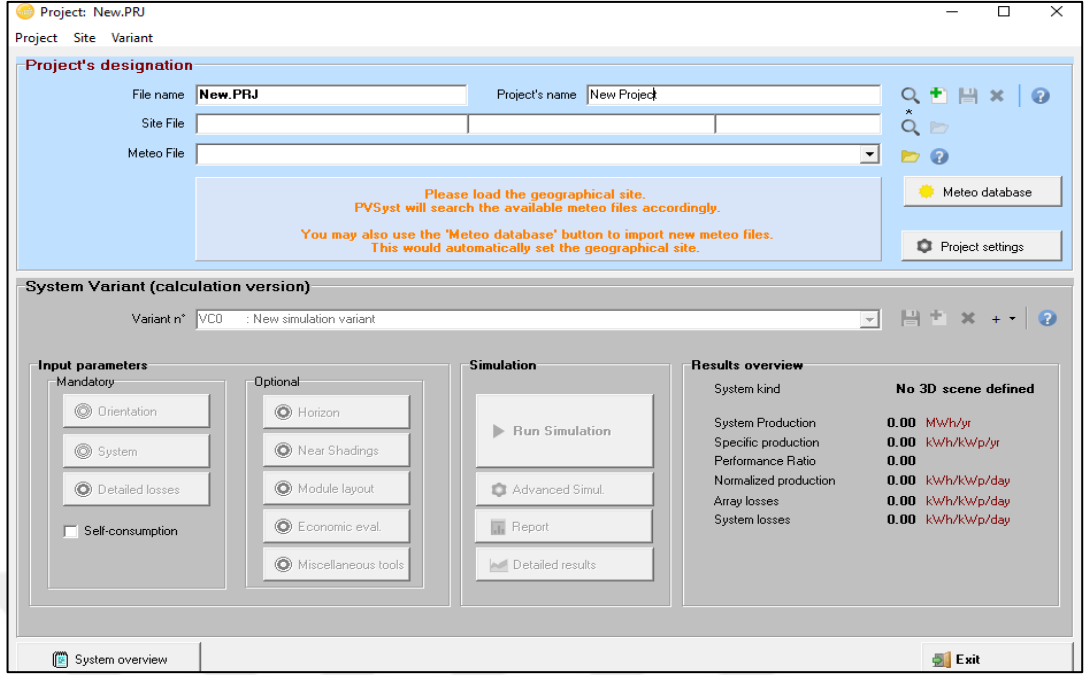
6.3.1. İzmir Aliğa OSB Yatırımı için Yıllık Elektrik Üretimi Simülasyonu

Program çalıştırıldığında giriş ekranı kullanıcıyı Şekil 6.5'te görüldüğü gibi karşılar. Proje tasarımının yapılabileceği "Project design" bölümü seçilir. Ardından planlanan sistem elektrik şebekesine bağlı olacağı için "Grid-Connected" modülü seçilir. Giriş ekranındaki diğer bölümler; "Preliminary design" detaylı veri girişi olmaksızın ön boyutlandırmaların yapılabileceği kısım, "Databases" kısmı; veri kaynaklarının bulunduğu kısım, "Tools"; Programda sağlanan çıktı ve diğer verilerin düzenlenebildiği kısımdır.



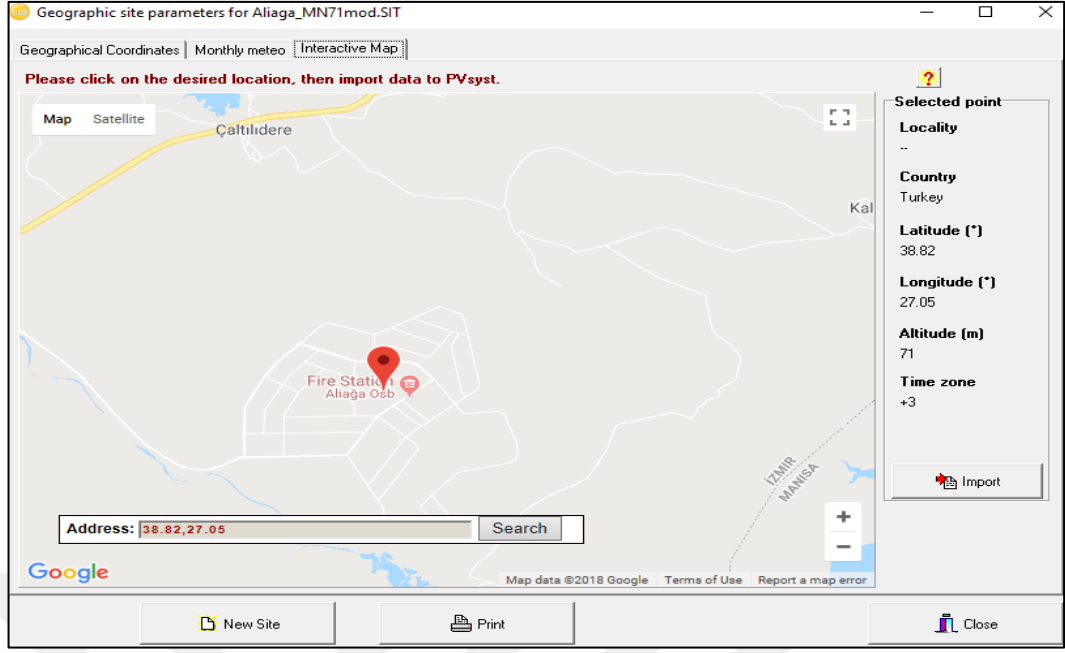
Şekil 6.5. PVsyst giriş ekranı.

Gelen ekrandan proje adı girişi yapılır. Ardından OSB'nin özel konumuna ilişkin meteo verilerini online olarak içe aktarmak için Şekil 6.6'te görülen "Meteo database" butonuna basılır.



Şekil 6.6. Proje ekranı.

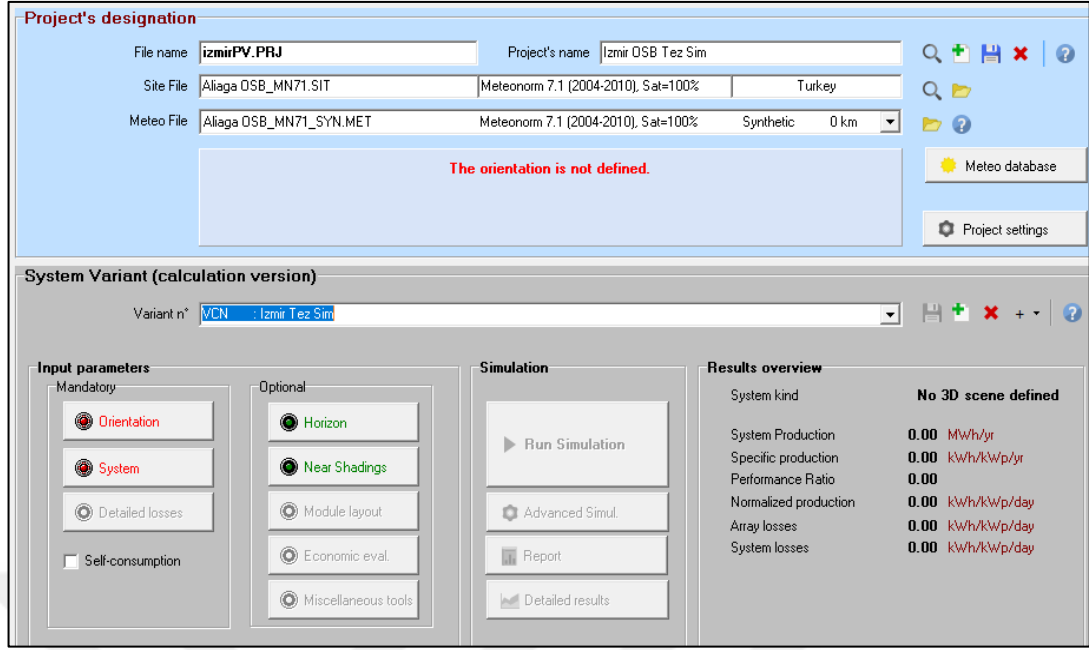
Açılan pencereden “Geographical sites” (coğrafi bölgeler) seçilir (Şekil 6.2). Gelen konum listesinden seçim yapılır veya “New” butonuna basılarak harita üzerinden konum belirlemesi yapılır. Ardından Şekil 6.7’de konuma ilişkin Meteo verilerini içe aktarmak için “Import” butonuna basılarak, belirlenen konum isimlendirilir ve kaydedilir.



Şekil 6.7. Meteo verilerinin içe aktarılması.

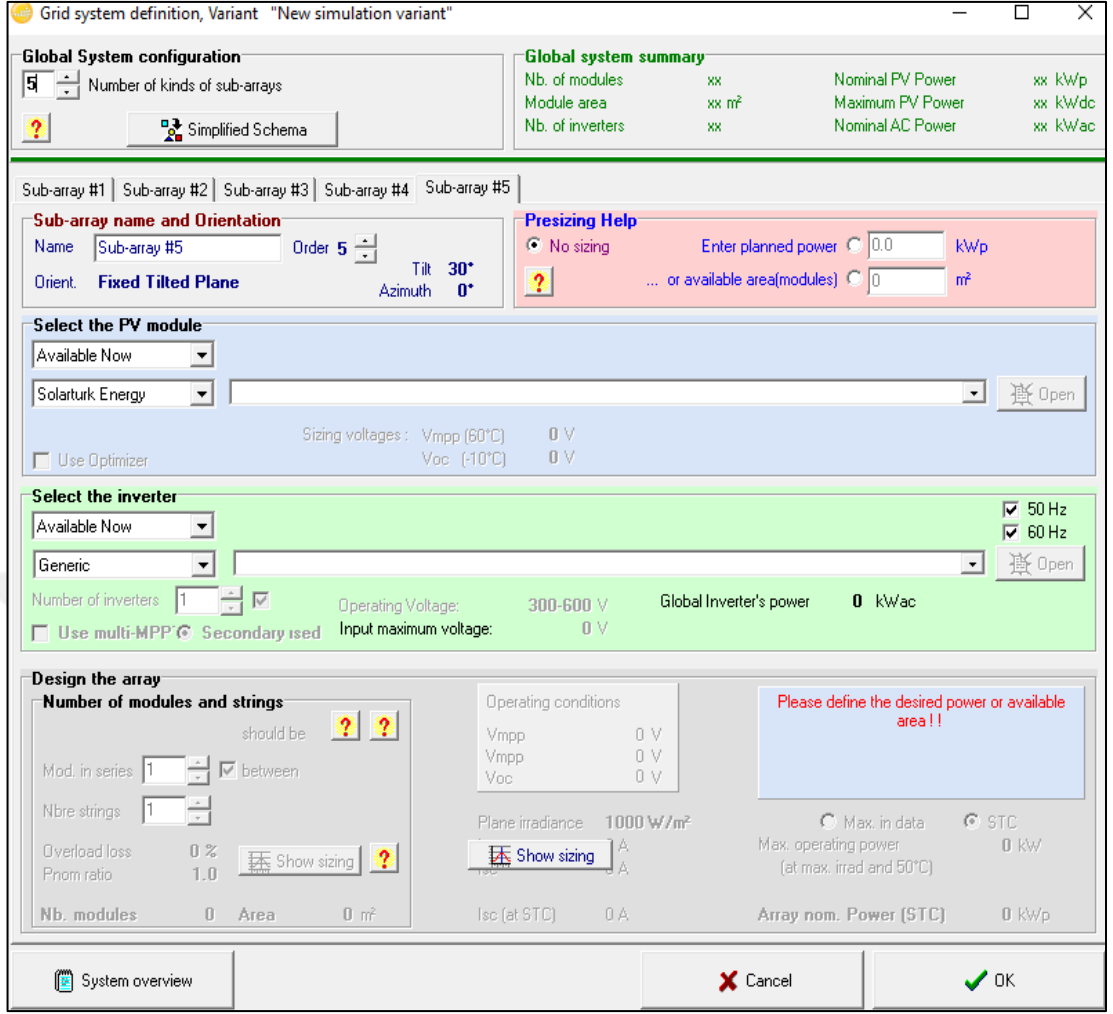
Projede kullanılacak olan “Meteo” (coğrafi) verileri seçildikten sonra proje Şekil 6.8’deki pencerenin sağ üst tarafta bulunan kaset simgesine tıklanarak kaydedilir. Meteo verileri girilirken albedo girişi de manual olarak yapılabilir. Arazinin yansımaya ilişkin koşulları konusunda detaylı bilginin olmaması nedeniyle programın bölge için belirlediği genel değer 0,20’dir. Ardından Şekil 6.8’deki pencerede görülen projeye, simülasyonuna ilişkin parametrelerin girileceği “Input parameters” kısmına geçilir.

Panel konumlandırma: “Orientation” kısmı, modül ve modül masasının konumlandırılması, azimut ve tilt (eğim) açısı parametrelerinin oluşabilecek sistem kayıpları gözetilerek girildiği kısımdır. Bu kısım ile ilgili detaylı hesaplama ve görsel 3.4.4. başlığı altında Şekil 3.14’te gösterilmiş ve Aliğa OSB için girilen değerler ve açıklamaları detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 6.8. Parametrelerin girilmesi ve simülasyon.

Sistem tanımlaması: Sonraki aşama, ilgili güneş paneli ve evirici bilgilerinin girileceği, sistemin evirici-güneş paneli uyumunun sağlanacağı “System” bölümüdür. Sistem 5 alt üretim sahası olarak tasarlandığı için Şekil 6.9’da “Number of kinds of sun-array” beş olarak girilir. Böylece, proje için beş alt saha sisteme tanımlanmış olur. Üretim sahaları, tek bir noktadan şebekeye bağlantı sağlayacağından sistem beş alt sahaya sahip olan bir FV üretim sistemi olarak değerlendirilir. Tanımlamanın ardından açılan alt “Sub-array#1,2,3,4,5” kısımları “Saha 1,2,3,4,5” olarak isimlendirilmiştir. Her alan için farklı modül alanı veya isteğe göre farklı güneş paneli, evirici tercihi yapılabilir. “Sub-array#1”in ismi Saha 1 olarak tanımlanmıştır. Uygulamada kullanılacak olan modülün seçimi “select the PV module” (modül seçimi) alanı kullanılarak yapılır. Daha önce sistem boyutlandırması kısmında Saha 1 için hesaplaması yapılan modül alanı; “presizing help – available area” (Ön boyutlandırma) alanına m² cinsinden yazılır.



Şekil 6.9. Sistem tanımlaması giriş ekranı.

Şekil 6.10’da program, seçilen güneş panelinin ön tanımlı fiziksel özelliklerini kullanarak saha 1 için kullanılabilir modül sayısını hesaplar. Ayrıca program, “Enter planned power” girdi kutusunda kWp cinsinden saha 1’in kurulu gücünü hesaplayarak verir (Şekil 6.10). “Desing the array” kısmında; Bölüm 3.4.4.’te belirtilen modül masasında (modül serisi) bulunması gereken güneş paneli sayısı “Mod in series” kısmına 20 olarak girilir. Program hesapladığı güneş paneli sayısını “Mod in series” değerine bölerek “Number of strings” kısmına kullanılabilir toplam modül masasını hesaplar (Şekil 6.11).

Saha 1 | Saha 2 | Saha 3 | Saha 4 | Saha 5 |

Sub-array name and Orientation
 Name: Saha 1 Order: 1 Tilt: 30° Azimuth: 0°
 Orient: Unlimited sheds

Presizing Help
 No sizing Enter planned power: 2185.0 kWp
 or available area(modules): 14219 m²

Select the PV module
 Available Now: [Dropdown] Maximum nb. of modules: 8740
 Solarturk Energy 250 Wp 25V Si-poly Poly 250 w 60 Cells Since 2008 Manufacturer 2015 [Open]
 Sizing voltages: Vmpp (60°C): 25.6 V Voc (-10°C): 41.9 V
 Use Optimizer

Select the inverter
 Available Now: [Dropdown] [50 Hz] [60 Hz]
 Goodwe 20 kW 260 - 850 V TL 50/60 Hz GW20K-DT Since 2012 [Open]
 Nb. of inverters: 83 [checked] Operating Voltage: 260-850 V Global Inverter's power: 1660 kWac
 Use multi-MPPT feature [?] Input maximum voltage: 1000 V **Inverter with 2 MPPT**

Şekil 6.10. Güneş paneli ve eviricinin seçilmesi.

Güneş paneli seçiminin yapılmasının ardından, evirici marka ve model seçimi “Select the inverter” seçim alanından yapılır. Program ilk etapta evirici sayısını belirler. Bu aşamada, belirlenen 20 kW evirici sayısı Saha 1 için 83 olarak program tarafından belirlenmiştir. Panellerden gelen doğru akımın, 83 adet eviriciye aşırı yüklemeye sebep olacağı Şekil 6.11 a’da “Overload loss” alanında görülmektedir. Sistemde %0,6’lık evirici fazla yüklenme kaybı görülmektedir.

Select the inverter
 Available Now: [Dropdown]
 Goodwe 20 kW 260 - 850 V T
 Nb. of inverters: 83 [checked] Operating V Input maxim
 Use multi-MPPT feature [?]

Design the array
Number of modules and strings [?] [?]
 Mod. in series: 20 [between 11 and 23]
 Nbre strings: 437 [between 332 and 437]
 Overload loss: 0.6 %
 Pnom ratio: 1.32 [Show sizing] [?]
Nb. modules: 8740 Area: 14219 m²

Select the inverter
 Available Now: [Dropdown]
 Goodwe 20 kW 260 - 850 V TL
 Nb. of inverters: 96 [] Operating V Input maxim
 Use multi-MPPT feature [?]

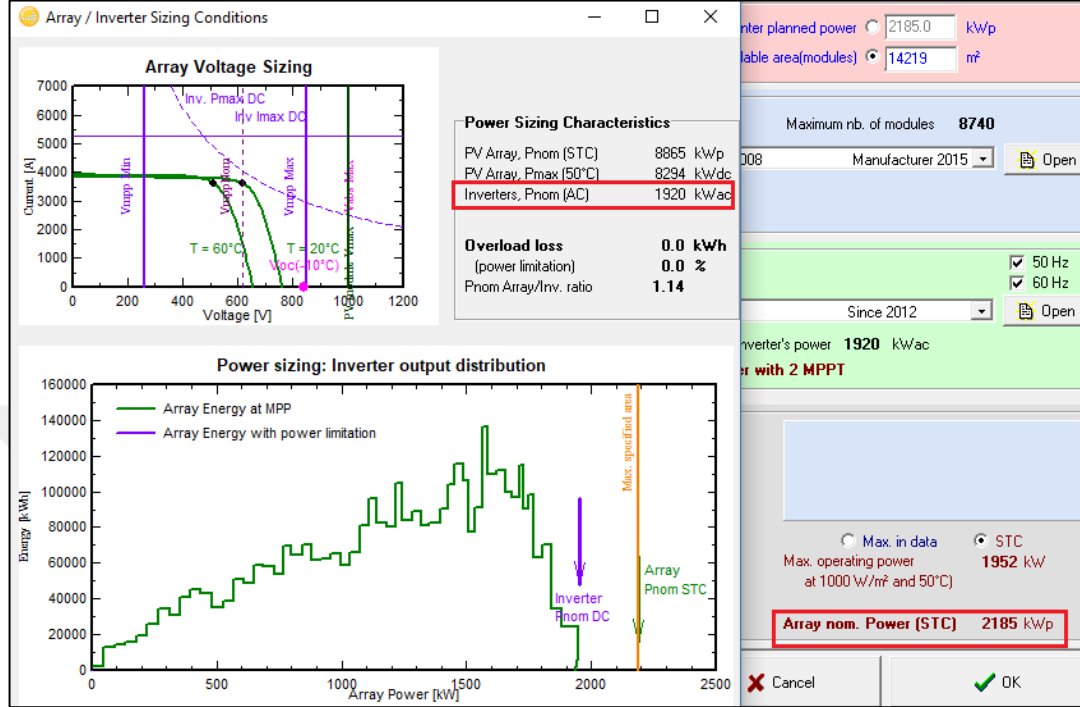
Design the array
Number of modules and strings [?] [?]
 Mod. in series: 20 [between 11 and 23]
 Nbre strings: 437 [between 384 and 437]
 Overload loss: 0.0 %
 Pnom ratio: 1.14 [Show sizing] [?]
Nb. modules: 8740 Area: 14219 m²

a) program evirici sayısı önerisi

b) en uygun evirici sayısı

Şekil 6.11. Saha 1’de evirici sayısının belirlenmesi.

Şekil 6.11’de evirici sayısı kademeli olarak arttırılmış ve saha 1 için evirici sayısı 83’ten 96’ya çıkarılarak fazla yüklenme kaybı teknik olarak ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 6.12. Saha 1’de dizi/ evirici sistem boyutlandırması.

Şekil 6.11’deki “Show sizing” butonu ile Saha 1’in “Dizi/ Evirici Sistem boyutlandırması” grafiksel olarak Şekil 6.12’de görülür. Buradaki Pnom ratio hesaplaması; dizi DC Gücü’nün (Array nom. Power) evirici AC gücüne (Inverter power/inverter Pnom) bölünmesiyle program tarafından yapılmıştır ($2.185\text{kWp DC} / 1920\text{kWp AC} = 1,14$).

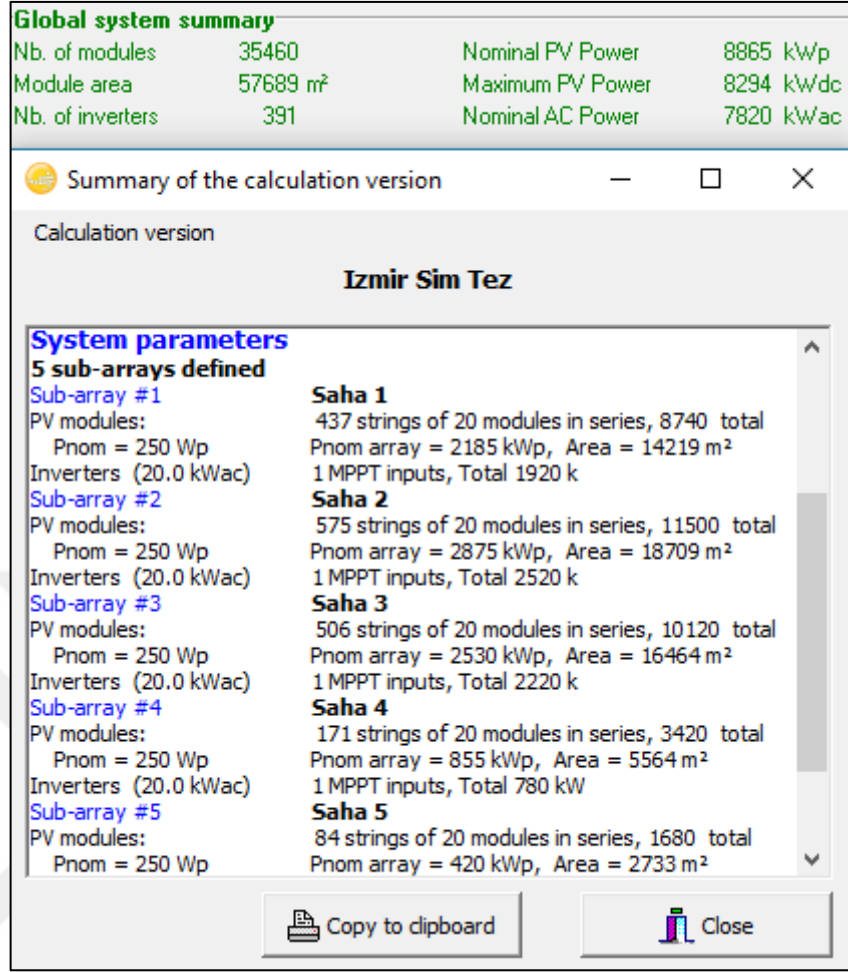
Histogram grafiğinde yeşil renk ile belirtilen; güneş paneli dizisinin eviricideki gücüdür. Mavi renk ile belirtilen; eviricinin diziden alabileceği enerji eşliğini ifade eder. Grafikte dizinin eviricinin doğru akımı alternatif akıma çevirebileceği kadar akım gönderdiği anlaşılır. Dolayısıyla, belirlenen evirici sayısı Saha 1 sistemi için yeterlidir (Şekil 6.12).

Çizelge 6.6. Üretim sahaları için PVsyst’te belirlenen evirici sayıları.

Sistem	Saha 1	Saha 2	Saha 3	Saha 4	Saha 5
Dizi gücü (DC) kWp	2 185	2 875	2 530	855	420
Evirici gücü (AC) kWp	1 920	2 520	2 220	780	380
Pnom ratio (DC/AC)	1,14	1,14	1,14	1,10	1,11
Belirlenen evirici sayısı	96	126	111	39	19

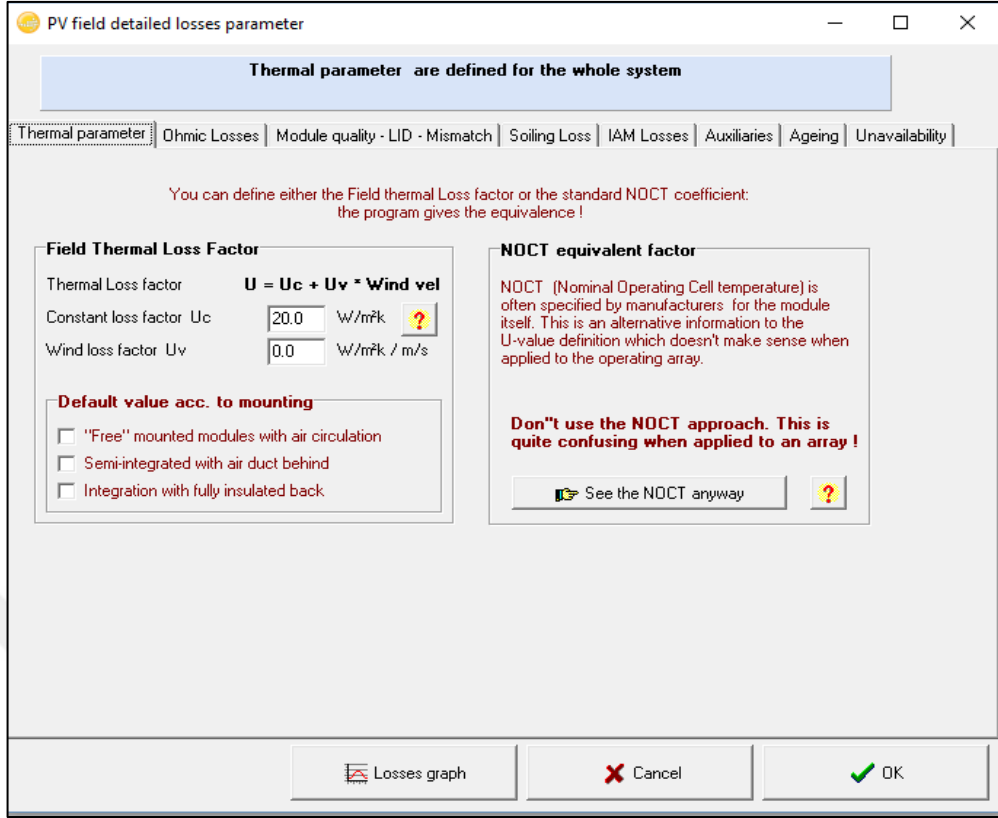
Pnom ratio; dizilerin eviriciye fazla yüklenmesiyle ilgili durumun görülebilmesi için, PVsyst programında hesaplanan bir orandır. Dizide oluşan nominal DC akımın, evirici nominal AC akım değerine bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

Çizelge 6.6’da tüm üretim alanları için PVsyst programında hesaplanan evirici sayıları verilmiştir. Saha 4 ve Saha 5’in Pnom ratio değeri sırasıyla; 1,10, ve 1,11 olmuştur. Bu sahalar için evirici sayısı düşürüldüğünde sistem üretim kayıpları gözlenmiştir. Saha 1, Saha 2 ve Saha 3 için pnom ratio; 1,14 olarak hesaplanmıştır. PVsyst hesaplamalarına göre sahalarda evirici aşırı yüklenme kaybı oluşmamış olup, evirici – dizi dengesini bozmayacak şekilde evirici eklemesi yapılabilir.



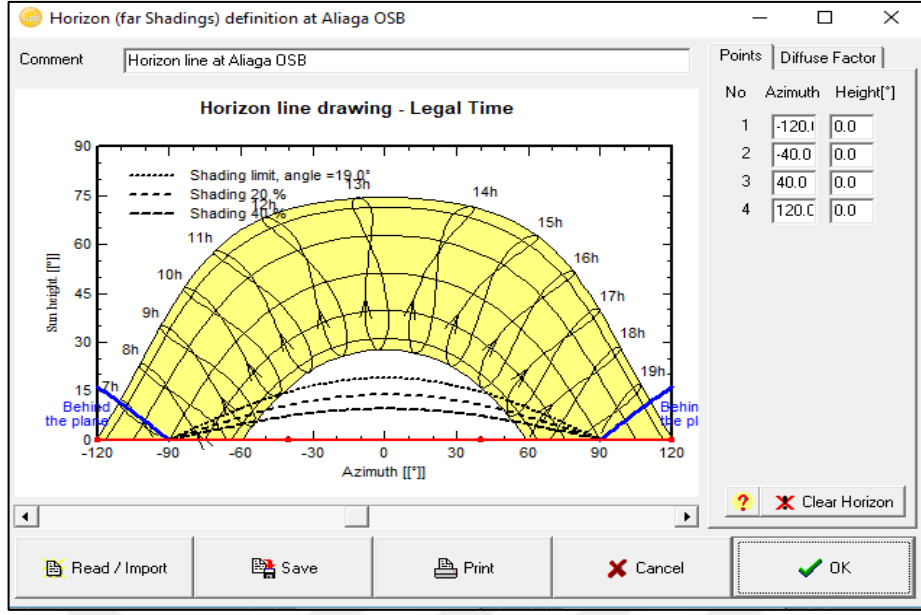
Şekil 6.13. Sistem özeti.

Uygulamada, uyumsuzlukların önüne geçmek için sistemin tamamında aynı niteliklerde evirici ve güneş paneli kullanılmıştır. Sadece Saha 1 için yapılan sistem tanımlaması görselde belirtilmiştir. Diğer 4 Saha'ya ilişkin planlanan güneş paneli, modül alanı bilgilerinin programa girilmesi de benzer şekilde yapılmıştır. Sisteme ilişkin özet, sistem giriş ekranından “System overview” butonuna basılarak (Şekil 6.9) elde edilmiş ve Şekil 6.13'te gösterilmiştir.



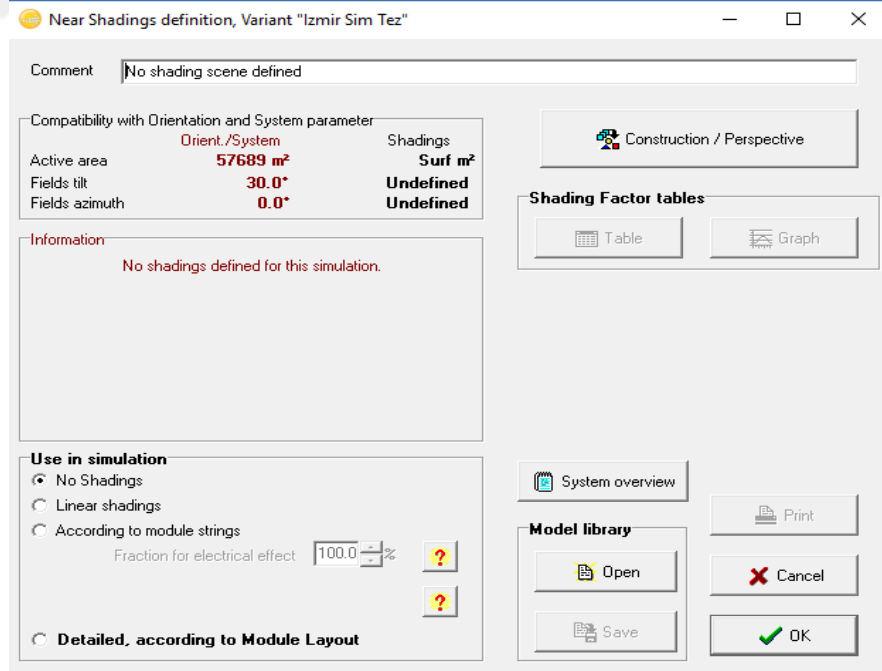
Şekil 6.14. Sistem kayıpları girdi ekranı.

Sistem tanımlamasının ardından sisteme ilişkin detaylı kayıplar “Detailed losses” kısmından girilir. Şekil 6.14’teki gibi açılan pencerede; “Thermal Parameter”; sıcaklık ve rüzgara ilişkin kayıp faktörleri, “Ohmic Losses” DC-AC akım dönüşümünden kaynaklanan kayıp faktörleri, “Module quality, Mismatch”; modül kalitesi ve modül- evirici, kablolama kayıp faktörleri, Soiling Loss”; modül toz/kir faktörü kayıp oranı girişleri manuel olarak girilebileceği gibi, kullanılan malzeme (marka-model bilgisi) ve sistemin bağlantı durumuna göre programın veri tabanı verileri aracılığıyla belirlediği kayıp değerleri de kullanılabilir. Detaylı kayıp verileri programın önerdiği kayıp değerleri kullanılarak belirlenmiştir.



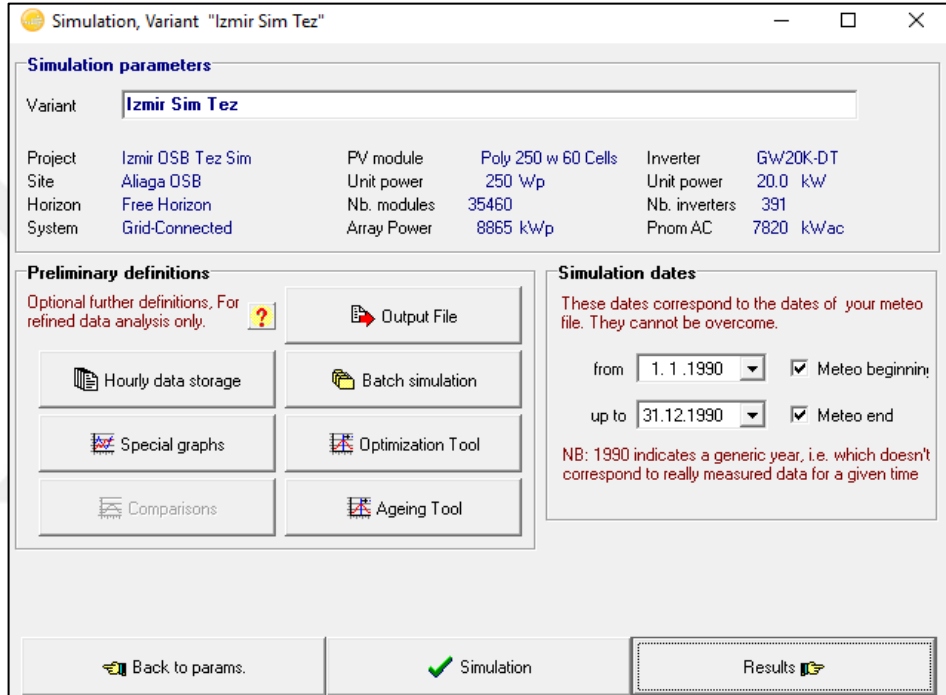
Şekil 6.15. Bölge ufuk çizgisi bilgisi.

Detaylı kayıp faktörleri belirlendikten sonra “Horizon” butonuna basılarak seçilen bölgenin ufuk çizgisi bilgilerine Şekil 6.15’te görülen pencereden erişilebilir.



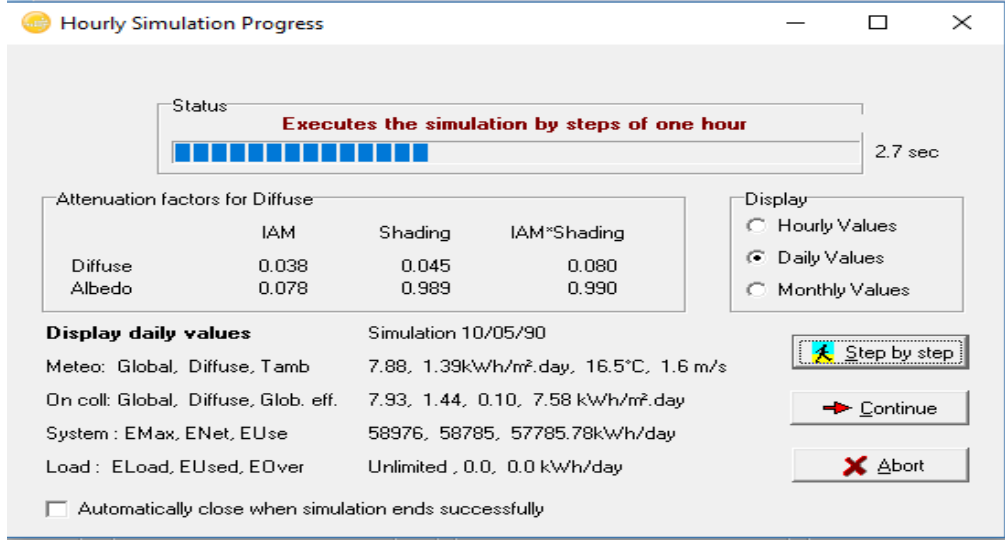
Şekil 6.16. Çevre gölgelemesi girdi ekranı.

Simülasyon öncesi proje alanı çevresindeki yapılardan dolayı oluşabilecek gölgelemenin belirlenebilmesi için gölgeleme “Near Shadings” butonu kullanılır (Şekil 6.8). Açılan pencereden “Construction/Perspective” yapı konumu belirleme butonuna tıklanarak ilgili yapılar konumlandırılır (Şekil 6.16). Projede çevrede bulunan yapıların gölgelemeye sebep olmadığı varsayıldığı için bu bölümde boyutlandırma yapılmamış ve “no shadings” gölgeleme yok seçeneği Şekil 6.16’da işaretlenmiştir.



Şekil 6.17. Gelişmiş simülasyon ayarları penceresi.

Simülasyon: PV projesine ilişkin parametre girişleri yapıldıktan sonra Proje giriş ekranından “Advanced Simulation” butonuna basılarak Şekil 6.17’de verilen simülasyon ayarları penceresinden detaylı ayarlamalar yapılır.



Şekil 6.18. Simülasyon ekranı.

Ayarlar kontrol edildikten sonra “simulation” butonuna basılarak simülasyon başlatılır. Simülasyon tamamlanana kadar ilgili detaylar Şekil 6.18’de verilen simülasyon ekranından takip edilir. Simülasyon tamamlandıktan sonra PVsyst programı tarafından oluşturulan teknik rapor Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. İzmir Aliğa OSB fotovoltaik sistem uygulaması teknik raporu.

a) Simülasyon parametreleri; konum, panel, üretim alanı özet raporu

PVSYST V6.75		04/11/18		Page 1/7	
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project : Izmir OSB Tez Sim					
Geographical Site		Aliaga OSB		Country Turkey	
Situation		Latitude 38.82° N		Longitude 27.06° E	
Time defined as		Legal Time Time zone UT+3		Altitude 79 m	
		Albedo 0.20			
Meteo data:		Aliaga OSB Meteonorm 7.1 (2004-2010), Sat=100% - Synthetic			
Simulation variant : Izmir Sim Tez					
		Simulation date 04/11/18 21h58			
Simulation parameters		System type Unlimited sheds			
Collector Plane Orientation		Tilt 30°		Azimuth 0°	
Sheds configuration		Nb. of sheds 90		Unlimited sheds	
		Sheds spacing 7.70 m		Collector width 3.30 m	
Inactive band		Top 0.02 m		Bottom 0.02 m	
Shading limit angle		Limit profile angle 19.0°		Ground cov. Ratio (GCR) 42.9 %	
Models used		Transposition Perez		Diffuse Perez, Meteonorm	
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		Mutual shadings of sheds			
PV Arrays Characteristics (5 kinds of array defined)					
PV module		Si-poly Model Poly 250 w 60 Cells			
Original PVsyst database		Manufacturer Solarturk Energy			
Sub-array "Saha 1"					
Number of PV modules		In series 20 modules		In parallel 437 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 8740		Unit Nom. Power 250 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 2185 kWp		At operating cond. 1952 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 540 V		I mpp 3618 A	
Sub-array "Saha 2"					
Number of PV modules		In series 20 modules		In parallel 575 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 11500		Unit Nom. Power 250 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 2875 kWp		At operating cond. 2568 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 540 V		I mpp 4761 A	
Sub-array "Saha 3"					
Number of PV modules		In series 20 modules		In parallel 506 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 10120		Unit Nom. Power 250 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 2530 kWp		At operating cond. 2260 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 540 V		I mpp 4189 A	
Sub-array "Saha 4"					
Number of PV modules		In series 20 modules		In parallel 171 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 3420		Unit Nom. Power 250 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 855 kWp		At operating cond. 764 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 540 V		I mpp 1416 A	
Sub-array "Saha 5"					
Number of PV modules		In series 20 modules		In parallel 84 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 1680		Unit Nom. Power 250 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 420 kWp		At operating cond. 375 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 540 V		I mpp 695 A	
Total Arrays global power		Nominal (STC) 8865 kWp		Total 35460 modules	
		Module area 57689 m²		Cell area 51777 m ²	

Raporun ilk bölümünde; proje konumu, panel eğimi, azimut açısı, albedo (Simulation parameters), projede kullanılan güneş paneli sayıları ve kapladıkları modül alanını özetleyen simülasyon parametreleri (PV array characteristic) bulunmaktadır.

Çizelge 6.7. (devam ediyor).

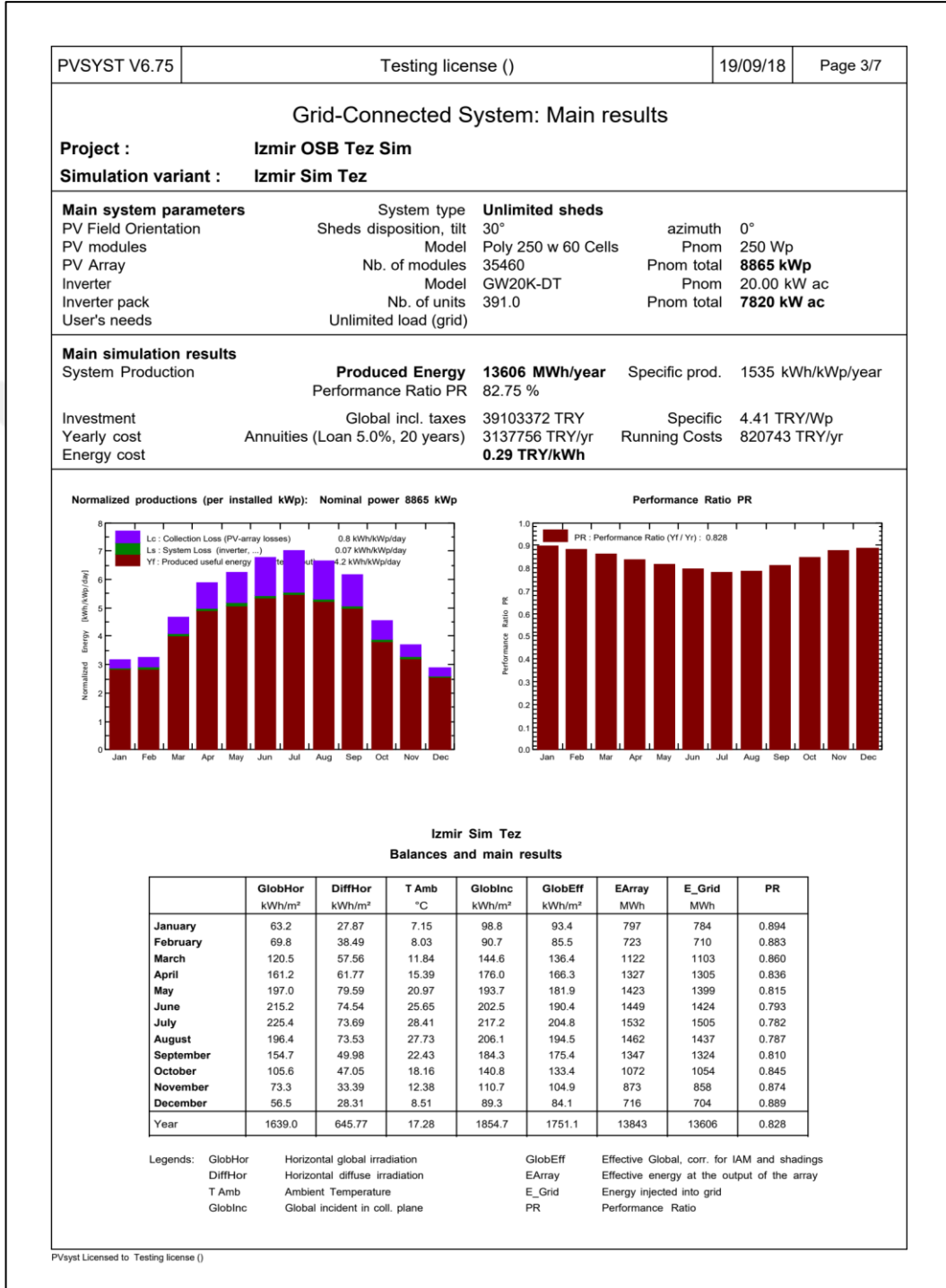
b) Sistem parametreleri; evirici ve sistem kayıpları özet raporu

PVSYST V6.75		04/11/18	Page 2/7
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Inverter	Model	GW20K-DT	
Original PVsyst database	Manufacturer	Goodwe	
Characteristics	Operating Voltage	260-850 V	Unit Nom. Power 20.0 kWac
Sub-array "Saha 1"	Nb. of inverters	96 units	Total Power 1920 kWac Pnom ratio 1.14
Sub-array "Saha 2"	Nb. of inverters	126 units	Total Power 2520 kWac Pnom ratio 1.14
Sub-array "Saha 3"	Nb. of inverters	111 units	Total Power 2220 kWac Pnom ratio 1.14
Sub-array "Saha 4"	Nb. of inverters	39 units	Total Power 780 kWac Pnom ratio 1.10
Sub-array "Saha 5"	Nb. of inverters	19 units	Total Power 380 kWac Pnom ratio 1.11
Total	Nb. of inverters	391	Total Power 7820 kWac
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1	2.5 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#2	1.9 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#3	2.2 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#4	6.4 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#5	13 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Global		Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction -1.3 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		

Raporun ikinci bölümünde; üretim alanlarına konumlandırılan evirici sayıları (Inverter), her saha için panel/evirici güç dengesi (Pnom ratio), fotovoltaik serilerde meydana gelen kayıplar (PV array loss factors) verilmiştir.

Çizelge 6.7. (devam ediyor).

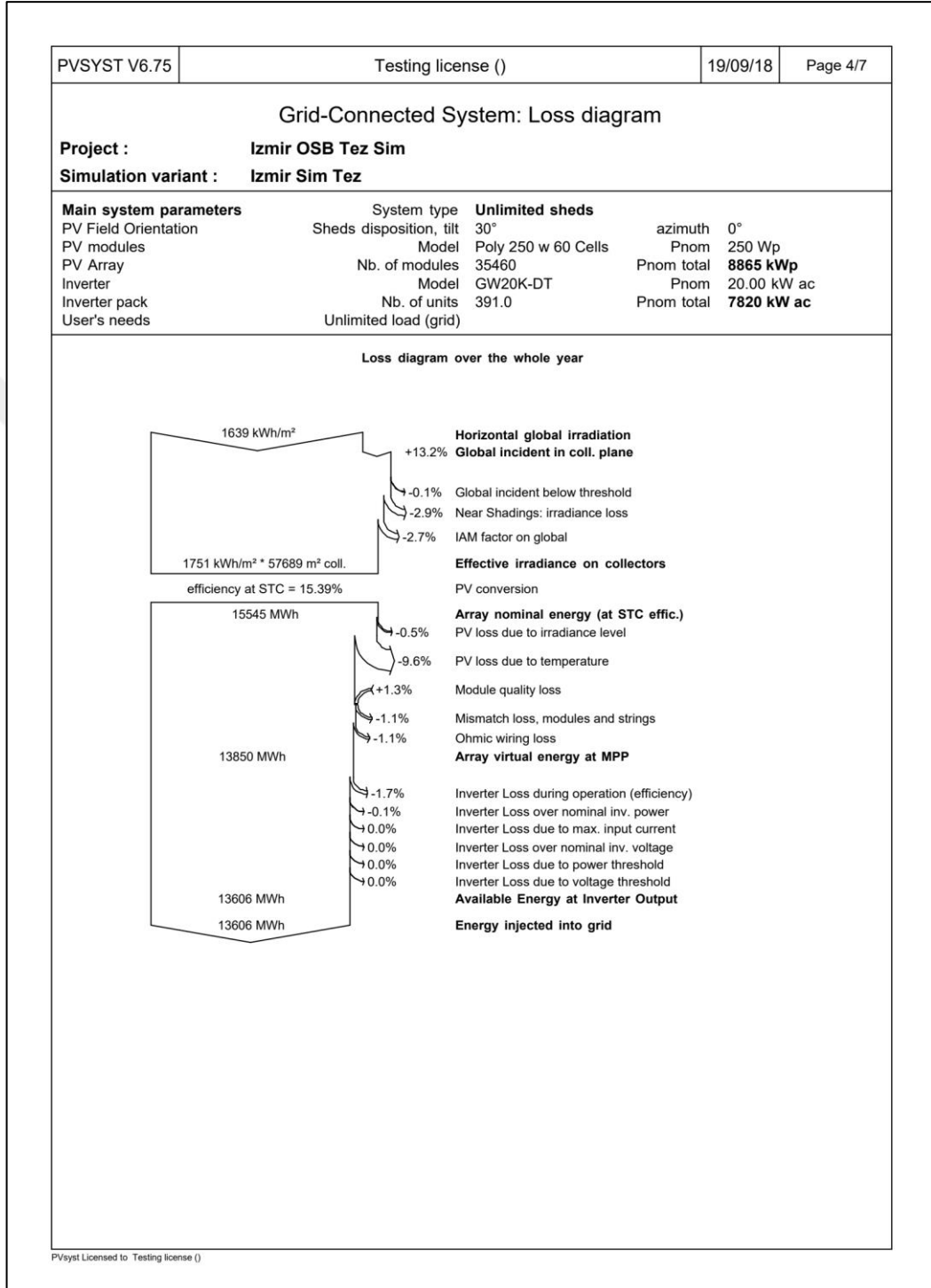
c) Simülasyon sonuçları: normalleştirilmiş üretim ve performans raporu



Raporun üçüncü bölümünde; temel simülasyon sonuçları (main simulation results), aylık net üretimler (normalized productions), aylık üretim performansları (Performance ratio) verilmiştir.

Çizelge 6.7. (devam ediyor).

d) Yıllık sistem kayıpları raporu



Raporun dördüncü bölümünde; tüm yıl boyunca gerçekleşen üretim kayıpları ve yıl sounda üretilebilecek enerji miktarı diyagramı verilmiştir (Loss diagram over the whole year).

Program teknik rapor çıktısı Çizelge 6.7’de verilmiştir. Program çıktısında; proje konumu, panel eğimi, azimut açısı, albedo, alt üretim sahalarında kullanılan güneş paneli ve evirici bilgisi, nominal güç bilgileri ve sistem kayıp faktörüne ilişkin sistem parametreleri, simülasyon sonuçları ve kayıp faktörlerine ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Bu raporun, bir özeti diğer OSB’lerle karşılaştırma yapılmak amacıyla Çizelge 6.8’de verilmiştir. Ayrıca, Ankara ve İstanbul uygulamalarına ilişkin PVsyst yıllık enerji kaybı diyagramları Çizelge EK 1 ve Çizelge EK 3’te; simülasyon çıktıları Çizelge EK 2 ve Çizelge EK 4’te sunulmuştur.

6.3.2. İstanbul Tuzla OSB ve Ankara Sincan OSB FV Yatırımları için Yıllık Elektrik Üretimi Simülasyon Sonuçları ve Simülasyon Karşılaştırmaları

Önceki bölümde İzmir ili OSB FV yatırımı uygulamasının PVsyst programı kullanılarak yapılan elektrik üretimi simülasyonu detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde Ankara Sincan OSB ve İstanbul Tuzla OSB için sistem parametreleri ulaşılan simülasyon sonuçlarıyla birlikte verilerek seçilen üç yatırım bölgesinin simülasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8’de yıllık global güneş radyasyonu verileri İzmir’den İstanbul’a doğru azaldığı görülmektedir (İzmir; 1 639, Ankara; 1 494, İstanbul; 1 374). Bu azalışa paralel olarak yıllık üretimlerde de beklendiği gibi bir azalma söz konusudur.

Üç alternatif için görülen %0,3’lük yıllık üretim kaybı, panel ve evirici performansının kullanım ömrü içerisinde kademeli olarak azalması sonucu meydana gelmiştir [44]. Üç alternatifte de kullanılan sistem elemanları aynı olduğundan yıllık elektrik üretimi kaybı da aynı orandadır.

Çizelge 6.8. Simülasyon parametreleri ve simülasyon sonuçları.

Proje	İzmir OSB	Ankara OSB	İstanbul OSB
Konum Bilgileri			
Enlem/boylam (⁰)	38.8K; 27.0D	39.7K; 32.4D	40.8K; 29.3D
Yükseklik (m)	79	771	119
Ortalama güneşlenme süresi (gün-saat)	8,19	7,02	6,57
Sistem kurulum bilgisi			
Azimet açısı (⁰)	0	0	0
Modül eğimi (⁰)	30	30	30
Çevre gölgelenmesi	-	-	-
Modül bilgileri			
Üretici	SolarTürk	SolarTürk	SolarTürk
Model	Poly 250 w 60 cell	Poly 250 w 60 cell	Poly 250 w 60 cell
Nominal güç (W)	250	250	250
Kullanılan modül adedi	35 460	35 460	35 460
Modül alanı m ²	51 777	51 777	51 777
Kurulu güç (kWp)	8 865	8 865	8 865
Evirici bilgileri			
Üretici	Goodwe	Goodwe	Goodwe
Model	GW20K-DT	GW20K-DT	GW20K-DT
Nominal güç (kW/ac)	20	20	20
Kullanılan evirici sayısı	391	391	391
Sistem kayıpları ve kazançları			
Yıllık global radyasyon (kWh/m ²)	1 639	1 494	1 374
Global radyasyon kazancı (%)	13,2	13,1	11,3
Modül masası gölgelenme kaybı (%)	-2,9	-3,1	-3,3
Geliş açısı faktörü (%)	-2,7	-2,8	-2,9
Radyasyon etkisiyle modülde oluşan kayıp (%)	-0,5	-0,7	-0,9
Panel test verimi (%)	15,39	15,39	15,39
PV modülün sıcaklık etkisi kaybı (%)	-9,6	-7,3	-7,6
Modül kalite faktörü (%)	1,3	1,3	1,3
Sistem uyumsuzluk/yanlış eşleşme kaybı (%)	-1,1	-1,1	-1,1
Kablolama kayıpları (%)	-1,1	-1	-0,9
Evirici kayıpları (%)	-1,7	-1,7	-1,7
Yıllık elektrik üretimi (MWh/yıl)	13 606	12 655	11 366
Yıllık elektrik üretim kaybı (%)	0,3	0,3	0,3

Simülasyon sonuçlarına bakıldığında; İzmir’de 250 W nominal güce sahip 35 460 güneş paneli ile 13 606 MWh yıllık elektrik üretimi sağlanmıştır. Ankara’da bu durum, aynı niteliklere sahip 5 460 güneş paneli ile yıllık 12 655 MWh elektrik üretimi sağlarken, İstanbul’da 11 366 MWh yıllık elektrik üretimi yapılmıştır (Çizelge 6.8).

6.4. BELİRLENEN OSB'LERİ İÇİN YATIRIM UYGULAMASI

Bu bölümde İzmir, Ankara, İstanbul FV yatırımlarının faydalı ömürleri boyunca sağlayacakları yıllık gelir ve giderler hesaplanarak; “yatırım getirisi oranı” ve “yatırım geri ödeme süresi” analizleri yapılmıştır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için önceki bölümlerde bazılarına değinilen (Güneş paneli, evirici ve 6.2.2’de açıklanan kabuller) yatırım ve yıllık işletim maliyetlerine ilişkin maliyet kalemleri tüm OSB uygulamaları için Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.11’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.9. Yatırım maliyeti.

Yatırım Maliyet Kalemleri (₺)	İzmir OSB	Ankara OSB	İstanbul OSB
Panel birim maliyeti (+KDV)	561	561	561
PV Modül maliyeti (+KDV)	19 893 060	19 893 060	19 893 060
Evirici birim maliyet (+KDV)	15 608	15 608	15 608
Evirici maliyeti (+KDV)	6 102 728	6 102 728	6 102 728
Panel başına montaj maliyeti (A)	10	10	10
Modül montaj maliyeti ((A) x Panel Sayısı) (+KDV)	354 600	354 600	354 600
Kurulum ve kablolama (montaj m%50) (+KDV)	177 300	177 300	177 300
Arsa maliyeti	7 800 000	3 705 000	15 093 000
Lisans alma bedeli	700	700	700
Bürüt yatırım	34 328 388	30 233 388	41 621 388
KDV (%)	18	18	18
Net yatırım	39 103 372	35 008 372	46 396 372

Tüm hesaplamalar Türk Lirası cinsinden yapılmış olup, Amerikan doları para birimi cinsinden yapılan devlet katkısı/garantisi Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası 2017 yılı ortalama Amerikan Doları kurundan Türk Lirasına çevrilerek (1 ABD Doları = 3,65 Türk Lirası) hesaplamalara yansıtılmıştır [90].

Kullanılan arsaların büyüklükleri m² olarak aynı olsa da bölge şartlarındaki m² maliyetleri bölgenin sosyal ve ekonomik koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle her üretim bölgesinin bulunduğu OSB için arsa maliyeti, o bölgenin ilgili belediyesinin o yıl için belirlediği (cadde/sokak gözeterek) rayiç bedel üzerinden hesaplanmıştır [89].

Projelerin net yatırım bedelleri İzmir Aliğa OSB için; 39 103 372 ₺, Ankara Sincan OSB için; 35 008 372 ₺, İstanbul Tuzla OSB için; 46 396 372 ₺ olarak hesaplanmıştır. Yatırım maliyetlerinin farklılık göstermesinin temelinde bölge arsa maliyetlerinin farklılık göstermesi yatmaktadır. Net yatırım maliyetinin %5 yıllık faiz oranıyla 20 yıllık bir krediyle finanse edileceği senaryosu üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca; yıllık net kar ve üretim gelirleri, Excel üzerinde net bugünkü değer analizi yapılarak bugüne indirgenmiştir. Net bugünkü değer analizinde kullanılan oran Bölüm 6.2.2’de %2 olarak hesaplanmıştır. Her yatırım değerlendirmesi için bugüne indirgenen toplam net kar, Çizelge 6.13, Çizelge 6.16 ve Çizelge 6.18’de verilmiş ve yatırım getirisi oranı hesaplaması için kullanılmıştır.

Çizelge 6.10. 2017 yılı arsa rayiç bedeli ve OSB arsa maliyeti.

	OSB Arsa Rayiç bedel(m ²)	Rayiç bedeli %15’i	Arsa m ²	
İzmir	200 ₺	30 ₺	260 000 m ²	7 800 000 ₺
Ankara	95 ₺	14 ₺	260 000 m ²	3 705 000 ₺
İstanbul	387 ₺	58 ₺	260 000 m ²	15 093 000 ₺

Arsa rayiç bedelleri üzerinden hesaplanan arazi bedelleri; Bölüm 6.2.2’de açıklanan kabuller dikkate alınarak Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Çizelge 6.11. Yıllık işletim maliyetleri.

Yıllık Maliyet Kalemleri	İzmir OSB	Ankara OSB	İstanbul OSB
Sigorta	103 983	103 983	103 983
Çalışan maaşları	504 000	504 000	504 000
Bakım ve yıllık lisans maliyeti	212 760	212 760	212 760
Net yıllık maliyet	820 743	820 743	820 743

Yıllık sigorta maliyeti Bölüm 6.2.2’de açıklanan kabullere göre; güneş panelleri ve eviricilerin KDV’siz toplam maliyetleri olan 25 995 788’in (Güneş paneli 19 893 060 + Evirici 6 102.728) faydalı ömürleri olan 25 yıla bölünmesinden elde edilen (normal amortisman) değer %10’u yani 103 983 ₺ (25 995 788 ₺/25yıl *0,10) olarak hesaplanarak Çizelge 6.11’de verilmiştir. Yıllık çalışan maliyetleri; bölüm 6.2.2’de detayları belirtilen kabullerdeki 12 çalışan için çalışan başına 3 500 ₺ ortalama maliyet olacak şekilde hesaplanarak yansıtılmıştır.

Yıllık lisans maliyeti EPDK tarafından FV yatırımları için ilk sekiz yıl alınmamaktadır. Geriye kalan yıllar için üretilen her kW başına 0,003 Kuruş-TL olarak yıllık üretim üzerinden alınır. Örneğin 13 606 MW üretimi olan İzmir OSB için yıllık lisans bedeli 40 818₺'dir (13 606 000*0,003). Bu değer ilk sekiz yıl alınmayacağı ve bakım maliyetlerinin de yıllara göre değişim göstereceği göz önünde bulundurularak aynı maliyet kalemi içerisinde değerlendirilmesine karar verilmiştir. Yıllık bakım ve yıllık lisans bedeli toplamı 212 760 ₺'dir (Bkz. Bölüm 6.2.2).

Çizelge 6.12. Devlet satış fiyatı garantisi.

	İlk beş yıl	İkinci beş yıl	Garanti sonrası fiyat
Devlet satış fiyatı garantisi	19,4 Dolar-Cent/Kw	13,3 Dolar-Cent/kW	11,1 Dolar-cent/kW
TL karşılığı	0,7 ₺/kW	0,49 ₺/kW	0,4 ₺/kW
1 ABD Doları=3,65 Türk Lirası			

Çizelge 6.12'de devletin verdiği satış fiyatı garantisi projede yerli güneş paneli ve ekipmanları kullanıldığı için üretilen elektriğin ilk beş yıl kW başına 70 kuruşa satılması, ikinci beş yıllık dönemde yerli üretim ürün kullanılmasına ilişkin desteğin bitmesinin ardından satış fiyatının devlet garantisinde 49 kuruş olarak devam edeceği, geriye kalan süreç için 40 kuruş olarak (satış fiyatının 11,1 Dolar-sent'in altına düşmeyeceği) devam edeceği senaryosu üzerinden hesaplama yapılmıştır.

6.4.1. İzmir OSB Fotovoltaik Yatırımı Analizi

İzmir OSB için yatırımın Kar/zarar durumu öncelikle Excel programında 25 yıllık yatırım ömrü için hesaplanarak Çizelge 6.13'te verilmiştir. Ardından PVsyst programına aynı maliyet kalemleri girilerek hesaplamaların karşılaştırması ve kontrolü yapılmıştır.

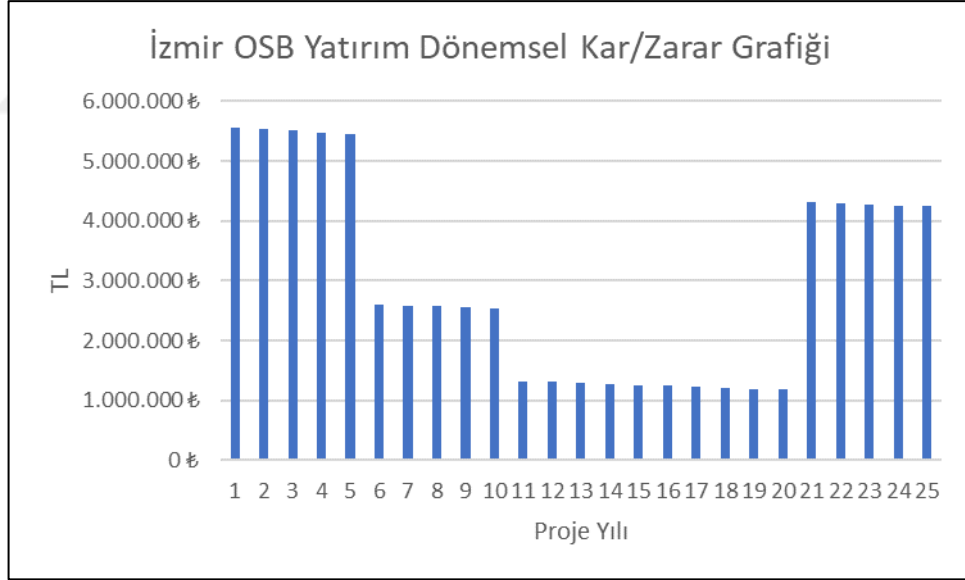
Çizelge 6.13. İzmir OSB yatırımı dönemlik maliyet ve kar/zararı.

Yatırım Dönemi (yıl)	Üretim kWh, (A)	Satış fiyatı (kWh/ ₺)	Gelir, (B)	Yıllık Gider, (C)	Yıllık Kredi Ödemesi, (D)	Yıllık Kar, (B+C+D)	Birim Üretim maliyeti, ((C+D)/A)
1.dönem	13 606 000	0,70 ₺	9 524 200 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	5 565 701 ₺	-0,29 ₺
2.dönem	13 565 182	0,70 ₺	9 495 627 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	5 537 129 ₺	-0,29 ₺
3.dönem	13 524 486	0,70 ₺	9 467 141 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	5 508 642 ₺	-0,29 ₺
4.dönem	13 483 913	0,70 ₺	9 438 739 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	5 480 240 ₺	-0,29 ₺
5.dönem	13 443 461	0,70 ₺	9 410 423 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	5 451 924 ₺	-0,29 ₺
6.dönem	13 403 131	0,49 ₺	6 567 534 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	2 609 035 ₺	-0,30 ₺
7.dönem	13 362 921	0,49 ₺	6 547 832 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	2 589 333 ₺	-0,30 ₺
8.dönem	13 322 833	0,49 ₺	6 528 188 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	2 569 689 ₺	-0,30 ₺
9.dönem	13 282 864	0,49 ₺	6 508 603 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	2 550 105 ₺	-0,30 ₺
10.dönem	13 243 016	0,49 ₺	6 489 078 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	2 530 579 ₺	-0,30 ₺
11.dönem	13 203 287	0,40 ₺	5 281 315 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 322 816 ₺	-0,30 ₺
12.dönem	13 163 677	0,40 ₺	5 265 471 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 306 972 ₺	-0,30 ₺
13.dönem	13 124 186	0,40 ₺	5 249 674 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 291 175 ₺	-0,30 ₺
14.dönem	13 084 813	0,40 ₺	5 233 925 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 275 426 ₺	-0,30 ₺
15.dönem	13 045 559	0,40 ₺	5 218 223 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 259 725 ₺	-0,30 ₺
16.dönem	13 006 422	0,40 ₺	5 202 569 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 244 070 ₺	-0,30 ₺
17.dönem	12 967 403	0,40 ₺	5 186 961 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 228 462 ₺	-0,31 ₺
18.dönem	12 928 501	0,40 ₺	5 171 400 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 212 901 ₺	-0,31 ₺
19.dönem	12 889 715	0,40 ₺	5 155 886 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 197 387 ₺	-0,31 ₺
20.dönem	12 851 046	0,40 ₺	5 140 418 ₺	-820 743 ₺	-3 137 756 ₺	1 181 919 ₺	-0,31 ₺
21.dönem	12 812 493	0,40 ₺	5 124 997 ₺	-820 743 ₺		4 304 254 ₺	-0,06 ₺
22.dönem	12 774 055	0,40 ₺	5 109 622 ₺	-820 743 ₺		4 288 879 ₺	-0,06 ₺
23.dönem	12 735 733	0,40 ₺	5 094 293 ₺	-820 743 ₺		4 273 550 ₺	-0,06 ₺
24.dönem	12 697 526	0,40 ₺	5 079 010 ₺	-820 743 ₺		4 258 267 ₺	-0,06 ₺
25.dönem	12 659 433	0,40 ₺	5 063 773 ₺	-820 743 ₺		4 243 030 ₺	-0,06 ₺
Toplam	328 181 655		157 554 904 ₺	-20 518 579 ₺	-62 755 114 ₺	74 281 210 ₺	-0,25 ₺
Net Bugünkü Değer (NBD)			127 078 042 ₺	-16 023 743 ₺	-51 306 804 ₺	59 747 496 ₺	

Çizelge 6.13'te yıllık üretim kaybı %0,3 olarak bir önceki yılki üretimden düşülerek hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 6.8). Örneğin 1. yılın sonunda gerçekleşen üretim 13 606 000 kWh olarak gerçekleşmiştir. Bu değerden yola çıkılarak 2. yıl üretimi gerçekleşen %0,3'lük kayıpla 13 565 182 kWh olmuştur (Çizelge 6.13).

Faiz ödemesi hesaplaması Excel fonksiyonları kullanılarak net yatırım maliyeti üzerinden yıllık ödeme olarak hesaplanmıştır. 39 103 372 ₺ olan net yatırım 3 137 756 ₺ yıllık faiz ödemesiyle 20 yıl boyunca toplamda 62 755 114 ₺ olarak kredi ödemesi olarak planlanmıştır.

Birim kW üretim maliyeti her yıl için yıllık toplam maliyetin, kW cinsinden yıllık elektrik üretimine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Üretim maliyetleri ilk beş yıl 0,29 ₺/kWh seviyesinde gerçekleşeceği hesaplanmış ve kredi ödeme dönemi sonuna kadar 0,31 ₺/kWh değerine kadar yükseleceği görülmüştür.



Şekil 6.19. İzmir OSB FV yatırımı dönemsel kar/zarar grafiği.

Yatırım süresi boyunca İzmir uygulaması için gerçekleşmesi beklenen kar/zarar grafiği Şekil 6.19'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ilk beş yıl devletin sunduğu ek sabit satış fiyatının katkısıyla yıllık kar ortalama 5 000 000 ₺'nin üzerinde izlerken, ikinci beş yıllık dönemde 2 000 000 ₺ olarak gerçekleşmiştir. İlk 10 yıl devletin sağladığı yüksek satış fiyatı garantisinin bitmesiyle geriye kalan kredi dönemi boyunca

yıllık kar 1 000 000 ₺'nin üzerinde gerçekleşerek seyretmiştir. Kredi ödemesinin ardından geriye kalan beş yıllık faydalı ömürde ise sadece yıllık giderlerin maliyete etkisi söz konusu olduğu için her yıl 4 000 000 ₺'nin üzerinde karın gerçekleşeceği görülmektedir. Grafikte birbirini takip eden yıllar arasında karda görülen azalma yıllık %0,3'lük elektrik üretimi kaybından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.14. İzmir OSB yatırımın getirisi oranı.

Net Gelir (25 yıl NBD), (A)	Yatırım Maliyeti, (B)	Yatırımın Getirisi (A/B)	Yatırımın Yıllık Getirisi (ortalama)
59 747 496 ₺	39 103 372 ₺	1,53	0,06

Yatırım getirisi oranı yukarıdaki Çizelge 6.14'te hesaplanmıştır. Proje 25 yıllık bir süreci kapsadığı için her yıl beklenen karın bugünkü değerleri net gelir olarak kullanılmıştır Yatırımın getirisi; oluşması beklenen net gelirin bugünkü değerinin toplam değeri olan 59 747 496 ₺'nin (Çizelge 6.13), projenin brüt yatırım maliyeti olan 39 103 372 ₺'na (Bkz. Çizelge 6.9) bölünmesiyle hesaplanmıştır. Hesaplanan getiri 25 yılın sonunda %153'lük getiriye öngörmektedir.

$$\text{İzmir OSB Yatırım geri ödeme süresi} = \frac{39\,103\,372\,₺}{5\,565\,701\,₺} = 7,03 \text{ yıl}$$

Yatırım geri ödeme süresi; formülü yıllık nakit akışının değişmeyeceğini varsayarak projelerin finansal olarak karşılaştırılmasını sağladığı için; net yatırım maliyetinin yıllık kara bölünerek projenin yedi yılda kara geçeceği hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 6.9 Çizelge 6.13).

6.4.1.1. PVsyst Yazılımı Ekonomik Değerlendirme Aşaması

Bu bölümde PVsyst modülünün kullanılmasına yönelik açıklamalar verilmiştir. Ardından İzmir yatırım alternatifi maliyet kalemleri, devletin sağladığı teşvik verileri girilerek ekonomik değerlendirme yapılmış ve Excel'de yapılan hesaplama sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Simülasyon sonrası PVsyst proje ekranında açılan “Economic evaluation” butonuna tıklanarak Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.11’de İzmir OSB için tanımlanan değerlerin girişi Şekil 6.20’de gösterilen girdi ekranından yapılır. Program girişleri sadece İzmir OSB için açıklamalı olarak gösterilmiştir. Ankara ve İstanbul OSB yatırım analizinde sadece sonuçlara yer verilmiştir.

Economic evaluation

Project and Simulation variant
 Project: İzmir OSB Tez Sim
 Simulation: İzmir Sim Tez
 PV Array, Pnom = 8865 kWp System: Grid-Connected System
 PV module : Poly 250 w 60 Cells Inverter : GW20K-DT

Values:
 Global By Wp
 By piece By m²

Investment

PV modules	35460 units of 250 Wp	561.00	TRY / pc
Supports / Integration		10.00	TRY / pc
Inverters	391 units of 20.0 kW	15608.00	TRY / pc
Settings, wiring, ...		7977300.0	TRY
Others, miscellaneous...	Details	700.00	TRY
Substitution underworth		0.00	TRY
Gross investment, (excl. taxes)		34328388	TRY

Financing

Taxes	18.00 %	6179109.84	TRY
Subsidies		-1404126.0	TRY
Net investment		39103371.84	TRY
Annuities		3137755.72	TRY / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		820743.00	TRY / yr
Total yearly cost		3958498.72	TRY / yr

Loan
 Duration: 20 Years
 Rate: 5.0 %
 Ann. factor: 8.02 %cap./yr

Currency
 TRY - Turkish
 Rates

Energy cost

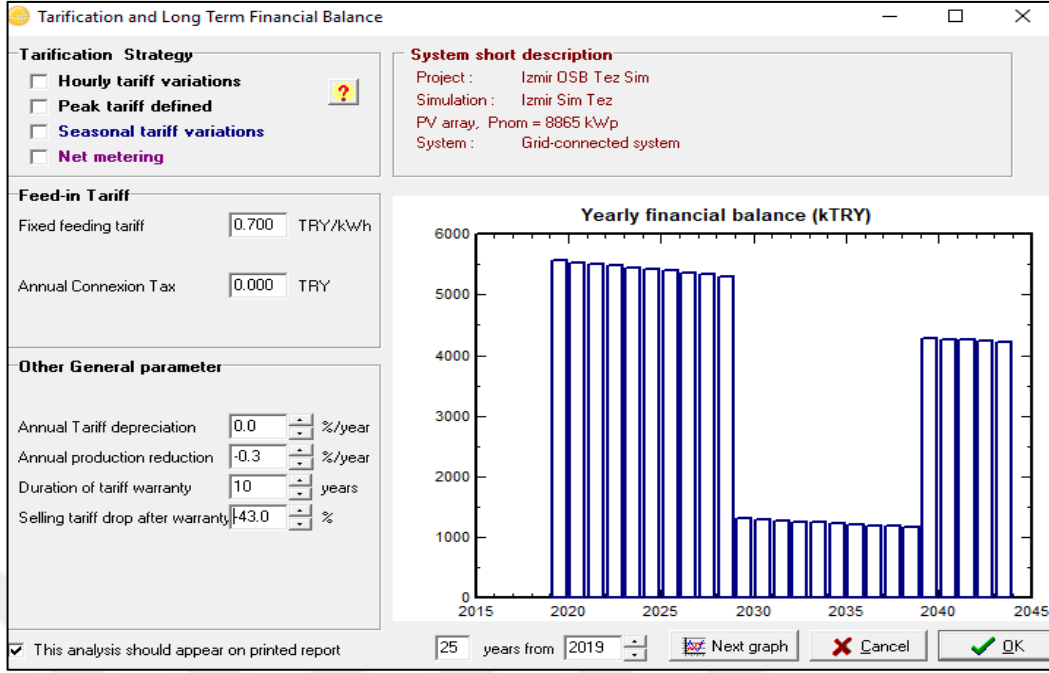
Produced Energy	13606	MWh / year
Yearly cost	3958499	TRY / year
Energy cost	0.29	TRY / kWh

Buttons: Carbon Balance, Financial Balance, Print, Cancel, OK

a) ekonomik değerlendirme girdi ekranı

Şekil 6.20. PVsyst programı ekonomik değerlendirme girdi ekranı.

Programın ekonomik değerlendirme ekranından “financial balance” (finansal denge) butonuna tıklanarak uzun vadeli devlet satınalma garantisi, fiyat garantisi süresi ve yıllık üretim kaybı girdileri yapılır.



b) uzun dönem finansal girdi ve devlet garantisi girdi ekranı

Şekil 6.20. (devam ediyor).

PVsyst programı devlet sabit fiyat garantisini mevsimsel, günlük saatler ve belirlenen süre içerisinde (yıl) tek girdiye izin vermektedir. Bu nedenle devletin ilk beş yıl için sağladığı 0,70 ₺; takip eden beş yıl için sağladığı 0,49 ₺'lik toplam 10 yıllık fiyat garantisi ayrı ayrı girilememektedir. “Fixed feeding tarif” (birim satış tarifesi) değeri 0,70 ₺ olarak 10 yıllık süre için girilmiştir (Şekil 6.20).

Girdiler yapıldıktan sonra yatırımın ekonomik değerlendirme sonuçlarına proje ekranındaki rapor (report) bölümünden ulaşılabilir. İzmir yatırım alternatifi için yapılan ekonomik değerlendirme raporu Çizelge 6.15'te verilmiştir.

Çizelge 6.15. PVsyst ekonomik değerlendirme sonucu; İzmir OSB.

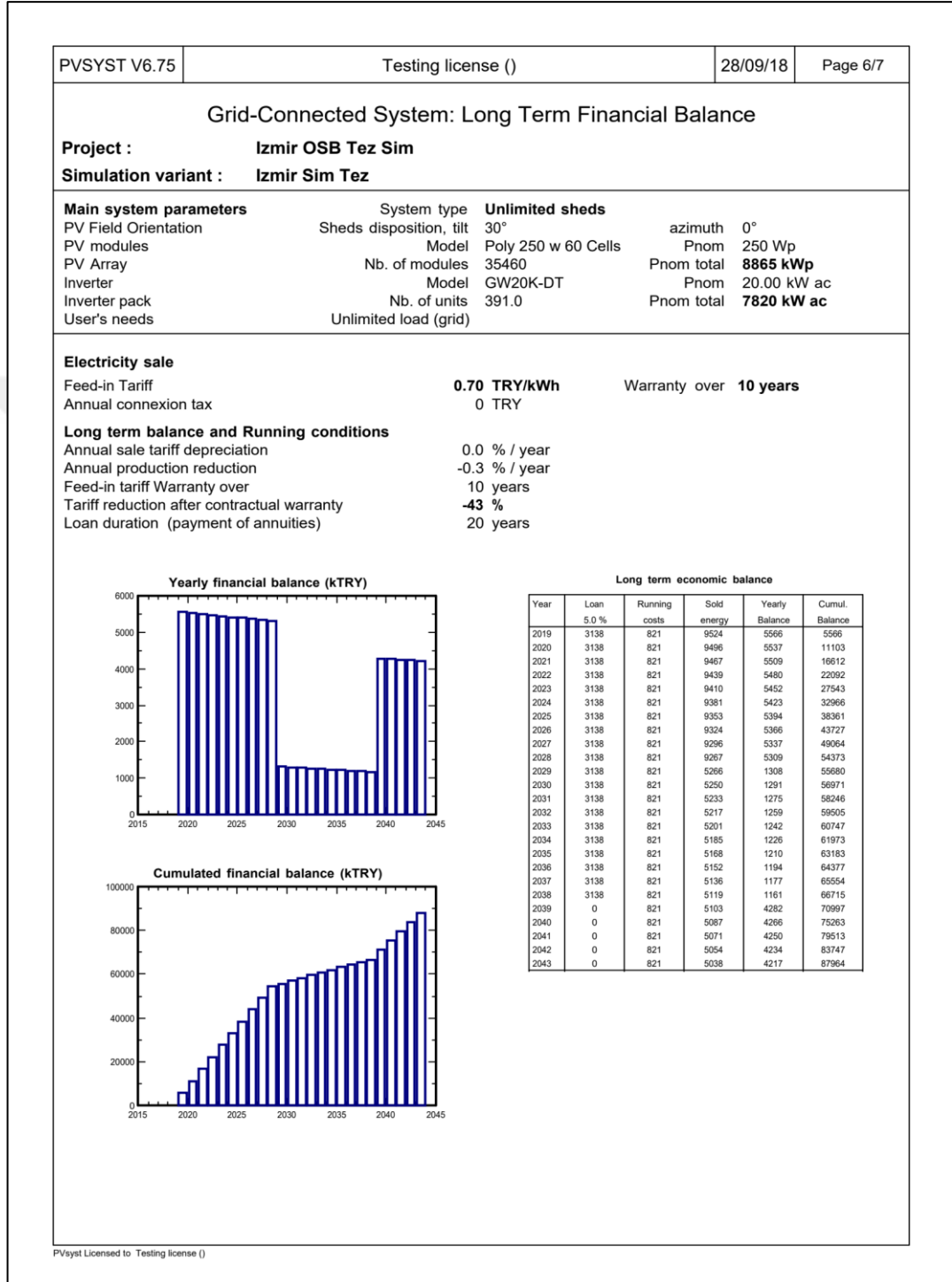
a) PVsyst ekonomik değerlendirme raporu: İzmir

PVSYST V6.75	Testing license ()	19/09/18	Page 5/7
Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :		İzmir OSB Tez Sim	
Simulation variant :		İzmir Sim Tez	
Main system parameters			
PV Field Orientation	System type	Unlimited sheds	azimuth 0°
PV modules	Sheds disposition, tilt	30°	Pnom 250 Wp
PV Array	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom total 8865 kWp
Inverter	Nb. of modules	35460	Pnom 20.00 kW ac
Inverter pack	Model	GW20K-DT	Pnom total 7820 kW ac
User's needs	Nb. of units	391.0	Unlimited load (grid)
Investment			
PV modules (Pnom = 250 Wp)	35460 units	561 TRY / unit	19893060 TRY
Supports / Integration		10 TRY / module	354600 TRY
Inverters (Pnom = 20.0 kW ac)	391 units	15608 TRY / unit	6102728 TRY
Settings, wiring, ...			7977300 TRY
			700 TRY
Substitution underworth			0 TRY
Gross investment (without taxes)			34328388 TRY
Financing			
Gross investment (without taxes)			34328388 TRY
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		6179110 TRY
Gross investment (including VAT)			40507498 TRY
Subsidies			-1404126 TRY
Net investment (all taxes included)			39103372 TRY
Annuities	(Loan 5.0 % over 20 years)		3137756 TRY/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			820743 TRY/year
Total yearly cost			3958499 TRY/year
Energy cost			
Produced Energy			13606 MWh / year
Cost of produced energy			0.29 TRY / kWh
PVsyst Licensed to Testing license ()			

Raporun ilk sayfasında; sistemin temel parametreleri (Main system parameters), yatırıma ilişkin maliyetler (investment) ve yatırım enerji maliyeti (energy cost) bulunur (Çizelge 6.15).

Çizelge 6.15. (devam ediyor).

b) PVsyst İzmir uzun dönem finansal denge raporu



Raporun ikinci sayfasında, elektrik satışına ilişkin girdi değerleri ve faydalı ömür boyunca gerçekleşmesi beklenen finansal denge grafik ve tablo ile özetlenir (Çizelge 6.15).

Programın oluşturduğu yıllık kar/zarar grafiğinde ilk beş yıl ve devlet desteği sonrası gerçekleşmesi öngörülen yıllık kar/zarar durumu şekil 6.19’da çizilen Excel grafiğiyle örtüşmektedir. Yerli üretim malzeme desteğinin ardından devam eden beş yıllık devlet garantisi dönemi, üretilen kW başına 0,21 ₺ (0,70₺-0,49₺) daha fazla olacak şekilde program tarafından hesaplanmıştır (Bkz. Şekil 6.20).

İzmir yatırımı için yapılan Excel nakit akışında faydalı ömür sonucunda elde edilen kar 74 281 210 ₺ iken, PVsyst programı ekonomik analiz sonuçlarında verilen “Long term economic balance – Cumul. balance” (uzun dönem ekonomik denge–kümülatif denge) tablosunda 87 964 000 ₺ olarak hesaplanmıştır(Çizelge 6.15,b). Oluşan bu fark PVsyst’in 2024-2028 yıllarına ilişkin yıllık kar/zarar hesaplamasında devletin sunduğu sabit fiyat garantisini; 0,49 ₺ yerine 0,70 ₺ olarak hesaplamasından kaynaklanmaktadır. Yapılan karşılaştırmada yıllık birim enerji maliyetlerinin birbiriyle örtüştüğü görülmüştür. İlk yıl için İzmir OSB GES projesi için birim enerji üretim maliyetleri hem Excel hesaplamasıyla hem de PVsyst ekonomik değerlendirmesinde kW başına 0,29 ₺ olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 6.15). Sonuçlar birbiriyle örtüşmektedir.

PVsyst programı sadece uzun dönemli mali durumun görülmesine yönelik grafik ve tablo sonuçlarını sunabilmektedir. Bu nedenle, analize konu olan “yatırımın getirisi oranı” ve “yatırım geri ödeme süresi” Ankara ve İstanbul yatırım analizleri için de Excel üzerinde hesaplanarak verilmiştir.

6.4.2. Ankara OSB Fotovoltaik Yatırım Analizi

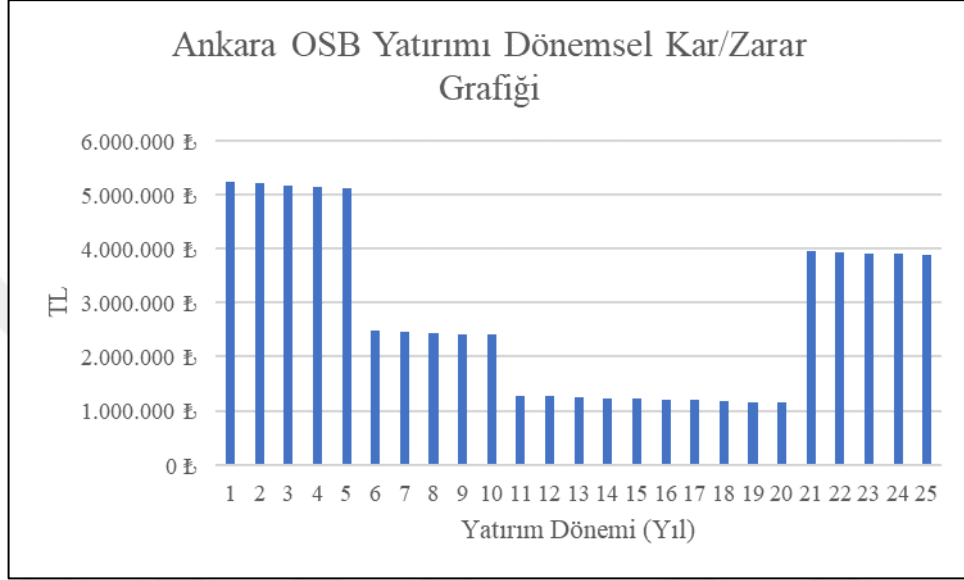
Ankara OSB yatırımı için Excel’de yıllık dönemler halinde hesaplanan kar/zarar ve PVsyst Ankara uygulamasının ekonomik durum raporu Çizelge 6.16’da verilmiştir.

Yatırımın finanse edilmesi için 20 yıllık bir geri ödeme süresinde yıllık maliyetlere yansıyan faiz ödemesi 2 809 162 ₺ olarak hem Excel’de hem de PVsyst çıktısında hesaplanmıştır (Çizelge EK 5). Toplam kredi ödemesi 56 183 547 ₺ ve yıllık işletme maliyetlerinin faydalı ömür boyunca toplam 20 518 579 ₺ olarak gerçekleşeceği beklenmektedir (Çizelge 6.16).

Çizelge 6.16. Ankara OSB FV yatırımı dönemlik kar/zarar ve PVsyst ekonomik durum çıktısı.

Yatırım Dönemi (yıl)	Yıllık Üretim kWh, (A)	Satış fiyatı (kWh/ ₺)	Gelir, (B)	Yıllık Giderler, (C)	Yıllık Kredi Ödemesi, (D)	Yıllık Net Kar (B+C+D)	Birim Üretim maliyeti, ((C+D) /A)
1.dönem	12 655 000	0,70 ₺	8 858 500 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	5 228 595 ₺	-0,29 ₺
2.dönem	12 617 035	0,70 ₺	8 831 925 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	5 202 019 ₺	-0,29 ₺
3.dönem	12 579 183	0,70 ₺	8 805 429 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	5 175 523 ₺	-0,29 ₺
4.dönem	12 541 446	0,70 ₺	8 779 012 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	5 149 107 ₺	-0,29 ₺
5.dönem	12 503 822	0,70 ₺	8 752 675 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	5 122 770 ₺	-0,29 ₺
6.dönem	12 466 310	0,49 ₺	6 108 492 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	2 478 587 ₺	-0,29 ₺
7.dönem	12 428 911	0,49 ₺	6 090 167 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	2 460 261 ₺	-0,29 ₺
8.dönem	12 391 624	0,49 ₺	6 071 896 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	2 441 991 ₺	-0,29 ₺
9.dönem	12 354 450	0,49 ₺	6 053 680 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	2 423 775 ₺	-0,29 ₺
10.dönem	12 317 386	0,49 ₺	6 035 519 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	2 405 614 ₺	-0,29 ₺
11.dönem	12 280 434	0,40 ₺	4 912 174 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 282 268 ₺	-0,30 ₺
12.dönem	12 243 593	0,40 ₺	4 897 437 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 267 532 ₺	-0,30 ₺
13.dönem	12 206 862	0,40 ₺	4 882 745 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 252 839 ₺	-0,30 ₺
14.dönem	12 170 241	0,40 ₺	4 868 097 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 238 191 ₺	-0,30 ₺
15.dönem	12 133 731	0,40 ₺	4 853 492 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 223 587 ₺	-0,30 ₺
16.dönem	12 097 329	0,40 ₺	4 838 932 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 209 026 ₺	-0,30 ₺
17.dönem	12 061 037	0,40 ₺	4 824 415 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 194 510 ₺	-0,30 ₺
18.dönem	12 024 854	0,40 ₺	4 809 942 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 180 036 ₺	-0,30 ₺
19.dönem	11 988 780	0,40 ₺	4 795 512 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 165 607 ₺	-0,30 ₺
20.dönem	11 952 813	0,40 ₺	4 781 126 ₺	-820 743 ₺	-2 809 162 ₺	1 151 220 ₺	-0,30 ₺
21.dönem	11 916 955	0,40 ₺	4 766 782 ₺	-820 743 ₺		3 946 039 ₺	-0,07 ₺
22.dönem	11 881 204	0,40 ₺	4 752 482 ₺	-820 743 ₺		3 931 739 ₺	-0,07 ₺
23.dönem	11 845 560	0,40 ₺	4 738 224 ₺	-820 743 ₺		3 917 481 ₺	-0,07 ₺
24.dönem	11 810 024	0,40 ₺	4 724 010 ₺	-820 743 ₺		3 903 267 ₺	-0,07 ₺
25.dönem	11 774 594	0,40 ₺	4 709 838 ₺	-820 743 ₺		3 889 095 ₺	-0,07 ₺
Toplam	305 243 190		146 542 504 ₺	-20 518 579 ₺	-56 183 247 ₺	69 840 678 ₺	
Net Bugünkü Değer (NBD)			118 195 842 ₺	-16 023 743 ₺	-45 933 831 ₺	56 238 268 ₺	

Üretim maliyetleri ilk 10 yıl üretimdeki düşüşten etkilenmeyerek ortalama 0,29 ₺/kWh olarak gerçekleşmiş, kredi ödeme döneminin ikinci yarısında 0,30 ₺/kWh seviyesinde devam etmiştir. Son beş yıllık süreçte sadece yıllık ortalama işletim giderlerinin olması sebebiyle elektrik üretim maliyeti 0,07 ₺/kWh seviyesine kadar düşmüştür (Çizelge 6.16).



Şekil 6.21. Ankara OSB FV yatırımı dönemsel kar/zarar grafiği.

Beklenen dönemsel kar/zarar Şekil 6.21’de verilmiştir. Görüldüğü üzere ilk beş yıl devletin sunduğu ek satış garantisiyle 5 000 000 ₺ civarı gerçekleşen kar kredi ödeme sürecinin ikinci döneminde (10.-20.yıl) 1 000 000 ₺ olarak gerçekleşeceği beklenmektedir. Kredi ödemelerinin ardından üretim maliyetlerinde büyük oranda gerçekleşen düşüşle beraber yıllık kar 4 000 000 ₺’nin altında seyredeceği görülmektedir (Şekil 6.21).

Çizelge 6.17. Ankara OSB yatırımın getirisi oranı.

Net Gelir (25 yıl NBD), (A)	Yatırım Maliyeti, (B)	Yatırımın Getirisi, (A/ B)	Yatırımın Yıllık Getirisi (ortalama)
56 238 268 ₺	35.008.372 ₺	1,61	0,06

Yatırımın getirisi; oluşması beklenen net gelirin bugünkü değerinin toplam değeri olan 56 238 268 ₺'nin (Bkz. Çizelge 6.16) projenin maliyeti olan 35 008 372 ₺'na (Bkz. Çizelge 6.9) bölünmesiyle %161 getiri sağlayacağı hesaplanmıştır (Çizelge 6.17).

$$\text{Ankara OSB yatırım geri ödeme süresi} = \frac{35\,008\,372\,₺}{5\,228\,595₺} = 6,70 \text{ yıl}$$

Yatırım geri ödeme süresi; net yatırım maliyeti olan 35 008 372 ₺'nin yıllık 5.228.595₺'lik kara bölünmesiyle yedi yıla yakın bir sürede kara geçeceği hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 6.9, Çizelge 6.16).

6.4.3. İstanbul OSB Fotovoltaik Yatırım Analizi

İstanbul OSB FV sistem yatırımı için Excel'de yıllık dönemler halinde hesaplanan kar/zarar ve PVsyst programı İstanbul GES'in ekonomik durumu raporu Çizelge 6.18'de ve Çizelge EK 6'da verilmiştir.

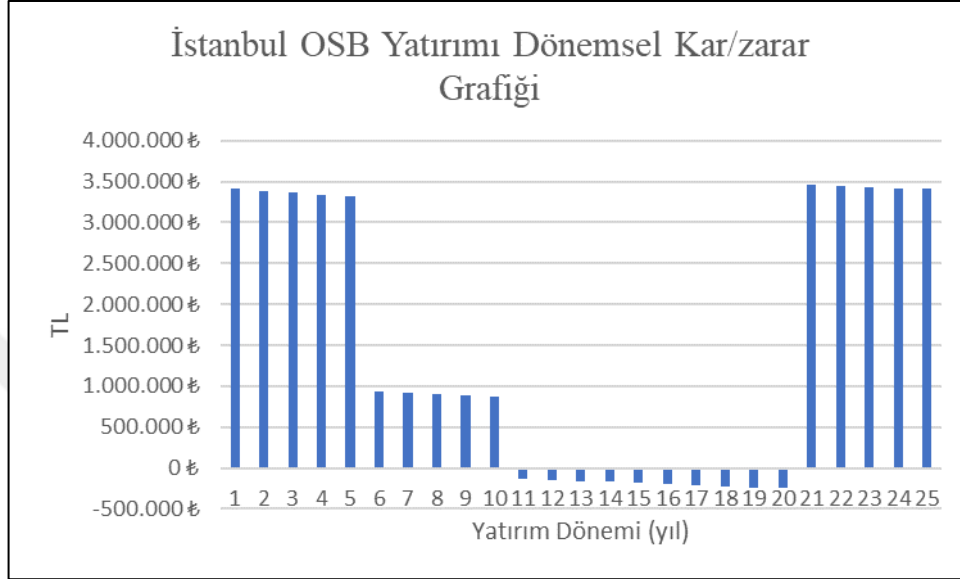
Yatırımın 20 yıllık bir geri ödeme süresinde yıllık maliyetlere yansıyan kredi ödemesi 3 722 965 ₺ olarak hem Excel'de hem de PVsyst çıktısında hesaplanmıştır. Toplam kredi ödemesi 74 459 298 ₺ ve yıllık işletme maliyetlerinin faydalı ömür boyunca toplam 20 518 579 ₺ olarak gerçekleşeceği beklenmektedir (Çizelge 6.18).

Üretim maliyetleri ilk beş yıl üretimdeki düşüşten etkilenmeyerek ortalama 0,40 ₺/kWh olarak gerçekleşmiş, kredi ödeme döneminin geriye kalan kısmında 0,42 ₺/kWh seviyesine ulaşmıştır. Son beş yıllık süreçte sadece yıllık ortalama işletim giderlerinin olması sebebiyle elektrik üretim maliyeti 0,08 ₺/kWh seviyesine kadar düşmüştür (Çizelge 6.18).

Çizelge 6.18. İstanbul OSB FV yatırımı dönemlik kar/zarar ve PVsyst ekonomik durum çıktısı.

Yatırım Dönemi (yıl)	Üretim kWh, (A)	Satış fiyatı (kW/ ₺)	Gelir, (B)	Gider, (C)	Yıllık Kredi Ödemesi, (D)	Yıllık Net Kar, (B+C+D)	Birim Üretim maliyeti, ((C+D)/A)
1.dönem	11 366 000	0,70 ₺	7 956 200 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	3 412 492 ₺	0,40 ₺
2.dönem	11 331 902	0,70 ₺	7 932 331 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	3 388 623 ₺	0,40 ₺
3.dönem	11 297 906	0,70 ₺	7 908 534 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	3 364 826 ₺	0,40 ₺
4.dönem	11 264 012	0,70 ₺	7 884 809 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	3 341 101 ₺	0,40 ₺
5.dönem	11 230 220	0,70 ₺	7 861 154 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	3 317 446 ₺	0,40 ₺
6.dönem	11 196 529	0,49 ₺	5 486 300 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	942 592 ₺	0,41 ₺
7.dönem	11 162 940	0,49 ₺	5 469 841 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	926 133 ₺	0,41 ₺
8.dönem	11 129 451	0,49 ₺	5 453 431 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	909 723 ₺	0,41 ₺
9.dönem	11 096 063	0,49 ₺	5 437 071 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	893 363 ₺	0,41 ₺
10.dönem	11 062 774	0,49 ₺	5 420 760 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	877 052 ₺	0,41 ₺
11.dönem	11 029 586	0,40 ₺	4 411 835 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-131 873 ₺	0,41 ₺
12.dönem	10 996 497	0,40 ₺	4 398 599 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-145 109 ₺	0,41 ₺
13.dönem	10 963 508	0,40 ₺	4 385 403 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-158 305 ₺	0,41 ₺
14.dönem	10 930 617	0,40 ₺	4 372 247 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-171 461 ₺	0,42 ₺
15.dönem	10 897 825	0,40 ₺	4 359 130 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-184 578 ₺	0,42 ₺
16.dönem	10 865 132	0,40 ₺	4 346 053 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-197 655 ₺	0,42 ₺
17.dönem	10 832 537	0,40 ₺	4 333 015 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-210 693 ₺	0,42 ₺
18.dönem	10 800 039	0,40 ₺	4 320 016 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-223 692 ₺	0,42 ₺
19.dönem	10 767 639	0,40 ₺	4 307 056 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-236 652 ₺	0,42 ₺
20.dönem	10 735 336	0,40 ₺	4 294 135 ₺	-820 743 ₺	-3 722 965 ₺	-249 573 ₺	0,42 ₺
21.dönem	10 703 130	0,40 ₺	4 281 252 ₺	-820 743 ₺		3 460 509 ₺	0,08 ₺
22.dönem	10 671 021	0,40 ₺	4 268 408 ₺	-820 743 ₺		3 447 665 ₺	0,08 ₺
23.dönem	10 639 007	0,40 ₺	4 255 603 ₺	-820 743 ₺		3 434 860 ₺	0,08 ₺
24.dönem	10 607 090	0,40 ₺	4 242 836 ₺	-820 743 ₺		3 422 093 ₺	0,08 ₺
25.dönem	10 575 269	0,40 ₺	4 230 107 ₺	-820 743 ₺		3 409 364 ₺	0,08 ₺
Toplam	274 152 042		131 616 127 ₺	-20 518 578 ₺	-74 459 298 ₺	36 638 250 ₺	
Net Bugünkü Değer (NBD)			106 156 771 ₺	-16 023 743 ₺	-60 875 813 ₺	29 257 215 ₺	

Şekil 6.22’de görüldüğü üzere, İstanbul OSB yatırımında kredi ödeme sürecinde ilk 10 yıl yıllık kar “3 000 000 ₺ - 1 000 000 ₺” aralığında olması beklenmektedir. Yatırımın 11. yılında beklenen 131 873 ₺ zarar, geri ödeme dönemi boyunca artarak devam ederek ve projenin 20. yılı sonunda 249 573 ₺ yıllık zarar beklenmektedir.



Şekil 6.22. İstanbul OSB FV yatırımı dönemsel kar/zarar grafiği.

Beklenen yıllık zararlar proje sürecindeki toplam karlılığı olumsuz yönde etkilese de toplamda 36 638 250 ₺ karın projeden elde edilmesi beklenmektedir (Çizelge 6.18). Toplam kar dikkate alındığında yıllık ortalama 1 465 530 ₺ (36 638 250 ₺ /25 yıl) kar söz konusudur.

Çizelge 6.19. İstanbul OSB yatırımın getirisi oranı.

Net Gelir (25 yıl NBD), (A)	Yatırım Maliyeti, (B)	Yatırımın Getirisi, (A/B)	Yatırımın Yıllık Getirisi (ortalama)
29 257 215 ₺	46 396 371 ₺	0,63	0,03

İstanbul OSB GES yatırım getirisi oranı Çizelge 6.19’da hesaplanmıştır. Yatırımın getirisi; oluşması beklenen net gelirin bugünkü değerinin toplam değeri olan 29 257 215 ₺’nin (Bkz. Çizelge 6.18) projenin yatırım maliyeti olan 46 396 371 ₺’na (Bkz. Çizelge 6.9) bölünerek hesaplanmıştır. Hesaplamaya göre %63 getiri sağlaması beklenmektedir.

$$\text{İstanbul OSB yatırım geri ödeme süresi} = \frac{46\,396\,371 \text{ ₺}}{3\,412\,492 \text{ ₺}} = 13,60 \text{ yıl}$$

İstanbul OSB GES yatırımı için geri ödeme süresi; net yatırım maliyeti olan 46 396 371 ₺'nin yıllık 3 412 492 ₺'lik kara bölünmesiyle 13 yıl 7 aya yakın bir sürede kara geçeceği hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 6.9, Çizelge 6.19).

6.5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde özellikle yıllık enerji üretimleri, ortalama enerji üretim maliyetleri, üç yatırımı analiz etmek için hesaplanan yatırımın getirisi oranları ve yatırım geri ödeme süreleri karşılaştırılmıştır.

Seçilen üç ilde, aynı niteliğe sahip olacak şekilde planlanan santrallerin; yıllık enerji üretimi ve yatırım maliyeti Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'da detaylı olarak verilmiştir.

Üç yatırım alanına ilişkin yıllık güneş radyasyonu ve kullanılan teçhizatla yıllık simülasyon sonuçlarına göre üretilen enerjinin karşılaştırması Çizelge 6.20'de verilmiştir.

Çizelge 6.20. Proje yıllık güneş radyasyonu ve üretilebilecek enerji miktarının karşılaştırılması.

Proje	Yıllık global radyasyon (kWh/m ²)	Üretilen enerji (MWh/ yıl)
İzmir OSB FV Yatırımı	1 639	13 606
Ankara OSB FV Yatırımı	1 494	12 655
İstanbul OSB FV Yatırımı	1 374	11 366

Ulaşılan sonuçlar incelendiğinde, benzer teçhizat kullanımında güneş radyasyonu miktarındaki artış, üretilen enerji miktarında da bir artış görülmesini sağlamıştır. Bu beklenen bir durumdur. Güneş radyasyonunun en yüksek olduğu bölge olan İzmir OSB FV yatırımındaki yıllık 13 606 MWh'lik üretimi 12 655 MWh ile Ankara OSB FV yatırımı ve 11 366 MWh ile İstanbul OSB FV yatırımı takip ettiği görülmektedir.

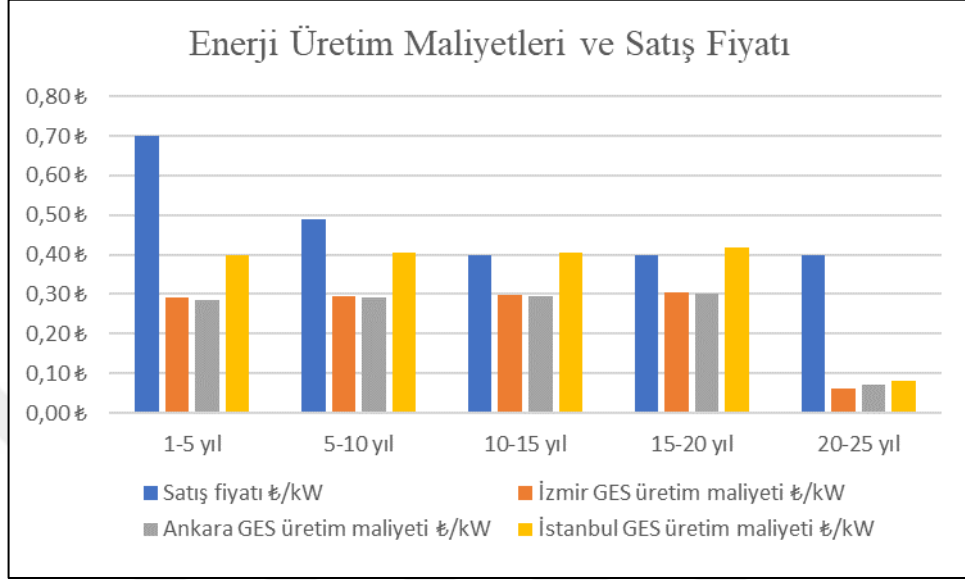
Çizelge 6.21. Yatırımlara ilişkin özet maliyetler ve kar/zarar.

		İzmir OSB FV Yatırımı	Ankara OSB FV Yatırımı	İstanbul OSB FV Yatırımı
Yatırım Maliyetleri	Diğer Yatırım Maliyetleri, A	26 528 388 ₺	26 528 388 ₺	26 528 388 ₺
	Arsa maliyeti, B	7 800 000 ₺	3 705 000 ₺	15 093 000 ₺
	Bürüt yatırım	34 328 388 ₺	30 233 388 ₺	41 621 388 ₺
	Net Yatırım ((A+KDV)+B)	39 103 372 ₺	35 008 372 ₺	46 396 372 ₺
İşletim Maliyetleri	Yıllık Maliyetler	820 743 ₺	820 743 ₺	820 743 ₺
	Kredi Ödemesi	3 137 756 ₺	2 809 162 ₺	3 722 965 ₺
Enerji Üretim Maliyeti ve Yıllık Gelir	Enerji Satış Geliri (yıllık)	9 524 200 ₺	8 858 500 ₺	7 956 200 ₺
	Enerji Üretim maliyeti	0,29 ₺	0,29 ₺	0,40 ₺
Net Kar/Zarar (25 yıl)		74 281 210 ₺	69 840 678 ₺	36 638 251 ₺

Yapılan yatırımlara ilişkin maliyetler, ilk yıl sonuna ilişkin enerji satışı gelirleri, yıl sonu birim enerji üretim maliyetleri ve 25 yılın sonunda beklenen net kar/zarar çizelge 6.21’de verilmiştir. Yatırımlardaki maliyet/üretim dengesini değiştiren en büyük etken yatırım bölgesinin sosyo-ekonomik durumuna bağlı olarak değişen üretim alanı maliyetleridir. İzmir Aliğa OSB’de belediye rayiç bedellerine göre 260 000 m² arsanın toplam maliyetinin iki katına İstanbul’da katlanıldığı görülmektedir. Karşılaşılan maliyet farklılıklarının ödenecek kredi taksit miktarlarını da etkilediği görülmektedir. Oluşan farkları bazı yatırımları olumlu etkilerken bazı yatırımları da olumsuz etkilemektedir. Örneğin Ankara’nın yıllık üretiminin İzmir yatırımına göre daha az miktarda gerçekleşmiş olmasına rağmen, Ankara’da katlanılan arsa maliyetinin İzmir Aliğa’da katlanılan maliyetin yarısından daha az olması yıllık maliyetlerin düşmesine neden olmuş ve iki yatırım bölgesinde de yıllık enerji üretimi maliyeti kW başına 0,29 ₺ olarak hesaplanmıştır. Yıllık üretimde diğer bölgelere göre dezavantajlı olan İstanbul yatırımı, arsa maliyetinin diğer bölgelere oranla daha yüksek olmasının da etkisiyle kW başına 0,40 ₺ üretim maliyetiyle yıl boyunca üretim yapacağı hesaplanmıştır.

Projelerin faydalı ömürleri sonunda; toplamda 74,3 Milyon TL kar getirmesi beklenen İzmir yatırımını, 64,8 Milyon TL ile Ankara yatırımı ve 36,6 Milyon TL ile İstanbul yatırımı takip etmektedir.

Faydalı ömür boyunca üç projede oluşması beklenen enerji üretim maliyetleri ve enerji satış fiyatı, beş yıllık dönemler halinde Şekil 6.23'te belirtilen grafikte karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.23. Yatırımların enerji üretim maliyetleri ve satış fiyatları.

Görüldüğü üzere İstanbul GES yatırımı arasında devlet desteği sürecinin bitmesinin ardından “10-15 ve 15-20 yılları” arasında zararına üretim yapması beklenmektedir. Yıllık bazda görülen bu zararın, İstanbul uygulamasının diğer iki projeye kıyasla daha az yıllık enerji üretimi gerçekleştirmesinden kaynaklandığı söylenebilir. İzmir ve Ankara FV yatırımları 20 yıllık kredi ödeme dönemi boyunca, her yıl birbirine yakın seviyede seyreden karlarla tamamladığı grafikte görülmektedir.

Bu sonuçlar yatırım kararlarıyla ilgili bir fikir verebilir fakat, yatırım kararlarının verilmesi için yeterli değildir. Karşılaştırılan OSB FV yatırımlarının hangisinin ne oranda karlı ve yatırım yapılabilir olacağına; Yatırımın getirisi oranı ve yatırım geri ödeme süresinin hesaplanmasıyla karar verilmesi daha doğru olacaktır.

6.22. Yatırımların sermaye bütçeleme teknikleriyle karşılaştırılması.

	İzmir OSB FV Yatırımı	Ankara OSB FV Yatırımı	İstanbul OSB FV Yatırımı
Yatırımın getirisi (ROI)	1,53	1,61	0,63
Geri ödeme süresi (yıl)	7,03	6,70	13,60

Organize Sanayi Bölgesi yatırımları arasında en fazla getiriyi getiren Ankara Sincan OSB için planlanan yatırımdır (%161 getiri). İzmir Aliğa OSB yatırımı getirisinin Ankara yatırımından daha az getiri oranına sahip olduğu görülmektedir (%153 getiri). İstanbul Tuzla OSB yatırımı %63'lık bir getiri sağlayacağı hesaplanmıştır (Çizelge 6.22). İstanbul için yapılacak olan her 100 ₺'lik yatırımın ömrü sonunda 63 ₺ olarak geri döneceği düşünüldüğünde, diğer iki yatırıma kıyasla oldukça az getiri sağladığı görülmektedir. Ayrıca İstanbul yatırımı katlanılan maliyetin oldukça altında getiri sağladığı için, yapılmaması yönünde karar verilebilir.

Yatırımların geri ödeme süresi hesaplamalarına göre; Ankara GES yatırımı yaklaşık yedi yılda (6,70 yıl), İzmir GES yatırımı da yedi yılda kendisini geri ödeyecektir. Bu süreler enerji yatırımı için uygun sürelerdir. İstanbul FV yatırımının geri ödeme süresine bakıldığında; yaklaşık 14 yılda kendisini geri ödeyip kara geçeceği görülmüştür. Bu süre proje ömrünün yarısından fazla bir süredir. Ayrıca, geri ödeme süresinin artması projenin daha riskli bir proje olmasına neden olacaktır. Bu koşullarda İstanbul OSB bölgesinde yapılacak projenin iptaline veya yeniden düzenlenmesine karar verilmelidir.

Karşılaştırmaların sonucunda, hem yatırımın geri ödeme süresine yönelik risk beklentilerinin en az olduğu, hem de yatırım getirisinin diğer yatırımlara oranla daha fazla olduğu Ankara Sincan OSB yatırım bölgesinin şebekeye bağlı FV uygulaması için, İzmir FV yatırımıyla benzer sonuçlar verdiği ve uygun olduğu görülmektedir. İstanbul OSB için hesaplanan geri ödeme süresi ve yatırım getirisi yapılacak olan yatırımın riskli ve karlılığının düşük olduğunu göstermesi nedeniyle yapılması uygun olmayacaktır.

Sonuçlarda, Arsa tahsisi için harcanan paranın oldukça büyük bir etkisi vardır. Bölgesel sosyo-ekonomik farklılıkların oluşması, m² tahsis fiyatlarını etkilemektedir.

Arsa maliyetlerinin oluşturduğu farklılıklar, organize sanayi bölgelerinde firmanın sağladığı istihdama karşılık olarak devletin sunduğu bedelsiz arazi tahsisleriyle kapatılabilir. Böylece bölge coğrafi farklılıklarından doğan yıllık üretim miktarlarının eşit maliyetli FV yatırım kararlarına etkisi de görülebilir.

6.5.1. Yatırımların Organize Sanayi Bölgesi Bedelsiz Arsa Tahsisinden Faydalandırılması Durumunda Uygulanabilirliği

Önceki bölümlerde aynı nitelikli üç projenin yatırım analizi yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda üretilen enerjiden sağlanan faydanın, arsa için yapılan yatırım maliyetlerinin bölgelere göre gösterdiği değişimden etkilendiği görülmüştür.

Yatırımların organize sanayi bölgeleri içerisinde yapılması bedelsiz arsa kullanımı alternatifini de ortaya çıkarmaktadır. OSB’lerde belirli istihdam koşullarının sağlanması halinde sağlanan teşvikle ilgili parselin bedelsiz tahsisi mümkündür. Ayrıca, OSB tüzel kişiliğine ait alanların da OSB eliyle GES yatırımına dönüştürülmesi de arsa maliyetini ortadan kaldıracak bir durumdur.

Bölüm 6.4’te karşılaştırılan yatırımlarda, devlet tarafından sağlanan bedelsiz parsel tahsisini karşılayacak düzeyde istihdam yapılmamıştır. Bu nedenle karşılaştırılan projelerin Çizelge 6.11’de belirtilen çalışan maliyetlerine ekleme yapılmış ve bedelsiz arsa tahsisi için gerekli istihdam koşullarını sağladığı kabul edilmiştir. Ayrıca arsa Çizelge 6.9’da verilen yatırım maliyetlerinden üç yatırım için de verilen arsa maliyetleri düşülerek Çizelge 6.23’te yatırım maliyeti olarak verilmiştir.

Çizelge 6.23. Bedelsiz parsel tahsisinin yatırıma etkisi.

	Yatırım Maliyeti, (A)	Yıllık Üretim Geliri	Yıllık Gider	Yıllık Kredi Ödemesi	Yıllık Kar(B)	Geri ödeme süresi
İzmir OSB FV	31 303 372 ₺	9 524 200 ₺	-1 200 000 ₺	-2 511 864 ₺	5 812 336 ₺	5,39
Ankara OSB FV	31 303 372 ₺	8 858 500 ₺	-1 200 000 ₺	-2 511 864 ₺	5 146 636 ₺	6,08
İstanbul OSB FV	31 303 372 ₺	7 956 200 ₺	-1 200 000 ₺	-2 511 864 ₺	4 244 336 ₺	7,38

Yıllık bakım maliyetlerinin değişebileceği göz önüne alınarak, artan istihdamın yıllık maliyetlere oluşturacağı farkın 9 500 000 ₺ (820 743 ₺ yıllık maliyete ek, yaklaşık 380 000 ₺) net gidere etki edeceği kabul edildiğinde, oluşan özet tablo ve hesaplanan yatırımın geri ödeme süresi Çizelge 6.23'te verilmiştir. Daha önce karşılaştırılan projelerin yatırım maliyetleri, teçhizat ve kurulum maliyetleri aynı olduğundan 31 303 372 ₺'dir.

Yatırımların geri ödeme süresinin; İzmir OSB FV yatırımı için beş yılın üzerinde olacağı, Ankara OSB FV yatırımı için altı yıl ve İstanbul OSB FV yatırımı için de yedi yılın üzerinde olacağı hesaplanmıştır. Ücretsiz parcel tahsisinin yapılması halinde geri ödeme süresi açısından yatırım riski en az olan proje İzmir OSB FV yatırımıdır. Bu yatırımı sırasıyla Ankara ve İstanbul yatırımları izlemektedir.

Çizelge 6.24. Bedelsiz parcel tahsisinin olması durumunda yatırımların getirisi.

	Net Kar (25 yıl, NBD)	Yatırım Maliyeti	Yatırımın Getirisi (%)
İzmir Aliğa OSB FV	62 577 318 ₺	31 303 372 ₺	2,0
Ankara Sincan OSB FV	53 695 118 ₺	31 303 372 ₺	1,72
İstanbul Tuzla OSB FV	41 656 047 ₺	31 303 372 ₺	1,33

Yapılan yatırımların yıllık karının toplam bugünkü değerleri ve üç yatırım için ayrı ayrı hesaplanan yatırım getirisi oranı Çizelge 6.24'te verilmiştir. Eşit yatırım maliyeti koşullarında ve bedelsiz arsa tahsisinin yapılması durumunda, en yüksek yatırım getirisini %200'le İzmir OSB FV'de yapılabilecek yatırımın sağlayacağı görülmüştür. Bu yatırımın Ankara OSB'de yapılmasıyla %172 ve İstanbul'da yapılmasıyla %133'lük yatırım getirisi sağlanacağı görülmüştür. Yapılan karşılaştırma sonucunda hem işletim süresinde yatırımın geri ödeme süresine yönelik risk beklentilerinin en az olduğu, hem de yatırım getirisinin diğer yatırımlara kıyasla daha fazla olduğu İzmir Aliğa OSB yatırım bölgesinin GES yatırımı için en uygun yer olduğu görülmektedir. Bu yatırımı uygunluk açısından Ankara ve İstanbul OSB'leri izlemektedir.

6.6. YATIRIMLARIN SAĞLAYACAĞI FAYDALAR

Bu bölümde fotovoltaik yatırımlarla sağlanacak olan genel faydalara, projelerin hane halkına ve OSB'lere sağlayacağı yeşil enerji üretimi miktarına değinilmiştir. Yapılan fotovoltaik yatırımların çevreye sağladığı en önemli katkı kW üretim başına oldukça düşük CO₂ ortaya çıkarmasıdır. Güneş enerjisinden üretilen kW başına CO₂ emülsiyonu karşılaştırıldığında, fosil yakıtlardan üretilen kilovat-saat başına elektrik 0,6 ila 2 Kg CO₂ ortaya çıkardığı görülürken, güneş enerjisinden elektrik üretimi sonucunda ortaya 0,07 ila 0,2 Kg CO₂ /kW çıkmaktadır [92].

Şebekeyle bağlantılı fotovoltaik projelerde kullanılan malzemelerin büyük bir çoğunluğu çevreye geri kazandırılabilir. Böylece teçhizatın faydalı ömrünün sonlanmasıyla geri dönüşüm süreci başlatılır. Bu durum üretim maliyetlerini düşürebileceği gibi çevreye verilebilecek zararları da düşürecektir.

Kurulacak her GES, diğer FV uygulamaları elektrik üretiminin dışında [18,92];

- Küresel ısınmanın enerji üretimi açısından kabul edilebilir seviyelere çekilmesini sağlar.
- Daha temiz hava koşulları sağlayarak toplum sağlığını olumlu yönde etkiler.
- Yeni istihdam alanları sağlar.
- Farklı uygulama yöntemleriyle bireysel ve kurumsal enerji üretimi ihtiyaçlarının çevreci yollarla karşılanmasını sağlar.

6.6.1. FV Uygulamasının Mesken ve OSB Enerji Tüketimlerine Sağlayacağı Fayda

Bölgesel elektrik ihtiyacının karşılanması açısından yapılacak olan enerji yatırımları oldukça önemlidir. Yatırım analizleri ve enerji üretim simülasyonları yapılan; İzmir, Ankara ve İstanbul FV sistemlerinin mesken ve OSB enerji tüketimini karşılamaya yönelik sağlayacağı fayda Çizelge 6.25 ve Çizelge 6.26'da verilmiştir.

Çizelge 6.25. Bölge mesken ihtiyacının GES üretimiyle karşılanması.

	Yıllık GES Üretimi kW, (A)	Bir Meskenin Yıllık Tüketimi kW, (B)	Karşılanan Mesken İhtiyacı (A/ B)
İzmir Aliğa OSB FV	13 606 000	1 743,88	7 802
Ankara Sincan OSB FV	12 655 000	1 743,88	7 257
İstanbul Tuzla OSB FV	11 366 000	1 743,88	6 518

EPDK 2018 yılı sektör raporunda Türkiye genelinde tüketim yapan 34 828 937 adet meskene ilişkin ortalama aylık tüketim 5 061 472 MW olarak verilmiştir. Bu veriler kullanılarak bir meskenin ortalama aylık tüketimi 145,32 kW, ortalama yıllık tüketimi ise 1 743,88 kW bulunmuştur [93].

Üretilen elektrik enerjisi yıllık mesken elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılırsa; İzmir’de 7 802, Ankara’da 7 257, İstanbul’da 6 518 adet meskenin ihtiyacının karşılanabileceği görülmüştür.

Çizelge 6.26. Üretimin OSB'ye katkısı [94].

	Yıllık OSB Tüketimi kW, (A)	Yıllık GES Üretimi kW, (B)	Enerji Karşılama Oranı (B/ A)
İzmir Aliğa OSB FV	159 363 870	13 606 000	%9
Ankara Sincan OSB FV	455 299 910	12 655 000	%3
İstanbul Tuzla OSB FV	101 443 390	11 366 000	%11

Örnek uygulamaların OSB Elektrik tüketimini karşılama oranı Çizelge 6.26’da verilmiştir. Yıllık OSB tüketim verileri 2015-2016 yıllarına aittir [94]. GES’lerin yıllık bölge OSB ihtiyaçlarını; İzmir Aliğa’nın %9, Ankara Sincan’ın %3 ve İstanbul Tuzla’nın %11’ini karşıladığı görülmektedir.

Üretimdeki artışın OSB tüketimini aynı oranda karşılamamasını temel nedeni OSB elektrik ihtiyaçlarının eşit olmamasından kaynaklanmaktadır. OSB’lerin yıllık tüketimleri farklılık göstermektedir. Her OSB için tüketimlerin daha yüksek oranda karşılanabilmesi, OSB’nin ortak kararlar alınarak çatı uygulamalarını hayata geçirilmesiyle sağlanabileceği gibi rüzgâr-güneş hibrit bir sistemle de sağlanabilir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE TARTIŞMA

Enerji tüketimindeki artış fosil kaynakların da tüketimini arttırmaktadır. Artan dünya nüfusu enerji ihtiyaçlarının, yakın gelecekte fosil kaynaklarla karşılanamayacağı bilinmektedir. Bu durum, ülke yönetimlerini dünya enerji talebini karşılamak adına alternatif kaynaklar arayışına itmiştir. Güneş'ten enerji üretilmesine yönelik geliştirilen sistemlerin önemi, sistemde kullanılan teçhizat maliyetlerinin azalması, çevreye verilen zararın fosil kaynaklara oranla oldukça az olması ve toplumsal çevre bilincinin gelişmesiyle anlaşılmaya başlanmıştır. FV sistemlerine yönelik farkındalığın oluşması, bu sistemlere yönelik yatırımları artırmıştır.

FV sistemlerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Yapılan enerji yatırımlarının büyük miktarda sermaye gerektirmesi potansiyel yatırımcıların en büyük sorunudur. Yatırımcılar, yatırımlarının en kısa sürede geri ödemelerini alarak kara geçmek isterler. Yatırımların geri ödenme tahminlerinin ve getirilerinin doğru hesaplanabilmesi için, yatırım ve işletim dönemlerinde dikkatli çalışılması gerekmektedir.

Yapılan yatırımların getirisinde ekonomik değişkenlerin rolü de oldukça önemlidir. Dünya genelinde Güneş enerjisi yatırımlarının getirisini ortalama yedi ila dokuz yılda sağlanmaktadır. FV sistem yatırımlarının geri ödeme süreleri, yıllık üretim ve verimlilikleri; FV teçhizat teknolojisi, bölge güneş radyasyonu, yıllık güneşlenme süreleri, arsa maliyetleri, ülke teşvik mekanizması ve hukuksal altyapı gibi değişkenlerden etkilenmektedir. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem uygulaması için, bölgenin güneş ışınımı, sistem boyutlandırması, kullanılacak alanın tahsisine yönelik maliyetler, kullanılacak güneş paneli ve evirici teknolojisi tercihi oldukça önemlidir. Bu değişkenlerin bilinçli bir yönetimle değerlendirilerek hayata geçirilmesi yatırımın daha hızlı geri ödenmesini sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin fotovoltaik güç potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik olarak, benzer nitelikteki sistemlerin günümüz koşullarında; üretime ve yatırıma yönelik performans çıktılarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Türkiye FV uygulamaları için oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin FV sistem uygulamalarına yönelik olarak güneş enerjisi potansiyelini değerlendirilmesi; yatırıma özendirme, enerji üretimi süreçlerinde küresel ısınma etkisinin kabul edilebilir seviyelere çekme, enerji kullanımında dışa bağımlılığı azaltma ve yeni istihdam alanları oluşturarak katma değer sağlama açısından oldukça önemlidir.

Güneş enerjisi potansiyelinin Türkiye için değerlendirilmesini hedefleyen bu çalışmada; aynı sistem boyutlandırmasına sahip olan yatırımların, belirli kriterlere göre seçilen üç şehirdeki güneş performansı ve finansal performansının değerlendirilmesine yönelik bir analiz yapılmıştır. Ayrıca, yatırımların çevre elektrik tüketimini karşılamaya yönelik sağladığı fayda da hesaplanmıştır. Yatırım analizleri, incelenen literatürdeki temel teknikler dikkate alınarak yapılmıştır. Sistem uyumu, yıllık enerji üretimi simülasyonu PVsyst programı kullanılarak desteklenmiştir.

Yatırım İzmir ilinde belirlenen organize sanayi bölgesi parseli üzerinde boyutlandırılmıştır. Hesaplanan teçhizat, personel ve diğer giderler (arsa tahsisi yatırım gideri hariç), bölgelerdeki üretimin ve finansal performansın karşılaştırılması için Ankara ve İstanbul yatırım alternatifinde de kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmada, yatırımların sadece güneşe dayalı performanstan etkilenmediği, bölgelerin sosyo-ekonomik durumlarına göre değişim gösteren arsa maliyetlerinin de yatırım kararlarını değiştirici etkilerinin olduğu görülmüştür. Bu nedenle, devletin organize sanayi bölgelerinde üretici için sağladığı bedelsiz parsel teşviğinin yatırıma dahil edildiği bir durum da çalışmaya eklenmiştir.

Arsa maliyetlerinin de yatırıma etki ettiği durumda ulaşılan finansal sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

- İzmir fotovoltaik yatırım alternatifi yedi yılda kendisini ödeyebilmektedir. Faydalı ömür boyunca %153'lük bir getiri sağlamaktadır.

- Ankara fotovoltaik yatırım alternatifi yedi yıla yakın bir sürede kendisini geri ödeyebilmektedir. Yapılan yatırımın getirisi %161'dir.
- İstanbul fotovoltaik yatırım alternatifi kendisini 14 yılda geri ödeyebilmektedir. Yatırımın getirisi %61'dir.

Parsel maliyetleri dikkate alındığında, Ankara ve İzmir yatırımlarının birbirine yakın geri ödeme sürelerinin olduğu ve Ankara yatırımının daha yüksek geri dönüş oranına sahip olduğu görülmüştür. Bunun en temel nedeni, İzmir'de katlanılan arsa tahsis maliyetinin (7 800 000 ₺) Ankara'da katlanılan maliyetin (3 705 000 ₺) iki katından daha fazla olmasıdır.

Yatırım arazisinin OSB eliyle GES yatırımına dönüştürüldüğü veya devlet desteğiyle ücretsiz arsa tahsisinin gerçekleştirildiği alternatif durumlarda ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- İzmir fotovoltaik yatırım alternatifi kendisini beş yılda ödeyebilmektedir. Faydalı ömrü boyunca yatırım toplam %200'lük getiri sağlamaktadır.
- Ankara fotovoltaik yatırım alternatifi altı yılda kendisini geri ödeyebilmektedir. Yatırımın getirisi %172'dir.
- İstanbul fotovoltaik yatırım alternatifinin yedi yıllık bir geri ödeme süresi vardır. Yatırımın sağlayacağı getiri %133'tür.

Parsel teşviğinden yararlanıldığında, üç yatırım alternatifi için maliyete olan etkinin eşit olduğu ve sadece bölgelerin çevresel koşullarından kaynaklanan farklılıkların yatırımın karlılığını etkilediği görülmüştür. İzmir ili yatırım için en uygun alternatif olarak seçilmiştir. İzmir'i sırasıyla Ankara ve İstanbul alternatifleri izlemektedir.

İki durum için de yapılan hesaplamalarda sadece üretim verimliliği düşünüldüğünde; İzmir FV yatırımı enerji üretimi performansının diğer iki bölgedeki sonuçlara göre daha verimli olduğu görülmüştür. Bu durum, İzmir'de yatırımının daha iyi sonuçlar vereceği beklentisini ortaya çıkarmaktadır.

Projenin güneş performansı ve finansal analizi beraber incelendiğinde, fotovoltaik enerji santralinin kurulması için karşılaştırılan üç şehir arasındaki en uygun şehir İzmir ilidir. Yıllık üretimi ortalama 13 606 MW olan ve ortalama altı yıllık geri ödeme süresi olan 8 865 kWh kurulu güce sahip İzmir OSB yatırımı için yatırım maliyeti 39 103 372 ₺'dir.

Ortalama üretimin çevredeki tüketime sağladığı fayda, yıllık güneş radyasyonu ve ortalama güneşlenme saatleri açısından avantajlı olan İzmir FV yatırımında diğer alternatiflere göre daha fazladır. Yatırımlardan sağlanacak üretim; İzmir'de ortalama 7 802, Ankara'da 7 257, İstanbul'da 6 518 meskenin yıllık elektrik ihtiyacını yeşil enerji ile karşılayabilecek düzeydedir.

Çalışmada, üç farklı şehre ilişkin Şebeke bağlantılı fotovoltaik yatırımların geri ödeme süreleri ve getirilerinin; coğrafi koşullar, FV teknolojisinden dolayı oluşan üretim kayıpları, arsa maliyetleri ve devlet teşviklerinin etkisiyle farklılık gösterebileceği görülmüştür.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, polikristal güneş paneli kullanılarak yapılan yatırımların, beş ila dokuz yıl arasında kendisini ödediği görülmüştür. Yatırımın karşılama süresi kurulan lokasyon, yatırımda katlanılan maliyetlerin etkisiyle değişim göstermektedir. Özellikle Türkiye'de yapılan çalışmalarda, üretim alanı için arsa tahsis maliyet kalemi oldukça yüzeysel verilmiş ve yatırıma etkisi araştırılmamıştır. Ayrıca, üretim alanı, modül düzeni gibi üretim performansını etkileyecek faktörlere ilişkin düzenleme yaparak üretim performansını araştıran çalışma sayısı da oldukça azdır.

Yapılan üretimin karbon salınımını azaltmaya yönelik etkisini araştıran çalışmalar olsa da üretimin bölge tüketimine sağlayacağı faydayı araştıran çalışma sayısı oldukça azdır. Ayrıca, OSB ve yakınında bulunan bölgeler için farklı yatırım alternatifleri oluşturarak sağlanacak faydaları inceleyen bir araştırmaya rastlanmamıştır.

Çalışmaların bir kısmında, solar enerji performansı için farklı karar verme teknikleri kullanılarak uygun üretim bölgesinin belirlenmesine yönelik uygulamalar da

mevcuttur. Bu çalışmalar, muhtemel üretim yatırımları için yapılacak olan bir analiz ile desteklenebilir.

Yapılan çalışmanın; güneş enerjisinden elektrik üretimine yönelik bir uygulamayı farklı üç bölge için karşılaştırmalı olarak vermesi, FV projelerinde uygulanan güncel teşvikleri vererek değerlendirmesi, arsa maliyetlerinin yatırım performansına olan etkisini ve buna yönelik devletin sağladığı destekleri vermesi; illerin sosyo-ekonomik durumunun yatırım maliyetlerine, karlılığa etkisinin ve çevreye sağlanan üretim faydasının görülmesi açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

1. International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2017", 8: (2017).
2. REN21, "Renewables 2017 Global Status Report", Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, (2017).
3. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), "Türkiye Elektrik Sistemi Kuruluş ve Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Güç 2017", <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc> (2017).
4. Bayraktar, K. G., "Güneş ülkemizin enerji geleceğidir", *Enerji ve Maden Dergisi*, 13: 50–54 (2016).
5. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), "YEGM'nin Güneş Enerjisi Çalışmaları", http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_calismalari.aspx (2018).
6. Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ., "Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji", *Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı (SETA)*, (197): (2017).
7. British Petroleum (BP), "BP Statistical Review of World Energy", (2017).
8. BP Energy Economics, "BP Energy Outlook 2018", (2018).
9. U.S. Department of Energy, "2016 Renewable Energy Data Book", (2016).
10. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM), "Yenilenebilir Enerji Nedir", http://www.yegm.gov.tr/genc_cocuk/Yenilenebilir_Enerji_Nedir.aspx (2018).
11. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun", *T.C. Resmi Gazete*, 44 (25819): (2005).
12. Şeker, V., "Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının ANP İle modellenmesi ve analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).
13. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM), "Biyokütle Enerjisi Nedir", http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx (2018)
14. Kapluhan, E., "Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Biyokütle enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki kullanım durumu", *Marmara Coğrafya Dergisi*, (30).

15. Külekçi, Ö. C., "Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi", *Çevre Bilimleri Dergisi*, 1 (2): 83–91 (2009).
16. Şimşek, Ş., "Dünya’da ve Türkiye’de jeotermal gelişmeler", *III. Geothermal Resources Symposium Proceedings*, 1–17 (2015).
17. Arslan, S., Darıcı, M., ve Karahan, Ç., "Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli", *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 21–28 (2001).
18. Çolak, Ş. Ç., "Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
19. Terzi, Ö., Küçüksille, U., Ergin, G., ve İlker, A., "Veri madenciliği süreci kullanılarak güneş ışınımının tahmini", *International Technologic Science*, 3 (2): 29–37 (2011).
20. Köroğlu Aydın, F., "Yenilenebilir enerjinin desteklenmesi: teşvik mekanizmalarının rolü", Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara, (2013).
21. REN21, "Renewables 2018 Global Status Report", Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, (2018).
22. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, ilgili ve ilişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri Raporu", Ankara, (2016).
23. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Bilgi Merkezi Enerji", <https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/elektrik> (2019).
24. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), "Sektör Raporu", <https://www.teias.gov.tr/tr/sector-raporlari> (2019).
25. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, "Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2016 Yılı Faaliyet Raporu", (2016).
26. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB), "Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu", (2017).
27. Dinçer, M. Z. ve Aslan, Ö., "Sürdürülebilir Kalkınma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidrojen Enerjisi:Türkiye Değerlendirmesi", *İTO*, 139-140 (2008).
28. İnternet: Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, "Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları 2017", <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari> (2018).

29. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Bilgi Merkezi Jeotermal Enerji", <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal> (2018).
30. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun", *T.C. Resmi Gazete*, (27809): (2011).
31. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2017 Yılı Bütçe Sunumu", (2016).
32. EÜAŞ, "2017 Elektrik Üretimi Sektör Raporu", Ankara, (2018).
33. Kılıç, F. C., "Recent renewable energy developments, studies, incentives in Turkey", *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28 (1): 37–54 (2011).
34. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM), "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)", <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> (2018).
35. Özdemir, G., "Güneş enerjisi sistemlerinin finansal analizleri", Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).
36. Öztürk, H. H., "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları", *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 11-17 (2012).
37. Girgin, M. H., "Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirme ve ekonomik analizi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*, İstanbul, (2011).
38. Boxwell, M., "The Solar Electricity Handbook - 2017 Edition: A Simple, Practical Guide to Solar Energy – Designing and Installing Solar Photovoltaic Systems.", *Greenstream Publishing*, (2017).
39. Yılmaz, S., Ozcalik, H. R., Kesler, S., Dincer, F. and Yelmen, B., "The analysis of different PV power systems for the determination of optimal PV panels and system installation—A case study in Kahramanmaraş, Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52: 1015–1024 (2015).
40. Fthenakis, V. M. and Kim, H. C., "Photovoltaics: Life-cycle analyses", *Solar Energy*, 85 (8): 1609–1628 (2011).
41. Balfour, J. R., Shaw, M. and Nash, N. B., "Introduction to Photovoltaic System Design", *Jones & Bartlett Learning*, (2011).
42. Tobías, I., del Cañizo, C. and Alonso, J., "Crystalline Silicon Solar Cells and Modules", Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, *John Wiley & Sons, Ltd*, Chichester, UK, 265–313 (2011).

43. Dimmler, B., "CIGS and CdTe based thin film PV modules, an industrial revolution", *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2494–2499 (2012).
44. İnternet: Solartürk Enerji, "Solartürk Pv Modüller", <https://www.solarturk.com.tr/urunler.html> (2018).
45. Papadopoulou, E., "Photovoltaic Industrial Systems: An Environmental Approach", *Springer Berlin Heidelberg*, (2011).
46. İnternet: Niğde OSB, "Niğde 5 MW GES", <http://www.nigdeosb.com/> (2018).
47. İnternet: PVsyst, "PVsyst Photovoltaic Software", <https://www.pvsyst.com/> (2018).
48. Bakırcı, K., "General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8): 6149–6159 (2012).
49. Günerhan, H. and Hepbaşlı, A., "Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications", *Building and Environment*, 42 (2): 779–783 (2007).
50. Moghadam, H., Tabrizi, F. F. and Sharak, A. Z., "Optimization of solar flat collector inclination", *Desalination*, 265 (1–3): 107–111 (2011).
51. Benghanem, M., "Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia", *Applied Energy*, 88 (4): 1427–1433 (2011).
52. Reeve, J., Warren, C. S. and Duchac, J., "Financial and Managerial Accounting Using Excel for Success", *Cengage Learning*, 1085,1166-1167 (2011).
53. "Elektrik Piyasası Kanunu 4628", *T.C. Resmi Gazete*, (2001).
54. Boşça, S., "Yenilenebilir enerji sektöründe mevzuat değişikliklerinin yatırımlara etkisi ve hukuki uyumsuzluklar", *Hukuk Gündemi Dergisi*, 24: (2009).
55. "Elektrik Piyasası Kanunu 6446", *T.C. Resmi Gazete*, 53 (28603): (2013).
56. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, "Bakanlar Kurulu Kararı 2013/5625", *T.C. Resmi Gazete*, (28842): (2013).
57. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), "2018 Yılı Uygulanacak Olan Ön Lisans, Lisans Alma Ve Lisans Yenileme Fiyatlarının Belirlenmesine İlişkin 7557 Numaralı Kurul Kararı", *T.C. Resmi Gazete*, (30286): 134–138 (2017).

58. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, "Organize Sanayi Bölgelerinde Yer Alan Parsellerin Tamamen veya Kısmen Bedelsiz Tahsisine Dair Yönetmelik", *T.C. Resmi Gazete*, (30327): (2018).
59. Kim, H., Stumpf, A. and Schneider, R. L., "Developing energy efficient building design in machine learning", *27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, 498–504 (2010).
60. Mutlu, E., "Türkiye’de yenilenebilir enerji ekonomisi ve Ankara iline ait SWOT analizi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (2013).
61. Ata, R. ve Öcal, F., "Manisa’nın yenilenebilir enerji potansiyelinin analizi", *C.B.U. Journal of Science*, 101: 1–10 (2014).
62. Arık, A., "Yenilenebilir enerji politikalarının sürdürülebilirliği: AB ülkeleri ve Türkiye açısından bir değerlendirme", Yüksek Lisans Tezi, *Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ordu, (2016).
63. Sağıroğlu, Ç., "Türkiye’nin iller bazında enerji ihtiyacının veri madenciliği ile analizi ve lisanssız yenilenebilir enerji yatırımları için karar destek önermesi", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2016).
64. Aktas, A. and Kabak, M., "A hybrid hesitant fuzzy decision-making approach for evaluating solar power plant location sites", *Arabian Journal for Science and Engineering*, (2018).
65. Kabak, M. and Dağdeviren, M., "Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology", *Energy Conversion and Management*, 79: 25–33 (2014).
66. Demirer, A., "Güneş enerjisi santrali yer seçimi probleminin analitik hiyerarşi prosesi yardımı ile değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2017).
67. Çolak, M. and Kaya, İ., "Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80: 840–853 (2017).
68. Demirtürk, C., "Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş enerjisi karşılaştırmalı yatırım fizibilitesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).
69. Yörükoğlu, H., "Yenilenebilir enerji kaynakları risklerinin Fuzzy-FMEA yöntemi ile analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2014).

70. Olcan, C., "Güneş radyasyon tahmini için bulanık zaman serisi yöntemleri ve fotovoltaik sulama sistemi optimizasyonunda uygulanması", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015).
71. Deniz, E. ve Çınar, S., "Energy, exergy, economic and environmental (4E) analysis of a solar desalination system with humidification-dehumidification", *Energy Conversion and Management*, 126: 12–19 (2016).
72. Çubukçu, M., "Türkiye'nin farklı konumlarında farklı topolojilerde fotovoltaik-rüzgâr-yakıt pili hibrid güç sistemlerinin modellenmesi, karşılaştırmalı simülasyonu ve uygulamalı performans analizi", Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2011).
73. Karaca, C., "Güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sistemi tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2012).
74. Sahin, A. Z. and Rehman, S., "Economical feasibility of utilizing photovoltaics for water pumping in Saudi Arabia", *International Journal of Photoenergy*, 2012: 1–9 (2012).
75. Shivrath, Y., Patel, B., Thirumalasetty, S. and Narsaiah, D. E. L., "Design & integration of wind-solar hybrid energy system for drip irrigation pumping application", *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2: July-Aug 2012 pp (2012).
76. Chehri, A. and Mouftah, H. T., "FEMAN: Fuzzy-based energy management system for green houses using hybrid grid solar power", *Journal of Renewable Energy*, 2013: 1–6 (2013).
77. Üçgül, İ., Tüysüzoğlu, E. ve Yakut, M. Z., "PV çatı uygulaması için enerji hesaplaması ve ekonomik analizi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18 (2): 1–6 (2014).
78. Maheshwari, A., Jawaid, A., Mustafa, A. and Shakeeb, M. M., "Design and cost estimation of a Grid tied PV module", *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 1–3 (2016).
79. Diantari, R. A. and Pujotomo, I., "Calculation of electrical energy with solar power plant design", *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 443–446 (2016).
80. Güllökkan, O., "Farklı coğrafyalarda bulunan aynı büyüklükteki müstakil konutların elektrik enerjisi ihtiyacının fotovoltaik-rüzgâr hibrit enerji sistemlerinden karşılanması için yapılan tasarım ve optimizasyon çalışması", Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, (2017).

81. Ghosh, H. R., Bhowmik, N. C. and Hussain, M., "Determining seasonal optimum tilt angles, solar radiations on variously oriented, single and double axis tracking surfaces at Dhaka", *Renewable Energy*, 35 (6): 1292–1297 (2010).
82. Ajder, A., "Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2011).
83. Aydoğan, D., "Binaya entegre fotovoltaik sistem tasarımı ve kurulumu", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2010).
84. Koryürek, E., "Fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (2008).
85. Demircan, C., "40,5 kw p kurulu güçteki fotovoltaik güç sisteminin binaya katkısının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, (2014).
86. İnternet: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, "Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Araştırmaları, İllerin ve Bölgelerin Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması (SEGE-2011)", <http://www3.kalkinma.gov.tr/PortalDesign/PortalControls/WebContentGosterim.aspx?Enc=51C9D1B02086EAFB13C239EE2D6723BE> (2018).
87. İnternet: Meteororm, "Meteororm Software", <https://meteororm.com/en/> (2018).
88. İnternet: GOODWE, "Solar Inverters: Energy Storage Solutions", <http://www.goodwe.com/> (2018).
89. İnternet: E-Devlet, "Belediye Hizmetleri Arsa Rayiç Değeri", <https://www.turkiye.gov.tr/belediyeler> (2018).
90. İnternet: T.C. Merkez Bankası, "Para Politikası Faaliyetleri 2017", <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/PPK/2017> (2018).
91. İnternet: T.C. Merkez Bankası, "Tüketici Fiyatları", http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Is_tatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatlari (2018).
92. İnternet: Union of Concerned Scientists Science for a Healthy Planet & World (UCSUSA), "Benefits of Renewable Energy Use", <https://www.ucsusa.org/clean-energy/renewable-energy/public-benefits-of-renewable-power#.XF7HCzMzIU> (2018).

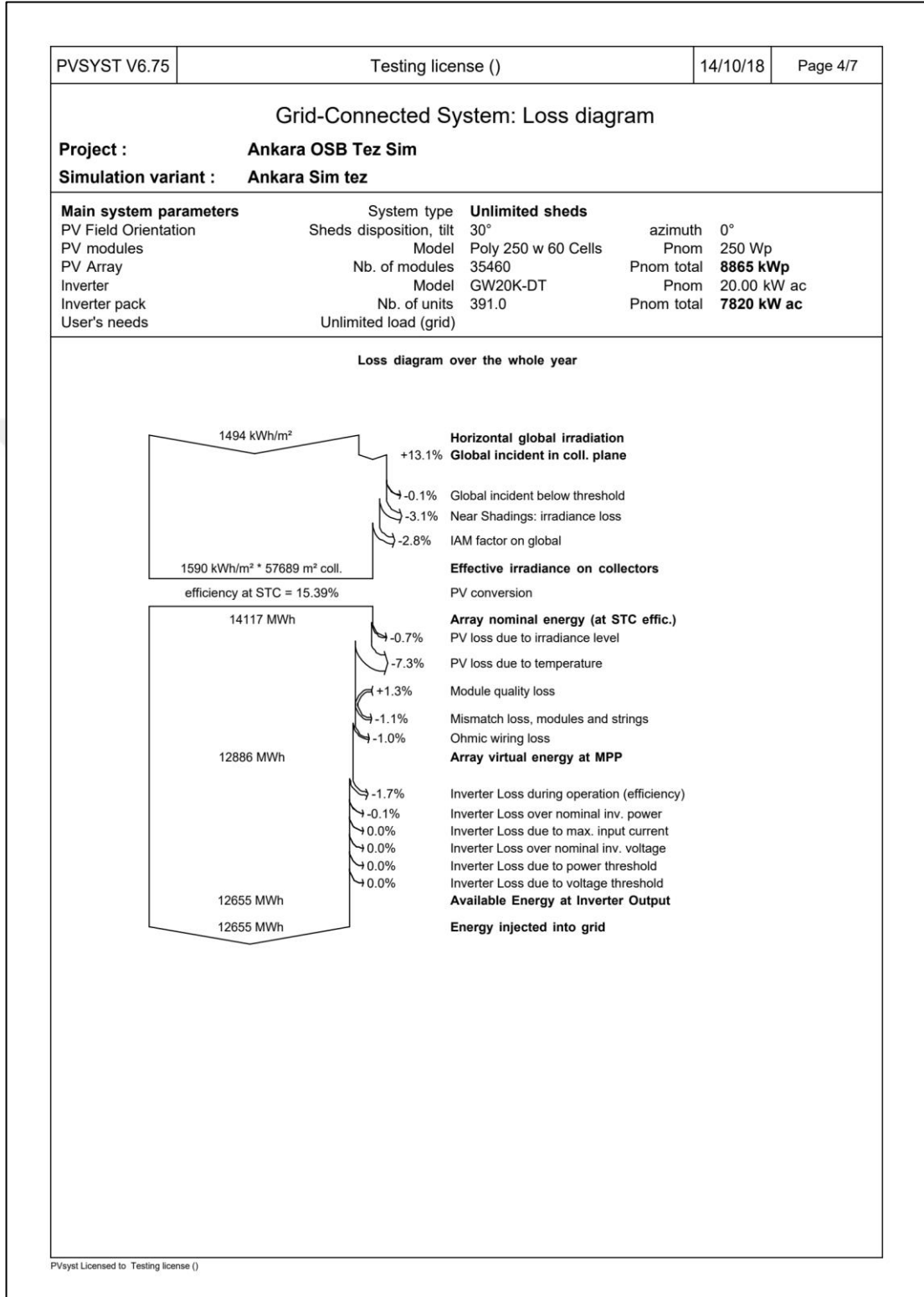
93. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), "Elektrik Piyasası Sektör Raporu Ocak 2018", (2018).
94. İnternet: OSB Bilgi Portalı, "OSB Tüketim Raporları", <https://osbbs.sanayi.gov.tr/Reportsa/TuketimReport.aspx> (2018).



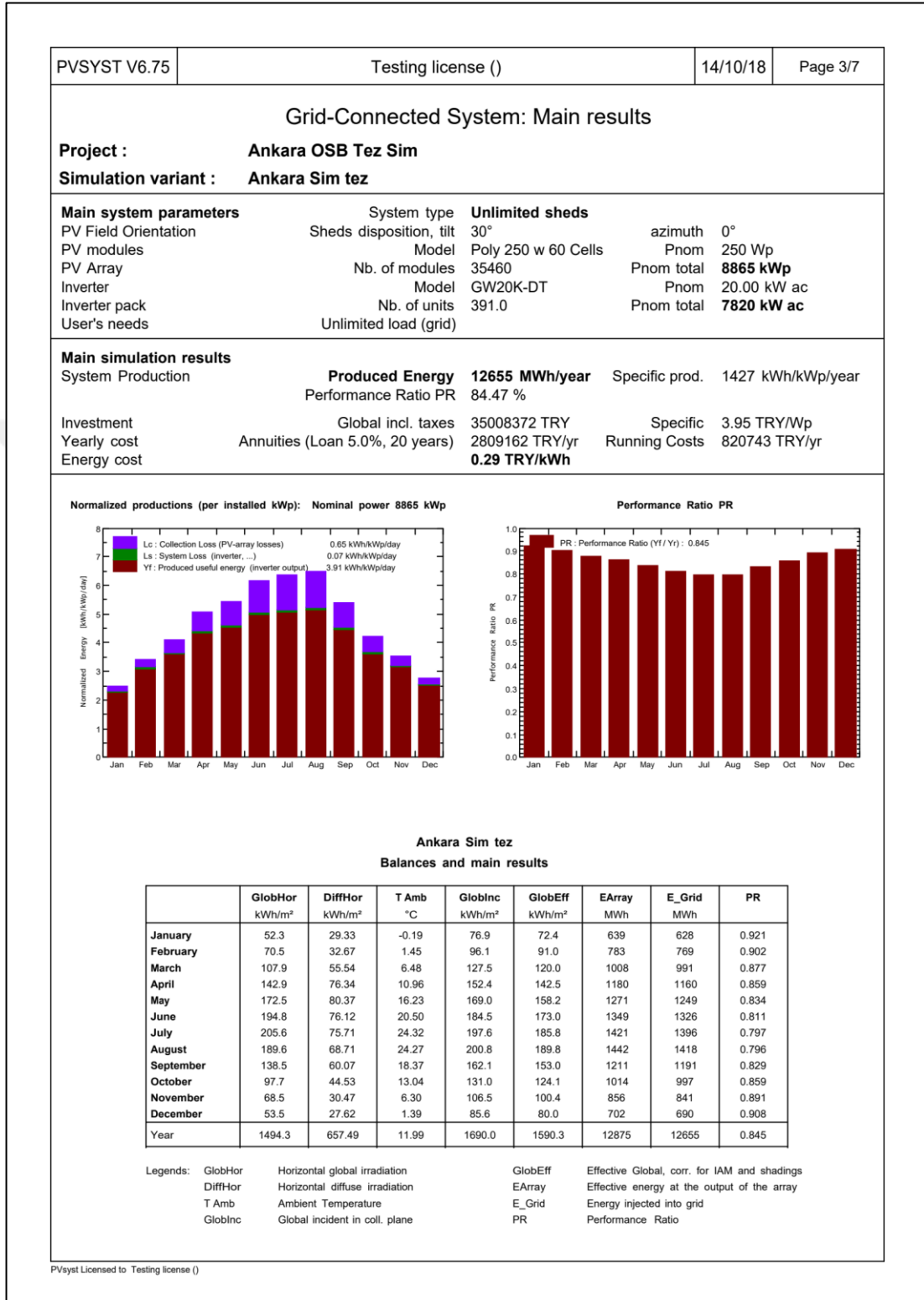


**EK AÇIKLAMALAR
DİĞER PVSYST ÇIKTILARI**

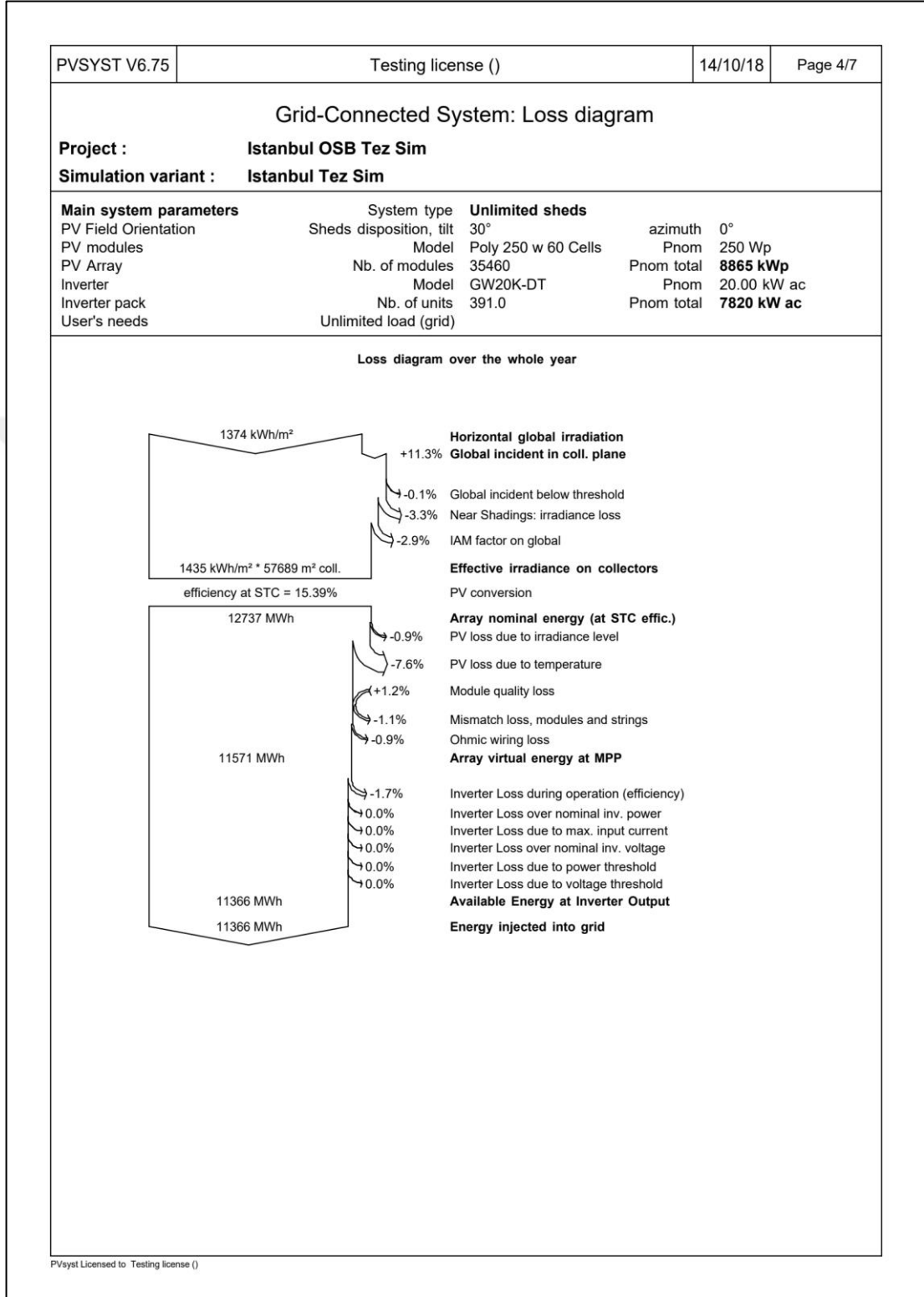
Çizelge EK 1. PVsyst Ankara yıllık enerji kaybı diyagramı.



Çizelge EK 2. Simülasyon sonucu PVsyst çıktısı Ankara.



Çizelge EK 3. PVsyst yıllık enerji kaybı diyagramı İstanbul.



Çizelge EK 4. Simülasyon sonucu PVsyst çıktısı İstanbul.

PVSYST V6.75	Testing license ()	14/10/18	Page 3/7
--------------	--------------------	----------	----------

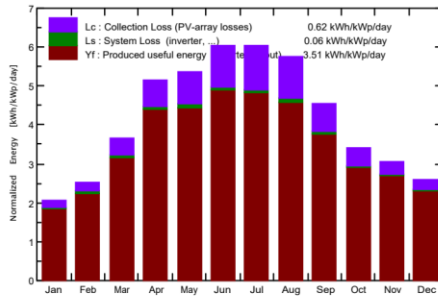
Grid-Connected System: Main results

Project : İstanbul OSB Tez Sim
Simulation variant : İstanbul Tez Sim

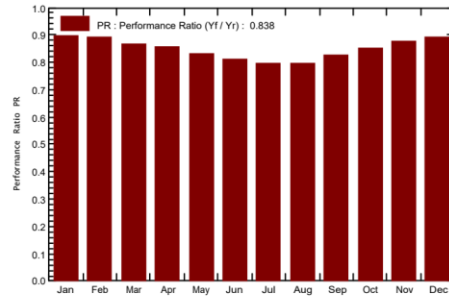
Main system parameters	System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	35460	Pnom total 8865 kWp
Inverter	Model	GW20K-DT	Pnom 20.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	391.0	Pnom total 7820 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results			
System Production	Produced Energy	11366 MWh/year	Specific prod. 1282 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	83.80 %	
Investment	Global incl. taxes	46396372 TRY	Specific 5.23 TRY/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	3722965 TRY/yr	Running Costs 820743 TRY/yr
Energy cost		0.40 TRY/kWh	

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 8865 kWp



Performance Ratio PR



Istanbul Tez Sim
Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	45.0	28.38	6.23	64.2	59.9	519	510	0.896
February	54.7	32.36	6.59	71.0	66.7	571	561	0.891
March	96.3	55.04	9.42	113.1	106.0	886	871	0.868
April	143.6	74.16	12.80	154.3	144.6	1189	1169	0.855
May	170.0	84.41	18.17	166.5	155.5	1245	1224	0.829
June	190.4	83.24	22.77	180.8	169.2	1322	1299	0.811
July	194.2	80.79	25.87	187.4	175.7	1347	1324	0.797
August	169.1	73.57	25.75	178.5	167.9	1284	1262	0.798
September	119.2	62.36	21.07	136.5	128.0	1017	1000	0.826
October	79.9	41.32	16.98	105.8	99.9	814	800	0.853
November	61.6	32.22	11.83	91.9	86.5	728	715	0.878
December	50.2	27.64	8.12	80.1	74.8	643	632	0.890
Year	1374.3	675.49	15.52	1530.1	1434.8	11566	11366	0.838

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation
 T Amb Ambient Temperature
 GlobInc Global incident in coll. plane
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 EArray Effective energy at the output of the array
 E_Grid Energy injected into grid
 PR Performance Ratio

PVsyst Licensed to Testing license ()

Çizelge EK 5. PVsyst Ankara ekonomik değerlendirme özeti.

PVSYST V6.75	Testing license ()	01/10/18	Page 5/5
Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :		Ankara OSB Tez Sim	
Simulation variant :		Ankara Sim tez	
Main system parameters			
	System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	35460	Pnom total 8865 kWp
Inverter	Model	GW20K-DT	Pnom 20.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	391.0	Pnom total 7820 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 250 Wp)	35460 units	561 TRY / unit	19893060 TRY
Supports / Integration		10 TRY / module	354600 TRY
Inverters (Pnom = 20.0 kW ac)	391 units	15608 TRY / unit	6102728 TRY
Settings, wiring, ...			3882300 TRY
Lisans alma maliyeti			700 TRY
Substitution underworth			0 TRY
Gross investment (without taxes)			30233388 TRY
Financing			
Gross investment (without taxes)			30233388 TRY
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		5442010 TRY
Gross investment (including VAT)			35675398 TRY
Subsidies			-667026 TRY
Net investment (all taxes included)			35008372 TRY
Annuities	(Loan 5.0 % over 20 years)		2809162 TRY/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			820743 TRY/year
Total yearly cost			3629905 TRY/year
Energy cost			
Produced Energy			12655 MWh / year
Cost of produced energy			0.29 TRY / kWh
PVsyst Licensed to Testing license ()			

Çizelge EK 6. Pvsyst İstanbul ekonomik değerlendirme özeti.

PVSYST V6.75	Testing license ()	01/10/18	Page 5/7
Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :		Istanbul OSB Tez Sim	
Simulation variant :		Istanbul Tez Sim	
Main system parameters			
	System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	Poly 250 w 60 Cells	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	35460	Pnom total 8865 kWp
Inverter	Model	GW20K-DT	Pnom 20.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	391.0	Pnom total 7820 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Investment			
PV modules (Pnom = 250 Wp)	35460 units	561 TRY / unit	19893060 TRY
Supports / Integration		10 TRY / module	354600 TRY
Inverters (Pnom = 20.0 kW ac)	391 units	15608 TRY / unit	6102728 TRY
Settings, wiring, ...			15270300 TRY
Lisans alma maliyeti			700 TRY
Substitution underworth			0 TRY
Gross investment (without taxes)			41621388 TRY
Financing			
Gross investment (without taxes)			41621388 TRY
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		7491850 TRY
Gross investment (including VAT)			49113238 TRY
Subsidies			-2716866 TRY
Net investment (all taxes included)			46396372 TRY
Annuities	(Loan 5.0 % over 20 years)		3722965 TRY/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			820743 TRY/year
Total yearly cost			4543708 TRY/year
Energy cost			
Produced Energy			11366 MWh / year
Cost of produced energy			0.40 TRY / kWh
PVsyst Licensed to Testing license ()			

ÖZGEÇMİŞ

Onur ÖZCAN 1993 yılında Erzincan'da doğdu; ilköğrenimini Çankırı ve Iğdır'da, orta öğrenimini İzmir'de tamamladı. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2017 yılında Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümü'nden mezun oldu. Halen Karabük Üniversitesi'nde başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (507) 614 3911
E-posta : onurozcan093@gmail.com