



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



**ULUSAL MEVZUATA UYGUN OTOPARK TİPİ  
FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİ TASARIMI:  
EGE ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

Kadriye AVCÜ

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

İzmir

2022



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ULUSAL MEVZUATA UYGUN OTOPARK TİPİ  
FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMİ TASARIMI:  
EGE ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

Kadriye AVCÜ

Danışman: Prof. Dr. Ceylan ZAFER

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı  
Enerji Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

İzmir  
2022



# EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ulusal Mevzuata Uygun Otopark Tipi Fotovoltaik Güç Sistemi Tasarımı: Ege Üniversitesi Kampüsü Örneği” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

12 / 08 / 2022

Kadriye AVCÜ



**ÖZET****ULUSAL MEVZUATA UYGUN OTOPARK TİPİ FOTOVOLTAİK  
GÜÇ SİSTEMİ TASARIMI: EGE ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ  
ÖRNEĞİ**

AVCÜ, Kadriye

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ceylan ZAFER

Ağustos 2022, 102 sayfa

Ekonomik ve sosyal düzenin sürdürülmesinde gerekli olan enerji gereksiniminin çoğu fosil kaynaklardan oluşmaktadır. Fosil kaynakların iklim değişikliği ve çevre sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. Ayrıca fosil kaynakların sonlu kaynaklar olmaları nedeniyle sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtların yerine kullanılması gereklidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en değerlisi güneştir. Güneşin sonsuz, çevre dostu ve temiz olması gibi birçok avantajı vardır. Öte yandan, İzmir yüksek güneş potansiyeline sahip bir ildir. Özellikle enerji arz güvenliği açısından bu potansiyelin verimli ve etkin kullanımı önemlidir. Bu bağlamda, Ege Üniversitesi'nin "Sürdürülebilir Yeşil Kampüs" hedefi kapsamında çevre farkındalığının artırılması, sürdürülebilir olgusunun öğrencileri ve çalışanları ile beraber yaşam kültürü haline getirilmesini de içerisine alan bir yönetim anlayışıyla kampüs alanında tüketilen enerjinin bir kısmının yenilenebilir enerji kaynağı ile sağlanması önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Ege Üniversitesi kampüs alanı içinde, mono-kristal teknoloji ile mevzuata uygun tasarımı yapılan AA gücü 2.76 MWe, DA gücü 3.472,335 MWp şebekeye bağlı bir FV santral tasarımı ve bu santralden elde edilen enerji ile Ege Üniversitesi kampüs alanında tüketilen enerjinin kısmi olarak karşılanmasıdır. Bu çalışma için, Ege Üniversitesi kampüsünde yer alan üstü kapalı araç sundurması (carport) kurulması uygun olan otopark alanlarından toplam 6 adet otopark alanının fotovoltaik güneş enerjisi santralının kurulumu için uygun olduğu

belirlenmiştir. Ayrıca, her bir alan için ayrı ayrı fizibilite çalışmaları ile teknik analizler yapılarak ve Skethcup ile gerçeğe yakın üç boyutlu modellenmiştir. PVsyst yazılım programı ile herbir alana kurulacak GES ile enerji üretimini tahminleyerek ve sistemi simüle ederek detaylı çalışmalar ile güneş enerjisi santralının performans analizi sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre toplamda yıllık üretilen enerji miktarı 5281,1 MWh ve performans oranları ortalama % 85.26 olacağı öngörülmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Enerji, fosil kaynak, Ege Üniversitesi, Sürdürülebilir Yeşil Kampüs, fotovoltaik, carport, PVsyst, Sketchup.



**ABSTRACT****DESIGN OF CARPORT PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN  
ACCORDANCE WITH NATIONAL REGULATION: EGE  
UNIVERSITY CAMPUS CASE**

AVCÜ, Kadriye

MSc in Solar Energy

Supervisor: Prof. Dr. Ceylan ZAFER

August 2022, 102 pages

Most of the energy requirement, which is necessary to maintain the economic and social order, consists of fossil resources. It is known that fossil resources cause climate change and environmental problems. In addition, since fossil resources are finite resources, it is necessary to use sustainable and renewable energy sources instead of fossil fuels. The most valuable of renewable energy sources is the sun. The sun has many advantages such as being eternal, environmentally friendly and clean. On the other hand, İzmir is a province with high solar potential. Especially in terms of energy supply security, efficient and effective use of this potential is important. In this context, it is important to increase environmental awareness within the scope of Ege University's "Sustainable Green Campus" goal, and to provide some of the energy consumed in the campus area with renewable energy sources, with a management approach that includes making the sustainable phenomenon a culture of life together with its students and employees.

The aim of this study is to design a PV power plant with an AC power of 2.76 MWe and a DC power of 3.472,335 MWp, which is designed in accordance with the legislation with mono-crystal technology in the Ege University campus area, and the energy obtained from this power plant and the partial energy consumption in the Ege University campus area is met as. For this study, it has been determined that a total of 6 parking areas on the Ege University campus are suitable for the installation of a photovoltaic solar power plant. In addition, feasibility studies and

technical analyzes were carried out separately for each area, and it was modeled in three dimensions close to reality with Skethcup. With the PVsyst software program, the performance analysis of the solar power plant is presented with detailed studies by estimating the energy production with the SPP to be installed in each area and simulating the system. According to the results obtained, it is predicted that the annual amount of energy produced in total will be 5281.1 MWh and the performance ratios will be 85.26% on average.

**Keywords:** Energy, fossil source, Ege Universty, Sustainability Grren Campus, photovoltaic, carport, PVsyst, Sketchup.



## ÖNSÖZ

Ulusal Mevzuata Uygun Otopark Tipi Fotovoltaik Güç Sistemi Tasarımı: Ege Üniversitesi Kampus Örneği" başlıklı çalışmamda, söz konusu üniversiteye ait otopark alanları incelendi. Simülasyon programları ile alanlarda kurulacak olan güneş enerji santrali için teknik analizler yapıldı. Çalışmalar sonucu elde edilen değerler ise tasarımı ve fizibilitesi yapılmış örnek güneş enerjisi santrali projeleri ve literatürde kabul görmüş yöntemler kullanılarak sonuca varıldı. Aynı zamanda, Sürdürülebilir Yeşil Kampus girişimlerinin üniversite paydaşları arasında farkındalığın artmasına, enerji ve doğal kaynakların iyileştirilmesine ve daha temiz bir çevre oluşturmasında katkısı olduğu kanısına varıldı.

İZMİR

12 / 08 / 2022

Kadriye AVCÜ



**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK .....	ii
KABUL ONAY SAYFASI .....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xvi
TABLolar DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Önemi ve Amacı.....	4
1.2 Mevzuat .....	7
1.3 Literatür Taraması .....	17
2. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMASI.....	23
2.1 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi.....	23

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
2.2 FV Panel Teknolojileri.....	27
2.3 FV Sistem Bileşenleri .....	33
3. MATERYAL VE METOT .....	39
4. FİZİBİLİTE HESAPLARI VE KULLANILAN TEKNİK PARAMETRELER .....	45
4.1 Giriş Parametreleri .....	45
4.1.1 Işınım şiddeti.....	45
4.1.2 İdeal modül açısı .....	55
4.1.3 Panel verimliliği.....	57
4.1.4 Degredasyon.....	58
4.1.5 Kablo kayıpları.....	59
4.1.6 Uyumsuzluk .....	59
4.1.7 Tozlanma.....	60
4.1.8 Gölgeleme .....	60
4.2 Çıkış Parametreleri.....	61
4.2.1 Nihai hasat.....	61

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4.2.2 Referans hasat.....	61
4.2.3 Performans oranı.....	62
4.2.4 Sistem verimliliği .....	62
4.2.5 Kapasite faktörü.....	62
5. E.Ü. KAMPÜSÜ FV TESİS BOYUTLANDIRMA VE FİZİBİLİTE ÖRNEĞİ .....	63
5.1 Kampüs Elektrik İhtiyacı.....	63
5.2 Otoparklara Ait FV Güç Santrali Tasarımı.....	65
5.3 GES Üretilen Enerji Miktarı.....	78
5.4 Fizibilite Sonuçları.....	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	94
TEŞEKKÜR .....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	102
EKLER .....	.....

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bir FV santral için mevzuatsal aşamalar.....	14
2.1. Bir FV hücrenin basit yapısı.....	23
2.2. Bir güneş hücresi için tek diyot modeli.....	25
2.3. Bir FV güneş hücresinin I-V ve P-V karakteristikleri. ....	26
2.4. Laboratuvar ortamında geliştirilen güneş hücrelerin verimlilikleri. ....	31
2.5. Laboratuvar ortamında geliştirilen hücrelerin ve modüllerin teknolojilerinin verimlilik karşılaştırması. ....	32
2.6. FV hücrelerin yıllara göre verimliliği. ....	33
4.1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası. ....	45
4.2. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (Saat) (Ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme süresi). ....	46
4.3. Türkiye global ışınım değerleri (kWh/ m <sup>2</sup> -gün) (Ay içerisindeki bir günlük toplam güneş ışınımı). ....	47
4.4. Türkiye FV tipi – alan – üretilebilecek enerji. ....	47
4.5. İzmir güneş enerjisi potansiyeli atlası, küresel ışınım değeri, güneşlenme süresi, FV tipi. ....	48
4.6. İzmir ili iklim verileri. ....	49
4.7. 1. Otoparka ait proje bilgisi detayı. ....	49

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.8. 2. Otoparka ait proje bilgisi detayı.....	50
4.9. 3. Otoparka ait proje bilgisi detayı.....	51
4.10. 4. Otoparka ait proje bilgisi detayı.....	52
4.11. 5. Otoparka ait proje bilgisi detayı.....	53
4.12. 6. Otoparka ait proje bilgisi detayı.....	54
4.13. Güneşin geometrisiyle ilgili tüm açılar.....	56
5.1. Örnek tasarım otopark uygulama şeması.....	65
5.2. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 1. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı. ....	66
5.3. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 2. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı. ....	67
5.4. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 3. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı. ....	68
5.5. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 4. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı. ....	69

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 5. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.....	70
5.7. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 6. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.....	71
5.8. Panel evirici uyum hesabı.....	73
5.9. Örnek FV tasarım şeması.....	73
5.10. Tasarımda seçilen eviriciye ait verimlilik eğrisi.....	74

**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. 2020 yılı sonu itibariyle kaynakbazında üretim.....	2
1.2. 01.07.2021 tarihinden 31.12.2025 tarihine kadar işletmeye girecek yek belgeli üretim tesisleri için güncellemeye esas yek destekleme mekanizması ile yerli katkı fiyatları ve uygulama süreleri.....	8
1.3. YEK Destekleme Mekanizması Fiyatları'nın güncellenmesinde dikkate alınacak üst sınır.....	9
1.4. Ulusal ve uluslararası standartlar.....	9
1.5. Yıllar itibariyle lisanslı YEKDEM katılımcılarının kurulu Gücü (MW). ....	11
1.6. Türkiye Kurulu Gücünün yıllar itibariyle gelişimi. ....	11
1.7. Lisanssız santraller kurulu güçleri. ....	11
1.8. Lisanssız santrallerin enerji üretim miktarları. ....	12
1.9. Yıllar itibariyle YEKDEM katılımcılarının yıllık üretim miktarları (MWh). ....	13
1.10. Resmi Gazetede yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nde yapılan bazı değişiklikler.....	14
1.11. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamındaki bedeller. ....	17
4.1. 1. Otoparka ait meteorolojik data. ....	50
4.2. 2. Otoparka ait meteorolojik data. ....	51

**TABLolar DİZİNİ (devam)**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.3. 3. Otoparka ait meteorolojik data.....	52
4.4. 4. Otoparka ait meteorolojik data.....	53
4.5. 5. Otoparka ait meteorolojik data.....	54
4.6. 6. Otoparka ait meteorolojik data.....	55
5.1. Ege Üniversitesi 2019 yılına ait elektrik tüketim miktarı.....	63
5.2. Ege Üniversitesi gelecekteki enerji tüketim tahmini.....	64
5.3. Ege Üniversitesi 5 yıllık tahmini enerji tüketim maliyeti.....	64
5.4. GES tasarımında seçilen eviricinin özellikleri.....	72
5.5. GES tasarımında seçilen modül özellikleri.....	72
5.6. GES tasarım sonuçlarının AA - DA güç değerleri ve otopark alanların ölçüleri.....	75
5.7. GES tasarımı sonuçlarına göre panel, evirici ve dizi sayısı.....	75
5.8. GES'nin bağlantı yapılacağı trafo güç değerleri.....	77
5.9. GES tasarım sonuçlarına göre yıllık enerji üretim miktarları ve performans oranları.....	78
5.10. GES tasarım sonuçlarına göre üretilen yıllık enerji miktarları ve şebekeye verilen enerji miktarları.....	78

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
<i>a.a.</i>	Alternatif akım
<i>a-Si<sub>j</sub></i>	Amorf silisyum
<i>A<sub>a</sub></i>	FV dize alanı (m <sup>2</sup> )
<i>AM</i>	Hava kütlesi
<i>c</i>	Işık hızı
<i>c-Si<sub>j</sub></i>	Kristal silisyum
<i>CdS</i>	Kadmiyum sulfur
<i>CdTe</i>	Kadmiyum tellür
<i>CIGS</i>	Bakır indiyum galyum diselenid
<i>d</i>	Degradasyon oranı
<i>d.a.</i>	Doğru akım
<i>e</i>	Elektron yükü
<i>E</i>	Foton enerji
<i>E<sub>A</sub></i>	FV dizenin ürettiği enerji (kWh)
<i>E<sub>AC</sub></i>	FV santralden alternative akım olarak üretilen enerji (kWh)
<i>E<sub>in</sub></i>	FV dize yüzeyine gelen güneş enerjisi (kWh)

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$E_y$	y yılında üretilen enerji miktarı (kWh/yıl)
$E_y$	y yılında üretilen enerji miktarı (kWh/yıl)
$E_d$	Üretilen günlük enerji miktarı (kWh/d)
$E_m$	Üretilen aylık enerji miktarı (kWh/m)
$G$	Referans ışınlam şiddeti ( 1kW/m <sup>2</sup> )
$h$	Planck's sabiti
$H_d$	Panel yüzeyine gelen günlük ışıtlım miktarı (kWh /[m <sup>2</sup> .d])
$H_m$	Panel yüzeyine gelen aylık ışıtlım miktarı (kWh /[m <sup>2</sup> .m])
$H_t$	Panel yüzeyindeki toplam ışıtlım miktarı (kWh /m <sup>2</sup> )
$k$	Boltzman sabiti
$I$	Hücrenin dışına akan gerçek akım (A)
$I_A$	FV dize çıkış akımı (A)
$I_L$	Yük akımı (A)
$I_o$	Diyot ters önyargı doyma akımı (A)
$I_{sc}$	Kısa devre akımı (A)
$m$	Diyodun idealite faktörü

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$P_{FV}$	Fotovoltaik sistemin kurulu gücü (kWp)
$P_{anma}$	Fotovoltaik santralin nominal gücü (kWp)
$PO$	Performans oranı
$R_p$	Hücrenin paralel direnci
$R_s$	Hücrenin seri direnci
$Si$	Silisyum
$\eta_{sys, m}$	Sistem verimliliği
$V$	Hücrenin terminalleri arasındaki gerilim farkı (V)
$V_u$	Şebeke gerilimi (V)
$V_{MPP}$	FV modülün en yüksek güç noktasındaki gerilim (V)
$V_{OC}$	Açık devre gerilimi (V)
$W_e$	Alternatif akım güç değeri (W)
$W_p$	Doğru akım güç değeri (W)
$T_m$	Hücrenin Kelvin olarak çalışma sıcaklığı
$Y_F$	Yıllık hasat oranı
$Y_R$	Referans hasat
$\lambda$	Dalga boyu

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AG	Alçak Gerilim
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EİGM	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
FV	Fotovoltaik
FVGS	Fotovoltaik güç sistemleri
GEPA	Güneş enerjisi potansiyeli atlası
GES	Güneş enerjisi santrali
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu Standartı
kVA	kilo Volt Amper
kWh	kilo Watt saat
kWp	kilo Watt peak
m <sup>2</sup>	metrekare
MLZ	Malzeme
MLPE	Modül seviyesi güç elektroniği
MPP	Maksimum güç noktası
MPPT	Maksimum güç noktası takipçisi

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
NREL	Ulusal Yenilenebilir Enerji Labaratuarı
OG	Orta Gerilim
PVGIS	Fotovoltaik coğrafi bilgi sistemi
SOLARGIS	Güneş coğrafi bilgi sistemi
TS	Türk Standartları
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEKDEM	Yek Desteleme Mekanizması



## 1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik döngünün en önemli parçasıdır. Birçok ülke arasında ekonomik çarkların dönmesi için gizli/açık enerji savaşları halen devam etmektedir. Enerji tüketimi ise bir ülkenin tekno-ekonomik açıdan gelişmişlik seviyesinin en önemli göstergelerinden biridir. Bugün, enerjinin %80'i gelişmiş ülkeler tarafından tüketilmektedir. Dünyada enerji tüketimi öncelikli olarak geleneksel fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Kömürden petrole ve doğalgaza doğru uzanan primer enerji kaynaklarının sonlu olduğu bilinmektedir. Ayrıca, fosil yakıtların kullanılması sonucu atmosferdeki karbondioksit ve sera gazlarının artması önemli ölçüde küresel ısınma problemleri yaratmakta ve hava, su, toprak kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kısacası, bu yakıtların saldıkları karbondioksit gazı iklime ve çevreye ciddi zararlar vermektedir. Dolayısıyla sonlu kaynakların yerine ikame edebilecek yeni temiz enerji kaynaklarının bulunması sürdürülebilirlik açısından bütün canlılar üzerinde hayati bir öneme sahiptir. Günümüzde fosil kaynakların hem çevre kirliliği oluşturması hem de sınırlı olması açısından yeni bir enerji arayışı konusunu karşımıza çıkarmaktadır. Son yıllarda enerji ihtiyacının karşılanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, iklim değişikliği ile mücadelede ve çevre kirliliğinin önlenmesi konularında yenilenebilir enerjiye yönelim hızlı bir şekilde artmaktadır.

Yenilenebilir enerji doğal kaynaklardan elde edilir. Kendini yenileyen, temiz, sonsuz ve bol miktarda bulunması gibi birçok avantaja sahiptir. Ayrıca, güneş enerjisi; kurulum, işletme ve bakım kolaylığı, yatırım maliyetinin giderek ucuzlaması ve elektrik üretim potansiyeli rüzgâr, biyogaz, biyokütle, jeotermal, gelgit, dalga, hidrojen gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre çok daha caziptir (Kilit, 2019). Öte yandan, geleneksel enerji üretiminden kaynaklı olumsuz çevresel etkilerini büyük ölçüde azaltan yenilenebilir enerji kaynakları tükenmeyen kaynaklar olup sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Türkiye ekonomisine ve stratejik planlarına uygun bir yapı ile enerji ihtiyacını sağlamak ve en önemlisi ülkemizin fosil yakıtlardan kaynaklı dışa bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları mutlaka değerlendirilmelidir (Kaynar, 2020).

Güneş doğada en güçlü potansiyele sahip yenilenebilir enerji türüdür. Güneş enerjisi, her yerde ve boyutta tesis edilebilen temiz ve enerjiye dönüşümü kolay bir teknolojiye sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtları çıkarmak çevreye

zararlı ve pahalı iken buna karşılık, güneş enerjisi ucuz ve çevre dostudur. Son yıllarda özellikle güneş enerjisi sistemlerinin gelişen teknolojisiyle büyük yatırımlar yapılmaktadır.

Bir GES temel amaçlarından biri üretilecek olan enerji miktarıdır. Bölgenin coğrafi yapısı, topografyası ve iklim koşulları kurulacak olan FV santralden üretilecek enerji miktarını belirlemektedir. Ayrıca, kurulması planlanan bir fotovoltaik santralin şebekeye bağlanması mezaata ve sistemin korunması da belirli uluslararası standartlara bağlıdır.

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 oran ile güneşten elde edileceğini ve 2030 yılına kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık %7,6 oran ile büyümede en hızlı enerji kaynağı olacağı vurgulanmıştır (Kılıç, 2015).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun (EPDK) 2020 yılı piyasa gelişim raporuna göre, 2020 yılı sonu itibariyle kaynak bazında kurulu güç ve üretim değerlerine göre lisanslı ve lisanssız santraller dâhil, güneş 6.667,42 MW kurulu güç değeri ile diğer üretim kaynaklar arasında %7 orana sahiptir. Toplam enerji üretim miktarı ise 11.242,48 GWh ve diğer üretim kaynaklara göre oranı %3,7'dir (EPDK Piyasa gelişim raporu, 2022).

Tablo 1.1. 2020 yılı sonu itibariyle kaynakbazında üretim (EPDK, 2022).

KAYNAK TÜRÜ	TOPLAM KURULU GÜÇ* (MW)	ORAN (%)	TOPLAM ÜRETİM* (GWh)	ORAN (%)
HİDROLİK	30.983,90	32,3	78.114,95	25,6
DOĞAL GAZ	26.041,93	27,2	69.277,54	22,7
LİNYİT	10.119,92	10,6	38.163,85	12,5
İTHAL KÖMÜR	8.986,85	9,4	62.466,47	20,5
RÜZGÂR	8.832,40	9,2	24.680,83	8,1
GÜNEŞ	6.667,42	7,0	11.242,48	3,7
JEOTERMAL	1.613,19	1,7	9.929,41	3,3
BİYOKÜTLE	1.115,59	1,2	5.501,94	1,8
TAŞ KÖMÜRÜ	810,77	0,8	3.415,83	1,1
ASFALTİT	405,00	0,4	2.222,88	0,7
FUEL ÖİL	305,93	0,3	313,04	0,1
NAFTA	4,74	0,0	0,00	0,0
LNG	1,95	0,0	0,00	0,0
MOTORİN	1,04	0,0	1,00	0,0
<b>TOPLAM</b>	<b>95.890,61</b>	<b>100,00</b>	<b>305.330,21</b>	<b>100,00</b>

Ülkemizde en çok enerji tüketenlerin başında sanayi sektörü olduğu bilinse de üniversiteler de en fazla enerji tüketenler arasında yer almaktadır. Üniversiteler kampüslerinin konumu itibarıyla geniş yerleşkelere sahiptir. Faaliyetleri ile de çevresel etkileri bulunmaktadır. Üniversiteler "Yeşil Kampüs" uygulaması ile olumsuz çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Demiroğlu et al., 2017). Ege Üniversitesi'nin Yeşil Üniversite Rehberine (2017) göre, "Yeşil Kampüs" tanımını ifade eden ana kriterleri sıraladığımızda; sürdürülebilirlik kavramını çevreyi temel alarak uygulayan, sıfır karbon emisyonunu hedefleyen, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını destekleyen ve uygulayan, doğal kaynak kullanımında çevreyi gözetken, geri dönüşüme dayalı atık yönetim sistemlerini kurmuş, çevre ve insan sağlığını ön planda tutan kampüstür. Yeşil kampüsün, öğrencinin düşünme ve bilgi birikimi için sağlıklı ve güvenli bir ortam yarattığı bilinen bir gerçektir. Ayrıca, kampüs alanların insanlar üzerinde rahatlama, dinlenme ve iyileşme sağlamak gibi olumlu etkileri vardır.

Kampüs alanlarında sürdürülebilir enerjinin sağlanması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile mümkündür. Literatürde üniversite kampüsleri için sürdürülebilirlik gereksinimini dikkate çeken birçok araştırma ve makale bulunmaktadır. Dünyada yeşil kampüs tasarım stratejilerini ve uygulamalarını ölçen ve değerlendiren Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED), Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Programı (BREEAM), Avrupa Eko-Yönetim ve Denetim Planı (EMAS) ve Kampüs Sürdürülebilirlik Değerlendirme Çerçevesi (CSAF), Yeşil Lig, Çevresel ve Sosyal Sorumluluk (ESR), Endeks 2009, GreenMetric gibi platformlar bulunmaktadır (Demiroğlu et al., 2017).

Yeşil Kampüs'e dönüşümün sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile desteklenmesi önemlidir. Dünyada birçok üniversitede yeşil kampüs girişimi ile doğayı koruma konusunda ve çevre yönetiminde çeşitli modeller uygulanmaktadır. Birleşmiş Milletler, sürdürülebilir kalkınmanın ilkelerini, değerlerini ve uygulamasını eğitimin tüm yönlerine entegre etmeyi amaçlayan 2005-2014 yıllarını "Sürdürülebilir Kalkınma için Eğitim On Yılı" olarak ilan etmiştir (Unesco, 2005).

## 1.1 Tezin Önemi ve Amacı

İnsan hayatında önemli bir yere sahip elektrik enerjisine olan gereklilik her gün daha fazla artmaktadır. Artan enerji gereksiniminin karşılanması, iklim değişikliği ve fosil kaynakların tükenmesi sorunları nedeniyle çevre dostu ve sürdürülebilir yöntem olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi gereklidir. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir konuma sahiptir. Bu fırsat enerjide dışa bağımlılığı da azaltacak olması oldukça iyi bir çözümdür. Özellikle güneş enerjisinin güvenilir, kesintisiz ve çevre dostu bir enerji kaynağı olması nedeniyle ve son zamanlarda bu kaynağın potansiyeli ve gelişen teknolojisi sayesinde en cazip yenilenebilir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisinin kullanımı önündeki en büyük engel yatırım maliyeti olmaktadır. Son zamanlarda enerji fiyatlarının artması ve teknolojinin yaygınlaşması ile ülkemizde birim maliyetin nispeten azalması fotovoltaik güç santrallerin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu bağlamda, ülkemizde birçok fotovoltaik santral çalışması yapılmış ve halen de yapılmaya devam edilmektedir. Fotovoltaik tesisler çatı ve zemine kurulmakla birlikte insanların birlikte bulunduğu alanlardaki otoparklar da fotovoltaik tesis kurulumu için önemli potansiyele sahip olabilmektedir.

Öte yandan, 75.000 kişiyi aşan Ege Üniversitesi çalışan ve öğrencileri olarak büyük bir insan sirkülasyonunun olduğu kampüs alanı ve binalarında yoğun enerji kullanımı söz konusudur. Ege Üniversitesi'nde kullanılan toplam enerjinin bütçeye oranı yaklaşık %5 olup bu oranı aşağı çekmek için daha verimli enerji kullanımı ve enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması önemlidir. Bu nedenle kampüs alanlarında sürdürülebilir yeşil kampüs konseptini oluşturmak ve yenilenebilir enerji kullanımını artırmak için E.Ü. otopark tipi GES tasarımı ve fizibilite çalışmasının ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan olumlu etkileri olacaktır.

Bu tezin amacı, şebekeye paralel bağlı fotovoltaik güç santralının ulusal mevzuata uygun olarak otopark uygulaması tasarımının yapılması ve kurulum detayları ile üretilecek güneş enerjisinin teknik analizinin yapılmasıdır. Böylelikle, E.Ü. gereksinim duyduğu enerjiyi, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı teknolojilerle üretmiş ve kullanmış olacaktır. Bu sayede kısa, orta ve uzun vadede

karbon salınımının azaltılması, yeşil kampüs hedefine ulaşılması konusunda olumlu etkisi olacaktır.

Güneş enerjisi potansiyeli, enerji tedariki konusunda ülkemize önemli bir avantaj sağlamaktadır. İnce'ye (2021) göre, saniyede ortalama 170 milyon MW güneşten dünyaya enerji geldiği düşünülürse, 100 milyon MW gücündeki enerji üretimi miktarı yaklaşık Türkiye'nin enerji üretiminin 1700 katıdır.

Bu tez çalışması kapsamında projelerin tasarımının yapılacağı İzmir, güneşli gün sayısı ve yaz aylarında güneşlenme süresinin fazla olmasından dolayı güneş enerjisi bakımından zengin bir konumdadır. Bu nedenlerden dolayı, güneş enerjisi santralleri yüksek güçlü panel kullanım kapasitesi ile hızlı yatırım geri dönüşünde çok ciddi bir potansiyele sahiptir. Son zamanlarda İzmir bölgesinde fotovoltaik güneş santrali kurulumu için birçok önemli yatırım kararları alınmaktadır. Bu tasarımdaki diğer önemli nokta, tasarımı yapılan fotovoltaik güç santrali tesisinden enerji üretmek aynı zamanda bu uygulama ile otoparktaki araçları olumsuz hava olaylarından korumaktır. Carport tasarım, araçların kötü doğa koşullarından az etkilenmesini sağlayarak, özellikle yaz aylarında araçların güneşten, kış aylarında da kar ve dolu gibi kötü hava şartlarından korumaktadır.

Tasarımı yapılacak santrali ekonomik açıdan değerlendirdiğimiz zaman; enerji fiyatlarının artması ve kur değişikliğinden dolayı mevzuatta bazı düzenlemeler yapılmıştır. Son düzenlemeye göre 12 Mayıs 2019 tarihli mevzuatla abonelerin mevcut sözleşme gücü üzerinden başvuru yaparak gereken enerjinin tamamını fotovoltaik santralden karşılayabilmektedir. Ayrıca bu sistemde üretilen fazla enerjiyi elektrik şebekesine verilebilmekte ve gerekli enerjinin üretilmediği durumlarda da şebekeden enerji almaktadır. Faturalandırma işlemi mahsuplaşma yöntemiyle yapılmaktadır.

Öte yandan yüksek enerji tüketen üniversiteler bir takım önemli çalışmaları bulunmaktadır. Örneğin, "Yeşil Kampüs" projesi ile kampüsün enerji ve su gibi ana kaynaklarının yanı sıra iklim değişikliği, atık yönetimi, geri dönüşüm, çevre ve ulaşım gibi birçok disiplinde çalışmaları bir bütün halinde yürütmektedir. Hacettepe Üniversitesi'nin Yeşil Kampüs akademik kaynağına göre, üniversite

yerleşkelerinin "Yeşil Kampüs" haline gelmesi ile gençlerin çevreye ve dünyaya olan bakışını değiştirerek yaşamına katacağı olumlu gelişmeler ile verimli bir hayat akışına da katkıda bulunacaktır (Hacettepe Üniversitesi, 2020).

Ege Üniversitesi'nin 2017 Yeşil Üniversite Rehberi'nde belirtildiği "Sürdürülebilir Yeşil Kampüs" politikası ile "Sürdürülebilir Enerji Yönetiminin Sağlanması" amaçlı stratejisiyle enerji kayıpları ve buna bağlı tüketimin azaltılması, enerji kullanım verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda Yeşil Kampüs projesi insan ve doğa odaklı bir bütünlüğü sağlayacak yaklaşımı benimsemektedir.

Ege Üniversitesinin 2019-2023 stratejik planında;

Kısa vadeli amaçlar;

- Birincil enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi giderlerinin azaltılması
- Temiz enerji kullanımı ile sürdürülebilir yeşil kampüs hedeflerine ulaşmaya katkı sağlaması

Uzun Vadeli amaçlar;

- Öğrencilerin eğitimleri boyunca yenilenebilir enerji kullanımını kampüs alanında görmesi ve öğrencilik sonrası özel hayatları ile profesyonel hayatlarında yenilenebilir enerji kullanmalarının özendirilmesi
- Kampüs alanında GES tesisinin kurulmasıyla elde edilen güneş ışınımı ve enerji üretimi, fotovoltaik panel verim ölçümü vb. gibi verilerin elde edilmesi ile bunların araştırma projesi, tez çalışması gibi üniversitenin temel amaçlarında kullanılmasını

kapsamaktadır. Ege Üniversitesi yenilenebilir enerji kullanımı ile bu alanda araştırma hedefleri arasında yer almaktadır. Bu tez çalışması ile elde edilmesi beklenen kısa ve uzun vadeli amaçların stratejik plan ile uyumu sağlanacaktır.

## 1.2 Mevzuat

Enerji sektörünün gelişimine yönelik, Elektrik Piyasası Kanunu 3 Mart 2001 tarihli 4628 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış olup, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı ve perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun kurulması (EPDK) ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim-dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsamaktadır.

08 Ocak 2011 tarihli ve 27809 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren 6094 sayılı " Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile yenilenebilir enerji kaynaklarına kaynak türüne ve yerlilik oranına göre teşvik verilmesi düzenlenmiştir. Bu çerçevede EPDK tarafından hazırlanan yönetmelik ile Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasının (YEKDEM) ayrıntıları belirlenmiştir (EPDK, 2022).

01 Haziran 2013 tarih ve 28664 sayılı Resmi Gazete’de "Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik" yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik, yenilenebilir enerji alanında yürütülen çalışmalar bünyesinde, elektrik enerjisi üretimi için güneş enerjisinin etkin ve verimli kullanımını sağlamak üzere güneş enerjisine dayalı yapılan lisans başvurularının teknik değerlendirilmesinin standart bir şekilde yapılabilmesi amacıyla hazırlanmıştır (Kılıç, 2015; Yıldız, 2014).

01 Ekim 2013 tarihli ve 28782 sayılı Resmi Gazete’de "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik" yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretiminin teşvik edilmesine yönelik olarak üretim lisansı sahiplerine "Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi" verilmesi ve Yek Destekleme Mekanizmasının (YEKDEM) kurulmasına ve işletilmesine ilişkin esaslar düzenlenmiştir (EPDK, 2022).

YEKDEM, yatırımcılara ve finans kuruluşlarına yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmak ve finansal açıdan kolaylık sağlamak amacıyla başlatılmasına karşılık uygulamada büyük hidrolik santrallerin dâhil edilmesi ve dolar üzerinden yapılan teşvikler nedeniyle sıkıntılar yaşanmaktadır. Son durumda, 3453 sayılı Cumhurbaşkanlığı kararı 30 Ocak 2021 tarihli ve 31380 sayılı Resmi Gazete kapsamında 01.07.2021 tarihinden 31.12.2025 tarihine kadar işletmeye girecek olan YEK belgeli yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri için uygulanacak fiyatlar ve süreler yayımlanmıştır. 3453 sayılı yeni modelden ilki Tablo 1.2’de görüldüğü gibi TL bazlı fiyat uygulamasıdır.

Tablo 1.2. 01.07.2021 tarihinden 31.12.2025 tarihine kadar işletmeye girecek yek belgeli üretim tesisleri için güncellemeye esas yek destekleme mekanizması ile yerli katkı fiyatları ve uygulama süreleri (Resmi Gazete, 2022).

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi		YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)	YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)	Yerli Katkı Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)	Yerli Katkı Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)
a. Hidroelektrik üretim tesisi		40,00	10	8,00	5
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi		32,00	10	8,00	5
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi		54,00	10	8,00	5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi	Çöp Gazı / Atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar	32,00	10	8,00	5
	Biyometanizasyon	54,00	10	8,00	5
	Termal Bertaraf (Belediye atıkları, bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıklar, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri, sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları)	50,00	10	8,00	5
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi		32,00	10	8,00	5

Son olarak; Temmuz 2021’den 31 Aralık 2025’e kadar işletmeye girmesi planlanan YEK belgeli üretim tesislerine uygulanacak olan fiyatların ve yerli katkı fiyatlarının, 1 Ocak 2021’den itibaren ve ilki 1 Nisan 2021’de olmak üzere üçer aylık dönemler halinde, her yıl Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında belirlenen yöntemle güncellenmesine karar verilmiştir. Bununla birlikte, yapılacak güncellemeler bakımından ABD Doları cent/kWh cinsinden bir tavan fiyat belirlenmiştir. Buna göre, tavan fiyatlar Tablo 1.3’deki fiyatlar üzerinden uygulanacaktır.

Tablo 1.3. YEK Destekleme Mekanizması Fiyatları'nın güncellenmesinde dikkate alınacak üst sınır (Resmi Gazete, 2022).

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi		Güncellemeye Esas Üst Sınır (ABD Doları-cent / kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi		6,40
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi		5,10
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi		8,60
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi	Çöp Gazı / Atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar	5,10
	Biyometanizasyon	8,60
	Termal Bertaraf (Belediye atıkları, bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıklar, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri, sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları)	8,00
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi		5,10

Ülkemizde bir FV sistemin şebekeye bağlantısı mevzuata tabidir. FV güç santralinin tasarımında ve uygulamasında kullanılacak tüm malzemelerin Türk Standartları (TS), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) Standartları, Uluslararası standartların yürürlükteki en son baskılarına, TEDAŞ MLZ şartnamelerine uygun olması gerekmektedir (TEDAŞ, 2022).

Tablo 1.4. Ulusal ve uluslararası standartlar.

TSE STANDART NO	STANDART NO	STANDART ADI
TS HD 60364	IEC 60364 (Tüm Bölümleri)	Alçak gerilim elektrik tesisatı
	IEC 60364-7-712	Binalarda elektrik tesisatı – Bölüm 7- 712: Özel tesisat ve yerleşim gereksinimleri – Fotovoltaik (FV) güç kaynağı sistemleri
TS IEC 60755	IEC 60755	Artık akımla çalışan koruyucu düzenler - Genel Kurallar
TS EN 61557	IEC 61557 (Tüm Bölümler)	Alçak gerilim dağıtım sistemlerinde elektriksel güvenlik-1000 V AA ve 1500 V DA'ya kadar Koruyucu düzenlerin denenmesi, ölçülmesi veya izlenmesi ile ilgili donanımlar.
TS EN 61730	IEC 61730 (Tüm Bölümler)	Fotovoltaik (FV) modül güvenlik niteliği
TS EN 50438	IEC 50438	Mikro jeneratörlerin alçak gerilim dağıtım şebekeleri ile paralel bağlanması için kurallar.
TSE K 191		Faz akımı 16 A'den büyük olan jeneratörler için bağlantı kuralları - Dağıtım sistemine AG seviyesinden bağlanan

Tablo 1.4. Ulusal ve uluslararası standartlar (devam).

TSE STANDART NO	STANDART NO	STANDART ADI
TSE K 192		Faz akımı 16 A'den büyük olan jeneratörler için bağlantı kuralları - Dağıtım sistemine OG seviyesinden bağlanan
TSE EN62446	IEC 62446	Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler – Sistem dokümantasyonu, devreye alma deneyleri ve muayene için asgari kurallar.
TSE EN5021	IEC 50521	Fotovoltaik sistemler için bağlayıcılar – Güvenlik kuralları ve deneyler.
TSE EN62305	IEC 62305	Yıldırımdan Korunma
TS CLC/TS 50539-12		Alçak gerilim için ani yükselmelere karşı koruyucu cihazlar - DA gerilim içeren özel uygulamalar için ani yükselmelere karşı koruyucu cihazlar - Bölüm - 12 : Seçim ve kullanma esaları - Fotovoltaik tesisatlara bağlanan SPD'ler
	IEC 62548	FV Dizeler. Tasarım gereksinimleri.
	IEC 62109-1	Fotovoltaik güç sistemlerinde kullanım için güç çeviricilerin güvenliği
	IEC 62109-2	Fotovoltaik güç sistemlerinde kullanım için güç çeviricilerin güvenliği-dönüştürücüler için belirli kurallar
	IEC 62116	Şebekeye bağlı fotovoltaik çeviriciler için bağlantıyı koruma önlemlerinin deney işlemleri
Eurocode EN 199, TS 498, TSE-K 506		Mekanik konstrüksiyon statik hesapları
	IEC 61724-1	Fotovoltaik sistem performansı – Uzaktan İzleme ve Raporlama
	IEC 61727	Fotovoltaik sistemler-şebeke bağlantı arayüzünün karakteristikleri

Bu alanda ulusal ve uluslararası standartlar bulunmakta ve geliştirilmektedir. Tablo 1.4'de günümüzde geçerli olan standartlar gösterilmiştir.

EPDK'nın Elektrik Yıllık Sektör Raporu Listesinden 2011'den 2020'ye kadar süren yıllık Elektrik Piyasası Gelişim Raporu'na göre YEKDEM kapsamında üretim kurulu güçlerinin kaynaklara göre dağılımı Tablo 1.5'de gösterilmiştir.

Tablo 1.5. Yıllar itibariyle lisanslı YEKDEM katılımcılarının kurulu Gücü (MW) (EPDK, 2022).

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019	2019	2020
Güneş	-	-	-	-	-	-	12,9	13,9	81,7	162,7
Hidrolik	21	930	217	598	2.116,3	9.960,0	11.096,3	11.706,4	12.588,5	12.434,7
Rüzgâr	469	685	76	825	2.732,1	4.319,8	5.328,7	6.200,0	6.495,6	6.440,0
Jeotermal	72	72	140	228	389,9	599,2	752,1	996,8	1.252,7	1.437,5
Biyokütle	45	73	101	147	185,2	203,7	300,0	349,2	503,1	671,2
Toplam	608	1.760	534	1.798	5.423,6	15.082	17.399,9	19.266,3	20.921,5	21.146,1

Tablo 1.5'e göre, YEKDEM'de 12.434,7 MW ile hidrolik santrallerin en yüksek paya sahip olduğu, sıralamada ikinci olarak 6.440 MW ile rüzgâr santralleri görülmektedir. Güneş'in payı henüz oldukça düşüktür.

Tablo 1.6. Türkiye Kurulu Gücünün yıllar itibariyle gelişimi (EPDK, 2022).

Yıllar	Termik (MW)	Hidrolik (MW)	Jeoter. + Rüz. +Güneş (MW)	Toplam Güç (MW)	Artış (%)
2017	46.926,3	27.273,1	11.000,6	85.200,0	8,5
2018	46.908,6	28.291,4	13.350,8	88.550,8	3,9
2019	47.663,0	28.503,0	15.101,0	91.267,0	3,1
2020	47.793,7	30.983,9	17.113,0	95.890,6	5,1

Tablo 1.7. Lisanssız santraller kurulu güçleri (EPDK, 2022).

Yıllar	Doğalgaz (MW)	Biyokütle (MW)	Hidrolik (MW)	Jeotermal (MW)	Rüzgâr (MW)	Güneş (MW)	Toplam Güç (MW)	Katkı (%)
2017	85,88	66,72	8,69	0,0	32,20	2.979,84	3.173,32	3,72
2018	153,04	79,18	8,91	0,0	51,95	5.017,49	5.310,57	6,0
2019	328,66	75,67	8,7	0,0	70,8	5.825,5	6.309,3	6,9
2020	402,67	83,71	8,7	0,0	70,8	6.257,6	6.823,5	7,1

Tablo 1.7’de EPDK’nın Elektrik Yıllık Sektör Raporu Listesinden 2017’den 2020’ye kadar süren yıllık Elektrik Piyasası Gelişim Raporu’na göre "Lisanssız Santraller Kurulu Güçleri" 2020 yılı kurulu güç kapasitesinde doğal gaz hariç 6.420,80MW’lık kısmı YEKDEM kapsamındadır. Bu tabloda Lisanssız GES’lerin fazla tesis edildiği görülmektedir.

- Lisanssız santraller de dâhil olmak üzere Tablo 1.7’ye göre YEKDEM kapsamındaki kurulu gücün Tablo 1.6’ya göre Türkiye’nin toplam kurulu güç kapasitesinin oranı 2019 yılında %22,92 gerçekleşirken, %22,07 oran ile 2020 yılında gerçekleşmiştir.
- Tablo 1.7’ye göre, 2020 yılında lisanssız kurulu güç kapasitesi 2019 yılına göre %8,1 oran ile artarak 6.823,47 MW gerçekleşmiştir. Ayrıca, güneş enerjisine dayalı santrallerin payı %91,71’dir.
- Tablo 1.8’e göre, 2020 yılında gerçekleşen enerji üretim miktarı 2019 yılına göre %15,18 oranında artarak 10.627,6MWh olmuştur. Tüm kaynaklar arasında güneş enerjisinin payı %98,37’dir.

Tablo 1.8. Lisanssız santrallerin enerji üretim miktarları (EPDK, 2022).

Yıllar	Termik (GWh)	Hidrolik (GWh)	Jeotermal (GWh)	Rüzgâr (GWh)	Güneş (GWh)	Toplam Üretim (GWh)	Katkı (%)
2017	138,77	19,43	0,0	36,80	2.836,55	3.031,56	1,02
2018	1.225,6	36,4	0,0	122,2	7.413,9	8.798,2	2,89
2019	1.494,0	36,2	0,0	145,2	9.045,2	10.720,6	3,5
2020	1.827,9	31,3	0,0	141,4	10.454,9	12.455,5	4,1

Tablo 1.9. Yıllar itibariyle YEKDEM katılımcılarının yıllık üretim miktarları (MWh) (EPDK, 2022).

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Güneş	-	-	-	-	24.269	39.140	159.961	375.476
Lisanssız	884	29.316	223.537	1.134.023	2.997.551	8.078.418	9.830.849	11.229.723
Hidrolik	528.427	1.072.832	5.651.215	16.212.717	17.213.394	27.369.727	36.961.886	29.671.021
Rüzgâr	223.243	2.378.819	8.275.992	14.163.402	16.765.418	19.002.863	19.900.973	20.658.797
Jeotermal	857.527	1.436.579	2.710.856	3.706.764	4.503.345	5.968.202	6.997.209	7.816.509
Biyokütle	750.715	957.223	1.082.913	10.613.594	8.992.792	2.047.082	2.817.209	3.730.669
Toplam	2.360.795	5.874.769	17.944.514	45.830.502	50.496.769	62.505.431	76.668.087	73.482.227

Tablo 1.9’da YEKDEM katılımcılarının üretimlerinin yıllar itibariyle gelişimi gösterilmektedir. 2020 yılında gerçekleşen enerji üretimi lisanssız santraller de dâhil yaklaşık %4,16 azalmış ve 73,48TWh’e ulaşmıştır. Bu nicelik %40,4 oran ile hidroelektrikten, %28,3 oran ile rüzgârdan elde edilmiştir.

Bu tez çalışması Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği’nin güncel mevzuatına göre hazırlanmıştır. En son yayımlanan yönetmelikten geriye doğru proje çalışmasını tanımlayan mevzuata göre sıralama yapılmıştır.

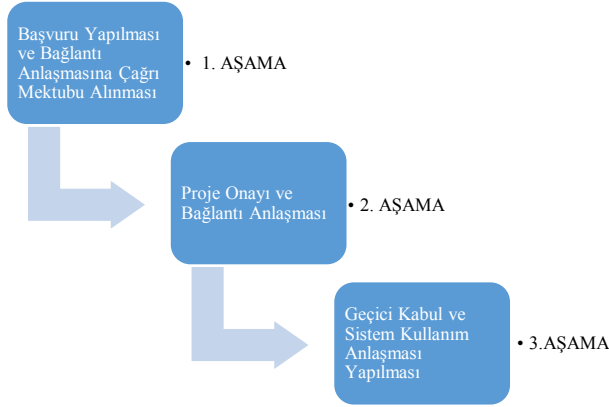
- 31.10.2021 tarih ve 31645 sayılı Resmi Gazetede "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" yayımlanmıştır (Resmi Gazete, 2022).
- 12.05.2019 tarih ve 30772 sayılı Resmi Gazetede "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği"nde yapılan bazı değişiklikler yayımlanmıştır (Resmi Gazete, 2022).

Tablo 1.10. Resmi Gazetede yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nde yapılan bazı değişiklikler (Resmi Gazete, 2022).

Yönetmeliğin Yayımlandığı Resmî Gazete'nin		
	Tarihi	Sayısı
	12.5.2019	30772
Yönetmelikte Değişiklik Yapan Yönetmeliklerin Yayımlandığı Resmi Gazete'nin		
	Tarihi	Sayısı
1-	23.09.2020	31253
2-	09.05.2021	31479

- 09.05.2021 tarih ve 31479 sayılı Resmi Gazetede "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" yayımlanmıştır.

#### GES PROJE SÜRECİ



Şekil 1.1. Bir FV santral için mevzuatsal aşamalar.

Yenilenebilir enerji kaynak alanlarının korunması, bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ve bu kaynakların kullanımına ilişkin usul ve esasları kapsar. Bu kanunda adı geçen başvuru yapılacak kurumlar;

- Bakanlık: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
- EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu,
- TEİAŞ: Türkiye Elektrik İletim Anonim Őirketini
- TEDAŞ: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi ve Bölge Koordinatörlükleri,
- EİGM: Enerji İŞleri Genel Müdürlüğü,
- Tesisin kurulacağı bölgeye ait dağıtım Őirketleri

### BAŞVURU AŐAMALARI

GES Başvuru Süreci: Bir FV tesisin lisanssız elektrik üretimi için ilk başvuru, tesisin kurulacağı bölgeye bağlı bölgesel bir elektrik dağıtım Şirketine (ilgili EDAŐ - İzmir için GDZ Elektrik Dağıtım AŞ) ya da elektrik dağıtım lisansı bulunan bir organize sanayi bölgesine (OSB) yapılmaktadır.

Başvuru Ayı (1. ay): Lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamında yayınlanan başvuru belgeleri hazırladıktan sonra o bölgedeki elektrik dağıtım Şirketine başvuruda bulunulur. BaŐvurular yönetmelikte de belirtildiği üzere ayın birinci günü ile aynı ayın son iş günü arasında yapılmaktadır. Bir ay boyunca baŐvurular alınır, değerlendirilir ve toplanan evraklar takip eden diğer ay içerisinde evraklar incelenir. Ayrıca, aslı görülecek belgeler ‘aslı gibidir’ yapılır.

Evrakların İncelenmesi Ayı (2. ay): Takip eden ayda baŐvurular evrak yönünden incelenir. Yönetmelikte de tanımlandığı gibi, baŐvuruların değerlendirme sonuçları dağıtım Şirketinin web sayfasında açıklanır.

Değerlendirme Ayı (3. Ay): Bu ay içerinde TEDAŞ, TEİAŞ, dağıtım Şirketi yetkililerince komisyon oluşturulur. Eksiksiz olarak yapılan baŐvurular komisyon tarafından teknik yönden değerlendirilmektedir. Ayrıca, TEİAŞ tarafından arıza akım limitinin aŐıldıđı bildirilen baŐvurular teknik değerlendirme yapılmadan reddedilmektedir.

10 kW altı baŐvurularda evrak değerlendirmesinden sonra teknik değerlendirme yapılmamaktadır.

Güneş enerjisine dayalı üretim santralleri proje dosya şablonu için gerekli evrak listesi, ilgili dağıtım şirketinin web sayfasından temin edilmektedir.

Çatı ve cephe uygulamalı güneş elektrik santrali ve yardımcı tesislerinin proje onayına sunulacak elektrik proje dosyasında belgeler, hesaplar ve proje paftaları TEDAŞ web sitesinden hizmetler, lisanssız elektrik üretimi, GES proje dosya formatı olması gerekmektedir. Ayrıca, lisanssız üretim santralleri kabul dosyasında olmasında gereken belgeler TEDAŞ web sitesinden ulaşılmaktadır (TEDAŞ, 2022).

Bir güneş enerjisi santralının proje onay adımları aşağıda açıklanmıştır.

- 12 Mayıs 2019 tarih ve 30772 sayılı resmî gazetede yayımlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 17 inci maddenin 1.inci fıkrası kapsamında kendisine bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu tebliğ edilenlere, bağlantı anlaşmasına çağrı mektubunun tebliğ tarihinden itibaren yüz seksen gün süre verilir. Bağlantı anlaşmasına alınan çağrı mektubunun ilk doksan günü içerisinde üretim tesisi ve varsa bağlantı hattı projesini Bakanlık veya Bakanlığın yetki verdiği kurum ve/veya tüzel kişilerin onayına sunar. Doksan gün içerisinde proje onayı için başvuruda bulunmayan gerçek veya tüzel kişilerin bağlantı başvuruları geçersiz sayılarak sunmuş oldukları belgeler kendilerine iade edilir.
- Projelerin yüzseksen gün içerisinde onaylatılması gerekmektedir. Eğer projeler onaylanmamışsa, dağıtım şirketlerine geçerli mazeretlerini dilekçe ile bildirip dağıtım şirketinin de uygun görmesi halinde doksan gün ek süre alınır. Toplamda bu ikiyüzyetmiş günlük süre içerisinde gerekli belgeler ile dağıtım şirketine bağlantı anlaşması yapılmak üzere yatırımcılar başvurur.
- Proje onay işlemi doksan gün içinde tamamlandıktan sonra projeye ait onay bedelinin yatırılması ile GES proje onayı tamamlanmaktadır. Bağlantı anlaşmasının imzalanması için gerekli belgelerin hazırlanması ile dağıtım şirketine başvuru yapılır. Projenin onaylanmasından sonra otuz gün içerisinde "Bağlantı Anlaşması" dağıtım şirketi ile imzalanır. FV santralin kurulumunun tamamlanması ile geçici kabul işlemleri yaptırılır. TEDAŞ veya dağıtım şirketi tarafından oluşturulan kabul heyeti ile GES

sahası kontrol edilerek teknik açıdan eksik olmadığı takdirde tesisin "Geçici Kabul" işlemi tamamlanmış olur. Kabul sonrası ile "Sistem Kullanım Anlaşması" dağıtım şirketi ile otuz gün içerisinde imzalanır.

Böylelikle tüm resmi süreç tamamlanmış ve üretim tesisi yasal hale gelmiş olur. Lisanssız elektrik üretim tesislerinde kurulu gücü 100kW ve altında olan GES üretim tesislerinin proje onay işlemleri Bölge Koordinatörlükleri tarafından yapılmaktadır. 100kW üstü TEDAŞ Genel Müdürlüğü ya da bağlı bulunduğu dağıtım şirketi tarafından yapılmaktadır.

31 Aralık 2021 tarih ve 31706 sayılı resmî gazeteye göre; Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 36'ncı maddesinin 2'inci fıkrasının (a) bendinde belirtildiği üzere şebeke işletmecisi tarafından 2022 yılı için tahsil edilecek başvuru bedeli Tablo 1.11'de gösterilmiştir (EPDK, 2022).

Tablo 1.11. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamındaki bedeller (EPDK, 2022).

<b>Başvuru Bedeli</b>	
<b>2022</b>	
<b>Güç Aralığı</b>	<b>Bedel (TL)</b>
0-250kW (dâhil)	0
250 kW üzeri	1149,4

### 1.3 Literatür Taraması

Literatürde, şebekeye paralel bağlı fotovoltaik güç sistemleri analizlerini içeren birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda amaç, güneş enerjisinin önemi, potansiyel araştırması ve çeşitli yazılımlarla GES tasarımlarının analizlerini yaparak tesise ait mevcut elektrik enerjisi tüketimlerinin karşılaştırılmasıdır. Diğer taraftan, üniversitelerin kampüs alanlarında enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması ve farkındalığın artması ile "Sürdürülebilir Yeşil Kampüs" girişimlerini ortaya koymaktadır. Bu konular ile ilgili yapılan çalışmalar listelenmiş ve tartışılmıştır.

Tiyarattanachai and Hollmann (2016), yeşil kampüsün önemini ortaya koyan çalışmalarında Mahidol University International Collage okulundaki paydaşların yaşam kalitesi hakkındaki algıları ortaya koyulmuştur. Kampüste algılanan yaşam kalitesini ölçmek için UI GreenMetric aracından faydalanılmıştır. Çalışma sonuçları, yeşil kampüsün UI GreenMetric Dünya Üniversite Sıralamasında listelenen sürdürülebilirlik uygulamalarına daha iyi uyan MUIC (Mahidol International College) katılımcılarının, kampüslerindeki sürdürülebilirlik yönlerinden daha memnun olduklarını ve yaşam kalitesini daha iyi algıladıkları vurgulanmıştır. Yeşil kampüs olmanın üniversiteye katacağı ayrıcalıkların altı çizilmiştir.

Gandasari et al. (2020), çalışmalarında yeşil kampüs kavramı, politikaları ve konsepti incelenmiştir. Yeşil kampüs oluşturmanın bazı göstergelerinden su, kağıt ve elektrik tasarrufuna yönelik çalışmalar, ideal yeşil açık alan oranına ulaşmak için yeşillendirme ve kampüs atık yönetiminin kullanılabilirliği dahil olmak üzere çevre yönetimine yönelik kampüs yönetim politikaları belirtilmiştir. Endonezya'daki çeşitli üniversitelerin yeşil kampüs uygulamaları araştırılmış ve Riau Üniversitesi'nin vizyon ve misyonu ile yeşil kampüs kavramının uygulanabileceği sonucuna varılmıştır. Bunun dışında yeşil kampüs konseptinde bazı kampüslerin altyapı eksikliği, ekonomik nedenler gibi karşılaşılabilecek çeşitli engeller tartışılmıştır.

Fadeeva and Cherkasova (2021), ilk temel yeşil kampüs türünü incelemişlerdir. Araştırmalarında, sürdürülebilir kampüsün girişimi için yeşil kampüs kavramının temel başlangıç noktası olduğu vurgulanmıştır. Sürdürülebilir kalkınmayı amaçlayan iyileştirme politikası eylemleri olarak üniversite kampüslerinde birbirinden farklı yeşil teknoloji uygulamalarının altı çizilmiştir. Ayrıca, kurumların politikaları ile çevre koşullara uyum sağlayan araçlar irdelenmiştir. Çalışmada sürdürülebilir bir kampüsün önemi ifade edilmiştir.

Alkan ve Yavuz (2020) yaptıkları çalışmada, 169kWp gücündeki doğu-batı yönelimli güneş enerjisi santrali ile Türkiye ve İstanbul'un güneş enerjisi potansiyeli, FV teknolojisi, FV sistemin genel yapısı gibi konular detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kurulumu yapılan FV sistemden üretilen enerjinin bir kısmı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Hidayet Türkoğlu Spor Kompleksi'ne ait enerji tüketiminin

karşılandığı ortaya koyulmuştur. Tasarım ve simülasyon çalışmaları ile gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiş. Kurulum sonrası fotovoltaiik sistem ile gerçek zamanlı üretim verileri karşılaştırıldığında PVGIS programında yapılan simülasyon sonucu ulaşılan üretim rakamlarına yakın sonuçlar bulunduğu açıklanmıştır.

Sulukan (2020) çalışmasında, artan enerji talebine karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi, sera gazı salımı ile iklim değişikliği tartışmaları, enerji üreten teknolojiler ile tekno-ekonomik ve çevresel etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, Milli Savunma Üniversitesi Deniz Harp Okulu yerleşkesindeki binaların çatılarına kurulan güneş enerji santrali ile üretilen enerji ile enerji talebinin karşılanması amaçlanmıştır. Çatı tipi FV santrallerin potansiyeli, hesaplama yöntemi, sistem tasarımı ve FV sistemin fizibilitesi RETScreen enerji proje simülasyon aracı ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda, FV sistemin kurulumu ile yerleşkeye ait öz tüketim ihtiyacının kurulan GES ile karşılanabileceği yapılan hesaplamalar ile ortaya koyulmuştur.

Akar (2016), 1150kWp DA güç ve 1000 kW AA güç kapasiteli Haymana GES tesisi, Ankara İli Haymana İlçesi, Balçıkhisar Beldesi, Hisar mevkiinde 1188 parsel üzerinde tesis edilmiştir. Bu araştırmada tesisten elde edilen performans oranı, enerji üretimi, sistem performansına etki eden parametrelere bakılmıştır. FV hücre tarihinden ve günümüz hücre teknolojisine kadar gerekli tüm bilgilerin aktarıldığı çalışmada, güneş hücrelerinin teknik özellikleri ile güneş ışınımı değerlerinden üretilen elektrik bilgisi sunulmuştur. Ayrıca çalışmada, FV sistem bileşenleri, özellikleri ve kullanımıyla ilgili detaylar açıklanmıştır. Matlab yazılım programı ile FV sistemin modellemeleri, tasarımları, proje teknik hesaplamaları ile mevzuata uygun bir proje çalışması yapılmıştır. Simülasyon ile tesisin kurulumundan elde edilen veriler karşılaştırılmış ve tesise monte edilen pironometreden elde edilen ışınım değerleri ile PVsyst raporundan elde edilen değerlerin aynı olmadığı görülmüştür. Fakat reel enerji üretim öngörüsü ile PVsyst raporunun sistem üretim öngörüsü ile örtüşmediği açıklanmıştır. Bu santralden 1608kWh/m<sup>2</sup> küresel ışınım değeri ile 25° panel açısında %14.8 artış görülmüştür. Simülasyon programına göre kurulan bu tesisin yıllık enerji üretimi 1752 MWh, sistem performansı %82,6, yıllık bazda 1523kWh/kWp spesifik üretim miktarı

belirtmiştir. Yapılan analizler sonucunda sistemin 7 yıldan daha kısa sürede kendini amorti edeceği ispat edilmiştir.

Ayran (2019) çalışmasında, Kütahya Belediyesi tarafından İnköy mahallesi, Suluöz mevkiinde Şehzade Park içerisinde bulunan şebekeye bağlı 336kWp gücünde mevzuata uygun güneş enerjisi santrali tasarımı ve projesi hazırlanmıştır. Sistem analizi PVsyst benzetim programıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 500kWe gücündeki Evliya Çelebi Ges için PVsyst yazılımı ile benzetimi yapılmış ve teknik-ekonomik analiz sonuçları elde edilmiştir. Programdan elde edilen sonuçlar ile kurulan santralden alınan gerçek veriler karşılaştırıldığında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Çalışmada, GES için kullanılan panelin ve eviricinin seçilmesi, en iyi eğim açısının belirlenmesi konularında değerlendirmeler sonunda, 120Wp CdTe panel ve 409kW gücündeki merkezi evirici ile santralin kurulduğu alanda yatay küresel ışırtım değeri 1594kWh/m<sup>2</sup> ile panelin 25° eğim açısında panelin yüzeyine gelen ışırtım değeri %12,3 bir artış olmuştur. Santralde kullanılan ince film teknolojisinin hava sıcaklığının düşük olduğu bölgelerde panelin veriminin artması ile dolayısıyla üreteceği enerjinin de aratacağını ispatlanmıştır. Evliye Çelebi GES projesi için hazırlanan fizibilite raporuna göre, 867,571 MWh enerji üretimi ile şebekeye verilen enerji miktarının 798,868 MWh olacağı sonuçlar ortaya konulmuştur.

Yiğit vd. (2019) çalışmalarında, bir güneş enerjisi santralının yatırım programına alınmasını karara bağlayan en önemli araç olan fizibilitenin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca, projelendirmede yer seçiminin, panel açısının, sıcaklığın, tozun, rüzgârın vb parametrelerin enerji üretimini etkileyen faktörler tartışılmıştır. GES projelendirilmesi, uygulanması ve işletme bakımı ile ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur. Çalışmada sıcaklığın ve rüzgâr etkilerinin işleme katıldığı panel verimi hesaplanmıştır. Sonuç olarak, ges santrallerinin kurulumunda olumsuz çevresel etkilerin enerji üretiminde ciddi kayıplara neden olacağı vurgulanmıştır.

Güner ve Muharremoğlu (2020) yaptıkları çalışmada, ülkemizdeki yüksek enerji fiyatlarına karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisinin önemine dikkat çekmişlerdir. Adnan Menderes Havalimanının otoparkına kurulacak otopark GES sistemi tasarımı ile üretilen enerji ve tesis için

gerekli olan enerji ihtiyaç analizi yapılmıştır. 2770m<sup>2</sup> alana kurulan santralde 1617 adet 330Wp panel gücü ile 534kWp DA güç elde edilmiş ve tesisin tüketim bilgisine karşılık kurulacak santral üretim bilgisinin karşılaştırması yapılmıştır. Projeleri hazırlanan ve teknik analizleri yapılan bu çalışmanın sonunda, günlük bazda 200kW'dan daha fazla güç üreterek enerji ihtiyacını karşılayacağı sonucuna varılmıştır. Güneş enerji santrali kurulumu ile yeşil kaynağın önemi şüphe götürmez bir gerçek olduğu vurgulanmıştır.

İnce (2021) yapmış olduğu çalışmada, güneş enerjisinin Türkiye ve Dünya açısından değerlendirilmesi yapılarak elektrik enerjisi üretimindeki yöntemler açıklanmıştır. İstanbul'da ve İzmir'de kurulan ve ihtiyacı kadar enerji üreten ve fazla üretilen enerjiyi şebekeye verilmesine ilişkin araştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçta, İzmir bölgesinde kurulan santralde 770.00 kW yıllık güç üretimi gerçekleşirken, İstanbul bölgesinde güç üretim miktarı 685.000 kW seviyesine düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, %12 yıllık enerji üretimindeki düşüşün gerekçesi ise bu iki bölgedeki farklı günlük güneşlenme sürelerinin olmasından dolayı olduğu belirtilmiştir.

Kocakuşak (2018) yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin, Türkiye'deki önemi ve ges kurulum araştırması başlıklı çalışmasında, dünyada ve ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarından ve bu alandaki gelişimlerden bahsedilmiştir. Çalışmada, ayrıca GES için bir fizibilite çalışmasının yanı sıra santralde kullanılan şalt malzemelerin detaylı bir şekilde incelenmesi ve enerji verimliliği konuları incelenmiştir. Mevzuta uygun örnek bir ges kurulum çalışması değerlendirmesinde, güneş enerjisi kurulumlarının üretilecek enerji miktarlarında değişkenlik göstereceğini savunmuştur. 2023 yılında enerji tüketiminin 450 milyar kWh olacağı tahminlenerek bu enerji gereksinimin doğal kaynaklardan sağlanması için sürdürülebilir enerji kaynakları arasında en başta yer alan güneş enerjisinin önemine dikkat çekilmiştir.

Kılıcı (2020) tez çalışmasında, Kayseri ilinde; sabit sistemli tek yüzeyli ve çift yüzeyli panel, açısı değişebilen sistem ile tek yüzeyli panel, tek eksenli güneş takip sistemi ile tek yüzeyli ve çift yüzeyli panel olan tasarımı ve üretim analizi yapılan 5 farklı güneş enerjisi sistemi incelenmiştir. Ayrıca, Kayseri ilinde AA kurulu gücü

500 kWe olan FV santralının 6 yıllık üretim değerleri incelenmiştir. PVsyst programında santralin üretim analizleri gerçekleştirilmiştir. Metenorm veri tabanından alanın meteorolojik verileri alınmış ve kurulumu tamamlanan santralin üretim değerleri ile PVsyst sonuçları karşılaştırılmıştır. PVsyst program ile öngörülen 942.034 MWh enerji üretimi değeri %2 oranında artış ile 919 MWh üretim gerçekleşmiştir. Çalışmada ayrıca, 5 farklı şekilde tasarlanan sistemde 440Wp gücünde 26 panel serilenerek, 104 adet dizi ile 2704 adet panel kullanılmış ve sistemlerin üretim analizleri PVsyst programı aracılığı ile yapılmıştır. Hareketli ve çift yüzeyli panel ile yapılan sistem 2391.6 MWh enerji üreterek en yüksek enerji üretimi gerçekleştirmiştir. Sabit sistemler kendi arasında incelendiğinde; sabit çift yüzeyli panelin olduğu sistem, tek yüzeyli sisteme oranla %6 daha fazla enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Hareketli sistemler incelendiğinde ise çift yüzeyli panel %4 oranında daha fazla enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Sabit sistem ile hareketli sistemler karşılaştırıldığında ortalama %13 ile %15 arasında hareketli sistemin daha fazla enerji ürettiği sonucuna varılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, bir fotovoltaik santralde üretim analizinin yapılması üretilecek enerjinin tahminlenmesi açısından fayda sağlayacağını altı çizilmiştir.

Kılıç (2015) araştırmasında; genel bir bakış açısı ile güneş enerjisi incelenmiş. güneş enerjisinin Türkiye'deki son durumu, güneş enerjisinin güçlü potansiyeli, artan üretimleri, devlet teşvikleri, sahalarda ki kullanımları ve gelişen güneş enerjisi teknolojileri incelenmiştir. Böylece, yenilenebilir enerjinin gelişmesine ortak olması ve bu konuda bilincin ve farkındalığın yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca, Türkiye'nin gerekli enerjiye kavuşması, enerji güvenliği ve çevreye etki eden olumsuz etkilerin azaltılmasında ve güç kapasitesinin artırılmasında güneş enerjisinin artan potansiyelinin aktif bir şekilde kullanımına yönelik planlanması ve böylelikle ülkemize katacağı değerler vurgulanmıştır.

Bu tez çalışmasında literatürden farklı olarak, sürdürülebilirlik ve yeşil kampüs hedefleri kapsamında Ege Üniversitesi elektrik ihtiyacının güneş enerjisinden sağlanması için otopark üzeri fotovoltaik güneş enerjisi santralının kurulumu için uygun yer belirlenmesi, boyutlandırma, üretimin simüle edilmesi ve fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

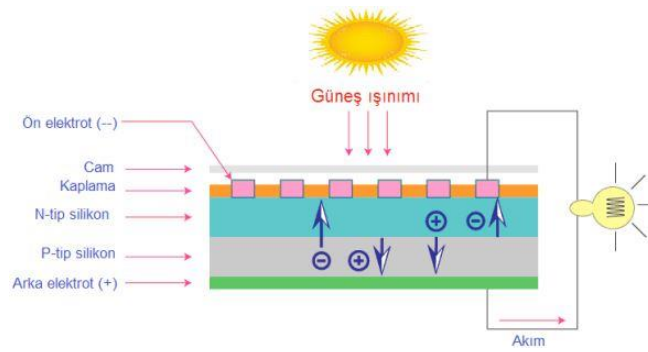
## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMASI

### 2.1 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Kılıç'a (2015) göre güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki füzyon reaksiyonları tarafından üretilen ışınım enerjisidir. Başka bir ifadeyle, güneşin çoğunu oluşturan hidrojen gazının çekirdekleri füzyon tepkimesiyle helyum çekirdeklerine dönüşür ve bir miktarı güneş enerji olarak fotonlar aracılığı dünyaya ulaşır. Güneş, sonsuz bir enerji kaynağı tanımını şu ifadeden almaktadır; hidrojenin helyuma dönüşmesi esnasında ise saniyede  $4 \times 10^6$  ton kütlenin enerjiye dönüşerek yaklaşık  $386 \times 10^6$  EJ (Eksa Joule) ( $1 \text{ EJ} = 22.7 \text{ MTEP}$ -Milyon ton eşdeğer petrol) değerindeki enerji ışınım şeklinde uzaya yayılmaktadır (Kılıç, 2015).

Güneş ışığını doğrudan elektrik akımına dönüştüren araçlar FV hücrelerdir. FV hücrelerin temel çalışma prensibi, yüzeyine gelen güneş ışınımı ile uçlarında gerilim üretmesidir. Güneş ışınımı ise enerji taşıyan fotonların birleşiminden oluşur. Foton, yeterince kısa dalga boyuna ve yeterince yüksek enerjiye sahiptir (El-Sayed et al., 2016). Bu bağlamda, güneşin enerji üretiminde katkısı çok değerlidir.

Bir güneş hücresi, birbiri ile uyumlu iki yarı iletkenin iki iletken tabaka arasına girmesi ile elektriksel alan oluşturur (Çelik ve Koç, 2020).



Şekil 2.1. Bir FV hücrenin basit yapısı (Öztürk, 2022).

Şekil 2.1'de güneşten dik gelen güneş ışınımının absorbe edilerek akım ve gerilim üretimini gösterir bir FV hücrenin yan kesiti gösterilmiştir. Enerji taşıyan fotonların bir kısmı hücreden soğurulur, bir kısmı yansıtılır ve bir kısmı da hücre

içinden geçer. İşte bu soğurulan kısım tarafından yani hücrelerin üzerine düşen foton enerjisinin elektron tarafından yutulmasıyla elektrik akımı üretilir. Fotonun enerjisi, yarı iletken malzemenin atomundaki elektrona geçer. Elektron kazanmış olduğu enerji ile akım oluşturur. Hücrede kullanılacak ışınımı soğuracak yarı iletken malzemenin özelliği yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile uyumlu ve elektrik yüklerinin birbirinden ayrılabilmesine izin verecek bir yapıda olmaktadır (Öztürk, 2022).

Hernández-Callejo et al. (2019), yarı iletken malzemeler olan güneş hücreleri üzerindeki fotoelektrik etkiye dayanmaktadır. Güneş ışınımının hücre tarafından emilmesi sonucu elektronun fotonla ilişkili kazandığı enerji aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

E: foton enerjisi

$\nu$ : frekans

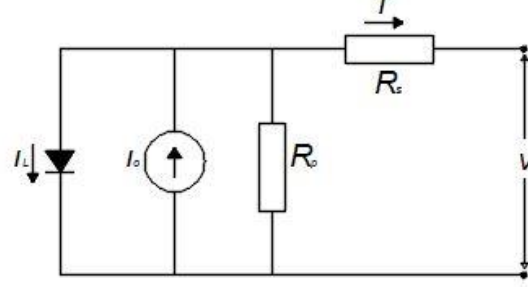
$\lambda$ : dalga boyu

$h$ : Planck's sabiti ( $6.626 \times 10^{-27} \text{ erg. s}$ ;  $6.626 \times 10^{-34} \text{ joule. s}$ )

$c$ : ışık hızı ( $2.998 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}$ )

Akova'a (2008) göre, FV hücreler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemeler olup ana malzemesi silisyumdur. Güneş hücresi teknolojisinde dikkat çekici gelişimi ile en yaygın kullanılan malzeme olan silisyum yeryüzünde oksijenden sonra en çok bulunan elementtir. Silisyum doğada bol bulunması ve kontrol edilebilir dar bant aralığı en yaygın özelliğidir. Silisyum sıcaklık aralığının geniş olması, yarıiletken özelliğinin bozulmaması, ekonomik ve çevreci olması sebebiyle FV teknolojisinde çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Atom numarası 14 olan saf silisyum kristali hem metallerle hem de yalıtkanla aynı kapasiteye sahip olduğu için ideal yarı iletkendir (Mohamed, 2021). İdeal bir kristal yarı iletken, mükemmel şekilde düzenlenmiş kendi ağının atomlarından oluşmasıdır. Yarı iletken malzemeler olarak Si (silisyum

-1.1eV), CdTe (kadmiyum tellür), GaAs (galyum arsenit-1.43eV), CIGS (bakır indiyum galyum diselenid) örnekler verilmektedir.



Şekil 2.2. Bir güneş hücresi için tek diyot modeli (Hernández et al., 2019).

$$I = I_L - I_0(T) \left( e^{\frac{q(V+R_s I)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (2)$$

$I$  : Hücresinin dışına akan gerçek akım

$I_L$  : Yük akımı

$I_0(T)$  : Diyot ters önyargı doyma akımı (sıcaklığa bağlı)

$q$  : Elektron yükü

$V$  : Hücresinin terminalleri arasındaki voltaj farkı

$R_s$  : Hücresinin seri direnci

$R_p$  : Hücresinin paralel direnci

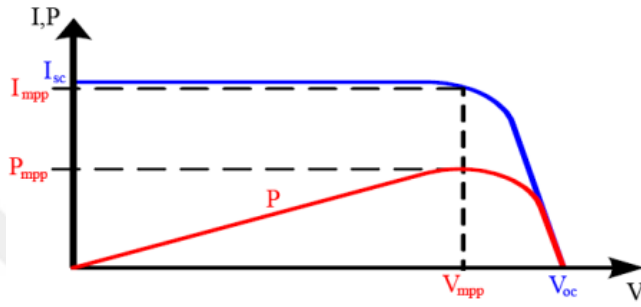
$m$  : Diyotun idealite faktörü

$k$  : Boltzmann sabiti

$T$  : Hücresinin çalışma sıcaklığı

Şekil 2.2’de, bir güneş hücresinin işleyişini yansıtan en basit modeli ifade eden bir akım kaynağı, bir diyot, onlarla seri ve paralel bağlı bir dirençler görülmektedir.  $R_s$  bağlantı noktalarındaki direnç olarak tanımlanan yarı iletken iç direnç ile  $R_p$  kaçak akımları işaret eden paralel dirençdir.  $R_p$ , yük taşıyıcıları yarı iletkenin elektrik kontaklarına doğru ilerlediğinde gerilim düşümünü ifade ederken  $R_s$  ise hücreler arasındaki omik kayıpları ifade eder. Fotovoltaik hücreler olarak adlandırılan özel diyotlar ideal bir akım kaynağı olarak kullanılmaktadır. Karmaşık tasarıma sahip olan hücreler, daha fazla katman ile fotonları yakalayarak,

ışığın yansımalarını önler ve hücreye iletir, seri direnci en aza indirerek, paralel direnci en üst düzeye çıkararak güneş ışınımına orantılı bir akım sağlar. Bu devre üzerinde kısa devre akımı  $I_{SC}$  ve açık devre gerilimi  $V_{OC}$  oluşur. Kısa devre akımı terminaller kısa devre edildiğinde, açık devre gerilimi ise açık devredeyken terminaller üzerinde oluşur. Devre kısa devre anında iken diyot üzerindeki gerilim sıfır olur. Böylelikle, ideal akım kaynağında olan tüm akımın kısa devre terminallerinden geçtiği ifade edilir (Özcan ve Ercan, 2020).



Şekil 2.3. Bir FV güneş hücresinin I-V ve P-V karakteristikleri (Tek ve Yıldırım, 2008).

Şekil 2.3’de bir fotovoltaik hücrenin IV karakteristiği eğrisi gösterilmektedir. FV sistemlerin kontrolleri maksimum çıkış gücünün izlenmesi metoduna göre yapılır. FV hücrelerin seri ve paralel bağlanması ile beklenen gerilim ve güç seviyesi elde edilir. Birden fazla panelin birbirine bağlanması durumunda  $V_{OC}$ ,  $V_{mpp}$  veya  $I_{SC}$ ,  $I_{MPP}$  değerleri artar. İdeal bir güneş hücresinin çıkış gerilimi, çıkış akımı belli bir değere kadar sabit iken değeri aştığında hızla azalma olacaktır. Gerçek bir güneş panelinde durum ise çıkış gerilimi modülden çekilen akım sıfırdan farklı olduğu anda düşmeye başlar (Tek ve Yıldırım, 2008).

Bir güneş hücresinin akım gerilim karakteristiği sıcaklık ve ışımaya göre değişir. Hücrede sıcaklık etkisi çok önemlidir. Sıcaklık ile güç ters orantılıdır. Diğer bir deyişle, sıcaklık arttıkça  $V_{OC}$  azalır ve  $I_{SC}$  artar. Bu durumda panelden elde edilecek güç değeri azalır. Literatürde  $T= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık katsayı referans değeri olarak kabul edilmektedir. FV hücrenin verimi ışınım şiddeti, hücre sıcaklığı ve izleme açısı gibi çevresel faktörlere bağlıdır. Hücre sıcaklığından en fazla açık devre gerilimi etkilenir iken yüksek çıkış gücü, kısa devre akımı, dolum faktörü ve verimlilik de etkilenmektedir. Işıma etkisi kısa devre akımı ile doğrudan orantılı

olması panelin çıkış güç etkisi ile de doğrudan orantılıdır. Ayrıca, ışınımdaki metrekarede 1W değişim ile  $I_{SC}$  etkisi hesaplanmaktadır. Fakat, ışınının  $V_{OC}$  ile orantılı olmadığından bu veriyi ancak panel kataloglarından temin edebiliriz.

Şekildeki çıkış gücü ile ilgili olarak, maksimum güç noktasında (MPP), hücre akımı ( $I_{mpp}$ ), hücre gerilimi ( $V_{mpp}$ ) maksimumda olur ve bir FV hücrenin maksimum çıkış gücü hücre akımı ve hücre gerilimin çarpımı şeklindedir. Bu çalışma prensibine göre FV hücre maksimum güç oluşturmaya çalışır. Bir hücrenin performansını ifade eden doldurma faktörüdür (FF).

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{SC} \times V_{OC}} = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I_{SC} \times V_{OC}} \quad (3)$$

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \times \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (4)$$

## 2.2 FV Panel Teknolojileri

Fotovoltaik, Yunancada ışık anlamına gelen photo ve elektriğin öncüsü Alessandra Volt' dan gelen gerilim kelimesine karşılık gelen voltaic kelimelerinin birleşmesinden türemiştir (Öztürk, 2022). Dünyaya ulaşan ışığı absorbe ederek doğrudan elektrik enerjisine çeviren FV teknolojisi, ilk olarak 1839' da Edmond Becquerel bazı malzemelerin ışığa maruz kaldığında az miktarda elektrik akımı üreteceğini buldu (Salkalachen, 2014). 1873 yılında Willough Smith selenyum içerisindeki fotoiletkenliği keşfederek ilk düzeneği oluşturdu (Çelik ve Koç, 2020). Salkalachen (2014), ilk fotovoltaik modül 1954 yılında Bell Laboratuvarları tarafından yapılmıştır. 1970 yıllarından sonra güneş enerjisinden yarar sağlamaya yönelik çalışmalar ve araştırmalar artmıştır. Günümüze kadar güneş enerjisi teknolojisinde önemli aşamalar kaydedilmiştir.

Bir FV hücrenin enerji üretimindeki teknik kriterler önemlidir. Bunlar;

- Açık Devre Gerilimi:  $V_{oc}$  ile ifade ettiğimiz açık devre gerilimi, akımın FV üretici tarafından aktığı sıfır olan gerilimdir. Diğer bir deyişle, iki pozitif ve negatif kutbun elektriksel olarak izole edilmiş olmasıdır. Aynı zamanda, akım sıfır olduğunda bir FV devresinin maksimum voltajıdır (Mohamed, 2021).

- **Kısa Devre Akımı:** Hücrenin terminalindeki gerilim sıfır olduğunda, içinden geçen akıma kısa devre akımı denir ve bunu  $I_{sc}$  ile ifade edilir. Bu durumda diyot bir elektrik kablosuna eşdeğerdir. Bu akım genellikle artan ışık yoğunluğu, sıcaklık ile artar, ancak aydınlatılan yüzeye de bağlıdır (Mohamed, 2021).
- **Maksimum Güç:** Bir FV modülünün maksimum gücü, maksimum akımın ürettiği maksimum gerilimdir ve birimi watttır. Bir FV modülünün elektrik gücü, bir güneş hücresi tasarımında önemli bir unsurdur. Bir modülün performansı genellikle önce verimlilikle ölçülür, ancak aynı zamanda kapasitesi çok fazla enerji gücü üretmiştir (Mohamed, 2021). FV modülün güç çıkış değerini hücre verimliliği etkilemektedir. Bir fotovoltaik hücre, standart test koşullarında (sıcaklık 25 °C, ışınım gücü 1000W/m<sup>2</sup>) 1.5 Watt güç üretmektedir. Standart test koşullarında çalışan bir fotovoltaik hücrenin çıkışı pik güçtür ( $W_p$ ). Ayrıca, güneşli günlerde ışınımın fazla olduğu zamanlarda panel daha fazla güç üretecektir.
- **Dolum Faktörü:** Fotovoltaik üreticinin kalitesini hesaplamada kullanılan bir terimdir. Bir FV modülünün maksimum gücü ile kısa devre akımının açık devre voltajının çarpımı arasındaki oran olarak temsil edilir ve değeri ne kadar büyükse kullanılabilecek güç de o kadar büyük olacaktır (Mohamed, 2021).
- **Verimlilik:** Bir FV hücresinin verimliliği, doldurma faktörüne ve kısa devreye bağlı olarak, hücrelerin elektrik gücündeki enerji dönüşümünü belirtir. FV hücrelerde bir hücrenin verimliliği önemlidir. Bu parametrelerin artması, açık devrenin gerilimini optimize edebilir ve FV modülünün performansını değerlendirmeye olanak sağladığı için önemlidir (Mohamed, 2021). Bir FV hücrenin verimini etkileyen parametreler; ortam sıcaklığı, hücre sıcaklığı, hücreyi oluşturan tüm bileşenlerin özellikleri, gölgeleme, kir-toz, tesisatta kullanılan AA\_DA kablolama, modüllerin konulduğu alanın eğimi, yönü vb.'dir. Güneş enerjisi, FV hücrenin yapısına bağlı olarak uygulamada %5-20, laboratuvar koşullarında %10-30 verimlilik elde edilebilir (Öztürk, 2022).  
Bu bağlantı değerini aşağıdaki eşitlikten hesaplar:

$$\eta_s = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \times I_{SC} \times V_{OC}}{P_{in}} \quad (5)$$

FV hücrelerde silisyum tabanlı güneş hücresinin verimliliği, yüksek dayanıklı olması ve güvenilirliği ile tercih edilmektedir.

Birinci nesil güneş hücreleri yüksek saflıkta tek kristalli ve çok kristalli silisyum teknolojileridir. Tek kristal silisyum hücrelerin kristal yapıları düzenlidir ve verimleri daha yüksektir. Maliyetli ve zor üretilmektedir. Çok kristalli hücrelerin yapıları daha düzensiz olması nedeniyle daha düşük verime ve üretimi daha kolay olması ile de daha düşük maliyete sahiptir.

İkinci nesil güneş hücreleri olarak ince film teknolojileri karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak bir altlık üzerine nanoteknolojik kaplama yöntemleri ile üretilirler. İnce olması sebebiyle bükülgen, kolay taşınır ve kurulumu kolaydır. İnce film güneş hücrelerinde güneş ışınlarını geçirme oranları güçlü olmasına rağmen çıkış akımları çok düşük ve çıkış gerilimleri kristal silisyumlu hücrelere göre yaklaşık 2-3 kat daha fazla iken verimleri düşüktür. Bu teknoloji 4 çeşit olup, amorf silisyum (aSi), Kadmiyum Sülfür (CdS) ve Kadmiyum Tellür (CdTe) ve bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) olarak sıralanır. Bu tip hücreler nanometrik kalınlıklarda olup daha fazla malzeme kullanılır.

- Amorf silisyum kristal yapıda olmadığından küçük elektronik cihazlarda kullanıma göre verimliliği %10, modüllerde %5-7 aralığında olup soğurma katsayısı büyük olduğundan 250 °C sıcaklığında geniş yüzeylere kaplanabilmektedir (Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2022). Aynı zamanda daha fazla ışığı soğurması nedeniyle kristal silisyuma göre daha avantajlıdır. Fakat kristal silisyum hücrelere göre daha ucuz iken verimleri daha düşüktür.
- Kadmiyum sülfür- kadmiyum tellür güneş hücresi üretiminde, kadmiyum tellür (CdTe), kadmiyum sülfür ile birleştirilerek heteroeklem yapı oluşur. Bu eklem akım oluşumunda elektrik potansiyeli görevi görür. Bu hücreler yüksek soğurma katsayısına sahip ve maliyeti düşük bir teknolojidir.

- Bakır indiyum galyum diselenid hücresi oldukça yüksek soğurma katsayısı ve yasak enerji bant aralığına sahip olması ile güneş enerjisi uygulamaları için idealdir. İnce film teknolojileri arasında en yüksek verime sahiptir.

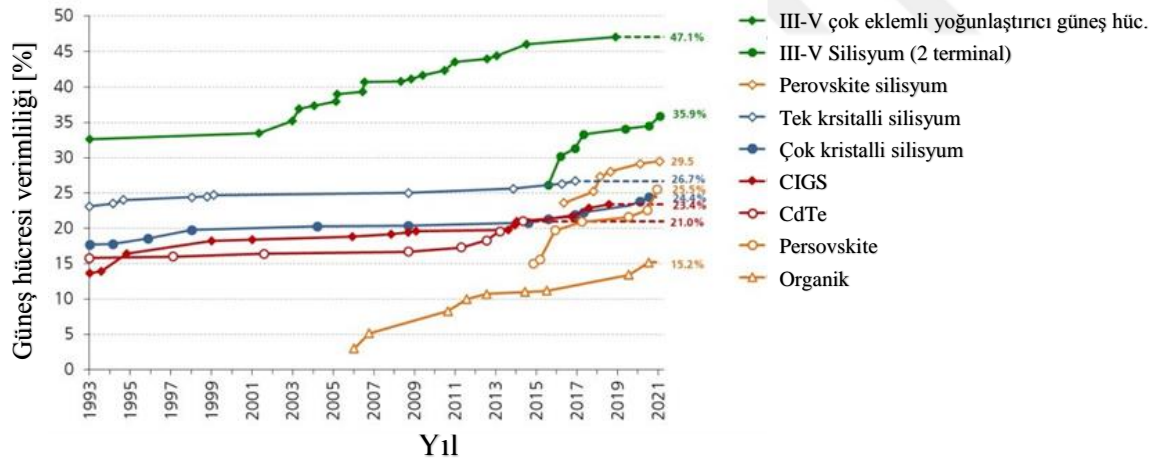
Üçüncü nesil güneş hücreleri, organik boya duyarlı güneş hücreleri ve yarıiletken polimer yapılı veya perovskit güneş hücreleridir. Esnek yapıya, düşük maliyete sahip olması ve toksik olmaması gibi avantajları vardır. Bunun yanı sıra, bu malzemelerin kimyasal yapılarının değişmesiyle güneş ışığının absorbe aralığının değişmesi daha fazla foton enerjisinin absorbe edilmesidir. Böylelikle hücrenin üst yüzeyini aktif polimer tabaka ile kaplayarak, güneşten gelen ışığın hücredeki katmanda daha fazla soğurulması amaçlanır (Waldauf et al., 2004). Bu sınıfta yer alan, Grätzel hücreleri son zamanlarda üçüncü nesil hücrelerin bir parçasıdır ve esasen şeffaf iletken camlar, yarı iletken olan bir titanyum oksit (TiO<sub>2</sub>) filmi oluşturur. Bu neslin diğer hücre çeşidi, geleneksel hücrelere göre %40'a varan verimlilikte elektriğe dönüştürebilen düşük çok eklemli hücrelerle yapılan modüllerdir (Mohammed, 2021). Sadece imalatta kullanılan malzemelerin optik ve elektronik yapısal özelliklerine bağlıdır. Bu hücreler zamanla artması ve daha fazla enerji eldesi için büyük umutlar taşırlar.

Son yıllarda FV alanında Ar-Ge çalışmaları ile dikkat çekici bir ivme kazanmaktadır. Birçok bilim adamı tarafından tek kristalli silisyum (Si) üzerine amorf silisyum (a-Si) tabakalardan oluşarak yeni geliştirilen c-silisyum heteroeklem güneş hücresi teknolojisi ile yüksek enerji dönüşümü üzerine çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. c-Si HIT güneş hücreleri, c-Si tabanlı güneş hücreleri ile ince film güneş hücre teknolojilerinin birleşmesinden oluşmakta ve 6 inç n-tipi bir hücre %19.7 verimlidir (Seyhan, 2019).

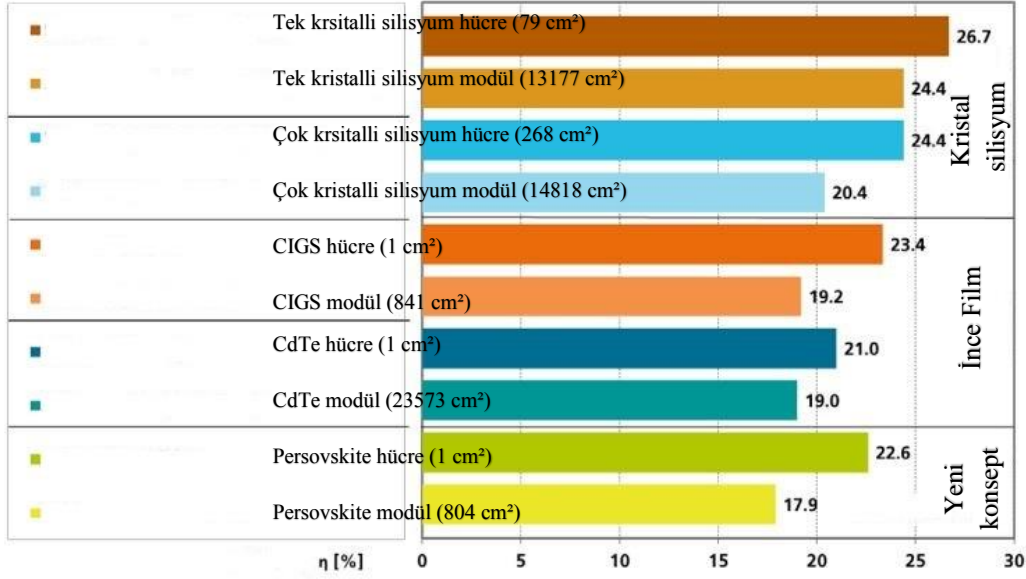
Günümüzde yüksek verimli kristal silisyum hücre üretimine yönelik çalışmalar devam etmektedir. FV güç santrallerinde Perc, Multi Busbar (MBB), Half-Cut Cell ve Bifacial gibi yüksek verimli paneller kullanılmaktadır. Bu ürünlerin avantajı daha düşük ışınım değerlerinde daha üstün performans sağlamaktır. MBB ve Half-Cut hücre ile modülün yüzey alanına oranla daha çok üretim, daha düşük çalışma sıcaklığı ve kısmi gölgelenmede iyileştirme gibi

özellikleri ile birçok tasarımda kullanılmaktadır. Perc hücrenin arka katmandaki pasivasyon katmanı ile daha fazla ışık yakalamasıyla hücre verimini arttırmaktadır. Bifacial Perc hücreleri albedo etkisi ile arka yüzeyden güneş ışığını almasıyla daha özel tesislerde kullanılmaktadır. Aynı zamanda, FV hücrenin yapısına bağlı olarak teknolojiye yüksek verimli modül serisini entegre ederek yeniden tanımlanan çok baralı ve yarı kesilmiş hücre teknolojilerine sahip 182 mm silisyum levhalı panel özelliği ile yaratıcı teknolojiyi etkin bir şekilde birleştirerek %20'yi aşan modül verimliliği ve artan güç çıkışı ile sağlanmaktadır. Özellikle Si teknolojisinin yerine alacak foto-elektrokimyasal çok kristalli titanyum dioksit hücreler, polimer yapılı plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilebilen enerji bant aralığına sahip ucuz ve kolay bulunabilen kuantum fotovoltaiik hücreler üzerine çalışmalar devam etmektedir (Kılıç, 2015).

Son zamanlarda hızla gelişen fotovoltaiik teknolojinin laboratuvar ortamında artan güneş hücresi verimliliklerin yıllara göre değişimi Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Laboratuvar ortamında geliştirilen güneş hücrelerin verimlilikleri (Fraunhofer, 2022).



Şekil 2.5. Laboratuvar ortamında geliştirilen hücrelerin ve modüllerin teknolojilerinin verimlilik karşılaştırması (Fraunhofer, 2022).

Fotovoltaik sektörünün değer zincir analizinde birbirinden farklı en iyi laboratuvar hücrelerinin ve en iyi laboratuvar modüllerinin teknolojilerinin verimlilik karşılaştırması Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, uygulama aşamasında modül halinde verimler bir miktar daha düşük olmaktadır.

FV panel teknolojisi elektrik üretim teknolojisinin en basit halidir. Yenilenebilir bir teknolojidir ve tasarımı ile kurulumu kolaydır. Çeşitli yüzeysel şekillerde olan FV hücrelerin alanları ortalama 100 cm<sup>2</sup> ve kalınlıkları ise 0.1mm-0.4 mm arasında değerlere sahip olup güneş enerjisinden elektrik üretmek amaçlı kullanılmaktadır (Kılıç, 2015). Herbir hücre seri bir şekilde birbirine bağlanarak modülleri oluşturur. FV dizisi birbirine bağlı panelleri ifade eder. Sistem gücünü birbirine bağlı panel sayısı belirler. Modüllerin seri bağlantılarının avantajları ve dezavantajları vardır. Uzun mesafeler boyunca aktarmanın kolay olması avantajı özelliğine örnek olarak, seri bağlı 6 adet güneş paneli ve her birinin 40 voltluk bir gerilim değeri ile toplamda 240V gerilim üretmektedir. 10 A akım değeri ile 2400 Watt’lık bir güç elde edilecektir. Santrallerde güneş panellerinin sayısını artması ile bir gerilim oluşacak ve bu da aşırı gerilim yaratacaktır. Bu durumda olası bir devre arızasına neden olabilir. Ayrıca modüllerin seri bağlanmasının diğer bir dezavantajı ise sistemde bazı kayıplara sebep olmasıdır. Bu durumda bir panel gölgedeyse bu

tüm zinciri etkileyecek ve sistemde de güç düşümüne neden olacaktır. Modüllerin paralel bağlanmasında, tek bir modüldeki gerilim değerinin her yerde aynı olması nedeniyle aşırı gerilim oluşması meydana gelmemektedir. Ancak, bu bağlantıda tüm modüllerin akımlarının toplamı ile oluşan akım değeri çok yüksektir. Bu kurulum sabit gerilim değerinde olması sebebiyle güvenlidir.

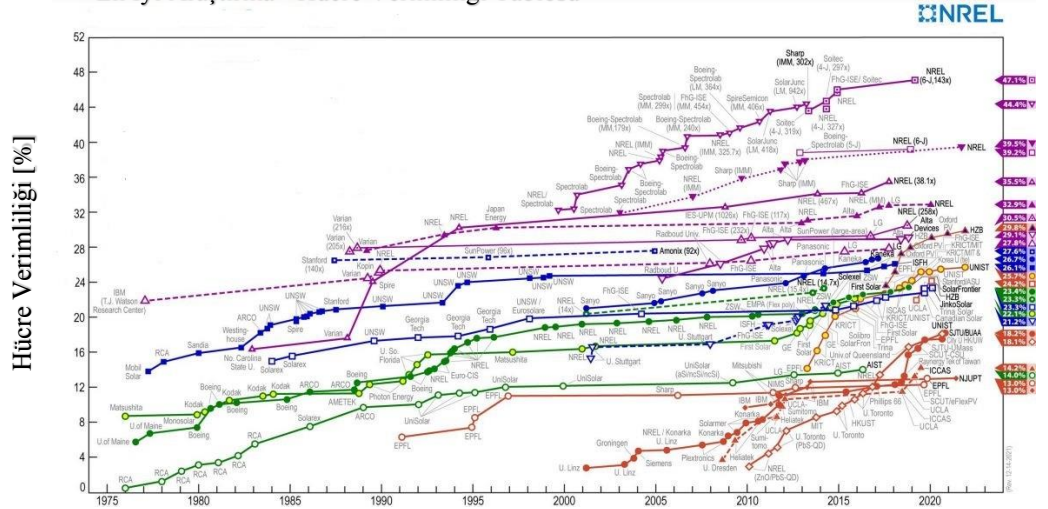
## 2.3 FV Sistem Bileşenleri

Bir güneş enerjisi santralini oluşturan sistemin bileşenleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- FV Modül
- Evirici
- Konstrüksiyon
- AA-DA kablolar
- Trafo ve dağıtım merkezi
- Sistemi oluşturan diğer bileşenler

Fotovoltaik modül, bağımsız elektrik kaynağı yaratması özelliği ile elektrik üretim sisteminin en temel bileşenidir. FV tesislerde modül seçimi teknik ve ticari kriterlere dayanmaktadır. Fotovoltaik modülün teknik parametreleri açık devre gerilimi, kısa devre akımı, maksimum güç noktası, dolum faktörü ve verimliliğidir.

En İyi Araştırma - Hücre Verimliliği Tablosu



Şekil 2.6. FV hücrelerin yıllara göre verimliliği (NREL, 2022).

Şekil 2.4'de (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, 2022), güneş hücre üretim laboratuvarlarında veya araştırma laboratuvarlarında zaman içinde elde edilen farklı verimleri bize gösteren bir grafik bulunmaktadır. Bu grafik, güneş hücrelerinin verimlilik açısından büyümeyi vurgulamaktadır (Mohamed, 2021).

FV modül seçiminde dış parametrelerin de etkisi bulunmaktadır. Bunlar, modülün parlaklık ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak dönüşüm verimliliği, sıcaklık katsayısı ve zaman içinde beklenen bozulmalarıdır. FV güneş hücresinde sıcaklık arttıkça gerilim düşer fakat akım üzerinde etkisi yoktur. Elde edilen güç gerilim ile akımın çarpımına eşit olduğundan, gerilimin düşmesi ile güç değeri düşer. Bunun yanı sıra, güneş ışınımının hücrede olumlu etkisi ile elde edilecek gerilim ve güç değeri de güneş ışınımına orantılı olarak artacaktır.

Bir FV modül seçiminde ticari kriter güvenilirlikleridir. Güvenilirlik, marka ve modül teknolojisi ile uzun vadeli saha deneyimine, üretim sürecinin bağımsız değerlendiriciler tarafından değerlendirilmesine, numunelerin laboratuvar testlerine ve üreticinin ekonomik gücü ve itibarına dayanır ve bu da ürüne olan güveni belirler (Hernández-Callejo et al., 2019). Bir FV modül genel bir ekonomik bakış açısından da değerlendirilmektedir. Kısaca açıklamak gerekirse; bir FV enerji santrali için arazi, destek yapıları ve bakım maliyetleri yüzeye bağlıdır. Dolayısıyla, daha düşük verimli modüllerle inşa edilen FV santralleri, sistem ve arazi dengesi için nispeten daha yüksek maliyetlere sahip olma eğiliminde olması ekonomik açıdan olumsuz etkiye neden olacaktır.

Son dönemde, FV modüllerin kurulumu bina, tarımsal alanlar, park alanları, ulaşım yolları gibi vb. bir çok yere entegre edilmektedir. Bu uygulamalar, sinerjik fırsatlar yaratan ve yaygın kabulü teşvik eden bir ürün tasarımına sahip yüksek verimli modülleri talep etmektedir.

Evirici, üretilen DA elektrik enerjisini AA elektrik enerjisine dönüştürme işlemini yapan sistemin ikinci önemli bileşendir. Güç dönüştürme işlemi yalıtımlı kapı iki kutuplu transistör ile yapılmaktadır. Ayrıca, birçok elektronik parçadan oluşan yarı iletken veya anahtarlama cihazı olarak da ifade edilmektedir. En önemli seçim kriteri güç dönüştürme verimliliğidir.

Evirici seçimleri modül sayısına ve dizi sayısına göre yapılmaktadır. Eviricilerde kritik konu elektriksel özelliklerine göre modül ile uyumlu olmasıdır. Aynı zamanda, evirici gücü seçilirken FV panellerin üretebileceği maksimum güç hesaplanmalıdır. Ayrıca, evirici bu güce eşit veya daha büyük olacak şekilde seçilmelidir. (Boztepe, 2017) Genel bir kural olarak, eviricinin nominal DA güç girişi, FV modülün tepe gücünün% 80 ila% 120'si arasında değişen oran için, FV modül toleransı ve stabilize olmayan davranış (bazı ince film modülleri için) dikkate alınmalıdır (Hernández-Callejo et al., 2019).

Dağıtım şebekesinde FV modüllerin yüksek penetrasyon seviyelerinin potansiyel olarak düğüm gerilimleri veya havai hat şebekeleri için sorunlara neden olabileceği düşünülmektedir. Literatürde, akıllı eviriciler kullanılarak FV kaynağının uygun şekilde kontrol edilerek bu sorunların çoğunu hafifletebileceği ve dolayısıyla da şebekede daha yüksek FV penetrasyon seviyelerinin önünü açabileceği beklenmektedir (Alboaouh and Mohagheghi, 2020).

Evirici seçiminde temel esas 2 ana başlıkta değerlendirilmektedir.

- Merkezi evirici
- Dizi tipi evirici

MPPT sayısının fazla olduğu noktada dizi tipi eviriciler kullanılmaktadır. Boyutları küçük olup, küçük tesisler için kullanışlıdır. Dizi eviricilerinde MPPT (Maksimum Power Point Tracker) teknolojisi, gün içerisinde değişen ışınım değerlerine göre FV modüllerin üreteceği değişken güç değerlerinin en yüksek olduğu anı tespit ederek, eviricilerin DA giriş gücünün ayarlanmasını sağlamaktadır. MPP gerilim aralığı 10 °C ile +70 °C ve 1000 W / m<sup>2</sup> (arasındaki modül sıcaklığı için her dizinin MPP gerilim değeri, sürücünün MPPT izleme aralığı içinde olması önemli bir noktadır (Hernández-Callejo et al., 2019).

Dizi bazında MPPT teknolojisi genelde küçük uygulamalarda kullanılmaktadır. Aynı eviriciye bağlanacak olan diziler; farklı yönlerde bakması, farklı tipte FV modül kullanılması, farklı sayıda FV modülün seri bağlanması ve kısmi gölgelemelere maruz kalması sonucunda tesiste MPPT sayısının birden

fazla olması gerekmektedir. Böylece sistemden maksimum verim alınmış olacaktır. Bir dizi oluştururken belli bir sayıda modüller birbirine seri bağlanmaktadır. Bilindiği üzere, bir seri devrede, akım her yerde aynı kalırken gerilimler toplanır, bu nedenle seri bağlantıda, serinin akımı en az verimli modülün yoğunluğu olmaktadır. Her bir modülün fabrika üretim çıkış değeri uygulama sonrasında farklılık gösterebilmektedir. Birbirine seri olarak bağlanan modüller farklı güç değerine sahip (Pmpp) olabilmektedir. Ayrıca, maksimum FV dizi voltajı  $10^{\circ}\text{C}$  ile  $+70^{\circ}\text{C}$  ve  $1000\text{ W / m}^2$  açık devre gerilimi sürücünün daynadığı maksimum gerilim değerini aşmaması önemlidir (Hernández-Callejo et al., 2019).

Diğer bir evirici seçimindeki parametre ise modül bazında MPPT olan MLPE (Modül Seviyesi Güç Elektroniği)'dir. Burada optimizeler karşımıza çıkmaktadır. Optimizer teknolojisi, fotovoltaik sistemden elde edilen enerjiyi maksimize etmek için geliştirilmiş doğru akımdan doğru akıma dönüştüren güç optimize eden cihazlardır. DA gücünü bir güneş panelinden MPPT ile uygun gerilim ve akım değerlerinde alarak eviriciye uygun gerilim ve akım değerine dönüştürür. Her bir FV modülün kendi maksimum güç değerinde çalışmasını sağlamaktadır. Böylelikle, FV modüllerin birbiri arasındaki uyumsuzlıklardan kaynaklı kayıplar giderilmektedir. Diğer bir önemli avantajı ise, kısmi gölgelenme durumunda, sadece üzerine gölge düşen FV modülün enerji üretiminde kaybı olurken tüm dizi bu durumdan etkilenmez. Ayrıca, FV sistemin %1-%5 oranında daha fazla enerji üretmesini sağlamaktadır. Her bir panel için ayrı veya iki paneli birbirine seri bağlayacak şekilde sistemde yer alırlar. Bu durumun avantajı ise sistem kayıplarını azaltmasıdır.

Bir FV sistemin şebekeye bağlantısında evirici kullanılır. Evirici, FV sistemlerde gerilim ve frekans kontrolü ile koruma ve ada konumuna geçme kontrolleri de yapmaktadır (Akdeniz, 2006). Ada mod çalışması, şebekeye paralel bağlı bir FV sisteminin şebekeden enerjisi kesildiğinde, GES enerji ihtiyacını karşılamaya devam etmesidir. Ayrıca, eviricilerin korozyon, kaçak akımlar ve potansiyel kaynaklı bozulmalara karşı koruma ve topraklamanın yapılması zorunludur.

Konstrüksiyon sistemi güneş enerjisi santrallerinde panel ve eviriciden sonraki en önemli üçüncü bileşendir. Panellerin montajı bu metal taşıyıcı sistem üzerine yapılmaktadır. Bu nedenle tesisin sürekliliği ve sağlamlığı açısından önemlidir. Konstrüksiyon tesisin projelendirilmesi ve hesaplamaları inşaat mühendisi tarafından yapılmaktadır. Destek yapısında modül ağırlığı, rüzgâr yükü ve yerel toprak koşullarına bağlı olarak boyutlandırılır. Ulusal inşaat standartlarına göre çatı veya toprak koşulları, sabitleme sistemi, yerel rüzgâr ve kar rejimi arasındaki yapısal uyumluluğun doğrulanmasına hizmet eder (Hernández-Callejo et al., 2019).

Kablolar elektriğin güvenli bir şekilde iletilmesi özelliği ile güneş enerjisi santrallerinde d.a., a.a. ve OG kablo çeşitleri olarak kullanılmaktadır. Kabloda en önemli parametre akım taşıma kapasitesine ve gerilim düşümüne göre belirlenen kesit seçimi, kısa devre akım değeri ve kalitedir. Genellikle tesislerde FV kablo seçiminde 4 mm veya 6mm kesitlerinde olacak şekilde değişkenlik göstermektedir. Tesiste da kabloları evirici ile panel arasındaki bağlantıyı sağlar. Fakat bu kabloların metrajları çoğunlukla uzun olabilmektedir. Fakat ilgili standartta kablolama ile ilgili olarak, yıldırım kaynaklı aşırı gerilimlerin büyüklüğünü azaltmak için (+) ve (-) iletkenler arasındaki alan mümkün olduğu kadar kısa tutulması belirtilmektedir. Modüller arası geçişi sağlayan da kabloların bağlantısında MC4 konnektörler kullanılmaktadır. DA kabloların korunması AG parafudr ile yapılmaktadır.

AG kablo, sistemdeki alçak gerilim seviyesi değerleri olan 1 ile 1000V arasındaki enerji taşımada kullanılmaktadır. Eviricinin AG panosuna bağlantısında alçak gerilim kabloları kullanılmaktadır. Kablo kesiti gerilim düşümü ve evirici anma gücüne göre yapılan hesaplama ile belirlenmektedir. Genellikle kısa mesafede tasarlanır ve 5x25, 5x35, 5x50 vb. gibi kesitler seçilmektedir.

OG kablo, yüksek gerilim tesislerinde kullanılmaktadır. Örneğin, dağıtım merkezleri, trafo merkezleri, enerji nakil hatlarından branşman alınan noktalarda iletimi sağlamaktadır. XLPE olarak adlandırılan kablolar 10,5, 15,8, 34,5kV seviyelerindeki gerilim değerlerinde kullanılan kabloların kesitleri 3x50/16,

3x95/16 vb. şeklindedir. Bu kablolarda da kesitler gerilim düşümü hesabı, akım taşıma kapasitesi ve kısa devre akım değerine göre belirlenmektedir.

Transformatör ve dağıtım merkezi, güneş enerjisi santrallerinin şebekeye bağlantısında yer almaktadır. Enerji iletimi ve üretiminde kullanılan yüksek gerilim seviyesini alçak gerilim seviyesine dönüştüren ekipmanlardır. Trafo gücü, tesisin kurulu gücüne göre ve şebeke gerilimine göre hesaplanmaktadır. Sandartlarda "Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'ne" göre kurulumu yapılmaktadır. Dağıtım merkezleri TEDAŞ'ın yayımladığı "Proje Hazırlama Usul ve Esasları"na göre projelendirilir. OG hücre bölümünde genellikle, giriş çıkış otoprodüktör hücresi, akım gerilim ölçü hücresi ve trafo koruma hücresi bulunmaktadır. Ayrıca gerilim seviyesini düşüren trafo ve dağıtımı yapan trafo AG panosu bulunmaktadır.

Güneş enerjisi santralinde dengeli bir sistemi oluşturan diğer bileşenler bulunmaktadır. Bunlar, sistemin ana bileşenlerinden olan eviricilerin toplandığı GES panosudur. AG seviyesindeki bu panonun gücü tesisin kurulu gücüne göre belirlenmektedir. Pano içerisinde her evirici için sistemi koruyan koruma röleleri, güneş enerjisi üretimini gösterir tek yönlü sayaç, pano koruma sigortaları, kesiciler, GES için AG koruma rölesi, parafudr gibi elektriksel cihazları içermektedir. GES panosunun bağlantısı trafonun AG panosundan yapılmaktadır. Pano içerisindeki tüm malzemeler için standartlara ve şartnamelere uygun hesaplamalar yapılarak seçilmektedir. Ayrıca, santralin güvenliğini sağlayan topraklama ve yıldırımdan koruma sistemi ile yangın söndürücü ekipmanların tesiste mutlaka bulunması gerekmektedir. Topraklama standartına göre tesisteki tüm metal iletkenler en az 6 mm<sup>2</sup> bakır iletken veya eşdeğerinde iletken kullanılarak yapılmaktadır.

Birçok ekipmanın birleşmesi sonucu oluşan FV güç santralinden işletme bakım işlemleri ve evirici değişimleri ile birlikte 25-30 yıllık hizmet ömrü beklenmektedir. Bu ömür için, kablolar, konnektörler veya plastik destek yapıları gibi plastikten yapılan dış mekân denge sistemi malzemeleri UV ışınlarına dayanıklı ve ozon korumalı olmalıdır. Metal destek yapıları ve diğer metal parçalar galvaniz veya alüminyum ya da paslanmaz çelikten yapılmış olmalıdır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Fizibilite yatırım kararların alınmasına yön gösteren ve teknik etüdüleri kapsayan önemli bir rapordur. Ekonomik ve mali bilgileri içermesi ile de yatırımcıya ciddi faydalar sağlamaktadır. Kurulacak sistemden ne kadar enerji üretileceği ve yapılan yatırımın geri dönüşü gibi mali konuların önceden tahmin edilmesini sağlamaktadır.

Bir GES için yapılan ilk çalışma fizibilitedir. Bu aşamada proje için gerekli teknik analizler ve gerekli araştırmalar yapılmaktadır. Çalışmanın sonunda teknik açıdan değerlendirme sonuçları alınmaktadır. Kamu kurumları için bir yol gösterici niteliğini oluşturan fizibilite çalışması yatırım kararlarının alınmasını sağlayan çok önemli ve değerli bir çalışmadır.

Bu çalışma kapsamında, İzmir’ de bulunan Ege Üniversitesi’nin enerji gereksiniminin otopark çatı üzeri fotovoltaik santrali ile kısmi olarak sağlanması amacıyla üretecek tahmini enerji miktarını, sistem performansını ve sistem bileşenlerinin birbiri ile uyumu üzerine değerlendirme yapan tasarıma ait simülasyona gerek duyulmuştur. Bu nedenle, her bir alana ait santral tasarımının simülasyonunda PVsyst yazılım programı kullanılmıştır. Her alanın coğrafi konumuna ait bölgenin meteoroloji verileri Solargis yazılım programındaki veri tabanından sentetik olarak üretilmiştir. PVsyst hesaplamalarında farklı değişkenler kullanılmaktadır. Bu değişkenler, meteorolojik veriler, ayrıntılı güneş ışınım değerleri, bölge kirlilik oranları, gölgelenme analizleri, güneş panelinin yönü ve açısı, yer yansıma oranları (Albedo), güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları, yerleşim planları, güneş panelinin ve eviricinin teknik değerleridir. PVsyst simülasyonunda alanların konumlarına göre FV etki alanları ve çalışma alanlarının uygunluğu belirlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında tasarım çalışmaları ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. İlk olarak Sketchup programında otopark konstrüksiyonun birebir ölçüleri kullanılarak üç boyutlu katı modeli tasarlanmıştır. Solargis’den santralin kurulacağı alana ait ışınım verileri meteorolojik veri tabanından alınarak PVsyst yazılım programına aktarılmıştır. Analizi yapılacak santrallerin koordinat bilgisi programa

girilmiştir. Sketchupta oluşturulan katı model tasarımı PVsyst programına aktarılarak, program içerisinde oluşturulan 3D sahnede konstrüksiyon üzerine yerleştirilen modüller gerçeğe yakın üç boyutlu olacak şekilde düzenlenmiştir. PVsyst programının veri tabanından seçilen panel, evirici ile sistemin tasarım sonuçları elde edilir. Sistem tasarımı için gerekli tüm bilgiler doğru bir şekilde programa aktarıldıktan sonra program sisteme ait bir rapor verir. Bu rapor; alana ait ışınım miktarı, üretilen aylık ve yıllık enerji miktarı, panel-evirici sayısı, kayıp diyagramı ve panel eğim açısı gibi birçok temel bilgiyi içermektedir. Ayrıca, diğer bir önemli parametre olan sistem performans oranı ile de sistem uygunluğu kontrol edilir. Bu araştırmaya ait raporlar ayrıca ekte verilmiştir.

Solargis gerekli meteorolojik veriyi sağlamaktadır. Bu program güneş enerjisi yatırımları için kullanılan hava durumu verileri ve yazılım programıdır. Güvenilir, 250m'lik uzamsal çözünürlük ve saatlik zamansal çözünürlük ile hava koşullarına ait doğru verilerin bilgisini vermektedir. Ayrıca çevresel açıdan bir FV tesisin performans oranı bu programla doğrulanabilmektedir. Gerçek saha ölçüm verileri ile programın ışınım verileri kıyaslandığında neredeyse aynı bilgiler içerdiği ve doğru ışınlanma veri tabanına sahip olduğu ifade edilmektedir (Solargis, 2022). Piyasada kullanıcısı çok olan bu programın enerji üretim tahminlemesi, planlanan ve faaliyete geçen güneş enerjisi santralleri için elektrik üretiminin değerlendirilmesi, operasyonel projelerin performansının düzenli olarak izlenmesi gibi birçok özelliği bulunmaktadır.

SketchUp, dünya çapında en popüler 3D modelleme ve tasarım araçlarından biridir (SketchUp, 2022). Bu çalışmada yer alan tüm santrallerin tasarımına ait modellemelerin yapılmasını sağlamıştır. Bu programın genel kullanımı olarak; öncelikle, güneş enerjisi santralinin çelik konstrüksiyonun katı modeli oluşturulur ve üzerine panel yerleşimi yapılarak tasarım çalışması yapılır. Bu çalışma güneş enerji santrali tasarımında önemli bir noktadır. Tasarım çalışmasında tüm detaylar ortaya çıkmaktadır. Örneğin, konstrüksiyon üzerine panellerin milimetrik yerleştirilmesi ile tasarımın doğru yapılmasını ve sistem sonuçlarının daha doğru oluşmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu program ile güneş gölge analizi yapılmaktadır. Arazinin köşe koordinat noktaları ve gün-ay-saat girildiğinde o zaman dilimindeki gölge durumunu gerçek zamanlı olarak vermektedir.

SketchUp'ta oluşturulan model üzerine panel yerleşimini sağlayan Skelion, SketchUp için tasarlanmış bir güneş enerjisi sistemleri tasarım eklentisidir. Üç boyutlu bir modele fotovoltaik kurulum tasarımı sağlayan Skelion, SketchUp ve Google Earth ile enerji santrali tasarımlarının yapılmasını sağlamaktadır (Skelion, 2022). Bu programlarla, istenilen yüzey alanı üzerine panelleri yerleştirip konum bilgisi kullanarak, bölgenin aldığı güneş ışığı miktarına göre enerji panelleri için verim analizleri yapılmaktadır. Özetle, bu programlar ile santralin kurulacağı düzlenek gerçeğe yakın 3D boyutlu olacak şekilde modellenir ve santral tasarımı yapılır.

PVsyst yazılım programı İsviçreli fizikçi Andre Mermoud ve elektrik mühendisi Michel Villoz tarafından geliştirilmiş yazılım programıdır (PVsyst 2022). Dünya genelinde birçok kullanıcısı olan gelişmiş simülasyon programıdır. PVsyst, tasarım ve araştırma yapan mühendisler ve teknik personeller tarafından boyutlandırma, veri analizi ve benzetim açısından oldukça faydalı bir araçtır. PVsyst ile gerçeğe yakın 3D sistemler tasarlayarak ve mali analizler yaparak daha ayrıntılı incelemeler yapılabilmektedir. Bu program ile şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompa sulama tesisleri vb. uygulamalarına ait ön fizibilite, boyutlandırma ve mali analizlerin değerlendirilmesiyle simülasyonu oluşturulur (Umar et al., 2018).

PVsyst programı santral tasarımlarında güneşlenme verilerini Solargis, PVGIS ve Meteonorm gibi yazılım programların veri tabanında çekmektedir. Bu yazılımın kendi içerisinde meteorolojik dataların yer aldığı PVGIS ve Meteonorm yazılımları bulunmaktadır. Başka bir veri kaynağından alınan veriler de PVsyst yazılımı içine kolayca entegre edilebilir. Meteonormun anlık sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri daha güvenilir sonuçlar verdiği ifade edilmektedir (Mermoud and Wittmer, 2014).

PVsyst programının veri tabanında birçok panel, evirici, optimize edici gibi sistem bileşenlerine ait veri setleri bulunmaktadır. Programın avantajı, yazılımda yer almayan sistem bileşenlerinin teknik özellikleri ve diğer modeller sisteme manuel olarak tanımlanabilmektedir. Sistem yapılandırmasında tüm bileşenlerin özellikleri ve birbiri arasındaki uyum ile ilgili fikir sunmaktadır. Örneğin, panel

evirici arasında bağlantıyı sağlayan kablonun kesiti, uzunluğu ve maliyetine ilişkin veri bilgisi sağlar.

Programda santrale ait tasarım ile seçilen evirici ve panele göre sistem kanfigürasyonu otomatik yapılmaktadır. PVsyst programının diğer bir özelliği, tasarımda dikkate alınan kayıpları detaylı bir şekilde göstermesidir. Program, kullanıcının kablolama kayıplarını, paneller arasındaki uyumsuzluğu, sıcaklıktan kaynaklanan kayıpların, trafo kaybının, kirlilik gibi çeşitli faktörlerin tanımlamasını ve kontrol edilmesini sağlar (Kılıcı, 2020). Santralin bulunduğu bölgeye ait çevresel etkilerin sebep olacağı gölgelenme analizlerini de yapmak mümkündür. En önemli avantajı, sahada ölçülen tüm değerlerin programa aktarılmasıdır.

Programın arayüzünden santralin kurulacağı lokasyona ait koordinatlar ile yıllık ışınım verileri otomatik gelir. Yazılıma tüm veriler girildikten sonra simülasyon ile toplam üretilen enerji miktarı, performans oranı ve birim kWh değerden üretilen yıllık enerji miktarı olan spesifik üretim miktarı ve ışınım ile korelasyon yapmaktadır. Ayrıca birden fazla sistem simülasyonun yapılma olanağını sağlar (Mermoud and Wittmer, 2014).

Meteonorm dünya çapında ışınım verilerini kapsayan bir programdır. Bugün Meteonorm'un 2000'den fazla aktif kullanıcısı bulunmaktadır ve piyasadaki hemen hemen her güneş enerjisi entegreli bina simülasyon yazılımına dahil edilmiştir. Programdan iyi bakımlı kaliteli cihazlara sahip hava istasyonları ile güneş ışınımı için en doğru veriler sağlanmaktadır. Güneş enerjisi uygulamaları için ilgili parametre olan temel gerçekçiliği temsil ederler. Bu yazılım, güvenilir veri kaynakları ile karmaşık hesaplama araçlarının benzersiz bir birleşimidir. Tipik yıllara ve tarihsel zaman serilerine erişim sağlar. Programa belli aralıklarda yeni ve daha güncel iklim dönemlerinin zaman serilerine daha iyi erişim sağlamak için yazılım güncellemeleri yapılmaktadır. Aynı zamanda, geçmişteki ışınım verileri, sıcaklık, nem, yağış ve rüzgâr serilerine erişim sağlanmaktadır. 2010 sonrası saatlik veriler sürekli olarak güncellenmektedir. Bu özellik sayesinde Meteonorm, aynı yazılım platformu aracılığıyla güneş enerjisi uygulamalarının planlanması için gerekli tüm ilgili meteorolojik bilgilere tipik yıllar, aylık ortalamalar, saatlik zaman serilerine erişim sağlar. Çok fazla özelliğe sahip olan bu program ile büyük FV

tesislerinin veya enerji yönetimi ve akü sistemlerinin güvenilir simülasyonlarını içerir. Aynı zamanda, yeşil şehirlerin gelişimini desteklemek için kentsel ısı etkilerini modelleyebilir. Örneğin, tasarım sınırlarını test etmede aşırı yılları hesaplamak için çeşitli algoritmalar içerir. Hatta IPCC senaryolarını kullanarak İklim Değişikliğini de simüle edebilir. Meteororm güneş enerjisi uygulamaları, bina tasarımı, ısıtma ve soğutma sistemleri, eğitim, tarım, ormancılık ve daha pek çok şey için küresel bir standart ve güçlü bir araç niteliğindedir. Ayrıca, güneş ışınımı verileri için doğru kaynak olan Meteororm birçok meteorolojik özelliğe sahip özel bir yazılım programıdır (Meteororm, 2022).

PVGIS internet tabanlı coğrafik bilgi sistemidir. Geniş bir ağa sahip olan program Avrupa, Afrika ve Güney Batı Asya'nın bazı bölgelerini de kapsamaktadır. Kaynak 1 km x 1 km'lik çözünürlüğe sahiptir. Güneş ışınım verisi, günlük küresel ışınım değerlerinin ortalaması olarak verilir ve aynı zamanda yayınlık ve küresel ışınımın oranında verilir. Ücretsiz ve açık erişim kolaylığı ile birçok özelliğe sahiptir. Farklı FV teknolojileri ve konfigürasyonları için enerji üretim potansiyeli tahminlemesi yapılmaktadır. Aylık ortalamalar veya günlük değerler ile güneş ışınımı ve sıcaklık bilgisi sağlanmaktadır. Ayrıca, hem güneş ışınım hem de FV performansının saatlik değerlerinin tam zamanlı serisini vermektedir. Ülkeye veya bölgeye göre güneş kaynağı ve güneş enerjisi potansiyeli haritalarını oluşturan bir yazılım programıdır. PVGIS, uydu görüntülerinden elde edilen güneş ışınımının yüksek kaliteli ve yüksek uzamsal ve zamansal çözünürlüklü verilerini ve ayrıca iklim analiz modellerinden ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızını kullanır. PVGIS; günlük ışınım, şebekeye bağlı FV sistemlerin tasarımı, ufuk profili, saatlik- aylık ışınım değerleri, şebekeden bağımsız FV sistemlerin tasarımı, FV sistemlerin izlenmesini sağlayan bir araçtır (PVGIS, 2022).

Bu programların dışında güneş enerji santrallerinin teknik ve ekonomik analizini yapan başka yazılım programları da bulunmaktadır. Dünya çapında kullanılan diğer programlar şunlardır; Homer Pro (Homer Energy, USA), PV Planner (Solargis, Slovakia), PVsyst (PVsyst SA, Switzerland), RETscreen (Natural Resources Canada, Canada), System Advisor Model (SAM) (National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA), Solar Pro (Laplace Systems, Japan), PV F (Chart), Heliscope.

Bu tez çalışmasında, 6 farklı alana ait standartlara uygun sistem tasarımı ve performans analizi ile enerji üretim değerleri elde edilmiştir. Tasarım çalışmaları finansman kurumlar tarafından kabul gören PVsyst benzetim programı ile yapılmıştır. Ayrıca, bu çalışma aynı bölgede ve birbirine yakın alanlarda tasarımları yapılan santrallerin üretim verilerinin karşılaştırılmasına da imkân tanımaktadır.

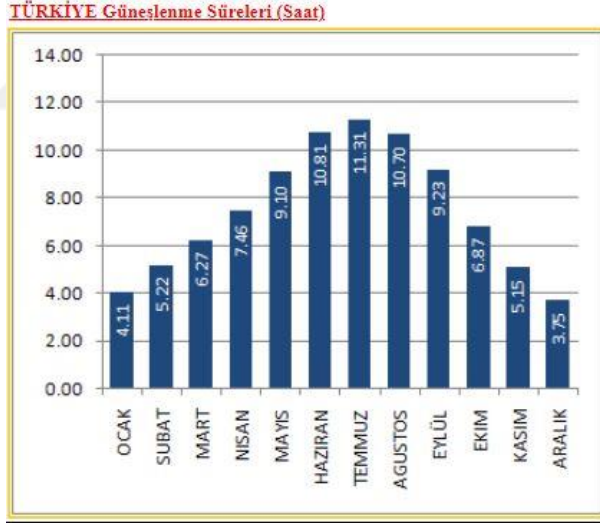




T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca hazırlanan 2022 Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre Türkiye'nin;

- Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi : 2736,89 saat/ yıl
- Ortalama günlük toplam güneşlenme süresi : 7,49 saat/ gün
- Ortalama yıllık toplam ışıınım şiddeti : 1524,18 kWh/m<sup>2</sup> - yıl
- Ortalama günlük toplam ışıınım şiddeti : 4,18 kWh/ m<sup>2</sup> - gün

olarak belirtilmiştir (Kaynar, 2020). Şekil 4.1'de açık ve koyu renkler güneş ışıınımının değerlerini göstermektedir. Görüldüğü üzere güney bölgelerden kuzeye doğru gidildikçe yağmurlu günlerin fazla olması ve coğrafi konumu nedeniyle güneşlenme potansiyeli azdır ve en az ışıınım alan bölgedir. Marmara ve Ege orta değerde ışıınım alırken, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu yüksek ışıınım değerine sahip bölgelerdir. Bu bölgelere yapılan güneş enerjisi santrali yatırımları daha verimlidir.

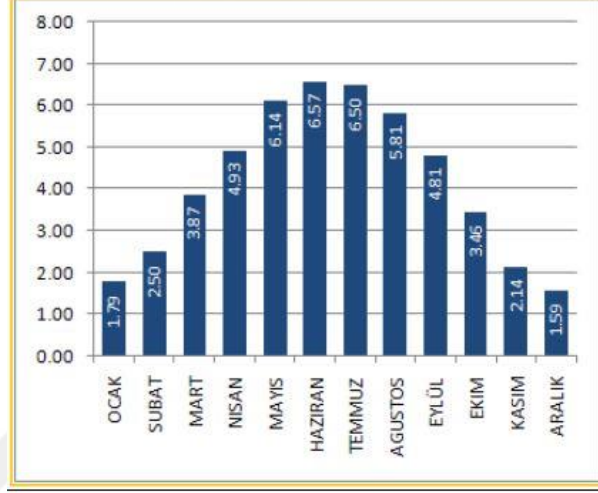


Şekil 4.2. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (Saat) (Ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme süresi) (GEPA, 2022).

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi Türkiye'nin aylık bazda günlük güneşlenme süresi ortalama 7,49 saat olup bir yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2736,89 saat-yıldır (Kaynar, 2020). Güneşlenme süresi Temmuz ayında maksimum iken Aralık ayında minimumdur. Ortalama güneşlenme süreleri Mayıs-Haziran-Temmuz ve Ağustos aylarında güneş ışıınım değeri yüksek iken Kasım- Aralık-

Ocak-Şubat aylarında en düşük değerdedir. İzmir ili ilkbahar ve yaz aylarında iklimin etkisiyle güneşlenme süreleri biraz daha yüksek durumdadır. Türkiye yaklaşık 110 gün güneş enerjisi potansiyeline sahip olup birim metrekare başına yılda 1100kWh güneş enerjisi üretebilmektedir (Kılıç, 2015).

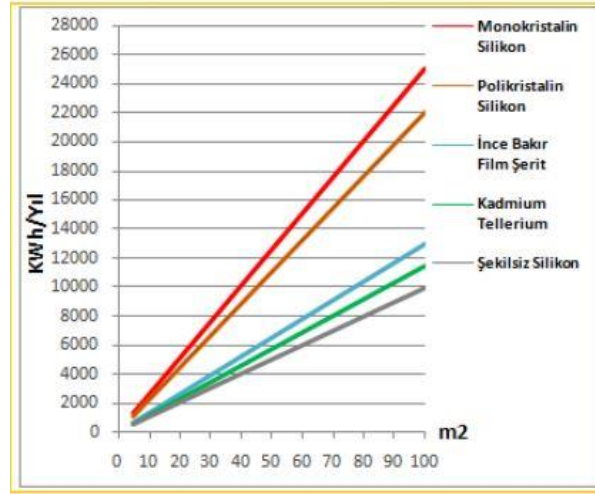
**TÜRKİYE Global Radyasyon Değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün)**



Şekil 4.3. Türkiye global ışınım değerleri (kWh/ m<sup>2</sup>-gün) (Ay içerisindeki bir günlük toplam güneş ışınımı) (GEPA, 2022).

Şekil 4.3’de ülkemizin aylık bazda ortalama Haziran ayında küresel ışınım değerinin en fazla olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi parametrelerinden biri olan yılda 1m<sup>2</sup> alana düşen toplam güneş enerjisi ışınım şiddeti 1524,18 kWh ve günlük güneş enerjisi değeri 4,18 kWh/ m<sup>2</sup>’dir (Kaynar, 2020).

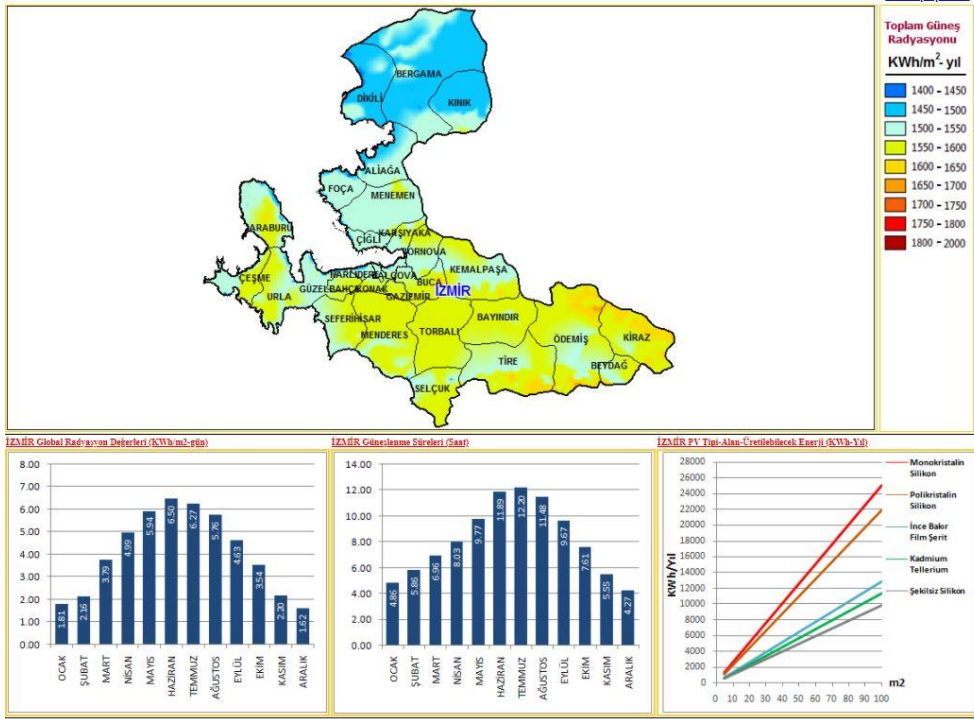
**TÜRKİYE PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)**



Şekil 4.4. Türkiye FV tipi – alan – üretilebilecek enerji (GEPA, 2022).

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesi, enerji arzının artması ve FV sistem maliyetlerinin düşmesi ile güneş enerjisi yatırım ve projelerinin sayısı da artmıştır. Uzun vadeli hedeflere dayanan tahminlenen enerji politikaları ile güneş enerjisinin geniş potansiyelini maliyetini etkin bir şekilde ortaya çıkarma konusu kritik bir noktadır.

Bu çalışma kapsamında araştırması yapılan İzmir ili ülkemizin en batısında yer aldığından coğrafi konumu itibariyle, yılda ortalama 300 güneşli gün, yüksek güneş ışınımı, yaz aylarında 12 saate ulaşan güneşlenme süresi ve 1500 -1600 kWh/m<sup>2</sup> ortalama güneşlenme ışınımına sahip olduğu Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. İzmir güneş enerjisi potansiyeli atlası, küresel ışınım değeri, güneşlenme süresi, FV tipi (GEPA, 2022).

İzmir, Ege kıyı bölgesinin tipik bir örneği gibidir. Kuzeyde Madra Dağları, güneyde Kuşadası Körfezi, batıda Çeşme Yarımadası'nın Tekne Burnu, doğuda ise Aydın, Manisa il sınırları ile çevrilmiş İzmir, batıda kendi adıyla anılan körfezle kucaklaşır. İl toprakları, 37 derece 45 dakika ve 39 derece 15 dakika kuzey enlemleri ile 26 derece 15 dakika ve 28 derece 20 dakika doğu boylamları arasında kalır. Akdeniz iklim kuşağında kalan İzmir'de yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. İzmir ilinin rakımı 2 metredir (T.C. İzmir Valiliği, 2022).

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan verilere göre İzmir ili için coğrafi yerleşimi, iklimi (yağış oranı, nem, sıcaklık, rüzgâr vb.) bilgileri Şekil 4.6'da yer almaktadır.

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Son İklim Periyodu (1991 - 2020)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	9,0	9,9	12,4	16,2	21,1	26,0	28,6	28,5	24,2	19,5	14,4	10,5	18,4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12,7	14,0	17,2	21,3	26,5	31,3	33,8	33,6	29,5	24,6	18,8	14,0	23,1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	6,0	6,6	8,6	11,8	16,2	20,9	23,5	23,7	19,5	15,4	10,9	7,7	14,2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4,5	5,2	6,6	7,9	9,7	11,5	12,3	11,6	9,7	7,6	5,8	4,2	8,0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11,57	12,00	10,23	9,00	7,10	3,67	0,67	0,83	3,07	6,67	9,07	13,30	87,2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	127,5	107,2	77,8	50,1	32,9	14,4	3,0	6,7	23,5	56,5	99,6	131,3	730,5
Ölçüm Periyodu ( 1938 - 2020)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22,4	27,0	30,5	32,5	37,6	41,3	42,6	43,0	40,1	36,0	30,3	25,2	43,0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8,2	-5,2	-3,8	0,6	4,3	9,5	15,4	11,5	10,0	3,6	-2,9	-4,7	-8,2
En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.													
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı				Günlük En Hızlı Rüzgâr				En Yüksek Kar					
29/09/2006 <b>145,3 mm</b>				29/03/1970 01:38 <b>SSE 35,3 m/sn</b>				31/01/1945 <b>32,0 cm</b>					

Şekil 4.6. İzmir ili iklim verileri (Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

Ayrıca, bu çalışma kapsamında her bir alan için meteorolojik veriler Solargis programından alınmıştır.

Bu çalışmada her alana ait proje bilgileri aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

#### Otopark 1 (Makine Mühendisliği Bölüm Binası Yanı)



Proje Bilgisi	
Proje ismi	Otopark 1 (Makine Müh. Yanı)
Adres	Ankara Caddesi, Bornova, İzmir, Türkiye
Coğrafi koordinatlar	38°27'10.67''K, 27°13'39.27''D
Zaman dilimi	UTC+03, Europe/Istanbul [TRT]
Son değişiklik	9.06.2021
Yükseklik	31m
Nüfus yoğunluğu	1610inh./km²
Arazi azimutu	düz
Arazi eğimi	1°

Şekil 4.7. 1. Otoparka ait proje bilgisi detayı.

Şekil 4.7’de 1. Otoparka ait proje bilgileri gösterilmektedir. Alana ait coğrafi bilgiler ve Google Earth görüntüsü tasarımın başlangıç noktası özelliğini taşımaktadır. Bu bağlamda bu veriler önemlidir.

Tablo 4.1’de gösterilen genel bakış verileri 1. otopark için elde edilecek enerji üretimini sağlayan verilerdir.

Tablo 4.1. 1. Otoparka ait meteorolojik data.

Genel Bakış	
Küresel yatay ışınım (GHI) Yıllık Ortalama	1796,6 kWh/m <sup>2</sup>
Doğrusal normal ışınım (DNI) Yıllık Ortalama	1862,5 kWh/m <sup>2</sup>
Dağınık yatay ışınım (DIF) Yıllık Ortalama	626 kWh/m <sup>2</sup>
Hava sıcaklığı Yıllık Ortalama	18,3 °C

#### Otopark 2 (Mediko Yanı)



Proje Bilgisi	
Proje ismi	Otopark 2 (Mediko Yanı)
Adres	Ankara Caddesi, Bornova, İzmir, Türkiye
Coğrafi koordinatlar	38°27'29.11''K, 27°13'43.96''D
Zaman dilimi	UTC+03,Europe/Istanbul [TRT]
Son değişiklik	9.06.2021
Yükseklik	35m
Nüfus yoğunluğu	1610inh./km <sup>2</sup>
Arazi azimutu	yarı düz
Arazi eğimi	2°

Şekil 4.8. 2. Otoparka ait proje bilgisi detayı.

Şekil 4.8’de 2. Otoparka ait proje bilgileri gösterilmektedir. Alana ait coğrafi bilgiler ve Google Earth görüntüsü tasarımın başlangıç noktası özelliğini taşımaktadır. Bu bağlamda bu veriler önemlidir.

Tablo 4.2’de gösterilen genel bakış verileri 2. otopark için elde edilecek enerji üretimini sağlayan verilerdir.

Tablo 4.2. 2. Otoparka ait meteorolojik data.

Genel Bakış	
Küresel yatay ışınım (GHI) Yıllık Ortalama	1767,2 kWh/m <sup>2</sup>
Doğrusal normal ışınım (DNI) Yıllık Ortalama	1860,4 kWh/m <sup>2</sup>
Dağınlık yatay ışınım (DIF) Yıllık Ortalama	625,3 kWh/m <sup>2</sup>
Hava sıcaklığı Yıllık Ortalama	18,3 °C

Otopark 3 (Eczacılık Fakültesi Önü)



Proje Bilgisi	
Proje ismi	Otopark 3 (Eczacılık F. Önü)
Adres	Ankara Caddesi, Bornova, İzmir, Türkiye
Coğrafi koordinatlar	38°27'30.89''K, 27°13'31.08''D
Zaman dilimi	UTC+03,Europe/Istanbul [TRT]
Son değişiklik	9.06.2021
Yükseklik	33m
Nüfus yoğunluğu	1610inh./km <sup>2</sup>
Arazi azimutu	düz
Arazi eğimi	1°

Şekil 4.9. 3. Otoparka ait proje bilgisi detayı.

Şekil 4.9’da 3. Otoparka ait proje bilgileri gösterilmektedir. Alana ait coğrafi bilgiler ve Google Earth görüntüsü tasarımın başlangıç noktası özelliğini taşımaktadır. Bu bağlamda bu veriler önemlidir.

Tablo 4.3’de gösterilen genel bakış verileri 3. otopark için elde edilecek enerji üretimini sağlayan verilerdir.

Tablo 4.3. 3. Otoparka ait meteorolojik data.

Genel Bakış	
Küresel yatay ışınım (GHI) Yıllık Ortalama	1766,7 kWh/m <sup>2</sup>
Doğrusal normal ışınım (DNI) Yıllık Ortalama	1859,4 kWh/m <sup>2</sup>
Dağınk yatay ışınım (DIF) Yıllık Ortalama	626,4 kWh/m <sup>2</sup>
Hava sıcaklığı Yıllık Ortalama	18,2 °C

## Otopark 4 (Hemşirelik Önü-B)



Proje Bilgisi	
Proje ismi	Otopark 4 (Hemşirelik Önü-B)
Adres	Ankara Caddesi, Bornova, İzmir, Türkiye
Coğrafi koordinatlar	38°27'20.27''K, 27°12'57.80''D
Zaman dilimi	UTC+03,Europe/Istanbul [TRT]
Son değişiklik	9.06.2021
Yükseklik	27m
Nüfus yoğunluğu	1610inh./km <sup>2</sup>
Arazi azimutu	yarı düz
Arazi eğimi	1°

Şekil 4.10. 4. Otoparka ait proje bilgisi detayı.

Şekil 4.10'da 4. Otoparka ait proje bilgileri gösterilmektedir. Alana ait coğrafi bilgiler ve Google Earth görüntüsü tasarımın başlangıç noktası özelliğini taşımaktadır. Bu bağlamda bu veriler önemlidir.

Tablo 4.3'de gösterilen genel bakış verileri 4. otopark için elde edilecek enerji üretimini sağlayan verilerdir.

Tablo 4.4. 4. Otoparka ait meteorolojik data.

Genel Bakış	
Küresel yatay ışınım (GHI) Yıllık Ortalama	1767,5 kWh/m <sup>2</sup>
Doğrusal normal ışınım (DNI) Yıllık Ortalama	1860,1 kWh/m <sup>2</sup>
Dağınmık yatay ışınım (DIF) Yıllık Ortalama	626,5 kWh/m <sup>2</sup>
Hava sıcaklığı Yıllık Ortalama	18,4 °C

Otopark 5 (Hemşirelik Önü-C)



Proje Bilgisi	
Proje ismi	Otopark 5 (Hemşirelik Önü-C)
Adres	İzmir Çevreyolu, Bornova, İzmir, Türkiye
Coğrafi koordinatlar	38°27'13.11''K, 27°12'55.66''D
Zaman dilimi	UTC+03,Europe/Istanbul [TRT]
Son değişiklik	9.06.2021
Yükseklik	23m
Nüfus yoğunluğu	1610inh./km <sup>2</sup>
Arazi azimutu	yarı düz
Arazi eğimi	1°

Şekil 4.11. 5. Otoparka ait proje bilgisi detayı.

Şekil 4.11'de 5. Otoparka ait proje bilgileri gösterilmektedir. Alana ait coğrafi bilgiler ve Google Earth görüntüsü tasarımın başlangıç noktası özelliğini taşımaktadır. Bu bağlamda bu veriler önemlidir.

Tablo 4.5'de gösterilen genel bakış verileri 5. otopark için elde edilecek enerji üretimini sağlayan verilerdir.

Tablo 4.5. 5. Otoparka ait meteorolojik data.

Genel Bakış	
Küresel yatay ışınım (GHI) Yıllık Ortalama	1768,3 kWh/m <sup>2</sup>
Doğrusal normal ışınım (DNI) Yıllık Ortalama	1860,5 kWh/m <sup>2</sup>
Dağınık yatay ışınım (DIF) Yıllık Ortalama	626,8 kWh/m <sup>2</sup>
Hava sıcaklığı Yıllık Ortalama	18,4 °C

Otopark 6 (Gastroenteroloji Önü)



Proje Bilgisi	
Proje ismi	Otopark 6 (Gastroenteroloji Önü)
Adres	Ord. Prof. Dr. Muhiiddin Erel Cd. Bor. İzmir, Türkiye
Coğrafi koordinatlar	38°27'21.70''K, 27°12'26.21''D
Zaman dilimi	UTC+03,Europe/Istanbul [TRT]
Son değişiklik	9.06.2021
Yükseklik	23m
Nüfus yoğunluğu	7463inh./km <sup>2</sup>
Arazi azimutu	düz
Arazi eğimi	1°

Şekil 4.12. 6. Otoparka ait proje bilgisi detayı.

Şekil 4.12'de 6. Otoparka ait proje bilgileri gösterilmektedir. Alana ait coğrafi bilgiler ve Google Earth görüntüsü tasarımın başlangıç noktası özelliğini taşımaktadır. Bu bağlamda bu veriler önemlidir.

Tablo 4.6'de gösterilen genel bakış verileri 6. otopark için elde edilecek enerji üretimini sağlayan verilerdir.

Tablo 4.6. 6. Otoparka ait meteorolojik data.

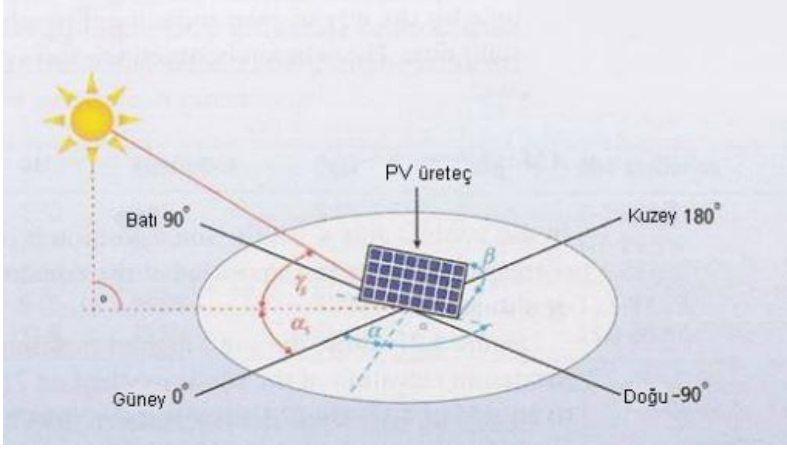
Genel Bakış	
Küresel yatay ışınlam (GHI) Yıllık Ortalama	1766,5 kWh/m <sup>2</sup>
Doğrusal normal ışınlam (DNI) Yıllık Ortalama	1856,1 kWh/m <sup>2</sup>
Dağımlık yatay ışınlam (DIF) Yıllık Ortalama	627,4 kWh/m <sup>2</sup>
Hava sıcaklığı Yıllık Ortalama	18,4 °C

#### 4.1.2 İdeal modül açısı

Modül eğim açısı, santral verimini arttıran ve üretilecek enerji miktarını belirleyen önemli parametrelerden biridir. Bu beklenen değerleri maksimize etmek için modülleri öğle saatlerinde güneş ışığına dik olacak şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Böylelikle ışınma değeri ve buna bağlı enerji üretimi artacaktır. Diğer bir ifadeyle, yatay düzleme bir yıl boyunca bir m<sup>2</sup> alana gelen belirli bir ışınlam değeri bulunmaktadır. Ancak, paneller ideal modül açısı ile güneye yönelimli yerleştirildiğinde yatay düzleme gelenden daha fazla ışınlam miktarı ile daha fazla enerji üretilir. Türkiye'nin bulunduğu coğrafi enlem üzerinde yaz sezonunda elde edilen güneş enerjisinin, kışın yalnızca 1/3 kadarı elde edilmektedir (İnce, 2021). Bu bilgiye göre, yapılan tasarımlarda en fazla enerji üretimi Temmuz ayında iken, en az enerji üretimi ise Ocak ayında olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada, GES tasarımında kurulacak paneller güneye yönelimli tilt açıları 1° ve azimut açıları 0° olarak alınmıştır. Simülasyon programına girilen veriler tasarımdaki değerler ile aynı olacak şekilde tanımlanmıştır.

Koryürek'e (2008) göre, tilt açısı FV üreticinin yerleştirilmesinde yatayla yaptığı açı iken azimut açısı ise herhangi bir bölgede ve zamanda güneşe doğru varsayılan doğrunun yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır. Fotovoltaik sistemlerin tasarımlarında FV azimut açısı fotovoltaik modülün baktığı yönle güney yönü arasındaki açıdır.



Şekil 4.13. Güneşin geometrisiyle ilgili tüm açılar (Koryürek, 2008).

$\alpha$ : FV üreticinin azimuth açısı

$\alpha_s$ : Güneşin azimuth açısı

$\beta$ : FV üreticinin tilt açısıdır. FV üreticinin yönelimi hangi ışınım seviyesinde çalışacağını etkileyen bir faktördür. Kuzey yarımkürede kurulacak olan bir santralde FV üreteçten maksimum verimi almak için modül yüzeylerinin güneye yönelimi gerekmektedir. Örneğin, kuzey yarımkürede olan Türkiye için güneye yönelimli en iyi 30 derecelik açıda enerji üretimi ve sistem verimliliği elde edilmektedir (Koryürek, 2008).

$\gamma_s$  : Güneş yükseklik açısıdır. Dünyaya ulaşan güneş ışınımı bu değere bağlıdır ve hem gün içinde hem de yıl içinde farklı zamanlarda değişmektedir.

Güneşin yüksekliği  $\gamma_s$  ve AM arasındaki ilişki

$$AM = 1 / (\sin \gamma_s) \quad (6)$$

AM= 1 konumu güneşin yeryüzüne dik pozisyonda bulunduğu andır ( $\gamma_s = 90^\circ$ )

Güneş ışınımı güneş ışınlarını dik alan bölgede her zaman daha yüksektir. Güneş ışınım değerleri azimuth ve yükseklik açılarına göre değişkenlik göstereceğinden FV santrallerin kurulacağı bölgelere ait ışınım değerlerini veren açılarının incelenmesi gerekmektedir. Bu durum, FV üreticinin belirlenen açıya göre ışınım değeri enerji üretimini belirleyen faktördür. Uygulamada yatay düzleme gelen güneş ışınımının ölçümü pironometre ile yapılmaktadır.

### 4.1.3 Panel verimliliği

FV sistemde kullanılan panelin verimi enerji üretiminde önemli bir yeri vardır. Modül verimliliği hücre verimliliğinden farklıdır. Modül verimi modül alanı ile ilişkilidir. Örneğin, Standart Test Koşullarında %20 verim ve yüzey alanı  $1\text{m}^2$  olan panelin çıkış gücü  $200\text{Wp}$ ' dir. Görüldüğü üzere, sistemin elektrik güç değeri direk verim ile ilişkilidir.

Bir FV hücrede enerji dönüşümünde, yansıtma özellikleri, termodinamik verimlilik, yük taşıyıcı ayırma etkinliği ve iletim etkinliği değerleri gibi parametrelerin ölçümü zor olduğundan,  $V_{oc}$ , FF ve kuantum verimini ölçmek daha kolaydır (Öztürk, 2022). Kuantum verimi, kısa devre koşullarında çalışan bir FV hücrenin, elektrik akımına dönüştürülen fotonların yüzdesini belirtir. Enerji dönüşümündeki verimi etkileyen etmenler 1961 yılında William Shockley ve Hans Queisser tarafından yapılan araştırmalar ile ortaya konulmuştur. Fizikte Shockley-Queisser sınırı olarak adlandırılan yöntem; gelen güneş ışınımının her fotonu başına üretilen elektrik miktarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Sınır,  $1,34\text{eV}$  bant aralığına sahip tek bir p-n eklem,  $AM=1.5$  güneş spektrumu koşullarında, güneş enerjisini elektrığe dönüşümünde en yüksek verimin %33.7 iken silisyum hücre malzemesi  $1.1\text{eV}$  bant aralığına ve verimi %32 verime sahiptir (Öztürk, 2022). Ancak ticari olarak kullanılan panel verimlilikler %20 seviyesindedir. Öztürk'e (2022) göre, ön yüzeyde yansımalar ve yüzeyindeki ince tellerde ışık tıkanması gibi sebepler kayıp nedenleri olarak sıralanabilir.

Verime etki eden diğer faktörler olarak DA-AA kablolama, uyumsuzluk, gölgelenme, modül eğim açısı, standart test koşullarında meydana gelen sapmalar (yansıma, spektrum, ışınım, sıcaklık), eviriciye bağlı kayıplar (maksimum güç noktası takibi, DA/AA çevrim verimi, güç kısıtlamasından kaynaklanan kayıp, alternatif akım sınırlaması, reaktif güç kayıplar), transformatör, degradasyon ve ek tüketime bağlı olan kayıplar olarak sıralanmaktadır.

Sistem verimliliğinde, FV güç santrallerinde performans oranını yakalamak için panel ve eviricinin uyumu önemlidir. Değişken güneş ışınımına göre çalışan FV sistemler maksimum güçte çalışmadıkları için sistem verimliliğinde eviricinin

DA-AA oranı dikkate alınmaktadır. Bu uyumu gösterir, DA- AA oranını belirten detaylı PVsyst simülasyonu sonuçları ekte ayrıca verilmiştir.

#### 4.1.4 Degredasyon

FV modülde belirli iç ve dış etmenlerden dolayı bozulma gibi çeşitli kusurlar meydana gelmektedir. Bunun sonucunda modülden elde edilecek güç değeri de değişkenlik gösterecektir. Sıcaklık, nem ve ultraviyole ışınımı gibi çevresel parametrelerin güneş modülünün bozulmasını hızlandırmada temel faktörlerdir. Piyasada panel üreticileri tarafından degredasyondan kaynaklanan kayıplar için yıllık %1 ve yirmibeşinci yılın sonunda %80'e düşen güç garantisi verilmektedir. Modülün performansını doğrudan etkileyen kusurlar aşağıda açıklanmaktadır.

İlk etki, modüldeki güneş hücresi ile modülün topraklaması arasında yüksek gerilimden kaynaklanan ve etkisi aylar veya yıllar sonra ortaya çıkan PID etkisidir (Mohammed, 2021). Nedeni ise güneş hücreleri ve arka levha gibi modülü oluşturan malzemelerin kalitesiz olmasıdır. Bu etki genel olarak nemli, sıcak ve kuru alanlarda oluşmaktadır. Boztepe'e (2017) göre, trafosuz evirici kullanılacak sistemler için PID testini geçmiş modüllerin tercih edilmesi önemlidir.

Diğer bir etki, modülün cam ve güneş hücresi arasındaki yapışma kaybından kaynaklı deliminasyondur. Özellikle, modülün içerisinde su, hava ışık yansıması ile penetrasyonundaki artış deliminasyon meydana getirmektedir (Wohlgemut and Kurtz, 2011). Bu etki tüm sisteme ciddi zararlar verebilmektedir.

Diğer bir önemli etki ise metalik bağlantıların bozulmasından kaynaklı korozyon ve renk bozulmasıdır. Bu renk bozulması, EVA'nın iletiminde bir farklılığa neden olur ve bu nedenle, onu maksimum değerine düşürme gücünü de etkiler (Mohammed, 2021). Modüllerde kullanılan, cam, hücre ve panelin arkasındaki örtünün sıcaklık altında yapışmasını sağlayan, naylon görümlü kimyasal madde olan EVA'da ciddi sorunlar sistemde önemli problemler meydana getirmektedir. Nem, yoğun ısı ve ultraviyole ışınlarının oluşturduğu su arasındaki, daha sonra EVA'nın renginin bozulmasına neden olacak kimyasal reaksiyondan

kaynaklanır. Bu olumsuz etkiler, modülde kaçak akımın artmasına ve performansın düşmesine neden olur.

Modüldeki çatlaklar hücrede işlev bozukluğuna neden olur. Çatlak modül bir taraftan enerji üretmeye devam ederken, ileride elektrik çarpmaları meydana gelebilir. Modülün alüminyum çerçevesinde oluşan fiziksel durumlar modülde tehlike yaratabilir. Ayrıca, bağlantı kutusunda meydana gelebilecek arızalardan kaynaklı yangın riskleri oluşturur. Modülün arka tabakadaki bozulmalardan kaynaklı etki ise modül kalitesinden ve üretimden kaynaklanır. Modülün içine nemin hızla girmesiyle, elektrik yalıtımı bozularak ciddi korozyon meydana gelebilir. Ayrıca, çıplak gözle görülebilen kusurlardan biri de ultraviyole ışınlarının arka tabakanın elemanları ile kimyasal reaksiyona girmesiyle sarı rengin ortaya çıkmasıdır (Mohammed, 2021).

#### **4.1.5 Kablo kayıpları**

Sistemin bağlantısını sağlayan kabloların uygun ve doğru şekilde seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bir FV güneş enerjisi santralinde kablo metrajının optimal ve uygun kesitte seçilmesi sistemin enerji üretimine katkı sağlar. Santralde modülden eviriciye bağlantıyı sağlayan DA kablolardır. Eviriciden panoya, panodan şebekeye bağlantıyı sağlayan AA kablolardır ve kayıpları omiktir. Sistemde kullanılan tüm AA ve DA kablolar için seçilen kesitte ve metrajda gerilim düşümü hesabı yapılır ve bu değer her biri için %1 ile sınırlandırılmaktadır. Ayrıca, kablo seçimlerinde kısa devre hesabı yapılması gerekmektedir. Santralde kablolama "Elektrik Dağıtım Şebekeleri Enerji Kabloları Montaj (Uygulama) Usul ve Esasları"na göre yapılması zorunludur.

#### **4.1.6 Uyumsuzluk**

FV sistemlerde uyumsuzluk kaybı modül içinde iki veya daha fazla dizinin ürettiği enerjinin farklı olmasından kaynaklanır. Deniz'e (2013) göre, seri bağlı modüllerin farklı MPPT noktalarında üretim yapması yani farklı akım gerilim karaktersitliğine sahip olması nedeniyle dizinin çıkış gücü farklı olabilmektedir. Bu durum, fabrika üretiminden kaynaklı güç toleransı değişimi olarak uyumsuzluk

kaybını arttıran bir etkidir. Ayrıca, bir FV dizisinde modüllerin farklı sıcaklıklarda çalışması ya da farklı ışınım değerine maruz kalması ile uyumsuzluk kaybı meydana gelmektedir (Deniz, 2013). Bu nedenle FV modüller bağlanacağı evirici ile uyumlu çalışmaları gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle, şebekeye bağlı bir FV sistemde eviricinin en verimli çalışma gerilim değerine ulaşması için birbirine seri bağlı modüllerin aynı DA akımda çalışması gerekmektedir (Boztepe, 2017).

#### 4.1.7 Tozlanma

Tozlanma kaybı yerel koşullara bağlıdır. Modüller yüzeyinde biriken toz, kar gibi etkenlerden dolayı modül üzerine gelen güneş ışınım miktarında azalma olmaktadır. Tozlanmada dolayı santralde ciddi kayıplar meydana gelmekte ve santralin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle kırsal kesimlerde arazi tip santrallerde çok daha fazla tozlanma kaybı meydana gelmektedir. Doğal şartlarda yağmurun yağması ile modül yüzeyi dolaylı yoldan temizlenebilir. Fakat yağışın az olduğu yerlerde bu durum santral açısından biraz şansız olacak ve %15'e yakın kayıplar oluşacaktır (Piliouguine et al., 2008). Modüllerin eğim açısı da doğal temizlemede önemlidir. Modül eğimi 15°'den büyük olan yerleşimlerde yağmurlu havalarda kendini temizlemesi, yani modül üzerindeki toz vb. kirlerin akması daha kolay olacaktır. Böylelikle tozlanma kaybı %5'e düşecektir (Detrick et al., 2005). Ancak, modül eğimi 15°'den küçük olan yerleşimlerde çevresel etkilerden kaynaklı tozlanmanın daha fazla olduğu durumlarda kayıplar %4'ü aşmaktadır (Kymakis et al., 2009). Kar yağışının fazla olduğu bölgelerde meydana gelen kayıplar arazi kurulumlarında %1, çatılarda %2'ye yakın yaklaşık değerler görülmektedir (Wirth et al., 2009).

#### 4.1.8 Gölgeleme

Gölgeleme çoğunlukla çevresel faktörlere bağlıdır. Binalar, ağaçlar, direkler, bacalar vb. gibi etmenler gölgelemeye neden olmaktadır. Şehir merkezlerinde birbirine yakın olan yapılardan kaynaklı gölgelemeler yaşanırken, kırsal kesimlerde de ağaçlardan kaynaklı gölgeleme olmaktadır. Ayrıca, modül yerleşimine bağlı olarak modül sırası gölgeleme kayıpları da önemlidir. Bu gölgeleme için 21 Aralık öğle saatlerindeki güneş yüksekliğini incelemek

gerekmektedir. Gölgeleme kaynaklı kayıplar FV santralin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Gölgeleme kaybı, modülün elektriksel özelliklerinden olan kısa devre akımını değiştirmez fakat açık devre geriliminde 0,61V azalma meydana getirir (Köprü, 2016). Sarıoğlu ve Eke (2012), gerilimin sıcaklık ile ters orantılı olduğu bu durum karşısında 0,61V açık devre gerilimindeki azalma 80°C değerinde bir sıcaklık meydana getirir ve modülde bozulmalara sebep olur. Gölgeleme kaynaklı oluşan bu olumsuz durumda açık devre gerilimdeki azalmayı engellemek için by-pass diyod kullanılır ve böylece hücrelerde sıcak nokta oluşumu engellenir (Sarıoğlu ve Eke, 2012). Gölgeleme kayıpları FV sistemin üreteceği enerji miktarını azaltacağından dolayı kurulması planlanan santralin henüz tasarım aşamasında bu faktörler dikkate alınması önemlidir.

## 4.2 Çıkış Parametreleri

### 4.2.1 Nihai hasat

FV santralinden alternatif akım olarak üretilen enerjinin FV santralin nominal gücüne oranıdır. FV santralin belirli bir süre (gün, ay, yıl) içinde anma gücünde çalıştırılmasıdır (Cubukcu and Gumus, 2020).

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{ANMA}} \quad (7)$$

### 4.2.2 Referans hasat

Anlık ışınlama elde etmek için referans ışınım seviyesinde bulunması gereken saat cinsinden gereken süreyi gösterir (Cubukcu and Gumus, 2020).

$$Y_R = \frac{H_t}{G_{STC}} \quad (8)$$

### 4.2.3 Performans oranı

Farklı bölgelerde kurulan güneş enerjisi santrallerinin ürettiği enerji arasında karşılaştırma yapmak için kullanılır. Bir fotovoltaik güç santralının kalitesini ve sistemde meydana gelen kayıpların etkisini gösterir.

$$PF = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (9)$$

### 4.2.4 Sistem verimliliği

Bir fotovoltaik sistemde, mevcut güneş enerjisinin ne kadarının kullanılabilir AA elektrik enerjisine dönüştürüldüğünün ölçümüdür. Şebekeye verilen AA enerjisinin modül düzlemine gelen güneş enerjisine oranı olarak ifade edilir ve hesaplanır (Cubukcu and Gumus, 2020).

$$\eta_s = \frac{E_{AC}}{E_{in}} = \frac{E_{AC}}{(H_I \times A_{FV,a})} \quad (10)$$

### 4.2.5 Kapasite faktörü

Bir güneş enerjisi santralının maksimum güç üretim kapasitesidir. Birimi kW, MW veya GW' dir. Santralin nominal gücü, bir yıllık üretilen enerjinin, yıllık güçleri arasındaki yıllık FV panel potansiyel enerjisine oranıdır. Güneş enerjisi santrallerinin kapasite faktörü, FV dizi DA çıkış değerlerinden veya AA güç değerinden hesaplanır.

$$CF = \frac{\text{Üretilen gerçek güç}}{365 \times 24 \times \text{Nominal Güç}} \times 100\% \quad (11)$$

## 5. E.Ü. KAMPÜSÜ FV TESİS BOYUTLANDIRMA VE FİZİBİLİTE ÖRNEĞİ

### 5.1 Kampüs Elektrik İhtiyacı

Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biri, GES’den üretilecek olan enerji miktarı ile Ege Üniversitesi’nin elektrik tüketim miktarının analizinin yapılmasıdır. Bu araştırma konusu; elektrik tüketim miktarına karşılık gelen enerji maliyeti, gelecek yıllarda yapılacak olan yeni tesis ve altyapı maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda kurulacak olan GES’lerin önemli yatırımlar olduğunu açıkça ortaya koyan önemli bir çalışmadır. Tablo 5.1’de Ege Üniversitesi’nin 2019 yılı elektrik tüketimleri ve maliyetleri gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Ege Üniversitesi 2019 yılına ait elektrik tüketim miktarı.

2019 AYLIK EGE ÜNİVERSİTESİ ELEKTRİK TÜKETİMİ				
Aylar	Tüketim Miktarı(kWh)	TEP	Fatura Tutarı (TL)(KDV Dahil)	Birim Maliyeti (TL/kWh)
Ocak	5395058,8	458,0	3487195,1	0,65
Şubat	4488356,2	381,2	2910839,0	0,65
Mart	4522088,2	384,8	2918203,5	0,65
Nisan	4204066,6	357,6	2611288,8	0,62
Mayıs	4554032,4	387,8	2931019,1	0,64
Haziran	5407609,8	459,4	3674251,6	0,68
Temmuz	6409264,7	545,5	4873192,2	0,76
Ağustos	6236905,4	530,2	4380919,0	0,70
Eylül	5231861,0	445,5	3675787,8	0,70
Ekim	4325681,1	368,9	3161340,5	0,73
Kasım	4287551,8	365,4	3167246,3	0,74
Aralık	4939114,0	420,0	3613042,8	0,73

Ege Üniversitesi için gelecek 5 yıla ait enerji tüketim öngörüsü yapıldığı takdirde, belirlenen yaklaşık %8 oranına göre, Tablo 5.2’de görüldüğü gibi tahmin edilmektedir.

Tablo 5.2. Ege Üniversitesi gelecekteki enerji tüketim tahmini.

Yıl	Gelecekteki Tahmini Enerji Tüketimi (kWh)
2021	58.078.374,84
2022	62.742.644,83
2023	67.742.616,41
2024	73.162.025,73
2025	79.014.987,78

Ege Üniversitesi mevcut elektrik enerjisi ihtiyacını şebeke işletmecisi olan Türkiye Elektrik Enerjisi Dağıtım Şirketi’nden sağlamaktadır. Üniversitenin yıllık elektrik enerjisi tüketim miktarı 2016-2020 yıllarının ortalaması 59.345.211 kWh iken bu tüketim miktarı 2020 yılı için ise 53.776.273 kWh olarak gerçekleşmiştir. Bu tüketim bedeli 2020 yılı elektrik enerjisi birim fiyatları ile yıllık yaklaşık 40 Milyon \_TL / yıl karşılık gelmektedir. Elektrik enerjisi fiyatlarındaki artış göz önünde bulundurulduğunda önümüzdeki 5 yıl için ödenecek öngörülen maliyet miktarı Tablo 5.3’de gösterilmiştir.

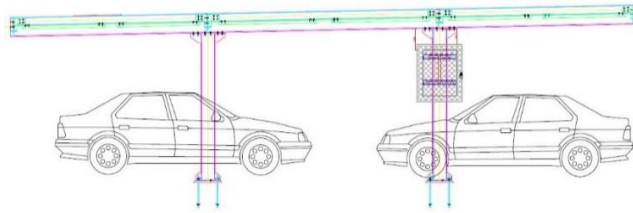
Tablo 5.3. Ege Üniversitesi 5 yıllık tahmini enerji tüketim maliyeti.

Yıl	Tahmini Enerji Tüketimi kWh	Birim Maliyet TL	Toplam Maliyet TL
2021	58.078.374,84	1,0587	61.487.575,44
2022	62.724.644,83	1,2175	76.367.568,70
2023	67.742.616,41	1,4001	94.848.520,33
2024	73.162.025,73	1,6102	117.801.862,24
2025	79.014.987,78	1,8517	146.309.912,91

## 5.2 Otoparklara Ait FV Güç Santrali Tasarımı

Fotovoltaik güç santrali tasarımı yapılırken ana kriterlerin göz önünde bulunması gerekir. Bu kriterler; bileşenlerin teknik özellikleri, birbiri ile uyumu, beklenen ömürleri, güvenilirlikleri ve garantileridir. Santralin tasarımı ve belgelendirmesinde, bileşenlerin ve kurulum metodolojisinin, uluslararası standartlara uygunluğunu dikkate alınmalıdır. Örneğin, sistemin en önemli bileşenlerinden fotovoltaik modülün ilgili standartlarla test edildiğini ve dış ortam şartlarını oluşturan testlerden geçtiğini ilgili standartlarla belgelenmesidir.

Bu çalışma kapsamında, Ege Üniversitesi kampüs alanında güneş enerji santrali kurulumu için belirlenen 6 otoparkın üç tanesi kampüs içinde, üç tanesi hastane civarında yer almaktadır. Araziler düz bir alana sahip olup santral kurulumuna uygundur. Bu tasarımın diğer bir önemli fonksiyonu da güneş panellerinin aracı yağmur, kar, toz gibi çeşitli kötü iklim şartlarından korunmasını sağlamaktır. Ayrıca panellerin otopark alanında konstrüksiyon üzerine montaj edilmesi ile de yer kullanımı açısından arazi optimizasyonu sağlamaktadır. Otopark GES, bunun gibi birçok avantaja sahip olması nedeniyle, son zamanlarda gerek işyerlerinin gerekse halka açık alanlarda birçok farklı boyutlarda bu tip tasarımlarının arttığı görülmektedir. Bu tez çalışması için alanlara yapılan örnek uygulama carport tasarımları Şekil 5.1’de çizim olarak gösterilmektedir.



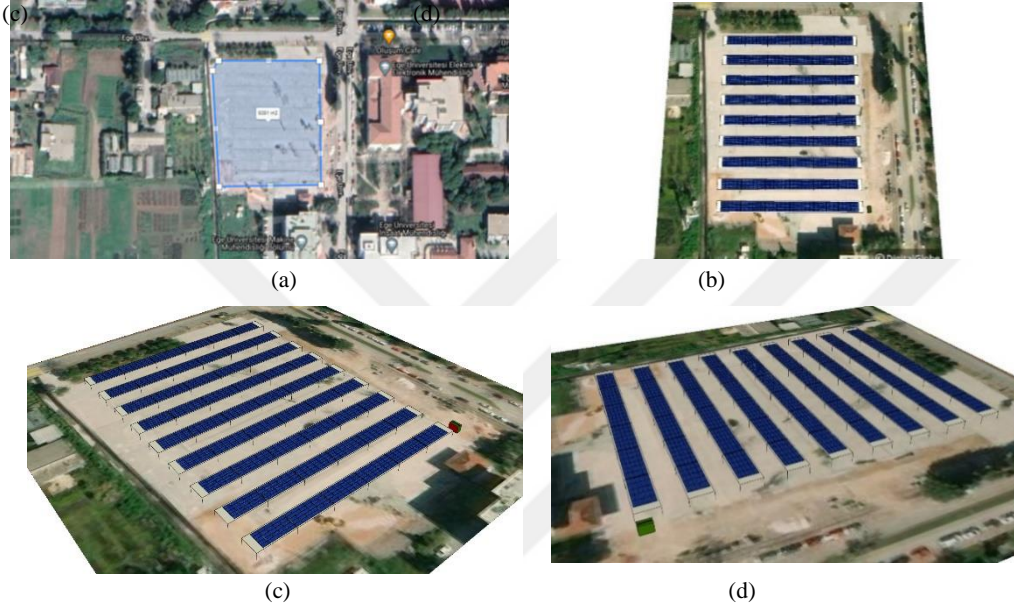
Şekil 5.1. Örnek tasarım otopark uygulama şeması.

Bu santrale ait tasarımda carport çelik taşıyıcı sistem üzerine uygun bir açı ile paneller konularak gölgelenme sağlanmıştır. FV modüller çatının sadece bir tarafına tek bir eğimli monte edilecek ve tüm alanlarda panel yerleşimi güneşe bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca, bu tip tasarım ilk yatırım maliyetinin azaltılmasına da katkı sağlayacaktır. Tasarımdan elde edilen FVGS çıkış değerleri

bazı parametrelere bağlıdır. Bunlar; modülün yönü, konumu, çatının eğimi ve modül üzerine düşen ışınlım miktarıdır.

#### OTOPARK 1 (MAKİNE MÜH. YANI)

- Toplam alan (yaklaşık): 9391 m<sup>2</sup>
- Koordinatlar. 38°27'10.67''K, 27°13'39.27''D



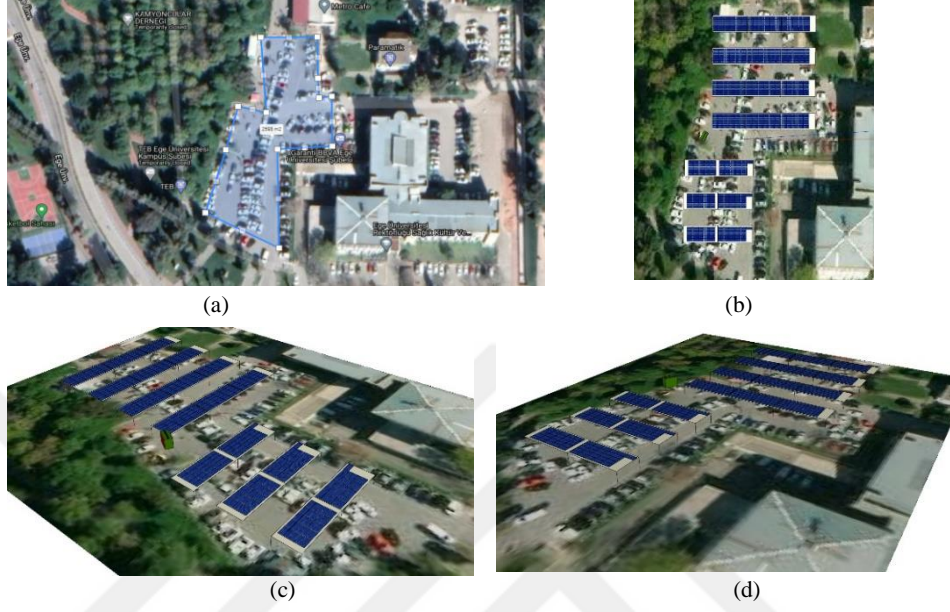
Şekil 5.2. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 1. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.

Şekil 5.2’de 1. Otoparka ait tesisin kurulacağı alanın google earth görüntüsü ve tasarımı yapılan güneş enerjisi santralinin farklı yönlerden görünüşleri gösterilmektedir. Bu otoparka ait GES tasarımında sonucunda, 1530 adet 445Wp yüksek verimlilikte mono-perc 144 hücreli yapıda fotovoltaik modül ile 9 adet 60kVA evirici kullanılmıştır. 17 adet modül birbirine seri bağlanacak şekilde toplamda 90 adet diziye ayrılmıştır. Bu alan için kullanılan modüllerin toplam alanı 3335,4 m<sup>2</sup>’dir. Bu tesise ait GES tasarım sonucu oluşan güç değerleri;

AA güç= 540kWe, DA güç= 680.85kWp olarak belirlenmiştir.

## OTOPARK 2 (MEDİKO YANI)

- Toplam alan (yaklaşık): 2598 m<sup>2</sup>
- Koordinatlar: 38°27'29.11"K, 27°13'43.96"D



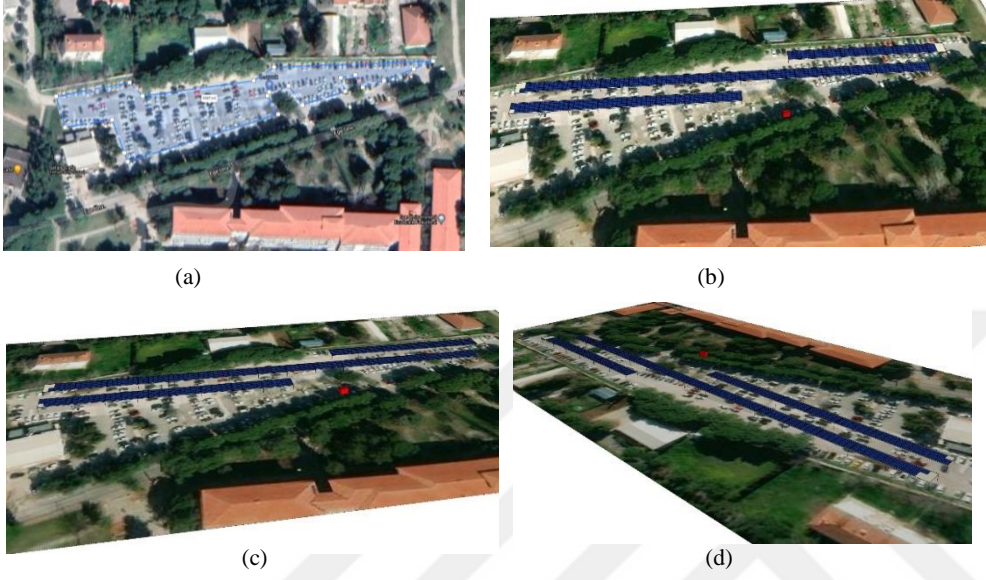
Şekil 5.3. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 2. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.

Şekil 5.3’de 2. Otoparka ait tesisin kurulacağı alanın google earth görüntüsü ve tasarımı yapılan güneş enerjisi santralinin farklı yönlerden görünüşleri gösterilmektedir. 2.otoparka ait GES tasarımında, 493 adet 445Wp yüksek verimlilikte mono-perc 144 hücreli yapıda fotovoltaik modül ile 3 adet 60kVA evirici kullanılmıştır. 17 adet modül birbirine seri bağlanacak şekilde toplamda 29 adet diziye ayrılmıştır. Bu alan için kullanılan modüllerin toplam alanı 1074,74 m<sup>2</sup> dir. Bu tesise ait GES tasarım sonucu oluşan güç değerleri;

AA güç= 180kWe, DA güç= 219.385kWp olarak belirlenmiştir.

## OTOPARK 3 (ECZACILIK F. ÖNÜ)

- Toplam alan (yaklaşık): 5397 m<sup>2</sup>
- Koordinatlar: 38°27'30.89"K, 27°13'31.08"D



Şekil 5.4. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 3. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.

Şekil 5.4'de 3. Otoparka ait tesisin kurulacağı alanın google earth görüntüsü ve tasarımı yapılan güneş enerjisi santralının farklı yönlerden görünüşleri gösterilmektedir. 3.otoparka ait GES tasarımında, 850 adet 445Wp yüksek verimlilikte mono-perc 144 hücreli yapıda fotovoltaik modül ile 5 adet 60kVA evirici kullanılmıştır. 17 adet modül birbirine seri bağlanacak şekilde toplamda 50 adet diziye ayrılmıştır. Bu alan için kullanılan modüllerin toplam alanı 1853 m<sup>2</sup> dir. Bu tesise ait GES tasarım sonucu oluşan güç değerleri;

AA güç= 300kWe, DA güç= 378.25kWp olarak belirlenmiştir.

#### OTOPARK 4 (HEMŞİRELİK ÖNÜ-B)

- Toplam alan (yaklaşık): 6477 m<sup>2</sup>
- Koordinatlar: 38°27'20.27"K, 27°12'57.80"D



(a)



(b)



(c)



(d)

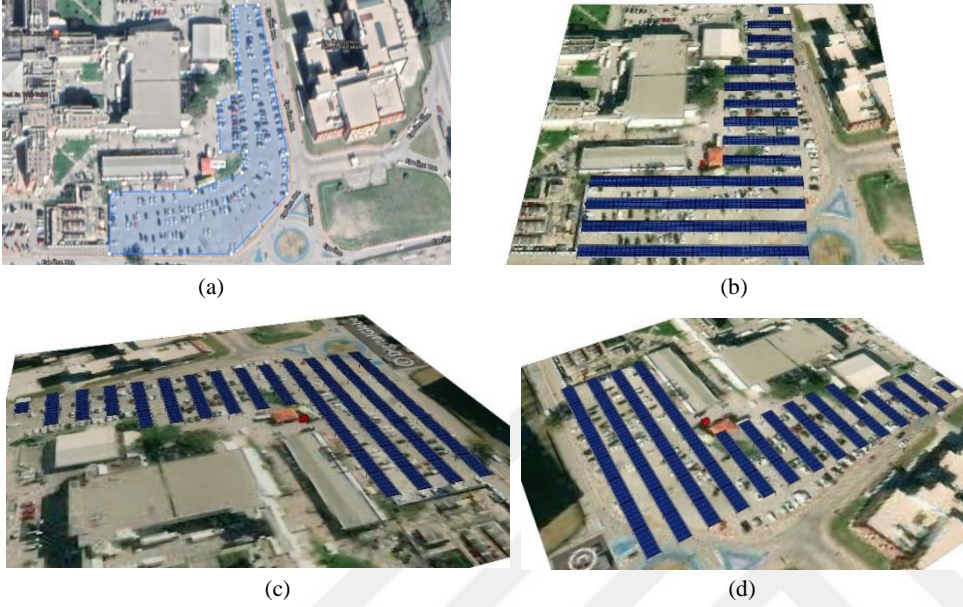
Şekil 5.5. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 4. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.

Şekil 5.5’de 4. Otoparka ait tesisin kurulacağı alanın google earth görüntüsü ve tasarımı yapılan güneş enerjisi santralının farklı yönlerden görünüşleri gösterilmektedir. 4.otoparka ait GES tasarımında, 1020 adet 445Wp yüksek verimlilikte mono-perc 144 hücreli yapıda fotovoltaik modül ile 6 adet 60kVA evirici kullanılmıştır. 17 adet modül birbirine seri bağlanacak şekilde toplamda 60 adet diziye ayrılmıştır. Bu alan için kullanılan modüllerin toplam alanı 2223,6 m<sup>2</sup>’dir. Bu tesise ait GES tasarım sonucu oluşan güç değerleri;

AA güç= 360kWe, DA güç= 453.9kWp olarak belirlenmiştir.

## OTOPARK 5 (HEMŞİRELİK ÖNÜ-C)

- Toplam alan (yaklaşık): 5397 m<sup>2</sup>
- Koordinatlar: 38°27'13.11"K, 27°12'55.66"D



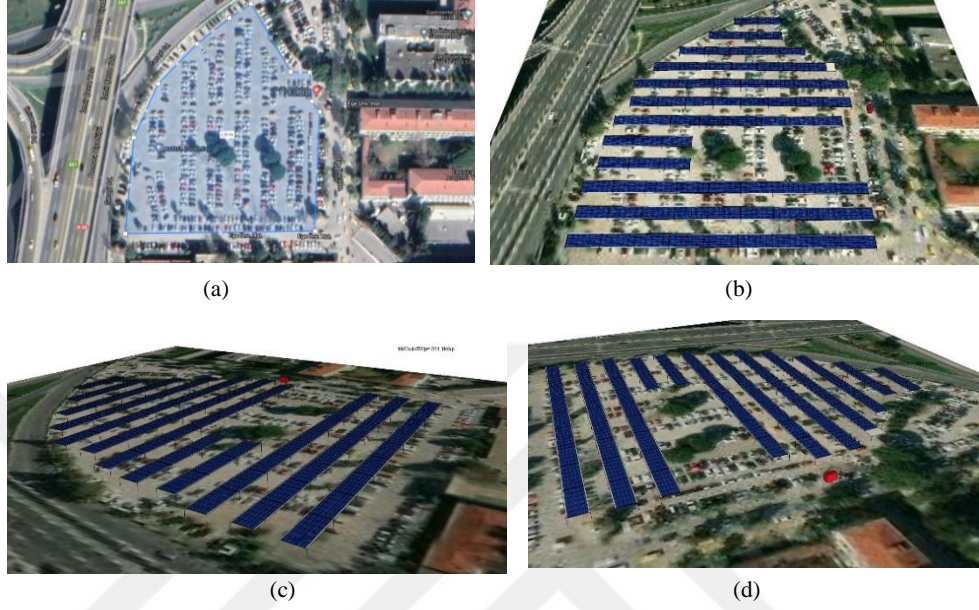
Şekil 5.6. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 5. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.

Şekil 5.6'da 5. Otoparka ait tesisin kurulacağı alanın google earth görüntüsü ve tasarımı yapılan güneş enerjisi santralının farklı yönlerden görünüşleri gösterilmektedir. 5.otoparka ait GES tasarımında, 1700 adet 445Wp yüksek verimlilikte mono-perc 144 hücreli yapıda fotovoltaiik modül ile 10 adet 60kVA evirici kullanılmıştır. 17 adet modül birbirine seri bağlanacak şekilde toplamda 100 adet diziye ayrılmıştır. Bu alan için kullanılan modüllerin toplam alanı 3706 m<sup>2</sup> dir. Bu tesise ait GES tasarım sonucu oluşan güç değerleri;

AA güç= 600kWe, DA güç= 756.5kWp olarak belirlenmiştir.

## OTOPARK 6 (GASTROENTOLOJİ ÖNÜ)

- Toplam alan (yaklaşık): 12900 m<sup>2</sup>
- Koordinatlar: 38°27'21.70"K, 27°12'26.21"D



Şekil 5.7. (a) Google earth görüntüsü, (b) üst görünüş, (c) güneybatı görünüşü, (d) güneydoğu görünüşü Sketchup 3D modelleme ile 6. Otoparka ait GES panel yerleşimi tasarımı.

Şekil 5.7’de 6. Otoparka ait tesisin kurulacağı alanın google earth görüntüsü ve tasarımı yapılan güneş enerjisi santralının farklı yönlerden görünüşleri gösterilmektedir. 6.otoparka ait GES tasarımında, 2210 adet 445Wp yüksek verimlilikte mono-perc 144 hücreli yapıda fotovoltaik modül ile 13 adet 60kVA evirici kullanılmıştır. 17 adet modül birbirine seri bağlanacak şekilde toplamda 130 adet diziye ayrılmıştır. Bu alan için kullanılan modüllerin toplam alanı 4817,8 m<sup>2</sup> dir. Bu tesise ait GES tasarım sonucu oluşan güç değerleri;

AA güç= 780kWe, DA güç= 983.45kWp olarak belirlenmiştir.

Ege Üniversitesi kampüsü İzmir’ de en büyük kampüs alanlarından birdir. Bu çalışma kapsamında Ege Üniversitesi’nin enerji tüketiminin bir kısmı kurulacak olan güneş enerjisi santralinden karşılanacaktır. Sistemin temel bileşenlerine ait elektriksel değerler aşağıda belirtilmiştir.

Sistemin temel elemanları; 2.760 kWe AA gücü, 3.472,335 kWp DA gücü şebekeye paralel bağlı fotovoltaik güç santralının sistem tasarımında çok fazla kullanılan Phono Solar markasının Twinplus Modül Serilerinden monokristal panelleri ile evirici seçimi için ise piyasada yaygın kullanılan anma çıkış gücü 60kVA olan Sunny Tripower SMA markası seçilmiştir. Tablo 5.4’de ve Tablo 5.5’de tasarımda seçilen modül ve eviriciye ait mekaniksel ve elektriksel değerler gösterilmektedir.

Tablo 5.4. GES tasarımında seçilen eviricinin özellikleri.

SUNNY TRIPOWER 60 (SMA)	
DA Giriş Değerleri	
Maksimum üretilen güç	90000 Wp
Nominal güç (DA)	61240 W
Maximum giriş voltajı	1000 V
MPP nominal voltaj aralığı (400Vac)	570 V -800 V
Maksimum giriş akımı / maksimum kısa devre akımı	100 A / 150 A
Maksimum AA görünür gücü	60000 VA
AA gerilim aralığı	360 V – 530 V
Maksimum verimlilik 400 Vac	% 98.0

Tablo 5.5. GES tasarımında seçilen modül özellikleri.

Phono Solar- Twinplus Modül Serileri	
	PS445M4-24/TH (STC)
Hücre Tipi	Si-mono
Hücre Teknolojisi	Multi basbar ve half-cut teknolojis
Boyutlar	L=2104mm, W=1040mm, H=40mm
Nominal güç (Pmpp)	445 Wp
Nominal akım (Impp)	10.8 A
Nominal gerilim (Vmpp)	41.21 V
Kısa devre akımı (Isc)	11.27 A
Kısa Devre Gerilimi (Voc)	49.06 A
Modül Verimi	% 20.34
Sıcaklık Dereceleri	
Gerilim sıcaklık katsayısı	-0.30 % /°C
Akım sıcaklık katsayısı	+0.05 % /°C
Güç sıcaklık katsayısı	-0.38 % /°C

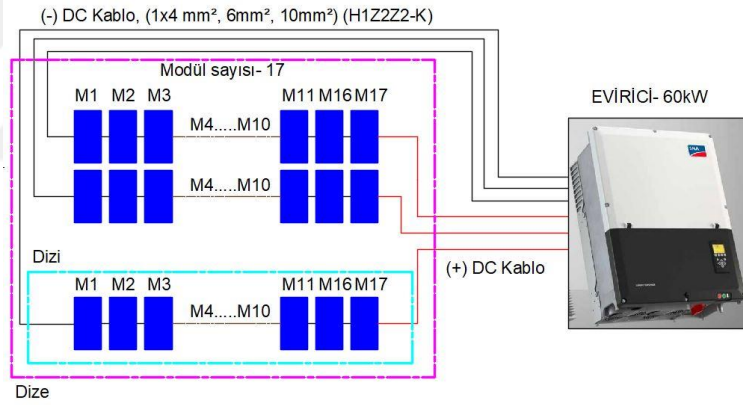
PANEL için STRING UYUMU HESAPLARI					
Rated Power (P <sub>mpp</sub> )	Rated Current (I <sub>mpp</sub> )	Rated Voltage (V <sub>mpp</sub> )	S.Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	O.Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	Serileme Panel Sayısı (ad.)
445	10,8	41,21	11,27	49,06	17
Voltage Temp. (%/°C)	Current Temp. (%/°C)	Power Temp. (%/°C)	En Düşük Sıcaklık (-°C)	En Yüksek Sıcaklık (+°C)	Standart Test Sıcaklığı (°C)
0,3	0,05	0,38	10	60	25
En Yüksek Sıcaklıkta String (V <sub>mpp</sub> ) Değeri					627,01 V
En Yüksek Sıcaklıkta String (V <sub>oc</sub> ) Değeri					746,45 V
En Düşük Sıcaklıkta String (V <sub>mpp</sub> ) Değeri					774,13 V
En Düşük Sıcaklıkta String (V <sub>oc</sub> ) Değeri					921,59 V
En Yüksek Sıcaklıkta String (I <sub>mpp</sub> ) Değeri					109,89 A
En Yüksek Sıcaklıkta String (I <sub>sc</sub> ) Değeri					114,67 A
1 INV için (P <sub>mpp</sub> ) Değeri					75650 W
Toplam String Sayısı (1INV için)					10
					80000

İNVERTER için STRING UYUMU HESAPLARI				
Min. MPP Voltage (V <sub>mpp</sub> )	Max. MPP Voltage (V <sub>mpp</sub> )	Max. DC Input Voltage (V <sub>dc</sub> )	Max. PV Input Current (I <sub>mpp</sub> )	Max. Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )
570	800	1000	110	150

PANEL ve İNVERTER UYUMU GÖSTERGELERİ			
	PANEL	İNVERTER	
En Yüksek Sıcaklıkta String (V <sub>mpp</sub> ) Uyumu	627,01	> 570	✓
En Düşük Sıcaklıkta String (V <sub>mpp</sub> ) Uyumu	774,13	< 800	✓
En Düşük Sıcaklıkta String (V <sub>oc</sub> ) Uyumu	921,59	< 1000	✓
En Yüksek Sıcaklıkta String (I <sub>mpp</sub> ) Uyumu	109,89	< 110	✓
En Yüksek Sıcaklıkta String (I <sub>sc</sub> ) Uyumu	114,67	< 150	✓

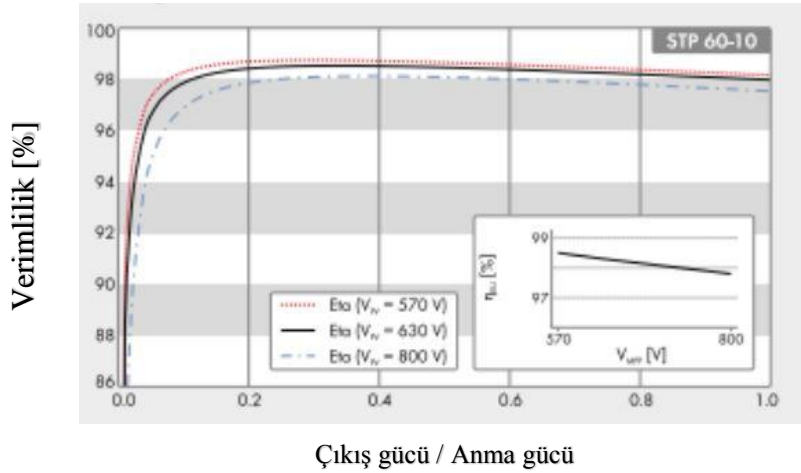
Şekil 5.8. Panel evirici uyum hesabı.

Tablo 5.8’de her bir alan için tasarımı yapılan GES’e ait panel evirici uyum hesabı gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Örnek FV tasarım şeması.

## Verimlilik Eğrisi



Şekil 5.10. Tasarımda seçilen eviriciye ait verimlilik eğrisi.

Tablo 5.9’de her bir santral için örnek FV tasarım şeması ve Tablo 5.10’da GES tasarımında kullan 60kVA evirciye ait verimlilik eğrisi gösterilmektedir.

Sistem tasarım hesaplamaları panel ve evirici kataloğundan alınan teknik değerler ile mevzuata uygun olacak şekilde yapılmaktadır. Bu hesaplamaların en temel özelliği sistem için en uygun evirici ve panel seçiminin yapılmasıdır. Bir GES tasarımı için yapılması gereken ilk hesaplamadır ve çok önemlidir. Çünkü her evirici her panelle uyumlu olmayabilir. Projenin yapılacağı lokasyona ait maksimum ortam sıcaklığı verisi ile sistemde oluşabilecek maksimum FV modül sıcaklığı belirlenerek, seri bağlı FV modüllerin oluşturacağı çalışma gerilimi ( $V_{mpp}$ ) değerinin, sistemde kullanılacak eviricinin MPPT çalışma gerilimi aralığında kalıp kalmadığı ve eviricinin verimli çalışma gerilimine olan yakınlığı kontrol edilmektedir. Ayrıca, minimum ortam sıcaklığı verisi ile birbirine seri bağlı FV modüllerin oluşturduğu açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) değerinin eviricilerin maksimum gerilim değerini geçmeyecek şekilde kontrol edilerek, birbirine seri bağlanacak modül sayısı belirlenmektedir.

Şekil 5.6’den da görüldüğü üzere, tasarımda seçilen panel ve evirici uyumludur ve hesaplamalar sonucu oluşan gösterge değerleri uygundur. Sistemde birbirine seri bağlanacak modül sayısı 17’dir. Tasarımda kullanılan eviriciye ait verim eğrisine bakıldığında evirici 570V ile 800V aralığında verimli çalışmaktadır.

Tablo 5.6. GES tasarım sonuçlarının AA-DA güç değerleri ve otopark alanların ölçüleri.

	OTOPARK ADI	AA kWe	DA kWp	Otopark Alanı (m <sup>2</sup> )
1	Otopark 1(Makine Mühendisliği Yanı)	540	680.85	9391
2	Otopark 2 (Mediko Binası Yanı)	180	219.385	2598
3	Otopark 3 (Eczacılık Fakültesi Önü)	300	378.25	5397
4	Otopark 4 (Hemşirelik Önü-B)	360	453.9	6477
5	Otopark 5 (Hemşirelik Önü- C)	600	756.5	5397
6	Otopark 6 (Gastroentoloji Bölümü)	780	983.45	12900
	TOPLAM	2.760	3.472,335	42.160

Tablo 5.7. GES tasarımı sonuçlarına göre panel, evirici ve dizi sayısı.

	OTOPARK ADI	Panel Sayısı	Evirici Sayısı	Dizi Sayısı
1	Otopark 1 (Makine Mühendisliği Yanı)	1530	9	90
2	Otopark 2 (Mediko Binası Yanı)	493	3	29
3	Otopark 3 (Eczacılık Fakültesi Önü)	850	5	50
4	Otopark 4 (Hemşirelik Önü-B)	1020	6	60
5	Otopark 5 (Hemşirelik Önü- C)	1700	10	100
6	Otopark 6 (Gastroentoloji Bölümü)	2210	13	130
	TOPLAM	7803	46	459

Bu çalışma kapsamında tasarımı genel olarak değerlendirdiğimizde, toplam 7803 adet 445Wp yüksek verimlilikte mono-perc 144 hücreli yapıda fotovoltaik modül ile 46 adet 60kVA evirici kullanılmıştır. Herbir eviricinin ilk 10 dizide 17 adet modül birbirine seri bağlanacak şekilde toplamda 459 adet diziye ayrılmıştır. Tasarımları yapılan santrallerin kurulacağı otopark alanların toplamı 42160m<sup>2</sup> olup toplam modüllerin alanı 17.010,54 m<sup>2</sup>'dir. Eviricinin 6 adet MPPT girişi ve bu girişe paralel bağlı 2 adet dizi girişi bulunmaktadır. DA bağlantılar MC-4 konektörler ile yapılacaktır. Her bir dizinin kablosu PV1-F 2x1x6 mm<sup>2</sup> olacaktır. Kurulumu yapılacak santrallerde tüm bileşenlerin son gelişmiş teknolojileri ile

tasarımları yapılmış olup bu seçim ile de çevreye zarar verecek etkenler azaltılmaktadır.

Kurulu güç değerine göre fotovoltaik sistemler güç sistemlerine farklı gerilim seviyesinden bağlanmaktadır. Genel olarak GES alçak gerilim (AG) veya yüksek gerilim (YG) seviyesinden şebekeye bağlanırlar. Bu çalışmada her bir santral şebekeye paralel bağlı olarak tasarlanmıştır. Ege Üniversitesi'nin şebeke sisteminden bahsedecek olursak; Ege TM ile Ege Yurtlar arası 4(1x150/25 mm<sup>2</sup> XLPE) kablosu ile girdi çıktı yapılarak Tedaş ve sayaç bölümünden oluşan M 290 DM ile dağıtım şebekesine bağlanmaktadır. Mevcut beton köşk içerisinde giriş çıkış hücreleri ve akım gerilim ölçü hücresi bulunmaktadır. Kampüsün enerjinin tüketiminin ölçümü primerden yapılmaktadır. Mevcut ölçü hücresindeki sayaç bağlantısı 3x175/5 A akım trafosu üzerinden yapılarak tüketilen enerji ölçülmektedir. Herbir FV santralin bağlantısı otopark alanının en yakınında bulunan trafo merkezinin AG barasından yapılacaktır. Ege Üniversite'nin enerji ölçümü OG'den yapıldığından buradaki elektronik sayaç GES için tesis edilmesi gereken çift yönlü sayaç değiştirilecektir. Ölçüm böylelikle tek noktadan yapılacak ve tek sözleşme gücü üzerinden mahsuplaşma sağlanacaktır. Bu santrallerin herbiri mevzuata uygun bir şekilde tasarımı yapılmıştır.

Şebekeye bağlı FV sistemler, domestik elektrik enerjisi dağıtım şebekesine bağlıdır. Bu şebekenin en önemli özelliği şehir şebekesine bağlanan ve gerektiğinde şebekeye enerji veren sistem olmasıdır. Bu sistemler iki çeşit olmaktadır. İlki, GES üretilen enerjiyi doğrudan satmak amaçlı kurulan tesisler olup en yakın dağıtım şebekesine bağlanarak daha az kayıplar oluşmaktadır. Diğerisi ise, yine GES santrallerinden üretilen enerjinin yatırımcısı tarafından yükleri için gerekli enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik tesislerdir. Ayrıca, enerji üretiminin yetersiz kaldığı durumlarda, gerekli enerjiyi şebekeden de temin edebilmektedir. Bu sistemlerde kayıpların en aza indirgenmesi amacıyla, enerjinin üretildiği yerde tüketilmesi büyük bir avantajdır.

Şebekeye bağlı sistemlerde birçok sorunlarla karşılaşmaktadır. Konumuz olan FV sistemin çıkış gerilim karakteristiğinin şebeke gerilimine, frekansına yakın olması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, enterkonnekte şebekeye bağlanan bir

sistemin şebeke güvenliği ve kalitesi açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, FV sistemde oluşabilecek sorunlar karşısında şebeke bağlantısı noktasında kontrol sistemlerin devreye girip arızanın şebekeye aktarılmasını önlemek gerekmektedir. Diğer taraftan da, şebekedeki sorunlar karşısında FV sistemde oluşacak arızalardan korunması gerekmektedir.

Türkiye elektrik şebekesi, 230 V ve 400V'dur. Faz\_nötr arası gerilim 230V, faz\_faz arası gerilim seviyesi 400V'dur. Frekans değeri 50Hz' dir. GES santrallerinde üretilen enerji DA olup, evirici ile AA seviyesine yükseltilir. EN 50160 standartına göre, alçak gerilimde nominal gerilimin % 10'nuna kadar bir farklılık söz konusudur (Arıcı ve Iskender, 2020). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğe göre, şebekeye paralel bağlı üretim santrallerinin şebekede oluşturabilecek çeşitli arızalar ve kısa devre arızası meydana geldiğinde şebeke ile bağlantısının kesilmesi gerekmektedir. FV sistemlerin bağlanacağı trafo değerleri Tablo 5.8'de gösterilmektedir.

Tablo 5.8. GES'nin bağlantı yapılacağı trafo güç değerleri.

	OTOPARK ADI	Trafo Güç Değerleri (kVA)
1	Otopark 1 (Makine Mühendisliği Yanı)	630
2	Otopark 2 (Mediko Binası Yanı)	630
3	Otopark 3 (Eczacılık Fakültesi Önü)	1000+630
4	Otopark 4 (Hemşirelik Önü-B)	630
5	Otopark 5 (Hemşirelik Önü- C)	1250
6	Otopark 6 (Gastroentoloji Bölümü)	1600
	TOPLAM	

### 5.3 GES Üretilen Enerji Miktarı

Tablo 5.9. GES tasarım sonuçlarına göre yıllık enerji üretim miktarları ve performans oranları.

	OTOPARK ADI	Ürettiği Enerji Miktarı (MWh/year)	Performans Oranı (%)
1	Otopark 1 (Makine Mühendisliği Yanı)	1035	85.26
2	Otopark 2 (Mediko Binası Yanı)	333.6	85.25
3	Otopark 3 (Eczacılık Fakültesi Önü)	575.2	85.25
4	Otopark 4 (Hemşirelik Önü-B)	690.3	85.26
5	Otopark 5 (Hemşirelik Önü- C)	1151	85.26
6	Otopark 6 (Gastroentoloji Bölümü)	1496	85.27
	TOPLAM	5281.1	

Tablo 5.9’da her bir santrale ait performans oranları gösterilmektedir. Performans oranını etkileyen birçok etmen bulunmaktadır. Ana başlıklar olarak sistemin tasarımı, kurulumu ve işletmesi olarak sıralayabiliriz.

Standart test koşullarında (STK) verimi %20.34 olan panellerin gerçekleşen dizi nominal enerjisi ve kayıplar çıkarıldığında şebekeye verilen yıllık enerji miktarları Tablo 5.10’da gösterilmiştir.

Tablo 5.10. GES tasarım sonuçlarına göre üretilen yıllık enerji miktarları ve şebekeye verilen enerji miktarları.

	OTOPARK ADI	Ürettiği Nominal Enerji Miktarı (MWh/year)	Şebekeye Verilen Enerji Miktarı (MWh/year)
1	Otopark 1 (Makine Mühendisliği Yanı)	1171	1035
2	Otopark 2 (Mediko Binası Yanı)	377	333.6
3	Otopark 3 (Eczacılık Fakültesi Önü)	650	575.2
4	Otopark 4 (Hemşirelik Önü-B)	780	690.3
5	Otopark 5 (Hemşirelik Önü- C)	1301	1151
6	Otopark 6 (Gastroentoloji Bölümü)	1691	1496
	TOPLAM	5970	5281.1

Her bir santralin fizibilite sonuçlarında yer alan enerji kayıp diyagramları ekler bölümünde verilmiştir.

#### **5.4 Fizibilite Sonuçları**

Ege Üniversitesi kampüsünde bulunan 6 adet otopark alanının her biri için ayrı ayrı fotovoltaik güneş enerji santrali fizibilitesi yapılmıştır. Bu çalışmada, şebekeye paralel bağlı bir fotovoltaik sisteminin tasarlanmasında, kayıp ve performans analizinin yapılmasında kullanılan PVsyst ve modelleme yapılan Sketchup programlarının daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmanın tasarımında şebekeye enerji verme durumunda ve enerji potansiyelinin yüksek olduğu dönemlerde enerji üretiminin sınırlanmasına gerek kalmamıştır. Diğer taraftan önemle belirtilmelidir ki, FV tesislerin mevcut dağıtım şebekesi üzerinde olumsuz etkilerini belirten birçok araştırma ve makaleler bulunmaktadır. Öncelikle GES sayısı ve boyutları arttıkça, dağıtım şebekesinin karşılaştığı yeni zorluklar ortaya çıkacağından bu sorunlara çözümlerin araştırılması ayrı bir çalışma konusudur.

Her bir santral için çalışmanın ilk adımı, Google Sketchup programında, güneş enerji santralinin temel bileşenlerinden konstrüksiyon yapısının gerçek ölçülerine göre üç boyutlu modelinin tasarlanmasıdır. Google Earth'ten her bir otopark alanının coğrafi enlemi, boylamı, yüksekliği ve yönelimine ait veriler alınmıştır. Panel yerleşimi yapılarak, FV tesisin kurulumunun gerçekleşeceği alanlar oluşturulmuştur. Panellerin konumlandırılacağı konstrüksiyon güneşe yönelimli, güneş azimut açıları sıfır olması ile panel yerleşimleri için tek panel açısı olacak şekilde belirlenmiştir. Paneller birbirlerine paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Eğim açısı, çatı eğimi ve araç yüksekliği baz alınarak modül tilt açısı  $1^\circ$  olarak belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan her bir alan ait fizibilitelerin raporlarının ana çıktıları aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur. PVsyst yazılımından elde edilen fizibilite raporlarının tamamı ayrıca ekte verilmiştir.

## OTOPARK 1 (MAKİNE MÜH. YANI)

İlk olarak, genel parametreleri içeren şebeke bağlantı sistemi ve yapıdaki tablolarıdır. Oryantasyonun açısı / azimuth değeri: 1 / 0°. Ufuk çizgisi- Ortalama yükseklik: 3.4°.

FV modülün karakteristiklerini sıralayacak olursak; modeli S445M4H-24/TH, birim güç değeri 445Wp, FV modül sayısı 1530 adet, modüllerin alanı 3348m<sup>2</sup>, hücre alanı 3018m<sup>2</sup>, tesiste modüller, 90 dizi x 17 seri bağlı şeklindedir ve toplam FV DA gücü nominal (STC) 681kWp.

Evirici özelliklerini sıralayacak olursak; model Sunny Tripower 60-US-10 (400V AA), birim nominal AA gücü 60kW, evirici sayısı 9 adet, toplam AA güç değeri 540 kW, çalışma gerilim aralığı 570-800V, nominal güç oranı (DA-AA) 1,26 (bu değer STC toplam kurulu gücün evirici çıkışındaki toplam güce oranıdır).

Bu tesiste kullanılan AA kablo 9 Adet 3x35 mm<sup>2</sup> NYY olarak seçilmiştir. Yaklaşık kablo metrajı 60m olarak alınmıştır.

Ana sonuçlar olarak normalize üretim, performans oranı ve enerji üretim dataları verilmektedir. Güneş enerjisi santralinden 1035,4 MWh/yıl enerji üretimi tahminlenmiştir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışımasını 1783,7 kWh/m<sup>2</sup> ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışımasını 1718,4 kWh / m<sup>2</sup>'dir. Bu etkili ışıma ile birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık 1062,9 MWh DA enerji ve 1035,4 MWh şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarıdır. Temmuz ayında şebekeye aylık 138,4MWh enerji miktarının aktarılması öngörülmüştür.

Fizibilite çıktısının en önemli parametrelerinden olan aylık performans oranı bar grafik olarak gösterilmiş ve değeri %85,26'dır. Üçüncü parametre ise spesifik verim ve değeri 1521 kWh/kWp/yıl'dır. Ayrıca, normalize üretim değeri yine aylık bar grafik olarak gösterilmiş ve Lc 0,61 kWh/kWp/gün, Ls 0,11 kWh/kWp/gün, Yf 4,17 kWh/kWp/gün'dür.

Bu santrale ait kayıp diyagramı ekte detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Yatay düzlemde küresel ışıma 1770 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Kollektör üzerindeki etkili

ışınım 1718 kWh/m<sup>2</sup>'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %20,35' dir. MPP'de yıllık dizi sanal enerjisi 1064 MWh'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıpları sıraladığımızda; sıcaklık nedeniyle %5,69, DA omik kayıp %0,96, AA omik kayıp %0,79, FV modülün düşük ışınlama ise %0,91, tozluluk kaybı %1 ve uyumsuzluk kaybı %2,10'dur. Evirici verimlilik kaybı %1,81 olup gölgeleme nedeniyle bir kayıp değeri bulunmamaktadır. Evirici çıkışında yıllık 1044 MWh enerji şebekeye aktarılmaktadır. Sonuç olarak, 1035 MWh/yıl bu sistemden üretilen enerji miktarıdır.

### OTOPARK 2 (MEDİKO YANI)

Genel parametreleri içeren şebeke bağlantı sistemi ve yapıdaki tablolarıdır. Oryantasyonun açısı / azimuth değeri: 1 / 0°. Ufuk çizgisi- Ortalama yükseklik: 3.5°.

FV modülün karakteristiklerini sıralayacak olursak; modeli S445M4H-24/TH, birim güç değeri 445Wp, FV modül sayısı 493 adet, modüllerin alanı 1079m<sup>2</sup>, hücre alanı 973m<sup>2</sup>, tesiste modüller, 29 dizi x 17 seri bağlı şeklindedir ve toplam FV DA gücü nominal (STC) 219kWp.

Evirici özelliklerini sıralayacak olursak; model Sunny Tripower 60-US-10 (400V AA), birim nominal AA gücü 60kW, evirici sayısı 3 adet, toplam AA güç değeri 180 kW, çalışma gerilim aralığı 570-800V, nominal güç oranı (DA-AA) 1,22 (bu değer STC toplam kurulu gücün evirici çıkışındaki toplam güce oranıdır).

Bu tesiste kullanılan AA kablo 3 Adet 3x35 mm<sup>2</sup> NYY olarak seçilmiştir. Yaklaşık kablo metrajı 63m olarak alınmıştır.

Ana sonuçlar olarak normalize üretim, performans oranı ve enerji üretim dataları verilmektedir. Güneş enerjisi santralinden 333,6 MWh/yıl enerji üretimi tahminlenmiştir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışınlama 1783,7 kWh/m<sup>2</sup> ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışınlama 1717,7 kWh / m<sup>2</sup>'dir. Bu etkili ışınlama birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık 342,44 MWh DA enerji ve 333,62 MWh şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarıdır. Temmuz ayında şebekeye aylık 44,62 MWh enerji miktarının aktarılması öngörülmüştür.

Fizibilite çıktısının en önemli parametrelerinden olan aylık performans oranı bar grafik olarak gösterilmiş ve değeri % 85,25'dir. Üçüncü parametre ise spesifik verim ve değeri 1521 kWh/kWp/yıl'dır. Ayrıca, normalize üretim değeri yine aylık bar grafik olarak gösterilmiş ve  $L_c$  0,61 kWh/kWp/gün,  $L_s$  0,11 kWh/kWp/gün,  $Y_f$  4,17 kWh/kWp/gün'dür.

Bu santrale ait kayıp diyagramı ekte detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Yatay düzlemde küresel ışınlanma 1770 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Kollektör üzerindeki etkili ışınım 1718 kWh/m<sup>2</sup>'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %20,35'dir. MPP'de yıllık dizi sanal enerjisi 342,6 MWh'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıpları sıraladığımızda; sıcaklık nedeniyle %5,69, DA omik kayıp %0,96, AA omik kayıp %0,79, FV modülün düşük ışınım ise %0,91, tozluluk kaybı %1 ve uyumsuzluk kaybı %2,10'dur. Evirici verimlilik kaybı %1,80 olup gölgelenme kayıp değeri %0,05'dir. Evirici çıkışında yıllık 336,3 MWh enerji şebekeye aktarılmaktadır. Sonuç olarak, 333,6 MWh/yıl bu sistemden üretilen enerji miktarıdır.

### OTOPARK 3 (ECZACILIK F. ÖNÜ)

Genel parametreleri içeren şebeke bağlantı sistemi ve yapıdaki tablolarıdır. Oryantasyonun açı / azimuth değeri: 1 / 0°. Ufuk çizgisi- Ortalama yükseklik: 3.4°.

FV modülün karakteristiklerini sıralayacak olursak; modeli S445M4H-24/TH, birim güç değeri 445Wp, FV modül sayısı 850 adet, modüllerin alanı 1860m<sup>2</sup>, hücre alanı 1677m<sup>2</sup>, tesiste modüller, 50 dizi x 17 seri bağlı şeklindedir ve toplam FV DA gücü nominal (STC) 378kWp.

Evirici özelliklerini sıralayacak olursak; model Sunny Tripower 60-US-10 (400V AA), birim nominal AA gücü 60kW, evirici sayısı 5 adet, toplam AA güç değeri 300 kW, çalışma gerilim aralığı 570-800V, nominal güç oranı (DA-AA) 1,26 (bu değer STC toplam kurulu gücün evirici çıkışındaki toplam güce oranıdır).

Bu tesiste kullanılan AA kablo 5 Adet 3x35 mm<sup>2</sup> NYY olarak seçilmiştir. Yaklaşık kablo metrajı 60m olarak alınmıştır.

Ana sonuçlar olarak normalize üretim, performans oranı ve enerji üretim dataları verilmektedir. Güneş enerjisi santralinden 575,2 MWh/yıl enerji üretimi tahminlenmiştir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışınlamı 1783,7 kWh/m<sup>2</sup> ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışınlamı 1718,2 kWh / m<sup>2</sup>'dir. Bu etkili ışınlamla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık 590,45 MWh DA enerji ve 575,18 MWh şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarıdır. Temmuz ayında şebekeye aylık 76,87 MWh enerji miktarının aktarılması öngörülmüştür.

Fizibilite çıktısının en önemli parametrelerinden olan aylık performans oranı bar grafik olarak gösterilmiş ve değeri % 85,25'dir. Üçüncü parametre ise spesifik verim ve değeri 1521 kWh/kWp/yıl'dır. Ayrıca, normalize üretim değeri yine aylık bar grafik olarak gösterilmiş ve Lc 0,61 kWh/kWp/gün, Ls 0,11 kWh/kWp/gün, Yf 4,17 kWh/kWp/gün'dür.

Bu santrale ait kayıp diyagramı ekte detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Yatay düzlemde küresel ışınlama 1770 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Kollektör üzerindeki etkili ışınlamı 1718 kWh/m<sup>2</sup>'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %20,35' dir. MPP'de yıllık dizi sanal enerjisi 591 MWh'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıpları sıraladığımızda; sıcaklık nedeniyle %5,68, DA omik kayıp %0,96, AA omik kayıp %0,79, FV modülün düşük ışınlamı ise %0,91, tozluluk kaybı %1 ve uyumsuzluk kaybı %2,10'dur. Evirici verimlilik kaybı %1,81 olup gölgelenme kayıp değeri %0,02'dir. Evirici çıkışında yıllık 580 MWh enerji şebekeye aktarılmaktadır. Sonuç olarak, 575 MWh/yıl bu sistemden üretilen enerji miktarıdır.

#### OTOPARK 4 (HEMŞİRELİK ÖNÜ-B)

Genel parametreleri içeren şebeke bağlantı sistemi ve yapıdaki tablolardır. Oryantasyonun açısı / azimuth değeri: 1 / 0°. Ufuk çizgisi- Ortalama yükseklik: 3.3°.

FV modülün karakteristiklerini sıralayacak olursak; modeli S445M4H-24/TH, birim güç değeri 445Wp, FV modül sayısı 1020 adet, modüllerin alanı 2232m<sup>2</sup>, hücre alanı 2012m<sup>2</sup>, tesiste modüller, 60 dizi x 17 seri bağlı şeklindedir ve toplam FV DA gücü nominal (STC) 454kWp.

Evirici özelliklerini sıralayacak olursak; model Sunny Tripower 60-US-10 (400V AA), birim nominal AA gücü 60kW, evirici sayısı 6 adet, toplam AA güç değeri 360 kW, çalışma gerilim aralığı 570-800V, nominal güç oranı (DA-AA) 1,26 (bu değer STC toplam kurulu gücün evirici çıkışındaki toplam güce oranıdır).

Bu tesiste kullanılan AA kablo 6 Adet 3x35 mm<sup>2</sup> NYY olarak seçilmiştir. Yaklaşık kablo metrajı 60m olarak alınmıştır.

Ana sonuçlar olarak normalize üretim, performans oranı ve enerji üretim dataları verilmektedir. Güneş enerjisi santralinden 690,3 MWh/yıl enerji üretimi tahminlenmiştir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı 1783,7 kWh/m<sup>2</sup> ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınımı 1718,3 kWh / m<sup>2</sup>'dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık 708,61 MWh DA enerji ve 690,27 MWh şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarıdır. Temmuz ayında şebekeye aylık 92,24 MWh enerji miktarının aktarılması öngörülmüştür.

Fizibilite çıktısının en önemli parametrelerinden olan aylık performans oranı bar grafik olarak gösterilmiş ve değeri %85,26'dır. Üçüncü parametre ise spesifik verim ve değeri 1521 kWh/kWp/yıl'dır. Ayrıca, normalize üretim değeri yine aylık bar grafik olarak gösterilmiş ve Lc 0,61 kWh/kWp/gün, Ls 0,11 kWh/kWp/gün, Yf 4,17 kWh/kWp/gün'dür.

Bu santrale ait kayıp diyagramı ekte detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Yatay düzlemde küresel ışıınlanma 1770 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Kollektör üzerindeki etkili ışıınım 1718 kWh/m<sup>2</sup>'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %20,35' dir. MPP'de yıllık dizi sanal enerjisi 709 MWh'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıpları sıraladığımızda; sıcaklık nedeniyle %5,68, DA omik kayıp %0,96, AA omik kayıp %0,79, FV modülün düşük ışıınım ise %0,91, tozluluk kaybı %1 ve uyumsuzluk kaybı %2,10'dur. Evirici verimlilik kaybı %1,81 olup gölgelenme kayıp değeri %0,02'dir. Evirici çıkışında yıllık 696 MWh enerji şebekeye aktarılmaktadır. Sonuç olarak, 690 MWh/yıl bu sistemden üretilen enerji miktarıdır.

## OTOPARK 5 (HEMŞİRELİK ÖNÜ-C)

Genel parametreleri içeren şebeke bağlantı sistemi ve yapıdaki tablolardır. Oryantasyonun açı / azimuth değeri: 1 / 0°. Ufuk çizgisi- Ortalama yükseklik: 3.3°.

FV modülün karakteristiklerini sıralayacak olursak; modeli S445M4H-24/TH, birim güç değeri 445Wp, FV modül sayısı 1700 adet, modüllerin alanı 3720m<sup>2</sup>, hücre alanı 3354m<sup>2</sup>, tesiste modüller, 10 dizi x 17 seri bağlı şeklindedir ve toplam FV DA gücü nominal (STC) 757kWp.

Evirici özelliklerini sıralayacak olursak; model Sunny Tripower 60-US-10 (400V AA), birim nominal AA gücü 60kW, evirici sayısı 10 adet, toplam AA güç değeri 600 kW, çalışma gerilim aralığı 570-800V, nominal güç oranı (DA-AA) 1,26 (bu değer STC toplam kurulu gücün evirici çıkışındaki toplam güce oranıdır).

Bu tesiste kullanılan AA kablo 10 Adet 3x35 mm<sup>2</sup> NYY olarak seçilmiştir. Yaklaşık kablo metrajı 60m olarak alınmıştır.

Ana sonuçlar olarak normalize üretim, performans oranı ve enerji üretim dataları verilmektedir. Güneş enerjisi santralinden 1151 MWh/yıl enerji üretimi tahminlenmiştir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışınımı 1783,7 kWh/m<sup>2</sup> ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışınımı 1718,5 kWh / m<sup>2</sup>'dir. Bu etkili ışınım ile birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık 1181,1 MWh DA enerji ve 1150,5 MWh şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarıdır. Temmuz ayında şebekeye aylık 153,8 MWh enerji miktarının aktarılması öngörülmüştür.

Fizibilite çıktısının en önemli parametrelerinden olan aylık performans oranı bar grafik olarak gösterilmiş ve değeri % 85,26'dır. Üçüncü parametre ise spesifik verim ve değeri 1521 kWh/kWp/yıl'dır. Ayrıca, normalize üretim değeri yine aylık bar grafik olarak gösterilmiş ve Lc 0,61 kWh/kWp/gün, Ls 0,11 kWh/kWp/gün, Yf 4,17 kWh/kWp/gün'dür.

Bu santrale ait kayıp diyagramı ekte detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Yatay düzlemde küresel ışınlanma 1770 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Kollektör üzerindeki etkili ışınım 1718 kWh/m<sup>2</sup>'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %20,35' dir. MPP'de yıllık

dizi sanal enerjisi 1182 MWh'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıpları sıraladığımızda; sıcaklık nedeniyle %5,69, DA omik kayıp %0,96, AA omik kayıp %0,79, FV modülün düşük ışınlım ise %0,91, tozluluk kaybı %1 ve uyumsuzluk kaybı %2,10'dur. Evirici verimlilik kaybı %1,81 olup gölgelenme kayıp değeri bulunmamaktadır. Evirici çıkışında yıllık 1160 MWh enerji şebekeye aktarılmaktadır. Sonuç olarak, 1151 MWh/yıl bu sistemden üretilen enerji miktarıdır.

#### OTOPARK 6 (GASTROENTOLOJİ ÖNÜ)

Genel parametreleri içeren şebeke bağlantı sistemi ve yapıdaki tablolarıdır. Oryantasyonun açısı / azimuth değeri: 1 / 0°. Ufuk çizgisi- Ortalama yükseklik: 3.2°.

FV modülün karakteristiklerini sıralayacak olursak; modeli S445M4H-24/TH, birim güç değeri 445Wp, FV modül sayısı 2210 adet, modüllerin alanı 4836m<sup>2</sup>, hücre alanı 4360m<sup>2</sup>, tesiste modüller, 130 dizi x 17 seri bağlı şeklindedir ve toplam FV DA gücü nominal (STC) 983kWp.

Evirici özelliklerini sıralayacak olursak; model Sunny Tripower 60-US-10 (400V AA), birim nominal AA gücü 60kW, evirici sayısı 13 adet, toplam AA güç değeri 780 kW, çalışma gerilim aralığı 570-800V, nominal güç oranı (DA-AA) 1,26 (bu değer STC toplam kurulu gücün evirici çıkışındaki toplam güce oranıdır).

Bu tesiste kullanılan AA kablo 13 Adet 3x35 mm<sup>2</sup> NYY olarak seçilmiştir. Yaklaşık kablo metrajı 60m olarak alınmıştır.

Ana sonuçlar olarak normalize üretim, performans oranı ve enerji üretim dataları verilmektedir. Güneş enerjisi santralinden 1496 MWh/yıl enerji üretimi tahminlenmiştir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışınlımı 1783,7 kWh/m<sup>2</sup> ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışınlımı 1718,5 kWh / m<sup>2</sup>'dir. Bu etkili ışınlımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık 1535,5 MWh DA enerji ve 1495,8 MWh şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarıdır. Temmuz ayında şebekeye aylık 190,5 MWh enerji miktarının aktarılması öngörülmüştür.

Fizibilite çıktısının en önemli parametrelerinden olan aylık performans oranı bar grafik olarak gösterilmiş ve değeri % 85,27'dır. Üçüncü parametre ise spesifik verim ve değeri 1521 kWh/kWp/yıl'dır. Ayrıca, normalize üretim değeri yine aylık bar grafik olarak gösterilmiş ve  $L_c$  0,61 kWh/kWp/gün,  $L_s$  0,11 kWh/kWp/gün,  $Y_f$  4,17 kWh/kWp/gün'dür.

Bu santrale ait kayıp diyagramı ekte detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Yatay düzlemde küresel ışınlama 1770 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Kollektör üzerindeki etkili ışınım 1718 kWh/m<sup>2</sup>'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %20,35' dir. MPP'de yıllık dizi sanal enerjisi 1537 MWh'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıpları sıraladığımızda; sıcaklık nedeniyle %5,68, DA omik kayıp %0,96, AA omik kayıp %0,79, FV modülün düşük ışınım ise %0,91, tozluluk kaybı %1 ve uyumsuzluk kaybı %2,10'dur. Evirici verimlilik kaybı %1,81 olup gölgelenme kayıp değeri bulunmamaktadır. Evirici çıkışında yıllık 1508 MWh enerji şebekeye aktarılmaktadır. Sonuç olarak, 1496 MWh/yıl bu sistemden üretilen enerji miktarıdır.

Her bir alan için tasarımı yapılan güneş enerjisi santralının fizibilite sonuçlarına göre, FVGS Ege Üniversitesi Kampüsünün yük talebinin tamamını karşılamadığı görülmektedir. Bu nedenle, her bir santral şebekeye paralel bağlı olacak ve enerji gereksiniminde şebekeden enerji çekimi devam edecektir. Ayrıca, tasarımda enerji potansiyelinin yüksek olduğu dönemlerde enerji üretiminin sınırlandırılmasına gerek kalmamıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayinin gelişmesi, nüfus artışı ve tüketim alışkanlıkları enerji talebini günden güne artırmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan geleneksel fosil yakıtların neden olduğu ekonomik ve çevresel kaygılardan dolayı alternatif ve temiz enerji kaynaklarına arayış başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretiminde sınırlı ve tükenmekte olan fosil yakıtların kullanılması ile ortaya çıkan çevre kirliliğine, iklim değişikliğine, dünya da yaşanan enerji krizlerine ve enerji de dışa bağımlılığı azaltmada etkili bir çözüm niteliğindedir. Böylelikle son dönemde sektörün hızlı gelişen yeni teknolojileri ile enerji tedarikinde temiz enerjiye dayanan sürdürülebilir ve güvenilir geleceğe giden yolculuk başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en popüler olanı güneş enerjisidir. Güneş enerjisi temiz, kendini yenileyen, giderek maliyeti azalan ve sonsuz bir enerji kaynağı olmasıyla kaynaklar arasında en başta yer almaktadır. Günümüzde gelişen teknolojisi ve düşen maliyeti ile dünya da FV sistemlerin kurulumunda çok büyük artış gözlenmektedir. Görünüyor ki, dünya genelinde, ülkelerin gelecekteki elektrik üretim planlarının yenilenebilir enerji kaynaklarından olması ile çok yakın gelecekte de yüksek üretim kapasitesine sahip olan FV sistemlerin şebekeye bağlanmaları ucuz ve temiz enerji kullanımını artıracaktır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kesikli karakterde olduğundan şebeke bağlantısı veya ilerde depolama zorunluluğunu meydana getirecektir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin batısında yer alan İzmir ili, Bornova İlçesinde Ege Üniversitesi Kampüsü'nün güneş enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Aynı zamanda kampüs içinde kurulumu planlanan şebekeye paralel bağlı bir fotovoltaik güç sisteminin üreteceği enerji miktarı ile mevcut enerji tüketiminin karşılaştırılması yapılmıştır. Ege Üniversitesi kampüsü için monokristal paneller kullanılarak toplamda 2.760kWe AA gücü ve 3.472,335 kWp DA gücüne sahip 6 adet otoparkta mevzuata uygun güneş enerjisi santrali tasarımı yapılmış ve enerji üretim sonuçları analiz edilmiştir. GES tasarımı ile elektrik üretimi üzerine araştırma çalışmaları PVsyst simülasyon programı ile yapılmıştır. Literatürde kullanılan uluslararası değerlendirme parametrelerine göre, PVsyst simülasyon programının güvenilir bir

yazılım programı olması özelliği nedeniyle yapılan enerji üretim tahminleri hassas ve gerçeğe yakındır.

Çalışma sonucu gösteriyor ki kurulacak olan 6 adet GES'in üreteceği 5281,1MWh enerji miktarı Ege Üniversitesi için gerekli olan enerji ihtiyacının yaklaşık % 10'nunu karşılamaktadır. Bu çalışmanın devamı olarak, geriye kalan enerji ihtiyacı için kampüsün diğer alanlarında santral kurmaya yönelik tasarım çalışmaları yapılarak araştırmalar devam edilebilir. Ayrıca, kampüs alanı içinde yer alan farklı güç ve koşullara göre bu çalışma baz alınarak diğer uygulamalar için de fayda sağlayabilir (Akcan vd., 2020). Ek olarak, Ege Üniversitesi kampüsü için tasarıma uygun santralin kurulması durumunda ekonomik olarak bazı noktalarda uygun maliyet seçenekleri mevcuttur. Örneğin, arazi bedeli yoktur ve her bir alanın trafo merkezleri santralin kurulacağı alana çok yakın olduğundan AA kablo maliyetleri de daha düşük olacaktır.

Bunların yanı sıra, bir FV güneş enerjisi santralinin tasarımı ve uygulamasında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar dikkat çekmiştir. Öncelikle, santralin kurulacağı alana ait doğru verilerin bulunması önemlidir. Bu veriler, proje lokasyon bilgisini gösteren Google earth dosyası (.kmz, .kml), koordinatlar, uydu görseli, vaziyet planında veya uydu görselinde işaretli mevcut ana dağıtım panosu ve trafo odasının yeri, vaziyet planında veya uydu görselinde işaretli eviricilerin kurulacağı GES ana dağıtım panosunun yerinin öngörülmesi, mevcut tesisin tek hat şeması vb. bilgilerdir. Ayrıca, panellerin montajının yapılacağı konstrüksiyonun lokasyonu, statifi, gölge etmenleri ile kirlilik durumlarının mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu sistemlerin mevzuata uygun olmasındaki temel zorunluluk GES tasarımlarının ulusal ve uluslararası standartlara uyulmasının gerekliliğidir.

Bir FV santrale ait fizibilitenin ana sonuçlarından biri üreteceği enerji miktarıdır. Projenin lokasyonu da üretilecek enerji miktarını belirlemektedir. Bu nedenle, simülasyonda gerekli olan yeryüzüne düşen yatay ışınım değeri, yeryüzüne düşen dağınık yatay ışınım değeri gibi meteorolojik verilerin doğru ve güvenilir olması çok önemlidir. Bu çalışmada meteorolojik veriler Solargis programından alınmıştır. Solargis ücretli bir yazılım programıdır fakat sektörde

uccretsiz birçok farklı meteorolojik veri sağlayan programlarda bulunmaktadır. Ayrıca, panellerin dizi sayısının tasarımı için kullanılan yıllık ortalama ve maksimum – minimum ortam sıcaklığı ve statik hesaplar için kullanılan maksimum rüzgâr hızı verileri T.C. Çevre, Şehircilik ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilebilir.

Bir FV santral tasarımında en temel bileşen modül ve eviricidir. Bu bileşenlerin seçimi teknik ve ekonomik açıdan çok önemlidir. FV hücrelerde yarı-iletken malzemesi olarak kullanılan kristal silisyum teknolojisi oksijenden sonra yeryüzünde çok fazla bulunan elementtir. Silisyum doğada saf şekilde bulunmaz. Birtakım işlemler sonucu hücre haline getirilir. Örneğin, silisyum yüksek sıcaklıkta yapılan işlemler sonunda silisyumdioksit bileşiğinden ayrılır. Kristal silisyum hücrelerin üretime dayalı farklı işlemler sonrasında monokristal silisyum, polikristal silisyum ve ribbon silisyum hücre olmak üzere üç çeşidi oluşmaktadır.

Monokristal silisyumun dezavantajı saflaştırılma işleminin uzun, maliyetli ve fazla enerji gerektirmesidir. Polikristal silisyum hücreleri elektriksel özellikleri açısından monokristal hücrelerle aynı olmasına rağmen üretim sürecinde monokristal hücreye göre daha ucuz ve daha az enerjiye gerek duymaktadır. Verimlilik açısından bakıldığında, monokristal hücrenin verimliliği polikristal hücrenin verimliliğinden daha yüksektir (Cebeci, 2017). Modül verimliliği araştırma içinde de yer alan birçok farklı nedenden dolayı azalmaktadır. Bu da, sistem verimliliğini dolayısıyla enerji üretim miktarının takip eden yıllarda düşeceği demektir. Enerji üretiminde etken olan hava durumuna bağlı diğer değişkenler sıcaklık, bulutlu gün sayısı, hava tahminlemesi ve panel üzerindeki kir, toz gibi konular sıralanabilir.

Diğer bir önemli konu ise santralin bağlanacağı tesisin mevcut altyapı bilgisidir. Bu bilgi önemlidir. Çünkü, şebekeye paralel bağlı bir sistemde enerji gereksinimi durumunda şebekeden enerji çekimi devam edecektir. Enerjinin bu geçişleri OG'den bağlı tesislerde otoprodüktör hücreleri ile AG'den bağlı tesislerde ise GES koruma rölesi ile yapılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucu görüldüğü gibi bir FVGS üreteceği enerji miktarı birçok parametreye bağlıdır. Santrallerde kullanılan farklı panellerin marka ve kalitesi ile santralden beklenen üretim değerlerinin farklılık göstereceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, santrallere ait yapılan tasarımların programlar ile benzetim yapılarak doğrulanması uygun bir yaklaşımdır. Mühendislik yaklaşımı ile incelenmesi gereken FV sistemlerin tasarımlarının hesaplamaları, uygulamaları ve işletme bakımları yürürlükte olan son şartnameler, standartlar ve mevzuata uygun bir şekilde yapılması önem arz etmektedir. Bir GES en önemli çıktısı olan performans oranının büyük olması o santrale ait birçok başarıyı gösterir. Bu başarıda, FV santralde kullanılacak malzemelerin doğru seçimleri ve sistem tasarımı iki önemli kriterdir.

Bu çalışmanın diğer önemli amacı, yeşil kampüs kavramı ile güneş enerjisi potansiyelini kullanarak, kampüs içerisinde otopark tipi bir FV sistemin detaylı tasarımının yapılarak akademik çalışma olarak gösterilmesidir. Literatürde birçok bu yönde buna benzer çalışmalar olduğu gözlemlenmiştir.

İnsanların doğa ile en verimli şekilde bütünleşmesini sağlamak, orada yaşayan insanların sağlığını korumak, çalışanların verimliliğini artırmak, su, enerji ve diğer kaynakları doğru kullanmak için eğitim hayatımıza yeşil kampüslerin entegrasyonu gereklidir. Kampüs alanlarındaki kaynakların daha verimli kullanılmasının yanı sıra en olumsuz çevresel etkilerin azaltılmalarında açık ve yeşil alan düzenlemeleri önemlidir. Bu noktada üniversite yönetiminin ve yerel yönetimin işbirliği ve duyarlılığı gerekmektedir. Dünyada yeşil kampüs misyonuna sahip birçok gelişmiş üniversite bulunmaktadır. Türkiye'de de yeşil kampüs örnekleri hızla artmaktadır. Tüm üniversitelerin bu uzlaşmaya varabilmesi için devlet teşviki önemlidir (Demiroğlu et al., 2017). Yeşil kampüs girişimleri, dünyada sürdürülebilirliği teşvik etmek ve desteklemek için öne çıkan kanallardan biri olabilir. Yeşil kampüsler, uluslararası değerlendirmeler dışında ulusal değerlendirmelere de tabi olmalıdır.

Sürdürülebilir kalkınma için yapılandırılmış stratejilerin kullanılmasıyla üniversiteler, yalnızca şehrin üzerindeki çevresel yükü azaltmakla kalmayıp aynı zamanda çevreye duyarlı davranış ve faaliyetler geliştirmek için kamuoyunu ve

vatandaşların davranışlarını etkileyebilecek eko-kampüsleri aktif olarak oluşturabilirler (Fadeeva and Cherkasova, 2021). Eko-yenilikler, hümanist, çevre dostu ve yasal fikirlerin bir konsantrasyonu olan insan için temiz bir çevre hakkını doğurur. Bu nedenle üniversiteler bu başarı için kritik paydaşlardır. Bir kampüs, çeşitli yeşil girişimleri, yeni teknolojik uygulamaları ve üniversite sakinlerinin bilinçlendirilmesi ile sürdürülebilirlik ve çevre dostu kampüs örneği haline gelirse, çevreye duyarlı yetişkinler sosyal ve çevresel olarak sorumlu vatandaşlar haline gelebilirler (Tiyarattanachai and Hollmann, 2016).

Yeşil, sürdürülebilir ve döngüsel bir ekonomiye ulaşmanın en hızlı yolu yenilenebilir enerji kaynakları ile enerjinin sağlanmasıdır. Bu yolda, varolan fosil kaynaklı enerji üretim zincirine alternatif olarak sürdürülebilir bir sisteme yönlendirilmelidir. Sürdürülebilir kalkınmada kilit rol oynayan etmenler arasında başlıca üniversiteler yer almaktadır. İklim krizi gibi küresel bir meselenin en kritik çözümü Yeşil Enerji'ye geçiştir. Bu doğrultuda, üniversiteler, kamu kurumları ve diğer kuruluşlar arasındaki çok güçlü iletişim, iş birliği ve benimsedikleri enerji politikaları ile bu sorunun üstesinden gelinebilir. Güvenilir bir gelecek için sürdürülebilir ve çevre dostu bir kalkınmanın önünü açacak enerji dönüşümü yatırımları planlanmalıdır. Ayrıca, iklim ve enerji politikaları ile dönüşüm süreçleri önemli ölçüde hızlandırılmalı ve artan vurgu ile yeni düzenlemeler getirilmelidir. Uygulamalarda stratejik planlamaya uygun yatırımların koordinasyonunun sağlanması ve denetlenmesi verimsiz yatırımları önleyeceğinden merkezi bir mekanizma oluşturulmalıdır.

Özetle, bu tezin içeriği güneş enerjisine genel bir bakış açısı ile İzmir Bornova'da yer alan Ege Üniversitesi kampüs alanının güneş enerjisi üretim potansiyelleri, güncel mevzuat ve teşvikler ile gelinen son durum bilgileri aktarılarak ve ayrıca güneş enerjisi üretim teknolojileri incelenmesi ile aydınlatıcı bilgiler sunulmaktadır. Ek olarak, yeşil bir üniversite olmak, paydaşların kampüs yaşam kalitesi hakkındaki olumlu algılarını artıracak ve sürdürülebilirlik konusunda daha iyi bir farkındalık yaratılmasına yardımcı olacaktır. Yeşil kampüs konseptine geçiş sürecinde Ege Üniversitesi paydaşlarının güneş enerjisi hakkında bilinçlenmesi ve yenilenebilir enerjilere daha hızlı ve aktif bir geçiş imkanı sağlaması üniversitenin temel amaçları arasındadır. Üniversitenin enerji ihtiyacının

bir kısmının karşılanması, çevresel problemlerin çözülmesinde ve otopark alanlarının kullanımında optimizasyonun sağlanması açısından Ege Üniversitesi Kampüs alanı için taşıdığı önem ayrıca vurgulanmaya çalışılmıştır.

Tez çalışması süresince yapılan tüm araştırmalarda görülüyor ki, enerjide fosil kaynaklı üretim yöntemleri yerine çevreci, sürdürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarının planlanması ve bu kaynakların teknolojilerinin daha çok geliştirilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji üretiminde uzun vadeli planlamalar yapılmalı ve güncel mevzuata uygun projeler hazırlanmalıdır.

Küresel iklim değişikliğine neden olan karbondioksiti üretmeden, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerjiyi üretmek mümkündür. Güneş çevre dostu olduğu kadar sürdürülebilirlik açısından da sonsuz bir enerji kaynağıdır. Enerjiye erişim konusunda güneş enerjisi göz ardı edilemeyecek kadar hayatımızda çok önemli bir yere sahip olduğu kabul edilmelidir. Bu tez çalışmasının kaynağı GES konusunda yatırım yapılması çalışmalarının bir parçası olarak Ege Üniversitesi yöneticilerinin yol gösterici olmasıdır. Bu konudaki diğer çalışmalarla birlikte olumlu sonuçlar alınacağına inancımın tam olduğunu belirtmek isterim.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akar, A.**, 2016, Bir Güneş Enerji Santralının Kurulumu ve Performansının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 106s.
- Akcan, E., Kuncan, M. ve Minaz, M. R.**, 2020, PVsyst Yazılımı İle 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18: 248-261s.
- Akdeniz, E.**, 2006, *Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin şebekenin enerji kalitesi ve kararlılığına etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 124s.
- Akova, İ.**, 2008, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Aksungur, K. M., Kurban, M. ve Filik, Ü. B.**, 2013, Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 3-6.
- Alboaouh, K. A. and Mohagheghi, S.**, 2020, Impact of rooftop photovoltaics on the distribution system, *Journal of Renewable Energy*, 2020, 23p.
- Alkan, S. ve Yavuz, A.**, 2020, Çatı Üzeri Doğu-Batı Yönelimli Optimizerli Güneş Enerji Sisteminin Güney Yönelimli Sisteme Göre Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19: 375-385s.
- Arıcı, N. ve Iskender, A.**, 2020, Fotovoltaik Güneş Santrallerinde Şebeke Bağlantı Sorunları ve Çözümleri, *Politeknik Dergisi*, 23(1): 215-222s.
- Ayran, Z. A. ve Aslan, Y.**, 2020, Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralının Ekonomik Analizi, *Journal of Scientific Report-C*, 1: 17-37s.
- Bilim, U. E.** Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. *International Journal*, 31:120-655s.
- Boztepe, M.**, 2017, Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni*, 321, 13-17s.
- Cubukcu, M. and Gumus, H.**, 2020, Performance Analysis Of A Grid-Connected Photovoltaic Plant In Eastern Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39: 100724p.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çelik, A. N. ve Koç, F.**, 2020, Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin IV Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Doğrulanması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(4): 2491-2515s.
- Demiroğlu, D., Cengiz, A. E. and Karadağ, A.**, 2017, Evaluation of the Green Campus Approach on the Campuses in Turkey. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 1(1): 53-65s.
- Deniz, E.**, 2013, Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar, 14s.
- Detrick, A.; Kimber, A. and Mitchell, L.**, 2005, Performance Evaluation Standards for Photovoltaic Modules and Systems, Conference Record of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference, 1581-1586 pp.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü**, "İl ve İlçelerimize Ait İstatistik Veriler", <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=IZMIR> (Erişim tarihi: 20 Şubat 2022).
- Ege Üniversitesi**, "Yeşil Üniversite Rehberi", [http://euatik.ege.edu.tr/files/euatik/icerik/yesil\\_universite.pdf](http://euatik.ege.edu.tr/files/euatik/icerik/yesil_universite.pdf) (Erişim tarihi: 30 Mart 2022).
- El-Sayed, M. M., Abou El-Ela, A. A. and El-Sehiemy, R. A.**, 2016, Effect of Photovoltaic System on Power Quality in Electrical Distribution Networks, 2016 *Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 1005-1012 pp.
- EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu)**, "Elektrik Piyasası Yıllık Rapor-Elektrik Piyasası Gelişim Raporları Listesi, 2020 Yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu", <http://epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari> (Erişim tarihi: 30 Mart 2022).
- EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu)**, "Elektrik Piyasası Yıllık Rapor-Elektrik Piyasası Gelişim Raporları Listesi, 2013 Yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu", <http://epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyillik-sektor-raporu> (Erişim tarihi: 13 Ağustos 2022).

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu)**, "Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği Kapsamındaki Bedeller", <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1853/luy-31-madde-kapsami-bedeller> (Erişim tarihi: 3 Mart 2022).
- Fadeeva, M. and Cherkasova, O.**, 2021, Green University Garden Towards Region Sustainability. *Journal of Sustainability Perspectives*, 1(2): 142-147pp.
- Fraunhofer ISE**, 2022, "Photovoltaics Report", <https://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/studien/photovoltaics-report.html> (Erişim tarihi: 15 Nisan 2022).
- Gandasari, I., Hotimah, O. and Miyarsah, M.**, 2020, Green Campus As a Concept in Creating Sustainable Campuses, *KnE Social Sciences*, 1-9 pp.
- Gepa**, "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası", <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim tarihi: 20 Mart 2022).
- Güner, S. ve Muharremoğlu, A.**, 2020, Bir Havalimanı Otoparkına Kurulabilecek Fotovoltaik Üretim Sisteminin Tasarımı ve Enerji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19: 182-188s.
- Hacettepe Üniversitesi**, "Yeşil Kampüs: Kapsam Uygulama Yönetim", <http://www.library.hacettepe.edu.tr/books/fulltext/yk.pdf> (Erişim tarihi: 23 Mart 2022)
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S. and Alonso-Gómez, V.**, 2019, A Review of Photovoltaic Systems: Design, Operation and Maintenance. *Solar Energy*, 188: 426-440 pp.
- İnce, İ. T.**, 2021, Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde örnek uygulamalar. *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, 1(1): 1-10s.
- Kaynar, N. K.**, 2020, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2): 48-54s.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kılıcı, O.**, 2020, Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVSyst Programında Üretim ve Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 84s.
- Kılıç, F.Ç.**, 2015, Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri, *Mühendis ve Makina*, 56(671): 28-40s.
- Kilit, D.**, 2019, İzmir Büyükşehir Belediyesi örneğinde fotovoltaik güneş enerjisi potansiyelinin teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 200s.
- Kocakuşak, R.**, 2018, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin, Türkiye'deki Önemi ve GES Kurulum Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 99s.
- Koryürek, E.**, 2008, Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanılması, Yüksek Lisans Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 163s.
- Köprü, M. A.**, 2016, Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 79s.
- Kymakis, E.; Kalykakis, S. and Papazoglou, T.M.**, 2009, Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete, *Energy Conversion and Management*, 50(3): 433–438 pp.
- Mermoud, A. and Wittmer, B.**, 2014, PVSYST user's manual, Switzerland, January, 102p.
- Meteonorm**, "Meteonorm Software", <https://meteonorm.com/en/> (Erişim tarihi: 15 Mart 2022).
- Mohamed, M.H.**, 2021, Simulation and Analysis of Photovoltaic Modules, Master's Degree Thesis, Uskudar University Institute of Science, 76p.
- NREL**, "Champion Photovoltaic Module Efficiency Chart", <http://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (Erişim tarihi: 26 Şubat.2022).
- Özcan, Ö. ve İzgi, E.**, 2020, Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3): 127-140s.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Öztürk, H. H.** "Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler", [https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf) (Erişim tarihi: 27 Şubat 2022).
- Piliouguine, M., Carretero, J., Sidrach-de-Cardona, M., Montiel, D. and Sánchez-Friera, P.**, 2008, Comparative Analysis of The Dust Losses in Photovoltaic Modules With Different Cover Glasses, *In Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference*, 2008: 2698e2700p.
- PVGİS**, "Photovoltaic Geographical Information System", [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en) (Erişim tarihi: 12 Mart 2022).
- PVsyst, S.**, 2020, <https://www.pvsyst.com/help/> (Erişim tarihi: 12 Mart 2022)
- Resmi Gazete**, "Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik", <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/05/20210509.pdf> (Erişim tarihi: 2 Mart.2022).
- Resmi Gazete**, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik", <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/10/20131001.pdf> (Erişim tarihi: 1 Mart 2022).
- Resmi Gazete**, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/01/20110108-3.htm> (Erişim tarihi: 1 Mart 2022).
- Resmi Gazete**, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" <https://www.resmigazete.gov.tr/fihrist?tarikh=2021-01-30> (Erişim tarihi: 20 Mart 2022).
- Resmi Gazete**, "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği", <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm/> (Erişim tarihi: 2 Mart 2022).
- Salkalachen, S.**, 2014, Sun Power. *Current Science*, 107(8): 1247p.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sarı, E.**, 2019, Pvsyst Yazılımı Kullanılarak Örnek Bir Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi Tasarlanması ve Konvansiyonel Sistemlerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 87s.
- Sarıoğlu, G. ve Eke, R.**, 2012, Çok Kristalli Silisyum (mc-Si) Bir Fotovoltaik Modülün Kısmi Gölgeleme Altında Parametrelerinin İncelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 7(2), 123-140s.
- Seyhan, A.**, 2019, Yüksek Verimli Kristal Silisyum (c-Si) Heteroeklem Güneş Hücreleri Üretimi ve Karakterizasyonu, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2): 1307-1314s.
- Skelion**, "Solar Systems Design Plugin for SketchUp", <http://skelion.com/> (Erişim tarihi: 15 Mart 2022).
- SketchUp**, <https://help.sketchup.com/en/sketchup/getting-started-sketchup> (Erişim tarihi: 15 Mart 2022).
- Solargis**, "Wheather Data and Software for Solar Power Investments" <https://www.pvsyst.com/help/> (Erişim tarihi: 12 Mart 2022).
- Sulukan, E.**, 2020, İstanbul'da Bir Fotovoltaik Sistemin Tekno-Ekonomik ve Çevresel Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1): 127-132s.
- T.C. İzmir Valiliği**, "İzmir Hakkında", <http://izmir.gov.tr/izmir-hakkinda> (Erişim tarihi: 20 Mart 2022).
- T.C. Kalkınma Bakanlığı**, 2017, Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi Seda Cebeci, Ankara, 202s.
- TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.)**, "Hizmetler, Proje Onayı ve Kabul İşlemleri", [https://www.tedas.gov.tr/#!/tedas\\_proje\\_onayi\\_kabul\\_islemleri](https://www.tedas.gov.tr/#!/tedas_proje_onayi_kabul_islemleri) (Erişim tarihi: 3 Mart 2020).
- TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.)**, "10kW ve Altı Çatı ve Cephe Uygulamalı Güneş Elektrik Üretim", [https://www.tedas.gov.tr/#!/tedas\\_yayinlar](https://www.tedas.gov.tr/#!/tedas_yayinlar) (Erişim tarihi: 7 Mart 2022).

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Tek, S. C. ve Yıldırım, D.**, 2008, Güneş Paneli Simulatörü. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri.
- Tiyarattanachai, R. and Hollmann, N. M.**, 2016, Green Campus Initiative and Its Impacts on Quality of Life of Stakeholders In Green and Non-Green Campus Universities. *SpringerPlus*, 5(1), 1-17p.
- Umar, N., Bora, B., Banerjee, C. ve Panwar, B.**, 2018, Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW gridconnected PV solar power plant, *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(7): 11-24 pp.
- Unesco**, 2005, UN Decade of Education for Sustainable Development (DESD), Division for the Promotion of Quality Education, Paris, 32p.
- Waldauf, C., Schilinsky, P., Hauch, J. and Brabec, C. J.**, 2004, Material and device concepts for organic photovoltaics: towards competitive efficiencies. *Thin Solid Films*, 451(452): 503-507 pp.
- Wirth, G., Weigl, T., Weizenbeck, J., Zehner, M., Schroedter-Homscheidt, M., and Becker, G.**, 2009, Mapping of snow cover periods for yield assessment and dimensioning of PV systems. In Proceedings. 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4070-4073 pp.
- Wohlgemuth, J. H. and Kurtz, S.**, 2011, Reliability testing beyond qualification as a key component in photovoltaic's progress toward grid parity *In 2011 International Reliability Physics Symposium*, 5E.3.1-5E.3.6p.
- Yıldız, T.**, 2014, Bakanlığın 2015 Yılı Bütçesini TBMM (Türkiye Büyük Millet Meclisi) Plan ve Bütçe Komisyonuna Sunumu. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.
- Yiğit, A. ve Arslanoğlu, N. ve Eker, B.S.**, 2019, Fotovoltaik Sistemlerin Projelendirme Sistemlerin Projelendirme, Kurulum ve İşletilmesinde Önemli Faktörler, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3): 483-490s.

**TEŞEKKÜR**

Bu çalıőmamı tamamlamamda bana yardımcı olan danıőmanım sayın Prof. Dr. Ceylan ZAFER'e, tez süresince benimle değerli bilgilerini paylaőan, önerileri ve özverisiyle desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Orhan EKREN'e, ihtiyaç duyduğumda her türlü desteğini bir an olsun esirgemeyen sayın Doç. Dr. Mete ÇUBUKÇU'ya, değerli zamanını bu tezi değerlendirmek için ayıran sayın Prof. Dr. Mustafa GÜNDÜZALP'e teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez süresince sevgisini, desteğini esirgemeyen sayın Avni GÜNDÜZ'e çok teşekkür ederim. Son olarak, her zaman yanımda olan desteğini ve koőulsuz sevgisini esirgemeyen başta annem olmak üzere aileme ve dostlarıma minnet ve őükranlarımı sunarım.

12 / 08 / 2022

Kadriye AVCÜ

## ÖZGEÇMİŞ

Kadriye Avcü, 2016-2020 yılları arasında Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde eğitim gördüm. 1996 yılında Çınarlı Teknik Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldum. Okul bitince hemen iş hayatına atıldım ve uzun süre özel proje, danışman ve taahüt işi yapan birçok büyük firmada çalıştım. Genel olarak yaptığım işler; AG iç tesisat ve enerji temini projeleri- OG trafo ve enerji temini projeleri, endüstriyel tesis uygulama projeleri, ENH projeleri, Ges- Res- Biogaz enerji yatırım projeleri, yüksek yapı elektrik tesisat projelerinin çizilmesi, onaylatılması ve saha uygulama projelerin hazırlanması olarak sıralayabilirim. 2020 yılında 4 ay kadar kısa bir süre Kontek Kontrol Teknolojileri ve Otomasyon San.Tic. AŞ.-Tasarım ve Tekliflendirme Mühendisi olarak görev yaptım. Şuan halen İBB – İzenerji AŞ'de Elektrik – Elektronik Mühendisi olarak çalışıyorum. Diğer taraftan, Elektrik Mühendisleri Odası Enerji Komisyonu üyesi olarak çalışmalara katılıyorum. Ayrıca, Türkiye'nin yenilenebilir enerji sektörünün gelişiminde aktif rol oynayan kadın profesyonelleri bir araya getiren “Yenilenebilir Enerji ve Enerji Sektörü Türk Kadınları” platformunun grup üyesi olarak enerji çalışmalarına destek olmaya çalışıyorum. Halen 2020 yılında başladığım Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine devam ediyorum.

## **EKLER**

Ege Üniversitesi Kampüsünde Yer alan Otopark Alanları için Yapılan Fizibilite Raporu  
Sonuçları



# OTOPARK 1 (MAKİNE MÜH. YANI)' E AİT FİZİBİLİTE SONUCU

General parameters		
<b>Grid-Connected System</b>	<b>Tables on a building</b>	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation	Nb. of sheds	Transposition
Fixed plane	1530 units	Perez
Tilt/Azimuth	Averages of diff. arrays	Diffuse
1 / 0 °		Perez, Meteororm
	<b>Sizes</b>	Circumsolar
	Sheds spacing	separate
	Collector width	
	1.05 m	
	1.04 m	
	Ground Cov. Ratio (GCR)	
	99.1 %	
	<b>Shading limit angle</b>	
	Limit profile angle	
	61.1 °	
<b>Horizon</b>	<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Average Height	Linear shadings	Unlimited load (grid)
3.4 °		

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	PS445M4H-24/TH	Model	Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	445 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	1530 units	Number of inverters	9 unit
Nominal (STC)	681 kWp	Total power	540 kWac
Modules	90 Strings x 17 In series	Operating voltage	570-800 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.26
Pmpp	616 kWp		
U mpp	633 V		
I mpp	973 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	681 kWp	Total power	540 kWac
Total	1530 modules	Nb. of inverters	9 units
Module area	3348 m²	Pnom ratio	1.26
Cell area	3018 m²		

Array losses			
<b>Array Soiling Losses</b>	<b>Thermal Loss factor</b>	<b>DC wiring losses</b>	
Loss Fraction	Module temperature according to irradiance	Global array res.	11 mΩ
1.0 %	Uc (const)	Loss Fraction	1.5 % at STC
	29.0 W/m²K		
	Uv (wind)		
	0.0 W/m²K/m/s		
<b>Module Quality Loss</b>	<b>Module mismatch losses</b>	<b>Strings Mismatch loss</b>	
Loss Fraction	Loss Fraction	Loss Fraction	0.1 %
-0.3 %	2.0 % at MPP		
<b>IAM loss factor</b>			
Incidence effect (IAM): User defined profile			
0°	20°	40°	60°
1.000	1.000	1.000	0.970
			0.910
			0.850
			0.740
			0.440
			0.000

AC wiring losses	
<b>Inv. output line up to injection point</b>	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	1.50 % at STC
<b>Inverter: Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)</b>	
Wire section (9 Inv.)	Copper 9 x 3 x 35 mm²
Average wires length	60 m

### Horizon definition

Average Height	3.4 °	Albedo Factor	1.00
Diffuse Factor	1.00	Albedo Fraction	100 %

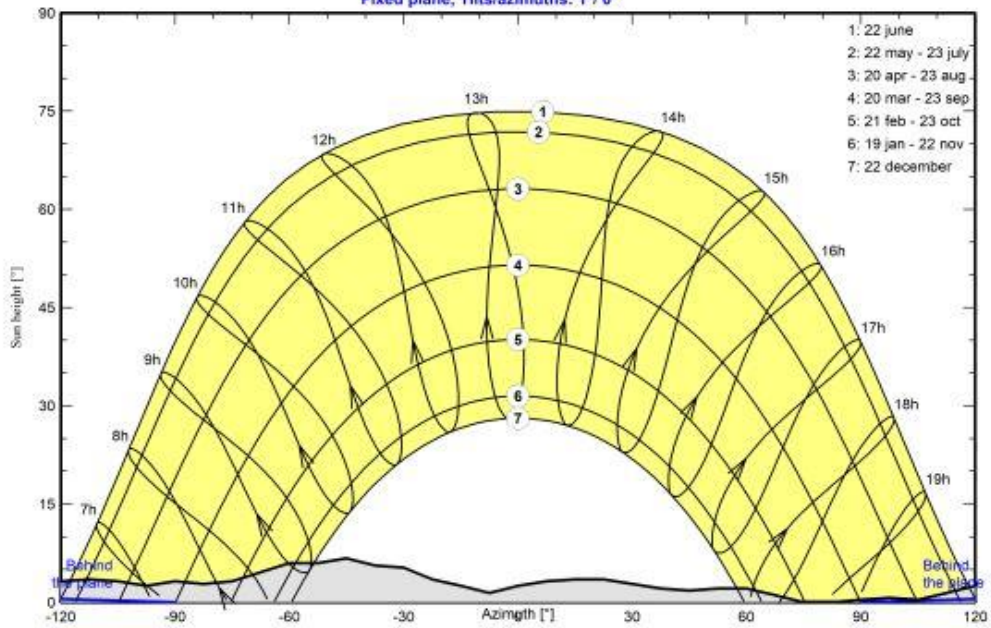
### Horizon profile

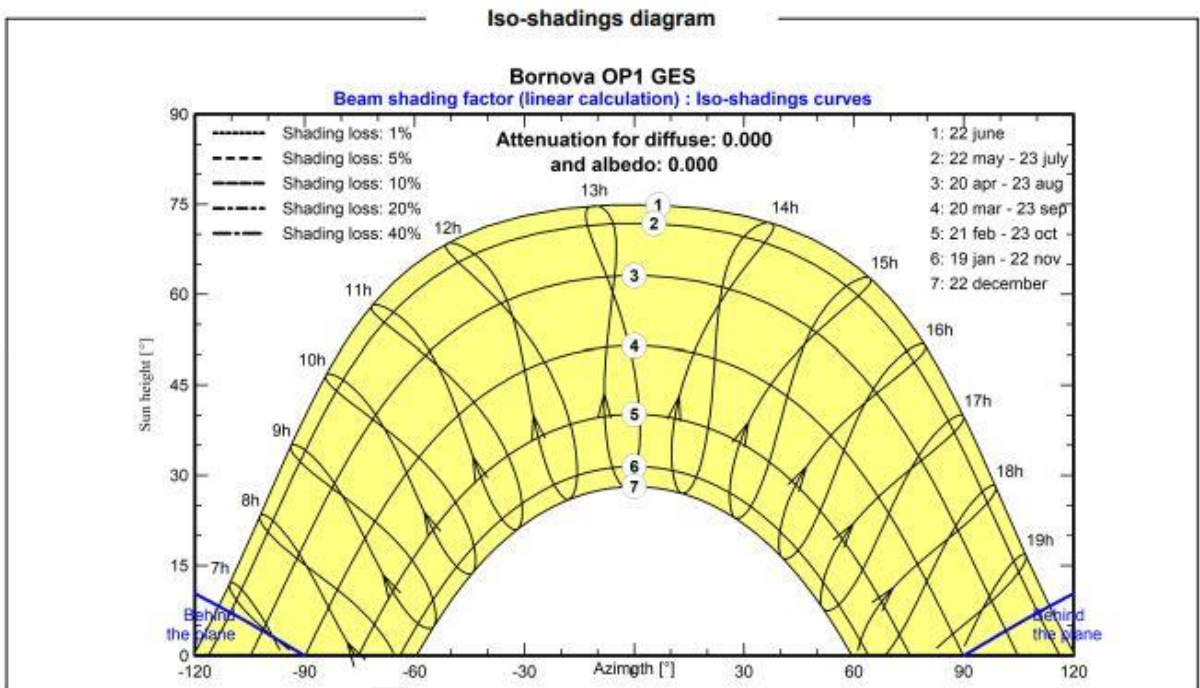
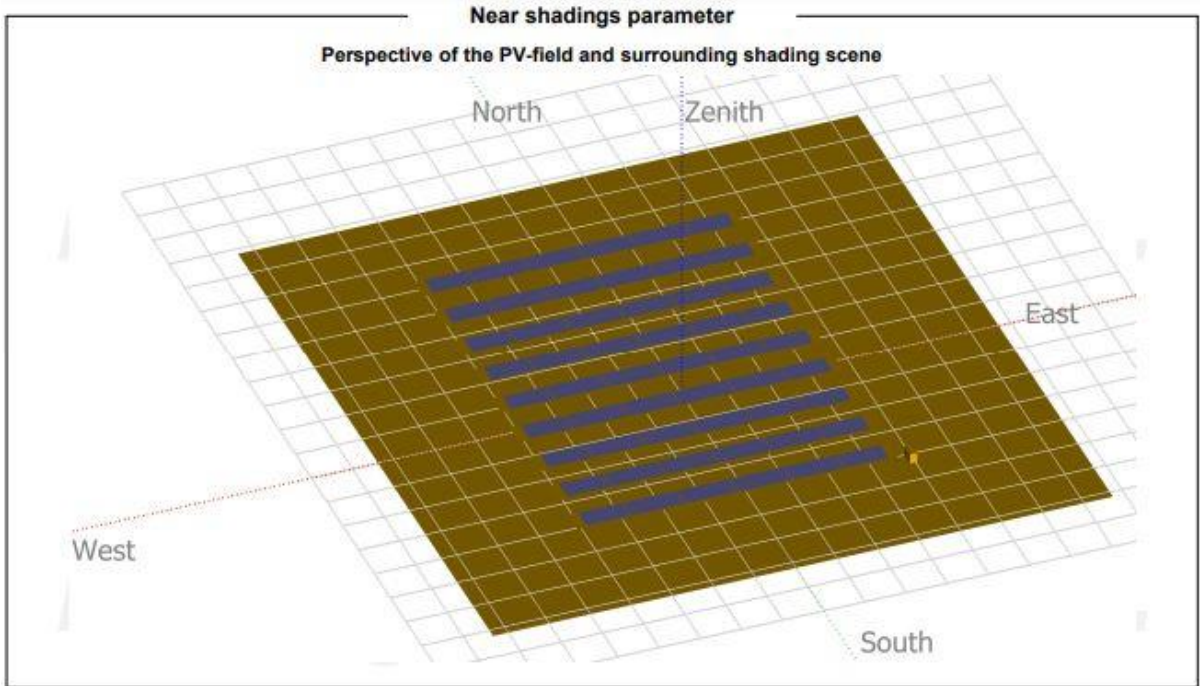
Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Height [°]	5.3	4.6	4.9	5.6	4.2	3.2	3.5	3.9	3.2	3.5	3.2	2.5
Azimuth [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8
Height [°]	3.2	2.8	3.2	4.6	6.0	6.0	6.7	5.6	5.3	3.5	2.5	1.4
Azimuth [°]	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83
Height [°]	2.5	3.2	3.5	3.5	2.8	2.1	1.8	2.1	2.1	1.1	0.0	0.0
Azimuth [°]	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173
Height [°]	0.4	0.7	0.4	1.4	2.5	3.2	3.9	4.6	6.0	6.0	6.4	5.3

### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

lat:38.45296388888889, lng:27.227574999999998, exported by solargis.info at 2021

Fixed plane, Tilts/azimuths: 1°/ 0°





## Main results

### System Production

Produced Energy

1035 MWh/year

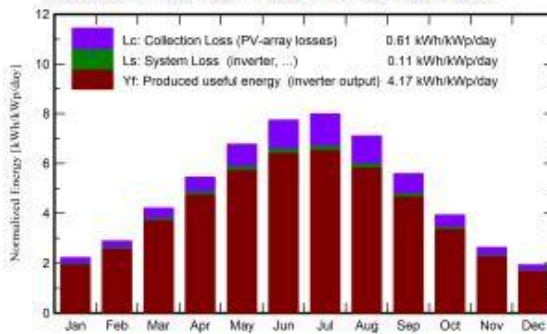
Specific production

1521 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

85.26 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	67.4	30.20	8.90	68.9	64.3	42.6	41.7	0.888
February	79.7	35.80	10.00	81.0	77.0	50.8	49.6	0.899
March	129.4	53.20	12.30	130.8	125.8	81.2	79.1	0.889
April	162.7	69.40	16.10	163.7	158.4	100.4	97.8	0.877
May	209.4	77.90	21.30	210.0	203.7	125.2	121.8	0.852
June	232.1	70.10	26.10	232.4	225.6	135.5	131.9	0.833
July	247.4	65.80	29.00	247.9	241.1	142.2	138.4	0.820
August	219.3	62.80	28.70	220.5	214.2	127.4	124.0	0.826
September	166.0	54.70	24.20	167.6	161.8	98.8	96.3	0.844
October	120.1	45.70	18.90	121.9	116.4	73.6	71.8	0.865
November	77.4	33.00	13.90	79.0	74.1	48.1	47.0	0.874
December	58.7	27.30	10.10	60.0	55.9	36.9	36.1	0.883
Year	1769.6	625.90	18.34	1783.7	1718.4	1062.9	1035.4	0.853

### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T\_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

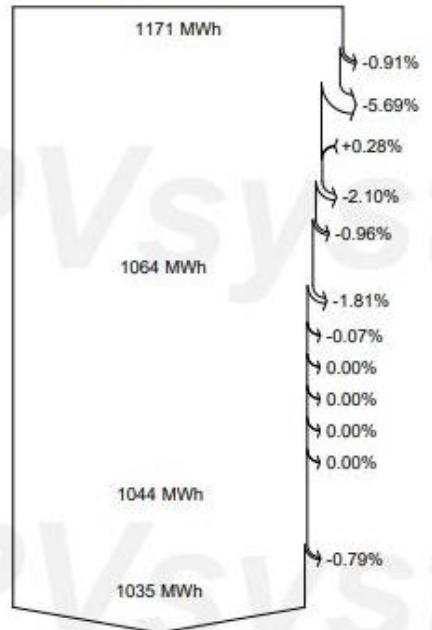
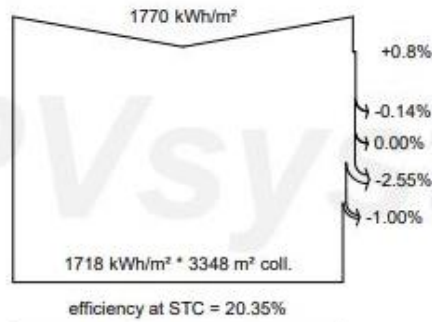
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E\_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

**Loss diagram**



**Global horizontal irradiation**  
**Global incident in coll. plane**

Far Shadings / Horizon  
 Near Shadings: irradiance loss  
 IAM factor on global  
 Soiling loss factor

**Effective irradiation on collectors**

PV conversion

**Array nominal energy (at STC effic.)**

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

**Array virtual energy at MPP**

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

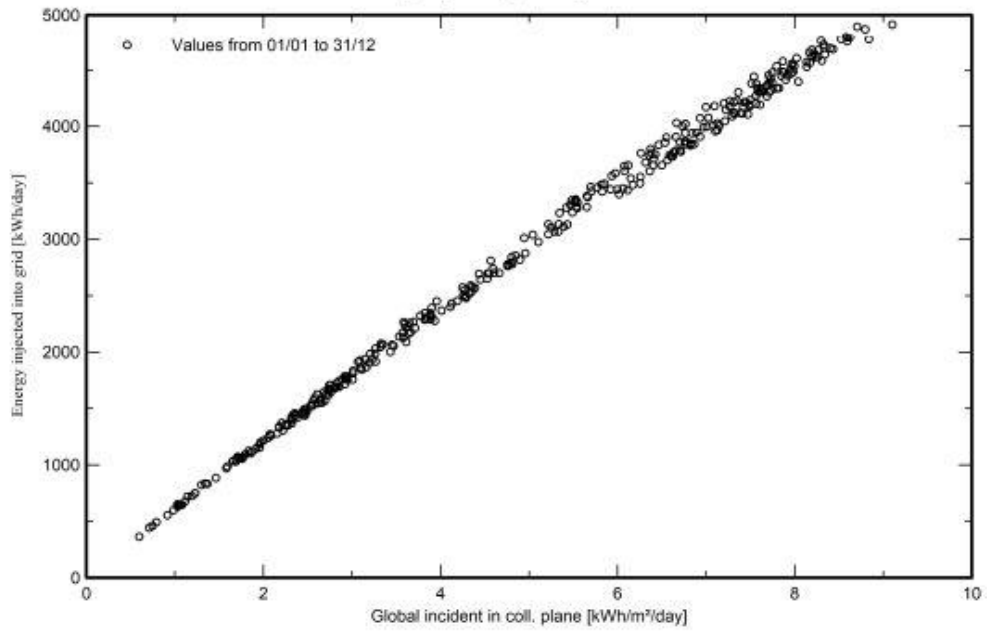
**Available Energy at Inverter Output**

AC ohmic loss

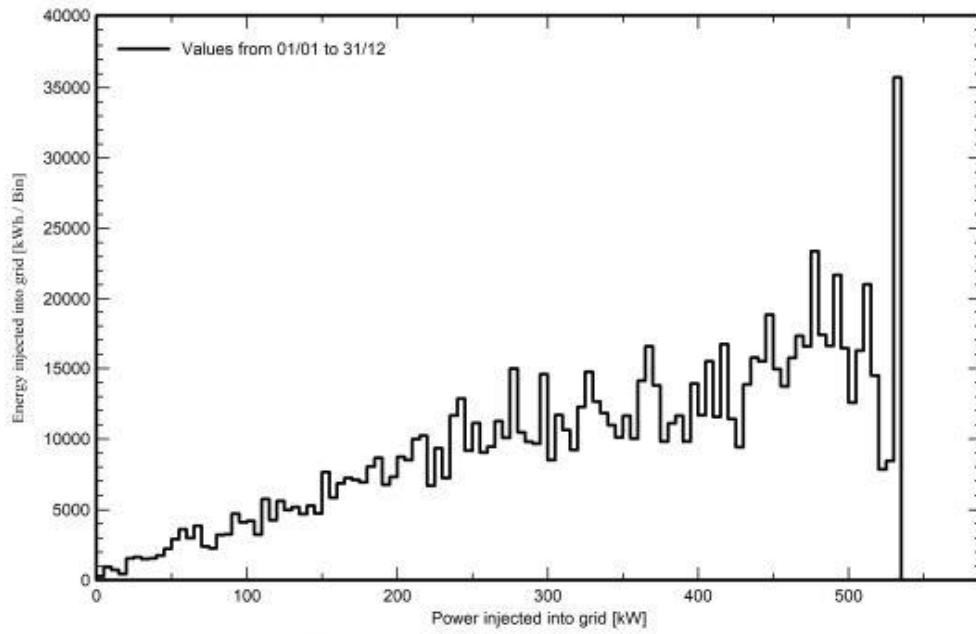
**Energy injected into grid**

### Special graphs

#### Daily Input/Output diagram



#### System Output Power Distribution



## OTOPARK 2 (MEDİKO YANI) ' E AİT FİZİBİLİTE SONUCU

### General parameters

<b>Grid-Connected System</b>		<b>Tables on a building</b>	
<b>PV Field Orientation</b>			
<b>Orientation</b>			
Fixed plane			
Tilt/Azimuth	1 / 0 °		
		<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
		Nb. of sheds	493 units
		Averages of diff. arrays	
		<b>Sizes</b>	
		Sheds spacing	1.05 m
		Collector width	1.04 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	99.1 %
		<b>Shading limit angle</b>	
		Limit profile angle	60.9 °
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Average Height	3.5 °	Linear shadings	Unlimited load (grid)

### PV Array Characteristics

<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	PS445MH-24/TH	Model	Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	445 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	493 units	Number of inverters	3 unit
Nominal (STC)	219 kWp	Total power	180 kWac
Modules	29 Strings x 17 In series	Operating voltage	570-800 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.22
Pmpp	199 kWp		
U mpp	633 V		
I mpp	314 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	219 kWp	Total power	180 kWac
Total	493 modules	Nb. of inverters	3 units
Module area	1079 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.22
Cell area	973 m <sup>2</sup>		

### Array losses

<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>				
Loss Fraction	1.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	34 mΩ			
		Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	1.5 % at STC			
		Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s					
<b>Module Quality Loss</b>		<b>Module mismatch losses</b>		<b>Strings Mismatch loss</b>				
Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %			
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	0.970	0.910	0.850	0.740	0.440	0.000

### AC wiring losses

<b>Inv. output line up to injection point</b>	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	1.50 % at STC
<b>Inverter: Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)</b>	
Wire section (3 Inv.)	Copper 3 x 3 x 35 mm <sup>2</sup>
Average wires length	63 m

### Horizon definition

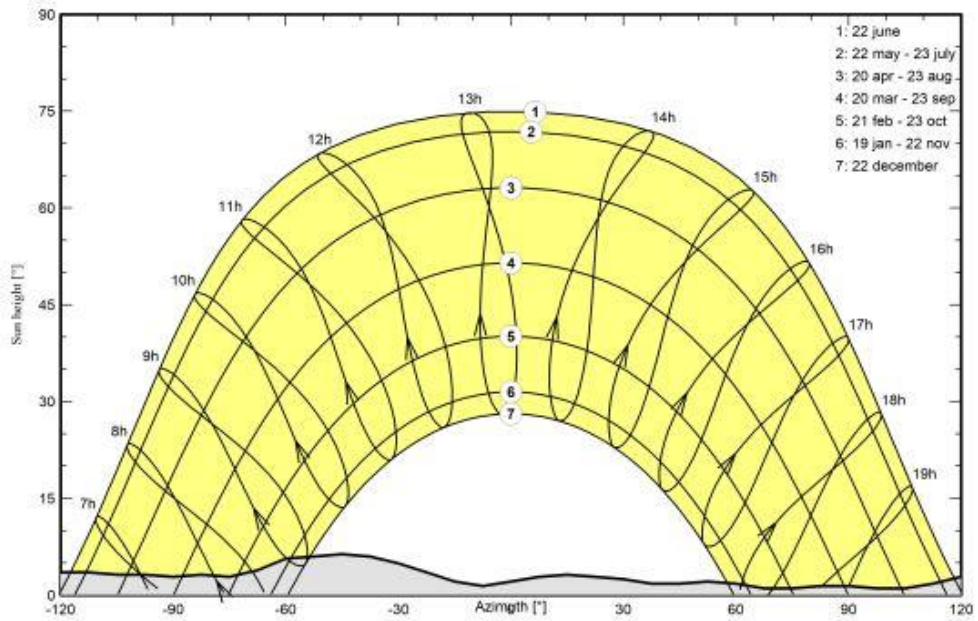
Average Height	3.5 °	Albedo Factor	1.00
Diffuse Factor	1.00	Albedo Fraction	100 %

### Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Height [°]	5.6	4.9	5.3	6.0	4.9	3.5	3.9	3.9	3.5	3.5	3.2	3.2
Azimuth [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8
Height [°]	2.8	3.2	2.8	3.9	5.6	6.0	6.4	6.0	4.9	3.5	2.1	1.4
Azimuth [°]	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83
Height [°]	2.1	2.8	3.2	2.8	2.5	1.8	1.8	2.1	1.8	1.1	1.1	1.4
Azimuth [°]	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173
Height [°]	1.4	1.1	1.1	1.8	2.8	3.9	4.6	5.3	6.0	6.4	6.4	5.6

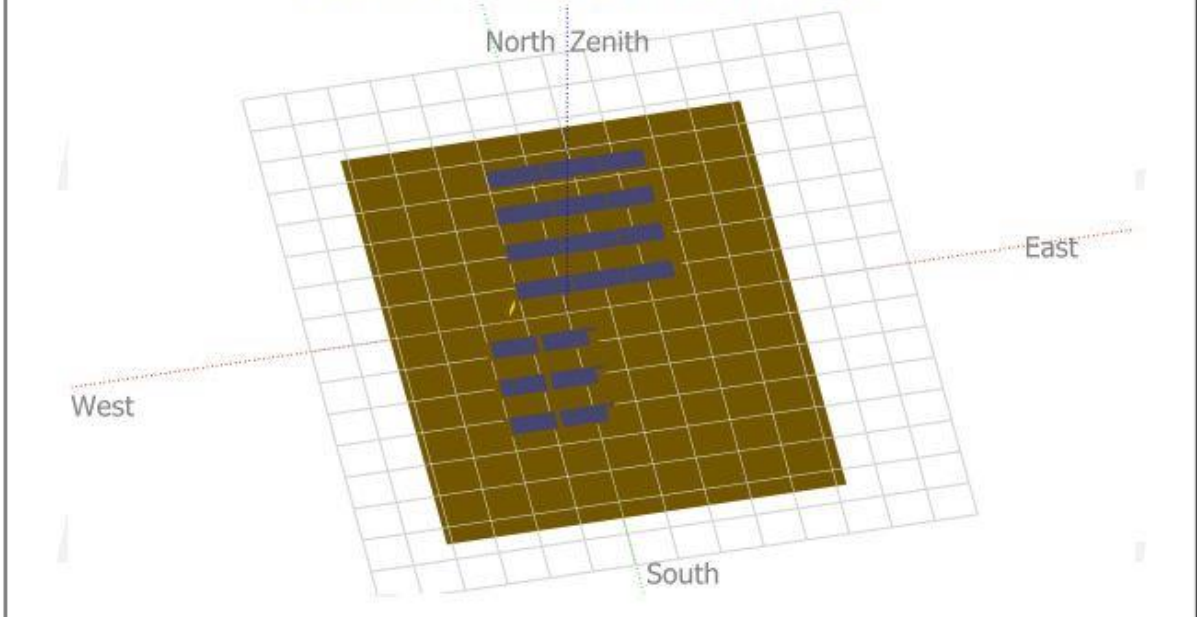
### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

lat:38.458086111111115, lng:27.228877777777775, exported by solargis.info at 202



### Near shadings parameter

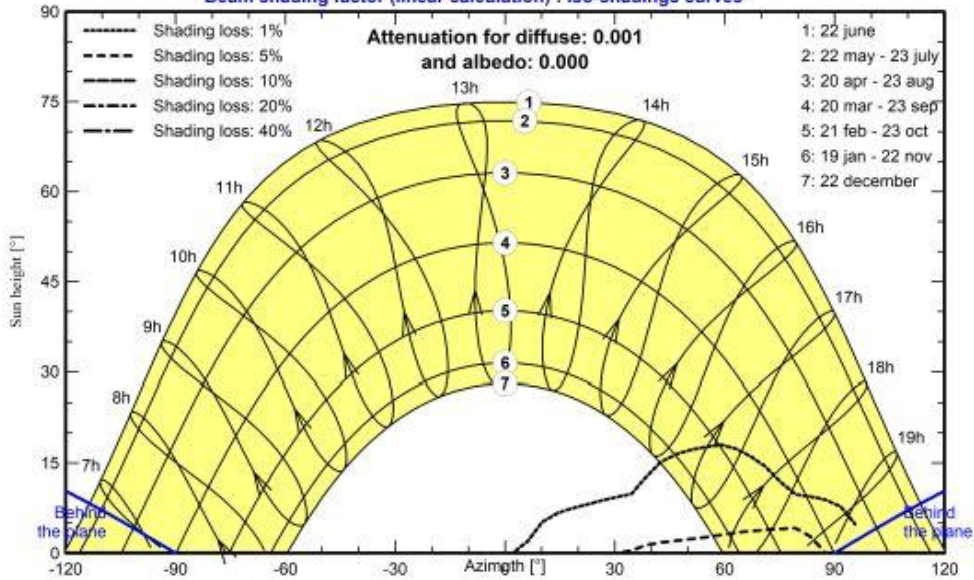
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



### Iso-shadings diagram

Bornova OP2 GES

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves



## Main results

### System Production

Produced Energy

333.6 MWh/year

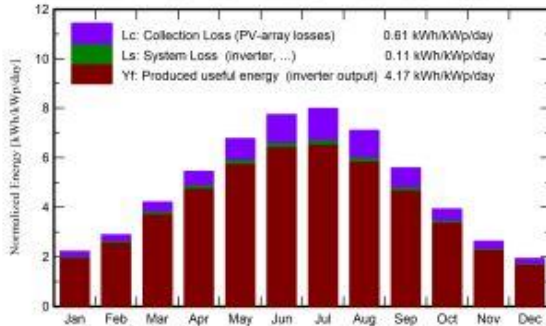
Specific production

1521 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

85.25 %

### Normalized productions (per installed kWp)



### Performance Ratio PR



### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	67.4	30.20	8.90	68.9	64.2	13.73	13.42	0.888
February	79.7	35.80	10.00	81.0	76.9	16.35	15.96	0.898
March	129.4	53.20	12.30	130.8	125.7	26.15	25.48	0.888
April	162.7	69.40	16.10	163.7	158.4	32.36	31.51	0.877
May	209.4	77.90	21.30	210.0	203.7	40.37	39.28	0.852
June	232.1	70.10	26.10	232.4	225.6	43.69	42.51	0.834
July	247.4	65.80	29.00	247.9	241.1	45.86	44.62	0.820
August	219.3	62.80	28.70	220.5	214.2	41.04	39.96	0.826
September	166.0	54.70	24.20	167.6	161.7	31.83	31.01	0.843
October	120.1	45.70	18.90	121.9	116.3	23.68	23.12	0.864
November	77.4	33.00	13.90	79.0	74.1	15.50	15.14	0.873
December	58.7	27.30	10.10	60.0	55.9	11.89	11.62	0.882
Year	1769.6	625.90	18.34	1783.7	1717.7	342.44	333.62	0.853

### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T\_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

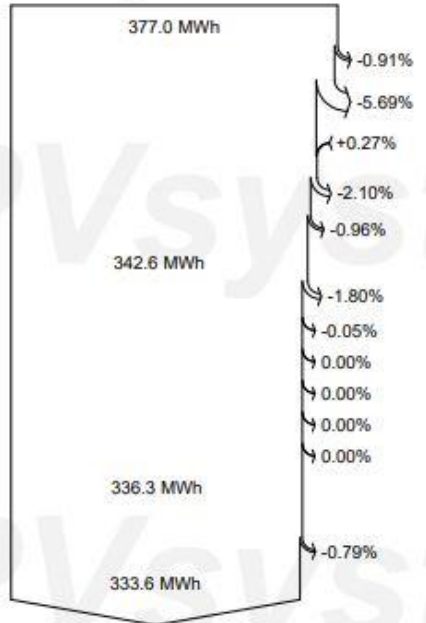
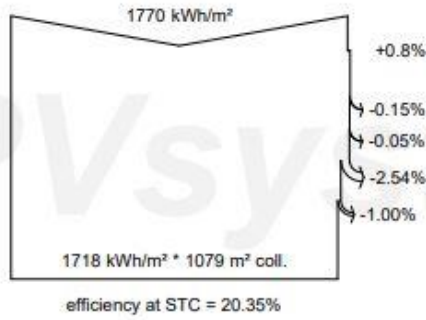
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E\_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

### Loss diagram



**Global horizontal irradiation**  
**Global incident in coll. plane**

Far Shadings / Horizon  
 Near Shadings: irradiance loss  
 IAM factor on global  
 Soiling loss factor

**Effective irradiation on collectors**

PV conversion

**Array nominal energy (at STC effic.)**

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

**Array virtual energy at MPP**

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

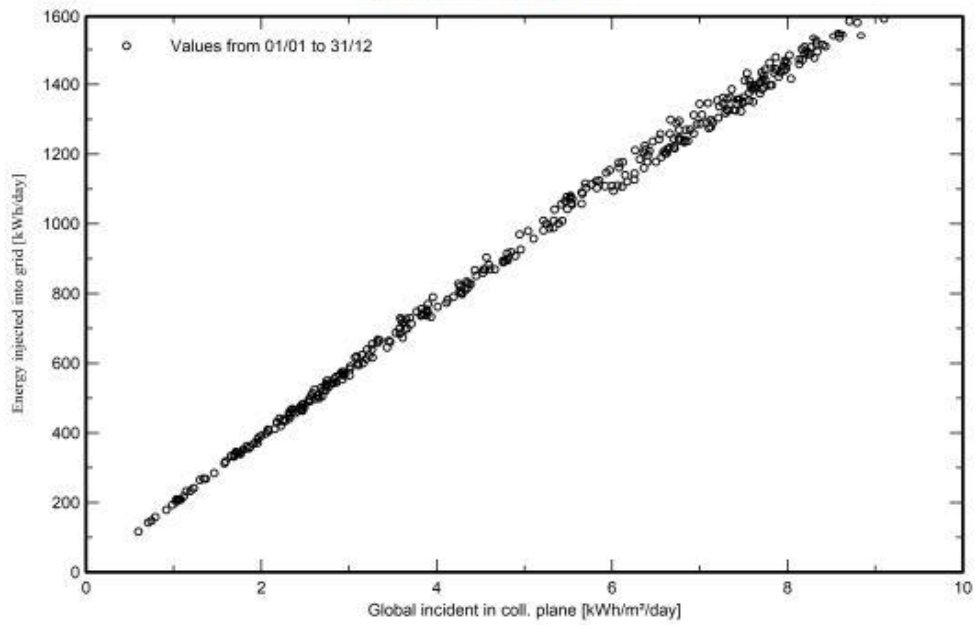
**Available Energy at Inverter Output**

AC ohmic loss

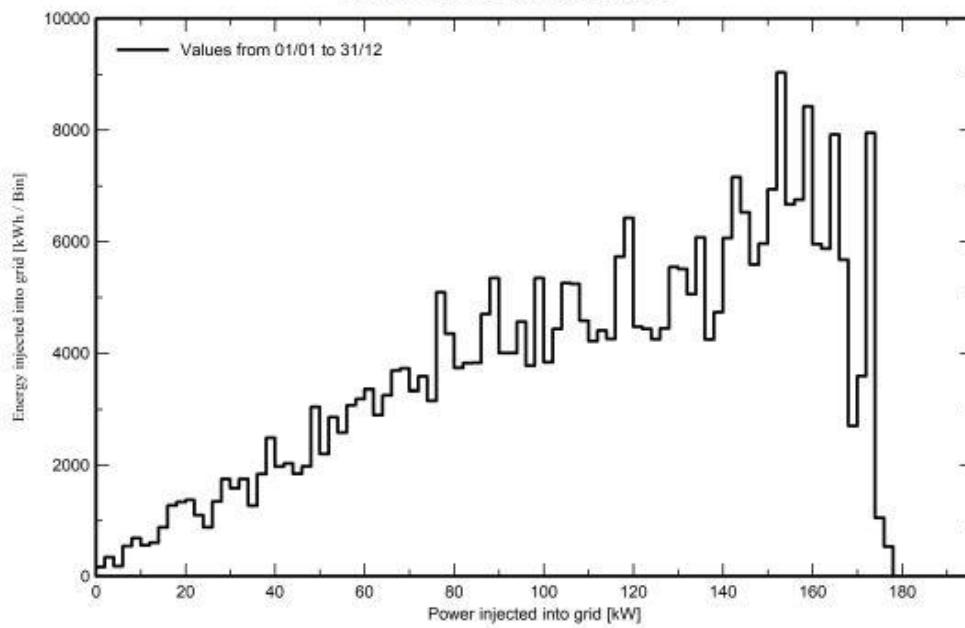
**Energy injected into grid**

### Special graphs

#### Daily Input/Output diagram



#### System Output Power Distribution



## OTOPARK 3 (ECZACILIK F. ÖNÜ) ' E AİT FİZİBİLİTE SONUCU

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>Tables on a building</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	
Orientation		Nb. of sheds	850 units
Fixed plane		Averages of diff. arrays	
Tilt/Azimuth	1 / 0 °	<b>Sizes</b>	
		Sheds spacing	1.05 m
		Collector width	1.04 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	99.1 %
		<b>Shading limit angle</b>	
		Limit profile angle	61.2 °
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	
Average Height	3.4 °	Linear shadings	
		<b>User's needs</b>	
		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	PS445M4H-24/TH	Model	Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	445 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	850 units	Number of inverters	5 unit
Nominal (STC)	378 kWp	Total power	300 kWac
Modules	50 Strings x 17 In series	Operating voltage	570-800 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.26
Pmpp	342 kWp		
U mpp	633 V		
I mpp	541 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	378 kWp	Total power	300 kWac
Total	850 modules	Nb. of inverters	5 units
Module area	1860 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.26
Cell area	1677 m <sup>2</sup>		

Array losses								
<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>				
Loss Fraction	1.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	20 mΩ			
		Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	1.5 % at STC			
		Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s					
<b>Module Quality Loss</b>		<b>Module mismatch losses</b>		<b>Strings Mismatch loss</b>				
Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %			
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	0.970	0.910	0.850	0.740	0.440	0.000

AC wiring losses	
<b>Inv. output line up to injection point</b>	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	1.50 % at STC
<b>Inverter: Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)</b>	
Wire section (5 Inv.)	Copper 5 x 3 x 35 mm <sup>2</sup>
Average wires length	60 m

### Horizon definition

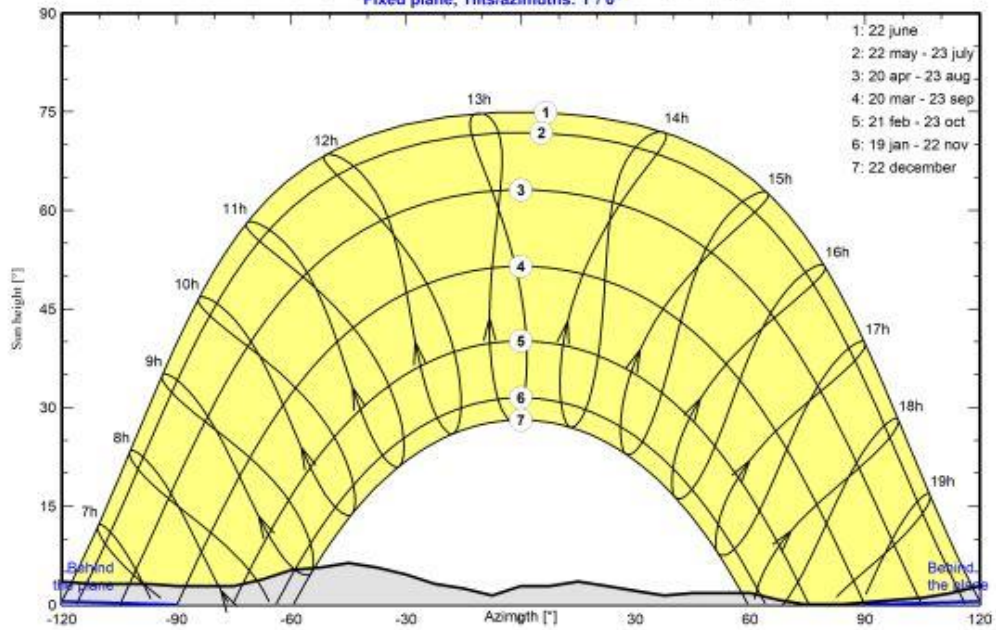
Average Height	3.4 °	Albedo Factor	1.00
Diffuse Factor	1.00	Albedo Fraction	100 %

### Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Height [°]	5.3	5.3	4.9	5.6	5.6	4.2	3.5	3.9	3.5	3.2	3.2	3.2
Azimuth [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8
Height [°]	2.8	2.8	2.8	3.9	5.3	5.6	6.4	5.6	4.6	3.2	2.5	1.4
Azimuth [°]	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83
Height [°]	2.8	2.8	3.5	2.8	2.1	1.4	1.8	1.8	1.8	0.7	0.0	0.0
Azimuth [°]	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173
Height [°]	0.4	0.7	1.1	1.8	2.8	3.9	4.6	5.3	6.4	6.7	6.7	6.0

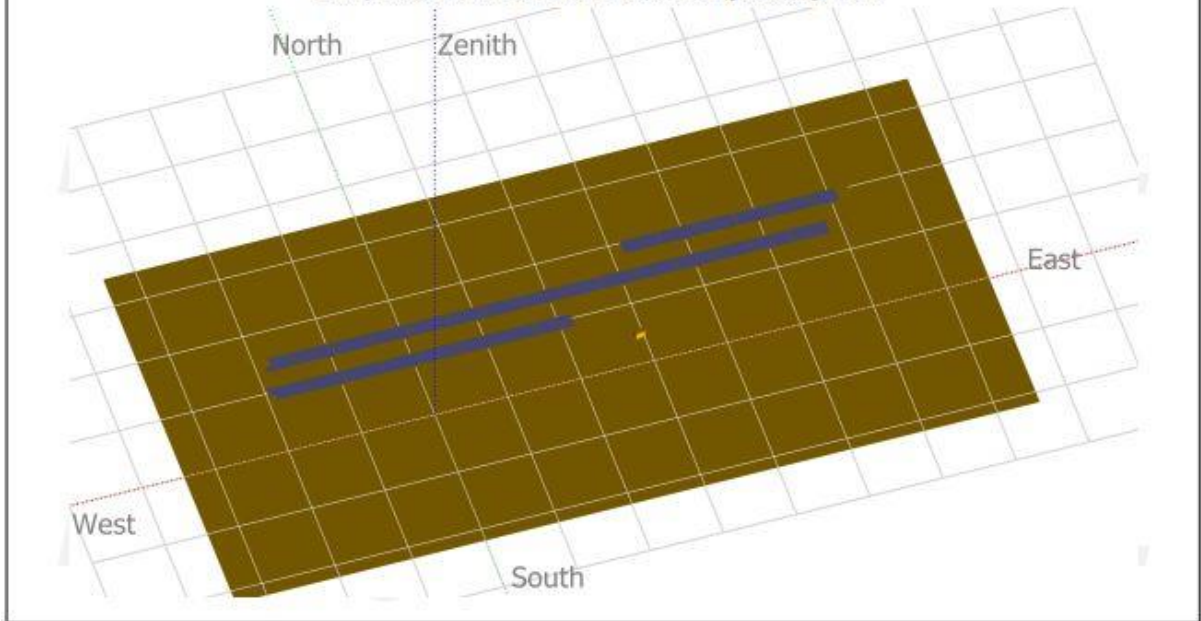
### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

lat:38.4585805555556, lng:27.2252999999997, exported by solargis.info at 2021  
Fixed plane, Tilts/azimuths: 1°/ 0°



### Near shadings parameter

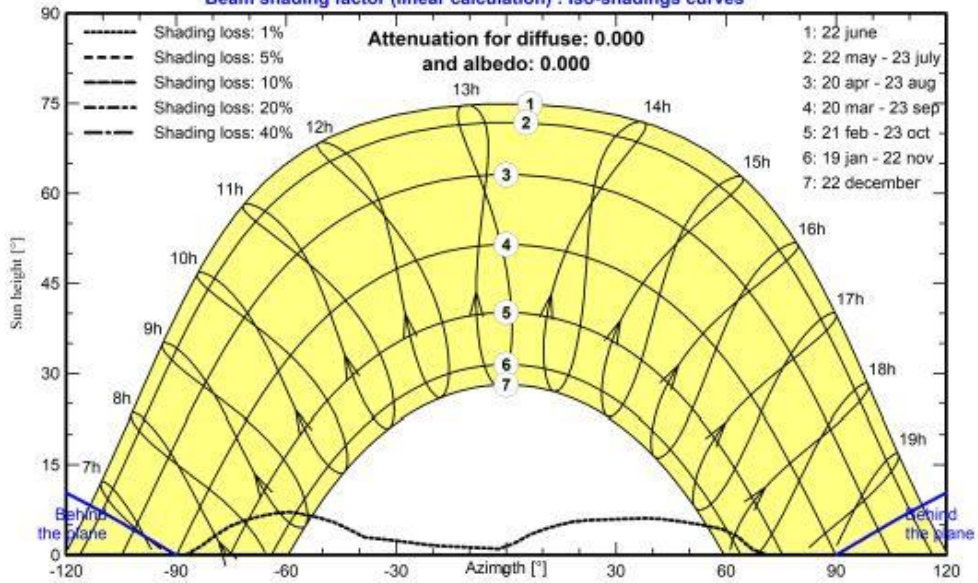
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



### Iso-shadings diagram

#### Bornova OP3 GES

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves



## Main results

### System Production

Produced Energy

575.2 MWh/year

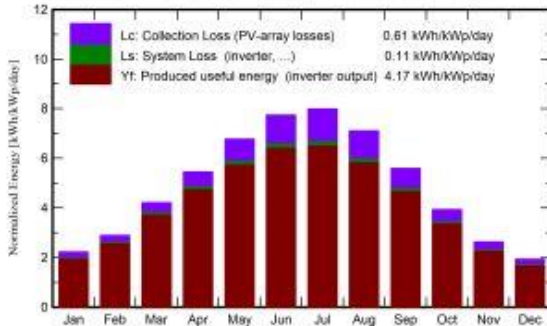
Specific production

1521 kWh/kWp/year

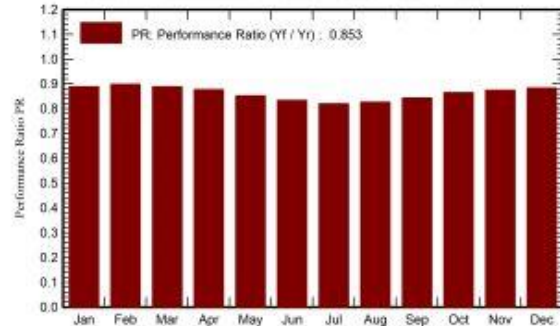
Performance Ratio PR

85.25 %

### Normalized productions (per installed kWp)



### Performance Ratio PR



### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	67.4	30.20	8.90	68.9	64.3	23.71	23.18	0.889
February	79.7	35.80	10.00	81.0	77.0	28.21	27.54	0.899
March	129.4	53.20	12.30	130.8	125.8	45.10	43.94	0.888
April	162.7	69.40	16.10	163.7	158.4	55.78	54.30	0.877
May	209.4	77.90	21.30	210.0	203.7	69.56	67.67	0.852
June	232.1	70.10	26.10	232.4	225.6	75.29	73.24	0.833
July	247.4	65.80	29.00	247.9	241.1	79.02	76.87	0.820
August	219.3	62.80	28.70	220.5	214.2	70.77	68.88	0.826
September	166.0	54.70	24.20	167.6	161.7	54.89	53.48	0.843
October	120.1	45.70	18.90	121.9	116.4	40.86	39.88	0.865
November	77.4	33.00	13.90	79.0	74.2	26.75	26.13	0.874
December	58.7	27.30	10.10	60.0	56.0	20.53	20.06	0.884
Year	1769.6	625.90	18.34	1783.7	1718.2	590.45	575.18	0.853

### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T\_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

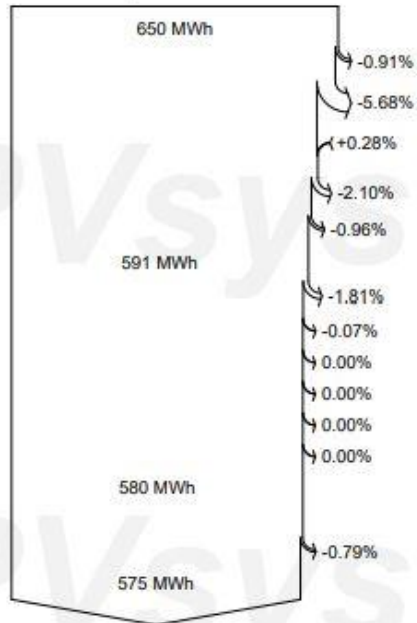
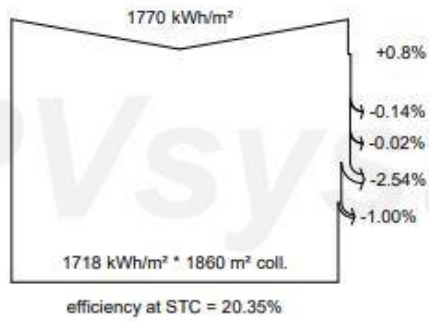
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E\_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

### Loss diagram



**Global horizontal irradiation**  
**Global incident in coll. plane**

- Far Shadings / Horizon
- Near Shadings: irradiance loss
- IAM factor on global
- Soiling loss factor

**Effective irradiation on collectors**

PV conversion

**Array nominal energy (at STC effic.)**

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

**Array virtual energy at MPP**

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

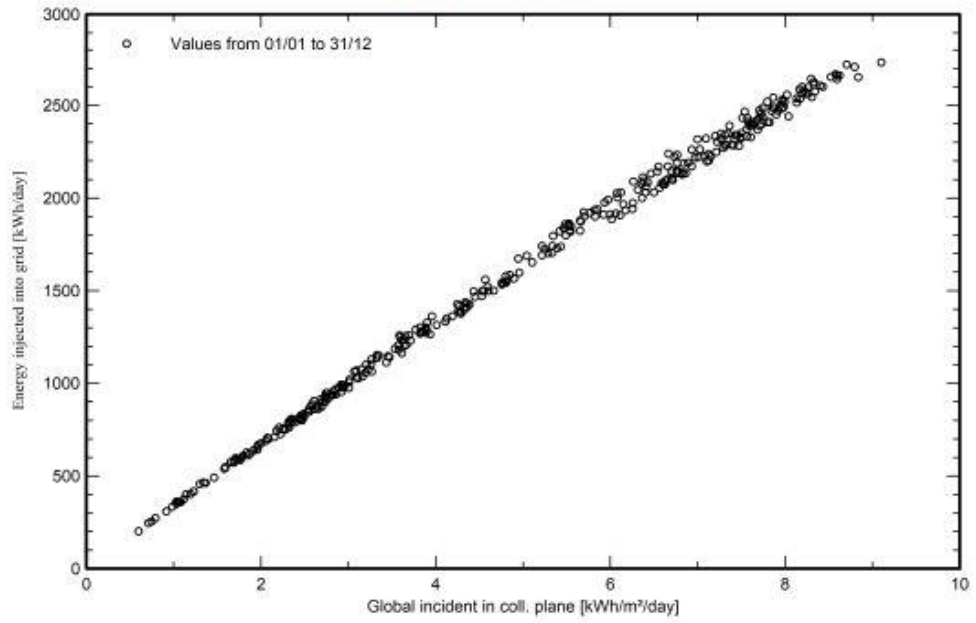
**Available Energy at Inverter Output**

AC ohmic loss

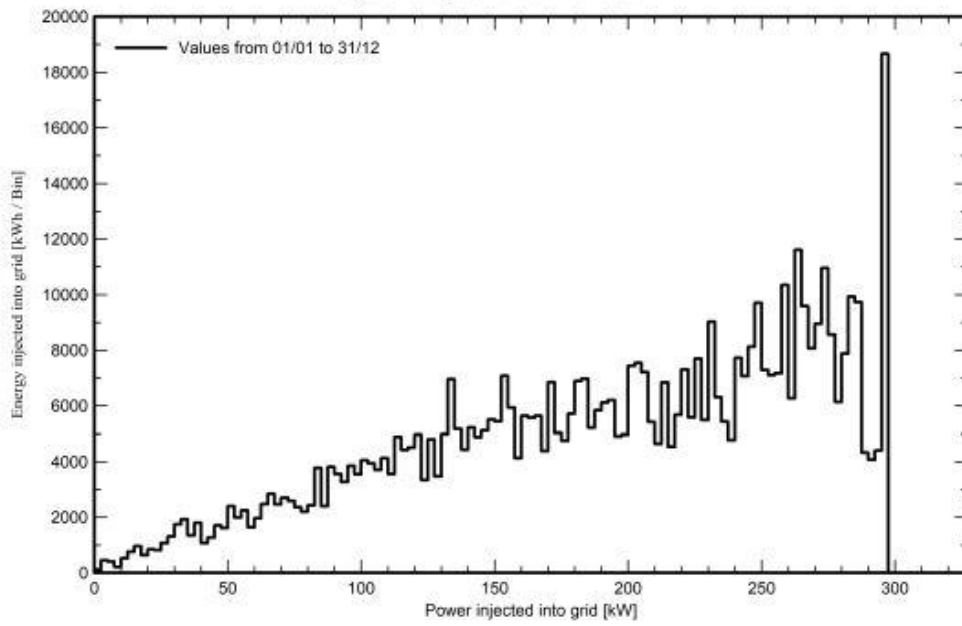
**Energy injected into grid**

### Special graphs

#### Daily Input/Output diagram



#### System Output Power Distribution



## OTOPARK 4 (HEMŞİRELİK ÖNÜ-B) ' E AİT FİZİBİLİTE SONUCU

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>Tables on a building</b>	
<b>PV Field Orientation</b>			
<b>Orientation</b>			
Fixed plane			
Tilt/Azimuth	1 / 0 °		
		<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
		Nb. of sheds	1020 units
		Averages of diff. arrays	
		<b>Sizes</b>	
		Sheds spacing	1.05 m
		Collector width	1.04 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	99.1 %
		<b>Shading limit angle</b>	
		Limit profile angle	61.0 °
		<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
		Linear shadings	Unlimited load (grid)
<b>Horizon</b>			
Average Height	3.3 °		

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	PS445M4H-24/TH	Model	Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	445 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	1020 units	Number of inverters	6 unit
Nominal (STC)	454 kWp	Total power	360 kWac
Modules	60 Strings x 17 In series	Operating voltage	570-800 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Prnom ratio (DC:AC)	1.26
Pmpp	411 kWp		
U mpp	633 V		
I mpp	649 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	454 kWp	Total power	360 kWac
Total	1020 modules	Nb. of inverters	6 units
Module area	2232 m <sup>2</sup>	Prnom ratio	1.26
Cell area	2012 m <sup>2</sup>		

Array losses								
<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>				
Loss Fraction	1.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	16 mΩ			
		Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	1.5 % at STC			
		Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s					
<b>Module Quality Loss</b>		<b>Module mismatch losses</b>		<b>Strings Mismatch loss</b>				
Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %			
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	0.970	0.910	0.850	0.740	0.440	0.000

AC wiring losses	
<b>Inv. output line up to injection point</b>	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	1.50 % at STC
<b>Inverter: Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)</b>	
Wire section (6 Inv.)	Copper 6 x 3 x 35 mm <sup>2</sup>
Average wires length	60 m

### Horizon definition

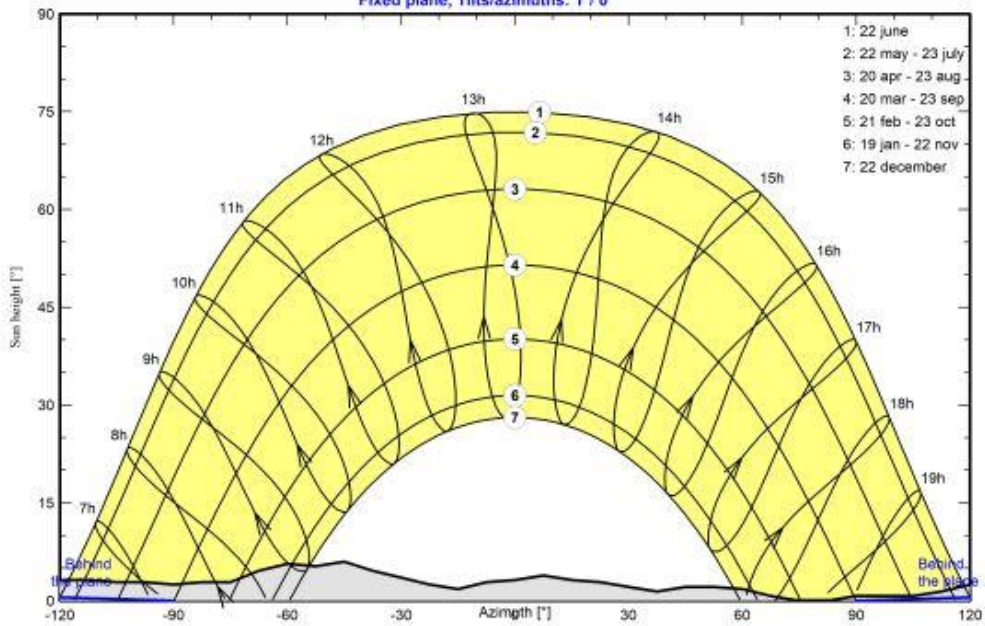
Average Height	3.3 °	Albedo Factor	1.00
Diffuse Factor	1.00	Albedo Fraction	100 %

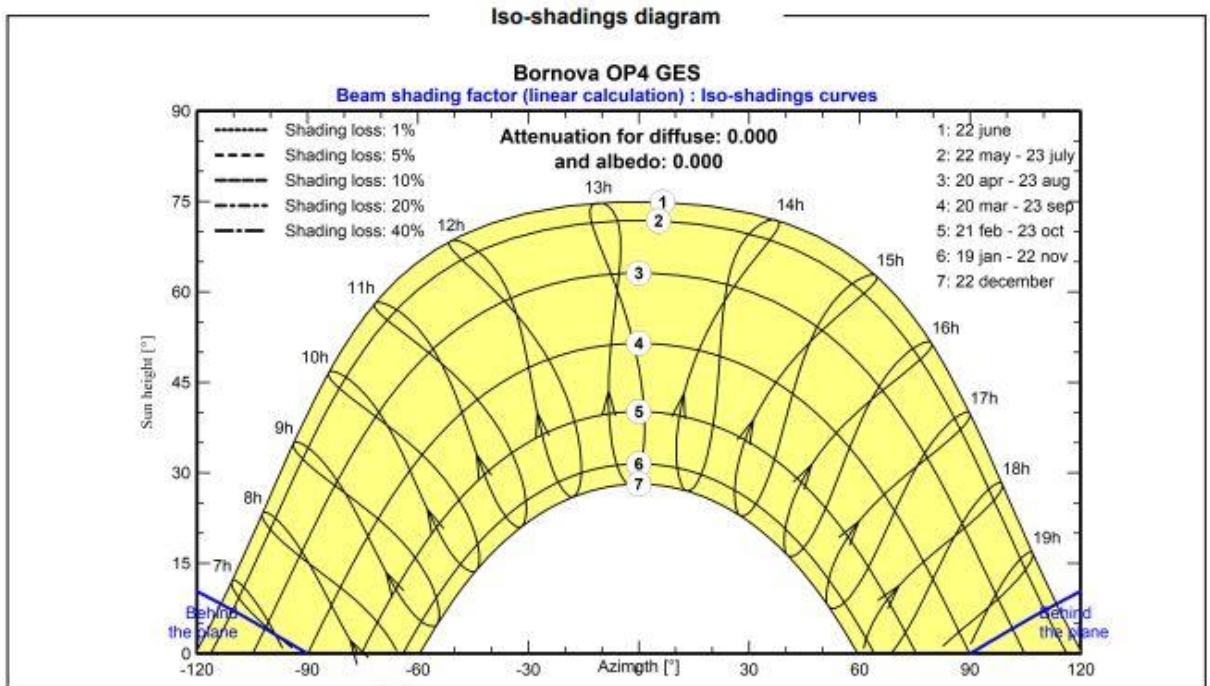
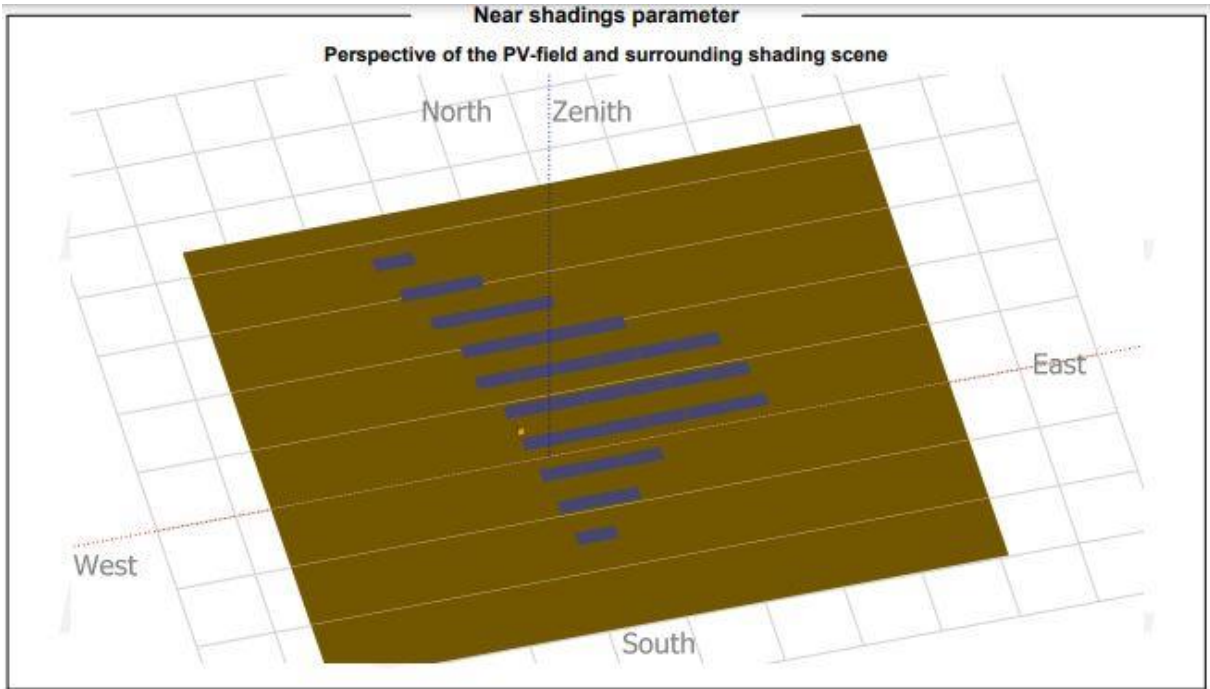
### Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Height [°]	6.0	5.6	4.6	4.2	5.3	4.2	2.8	3.5	3.2	3.2	2.8	2.8
Azimuth [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8
Height [°]	2.5	2.8	2.8	4.6	5.6	5.3	6.0	4.6	3.5	2.5	1.8	2.8
Azimuth [°]	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83
Height [°]	3.2	3.9	3.2	2.8	2.1	1.4	2.1	2.1	1.8	0.7	0.0	0.0
Azimuth [°]	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173
Height [°]	0.7	0.7	0.7	1.4	2.5	3.5	4.2	4.6	5.3	6.4	6.7	6.4

### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

lat:38.45563055555556, lng:27.21605555555556, exported by solargis.info at 2021  
Fixed plane, Tilts/azimuths: 1°/0°





## Main results

### System Production

Produced Energy

690.3 MWh/year

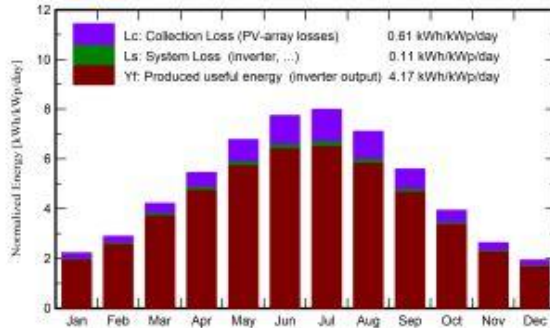
Specific production

1521 kWh/kWp/year

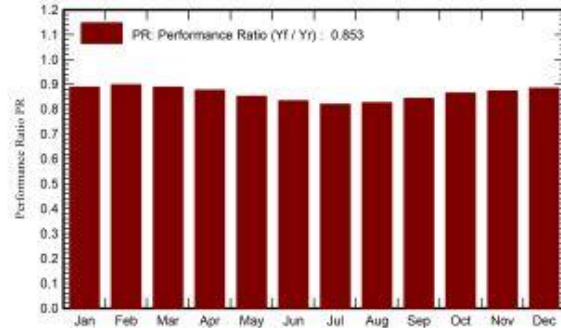
Performance Ratio PR

85.26 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	67.4	30.20	8.90	68.9	64.3	28.45	27.82	0.889
February	79.7	35.80	10.00	81.0	77.0	33.86	33.05	0.899
March	129.4	53.20	12.30	130.8	125.8	54.12	52.73	0.889
April	162.7	69.40	16.10	163.7	158.4	66.95	65.17	0.877
May	209.4	77.90	21.30	210.0	203.7	83.49	81.21	0.852
June	232.1	70.10	26.10	232.4	225.6	90.35	87.90	0.833
July	247.4	65.80	29.00	247.9	241.1	94.83	92.24	0.820
August	219.3	62.80	28.70	220.5	214.2	84.92	82.66	0.826
September	166.0	54.70	24.20	167.6	161.8	65.87	64.18	0.844
October	120.1	45.70	18.90	121.9	116.4	49.03	47.86	0.865
November	77.4	33.00	13.90	79.0	74.1	32.09	31.36	0.874
December	58.7	27.30	10.10	60.0	56.0	24.64	24.09	0.884
Year	1769.6	625.90	18.34	1783.7	1718.3	708.61	690.27	0.853

### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T\_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

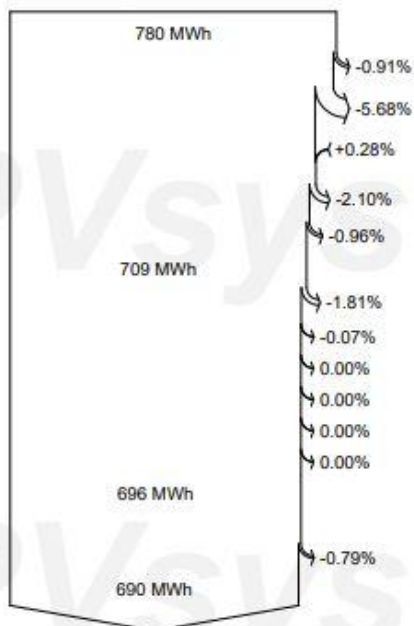
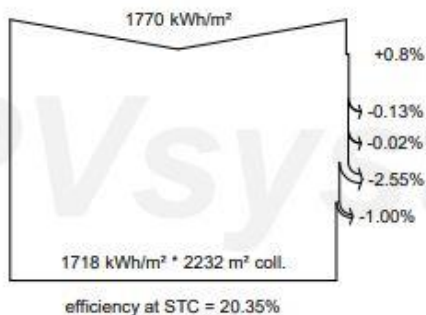
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E\_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

### Loss diagram



**Global horizontal irradiation**  
**Global incident in coll. plane**

- Far Shadings / Horizon
- Near Shadings: irradiance loss
- IAM factor on global
- Soiling loss factor

**Effective irradiation on collectors**

PV conversion

**Array nominal energy (at STC effic.)**

- PV loss due to irradiance level
- PV loss due to temperature

**Module quality loss**

- Mismatch loss, modules and strings
- Ohmic wiring loss

**Array virtual energy at MPP**

- Inverter Loss during operation (efficiency)
- Inverter Loss over nominal inv. power
- Inverter Loss due to max. input current
- Inverter Loss over nominal inv. voltage
- Inverter Loss due to power threshold
- Inverter Loss due to voltage threshold

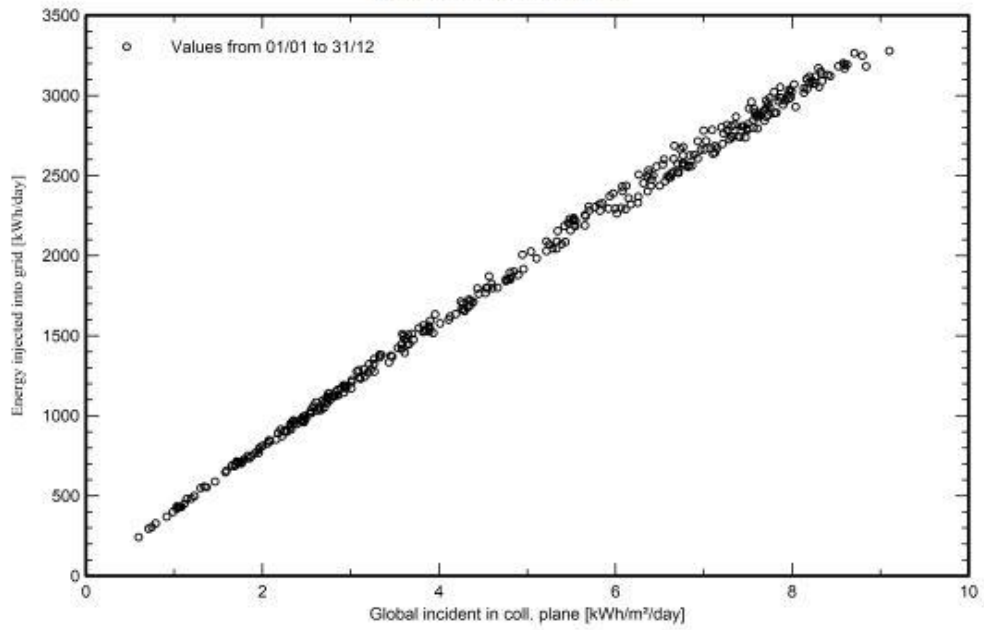
**Available Energy at Inverter Output**

AC ohmic loss

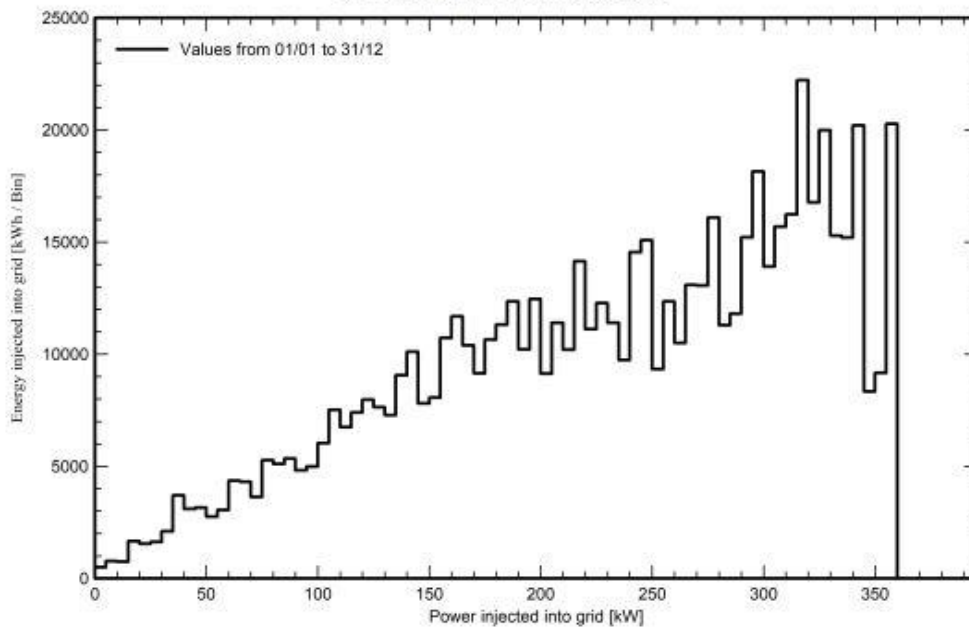
**Energy injected into grid**

### Special graphs

#### Daily Input/Output diagram



#### System Output Power Distribution



## OTOPARK 5 (HEMŞİRELİK ÖNÜ-C) ' E AİT FİZİBİLİTE SONUCU

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>Tables on a building</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation		Nb. of sheds	Transposition
Fixed plane		Averages of diff. arrays	Perez
Tilt/Azimuth	1 / 0 °	<b>Sizes</b>	Diffuse Perez, Meteonom
		Sheds spacing	Circumsolar
		Collector width	separate
		Ground Cov. Ratio (GCR)	
		<b>Shading limit angle</b>	
		Limit profile angle	
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Average Height	3.3 °	Linear shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	PS445M4H-24/TH	Model	Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	445 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	1700 units	Number of inverters	10 unit
Nominal (STC)	757 kWp	Total power	600 kWac
Modules	100 Strings x 17 In series	Operating voltage	570-800 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Phom ratio (DC:AC)	1.26
Pmpp	685 kWp		
U mpp	633 V		
I mpp	1081 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	757 kWp	Total power	600 kWac
Total	1700 modules	Nb. of inverters	10 units
Module area	3720 m <sup>2</sup>	Phom ratio	1.26
Cell area	3354 m <sup>2</sup>		

Array losses					
<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>	
Loss Fraction	1.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	9.8 mΩ
		Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	1.5 % at STC
		Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s		
<b>Module Quality Loss</b>		<b>Module mismatch losses</b>		<b>Strings Mismatch loss</b>	
Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %
<b>IAM loss factor</b>					
Incidence effect (IAM): User defined profile					
0°	20°	40°	60°	70°	75°
1.000	1.000	1.000	0.970	0.910	0.850
					80°
					0.740
					85°
					0.440
					90°
					0.000

AC wiring losses	
<b>Inv. output line up to injection point</b>	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	1.50 % at STC
<b>Inverter: Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)</b>	
Wire section (10 Inv.)	Copper 10 x 3 x 35 mm <sup>2</sup>
Average wires length	60 m

### Horizon definition

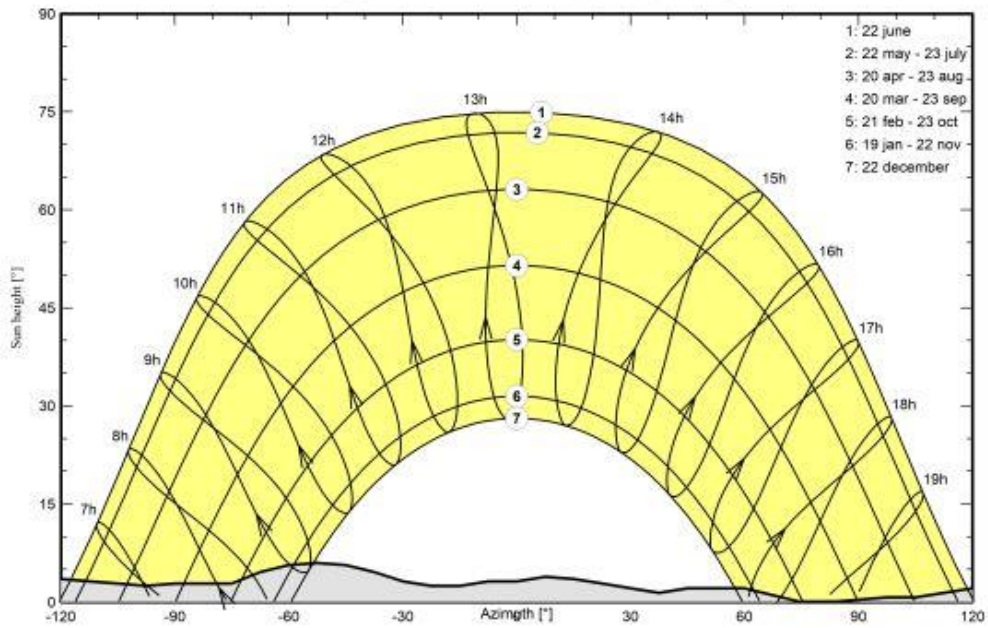
Average Height	3.3 °	Albedo Factor	1.00
Diffuse Factor	1.00	Albedo Fraction	100 %

### Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Height [°]	5.6	5.6	4.6	4.2	4.9	4.2	2.8	3.5	3.5	3.2	2.8	2.5
Azimuth [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8
Height [°]	2.8	2.8	2.8	4.6	5.6	6.0	5.6	4.6	3.2	2.5	2.5	3.2
Azimuth [°]	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83
Height [°]	3.2	3.9	3.5	2.8	2.1	1.4	2.1	2.1	2.1	1.1	0.0	0.0
Azimuth [°]	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173
Height [°]	0.4	0.7	0.7	1.4	2.1	2.8	3.9	4.6	5.3	6.4	6.4	6.4

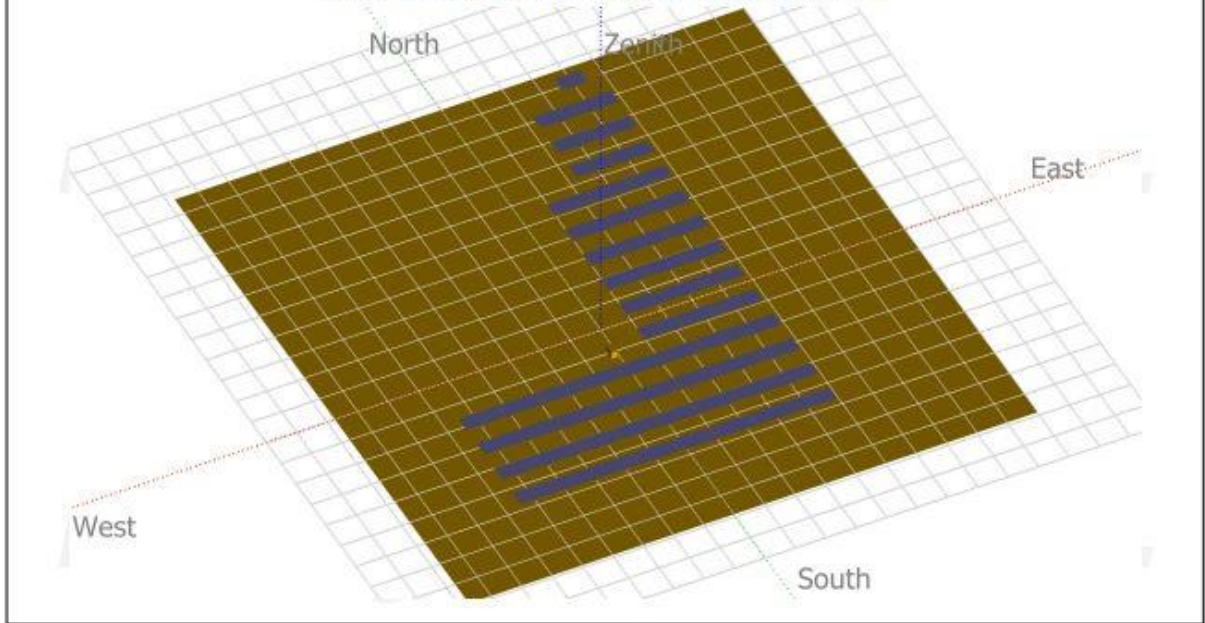
### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

lat:38.45364166666667, lng:27.21546111111111, exported by solargis.info at 2021-



### Near shadings parameter

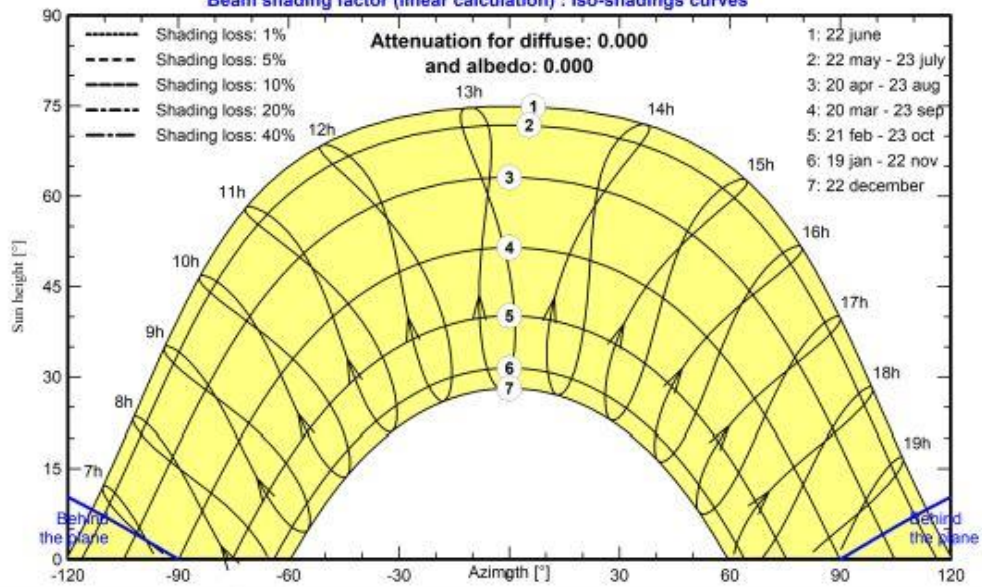
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



### Iso-shadings diagram

#### Bornova OP5 GES

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves



## Main results

### System Production

Produced Energy

1151 MWh/year

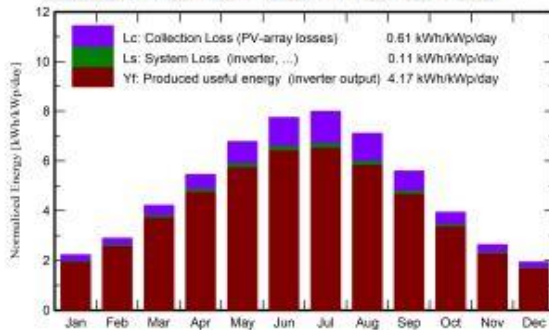
Specific production

1521 kWh/kWp/year

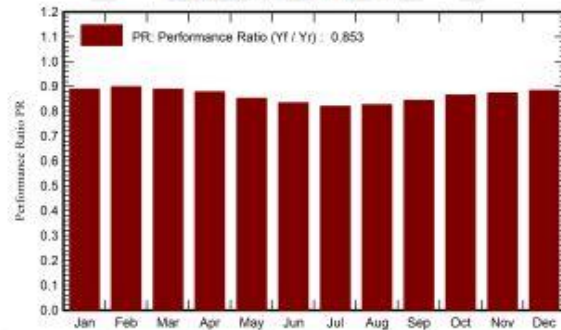
Performance Ratio PR

85.26 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	67.4	30.20	8.90	68.9	64.3	47.4	46.3	0.889
February	79.7	35.80	10.00	81.0	77.0	56.4	55.1	0.899
March	129.4	53.20	12.30	130.8	125.8	90.2	87.9	0.889
April	162.7	69.40	16.10	163.7	158.4	111.6	108.6	0.877
May	209.4	77.90	21.30	210.0	203.8	139.2	135.4	0.852
June	232.1	70.10	26.10	232.4	225.6	150.6	146.5	0.833
July	247.4	65.80	29.00	247.9	241.1	158.1	153.8	0.820
August	219.3	62.80	28.70	220.5	214.2	141.6	137.8	0.826
September	166.0	54.70	24.20	167.6	161.8	109.8	107.0	0.844
October	120.1	45.70	18.90	121.9	116.4	81.7	79.8	0.865
November	77.4	33.00	13.90	79.0	74.2	53.5	52.3	0.874
December	58.7	27.30	10.10	60.0	56.0	41.1	40.1	0.884
Year	1769.6	625.90	18.34	1783.7	1718.5	1181.1	1150.5	0.853

### Legends

GlobHor Global horizontal 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

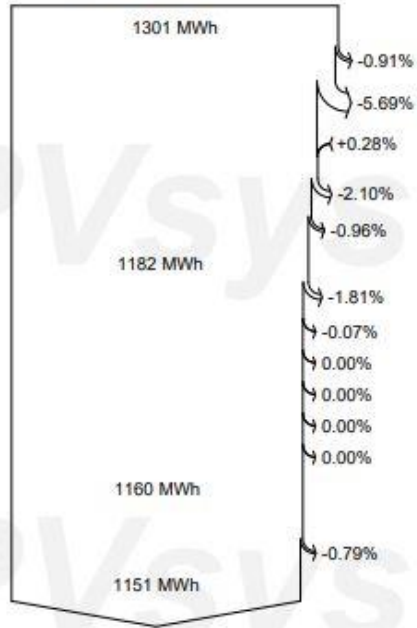
E\_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

### Loss diagram



efficiency at STC = 20.35%



**Global horizontal irradiation**  
**Global incident in coll. plane**

Far Shadings / Horizon  
 Near Shadings: irradiance loss  
 IAM factor on global  
 Soiling loss factor

**Effective irradiation on collectors**

PV conversion

**Array nominal energy (at STC effic.)**

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

**Array virtual energy at MPP**

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

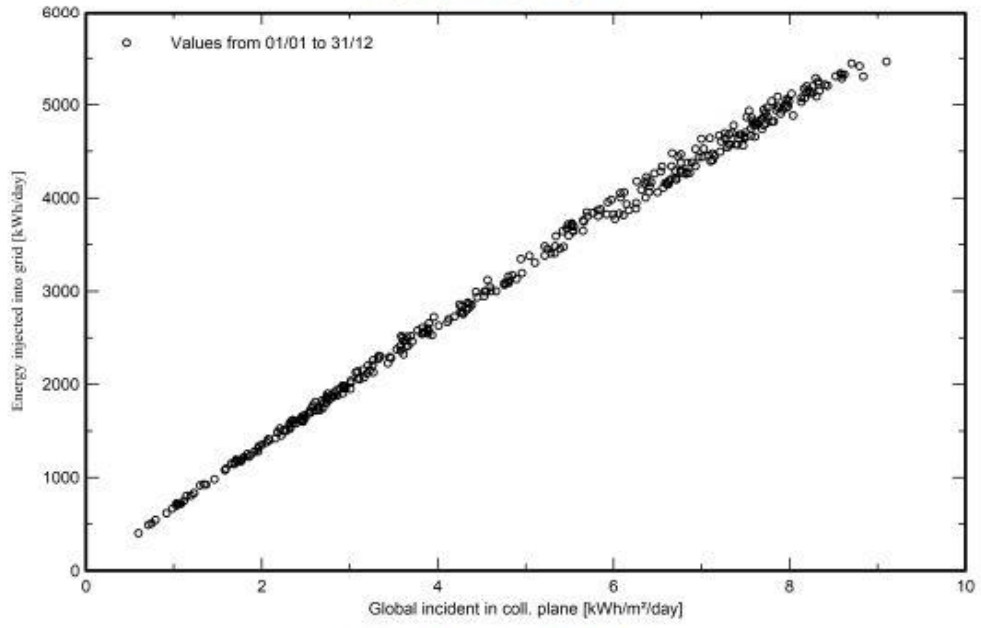
**Available Energy at Inverter Output**

AC ohmic loss

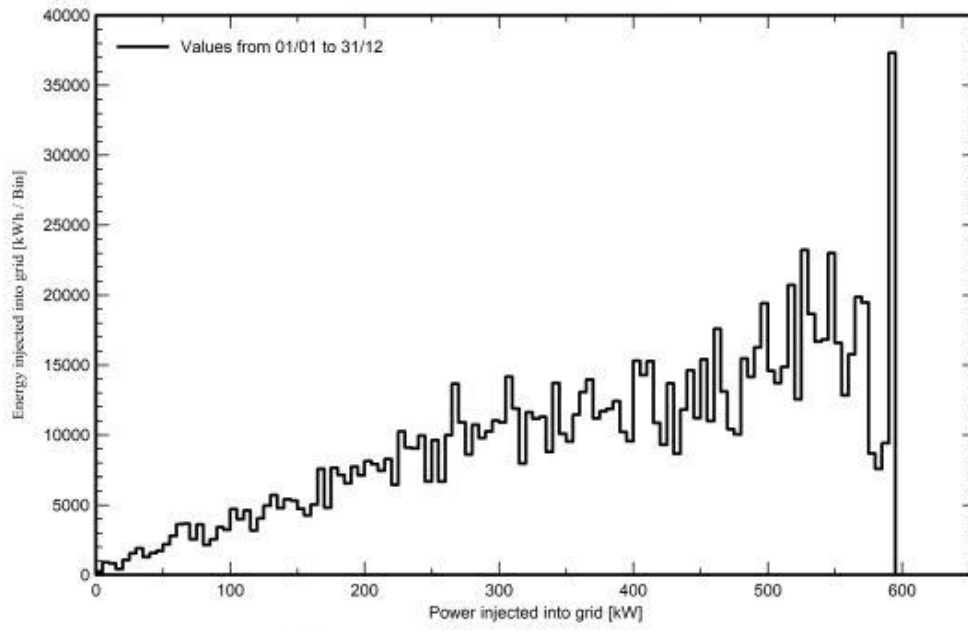
**Energy injected into grid**

### Special graphs

#### Daily Input/Output diagram



#### System Output Power Distribution



## OTOPARK 6 (GASTROENTOLOJİ ÖNÜ) ' E AIT FİZİBİLİTE SONUCU

### General parameters

Grid-Connected System		Tables on a building	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	
Orientation		Nb. of sheds	2210 units
Fixed plane		Averages of diff. arrays	
Tilt/Azimuth	1 / 0 °	<b>Sizes</b>	
		Sheds spacing	1.05 m
		Collector width	1.04 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	99.1 %
		<b>Shading limit angle</b>	
		Limit profile angle	61.1 °
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	
Average Height	3.2 °	Linear shadings	
		<b>Models used</b>	
		Transposition	Perez
		Diffuse	Perez, Meteonorm
		Circumsolar	separate
		<b>User's needs</b>	
		Unlimited load (grid)	

### PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	PS445M4H-24/TH	Model	Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	445 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	2210 units	Number of inverters	13 unit
Nominal (STC)	983 kWp	Total power	780 kWac
Modules	130 Strings x 17 In series	Operating voltage	570-800 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.26
Pmpp	890 kWp		
U mpp	633 V		
I mpp	1406 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	983 kWp	Total power	780 kWac
Total	2210 modules	Nb. of inverters	13 units
Module area	4836 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.26
Cell area	4360 m <sup>2</sup>		

### Array losses

<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>				
Loss Fraction	1.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	7.5 mΩ			
		Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	1.5 % at STC			
		Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s					
<b>Module Quality Loss</b>		<b>Module mismatch losses</b>		<b>Strings Mismatch loss</b>				
Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %			
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	0.970	0.910	0.850	0.740	0.440	0.000

### Horizon definition

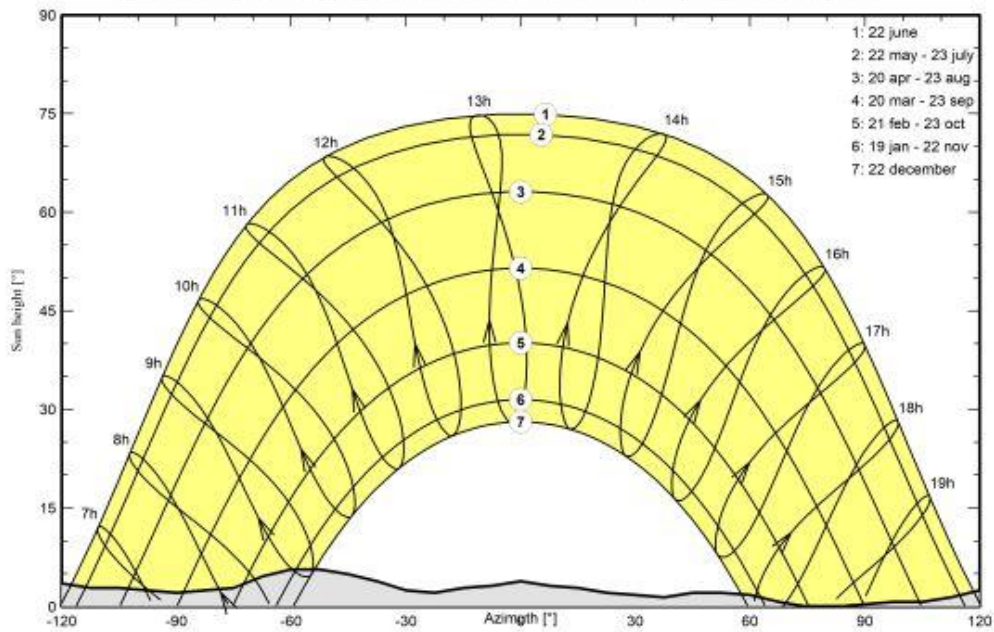
Average Height 3.2 °  
 Diffuse Factor 1.00  
 Albedo Factor 1.00  
 Albedo Fraction 100 %

### Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Height [°]	6.4	5.6	5.3	4.2	4.2	4.9	3.9	2.8	3.5	2.8	2.8	2.5
Azimuth [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8
Height [°]	2.1	2.5	2.8	4.6	5.6	5.6	4.9	3.9	2.5	2.1	2.8	3.2
Azimuth [°]	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83
Height [°]	3.9	3.2	2.8	2.1	1.8	1.4	2.1	2.1	1.8	0.7	0.0	0.0
Azimuth [°]	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173
Height [°]	0.4	0.7	0.7	1.4	2.5	3.2	4.6	4.6	5.3	6.0	6.7	7.1

### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

lat:38.45602777777784, lng:27.207280555555556, exported by solargis.info at 202



### AC wiring losses

#### Inv. output line up to injection point

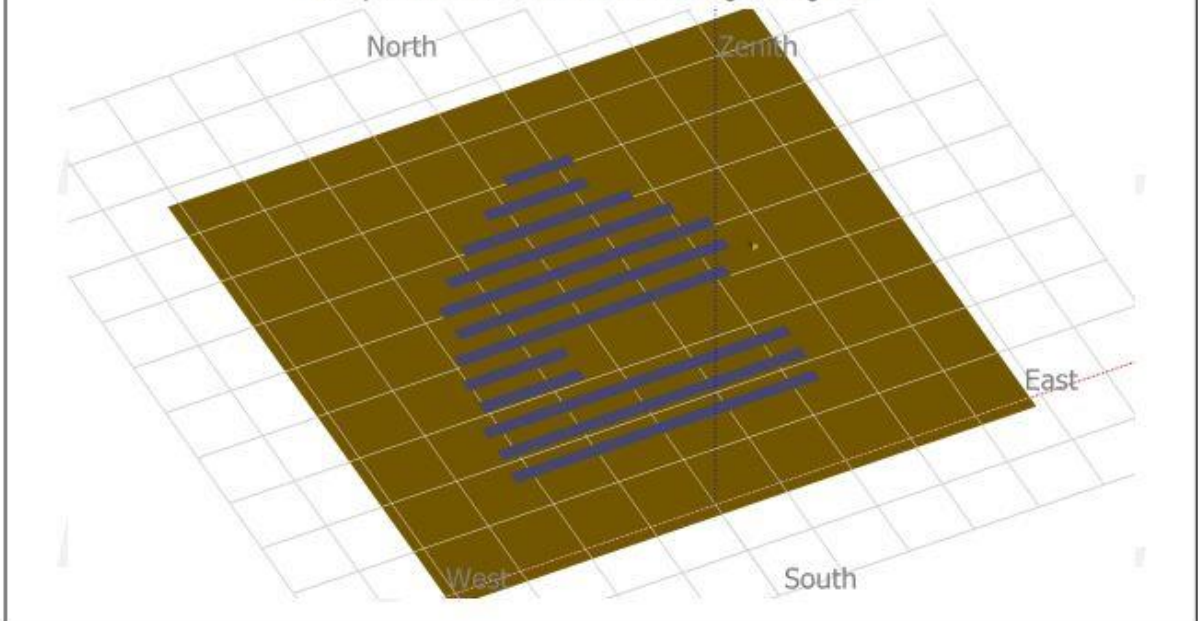
Inverter voltage 400 Vac tri  
 Loss Fraction 1.50 % at STC

#### Inverter: Sunny Tripower 60-US-10 (400 VAC)

Wire section (13 Inv.) Copper 13 x 3 x 35 mm<sup>2</sup>  
 Average wires length 60 m

### Near shadings parameter

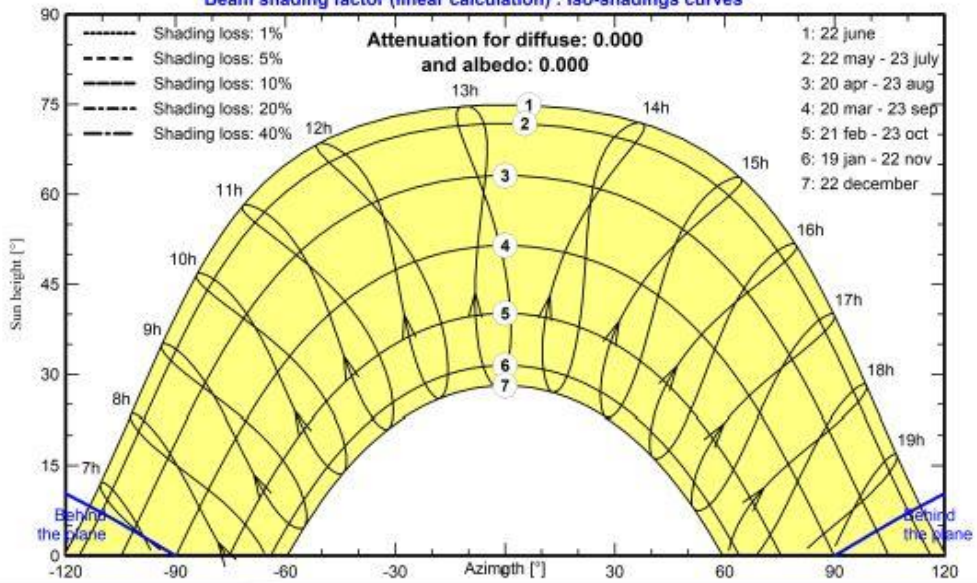
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



### Iso-shadings diagram

Bornova OP6 GES

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves



## Main results

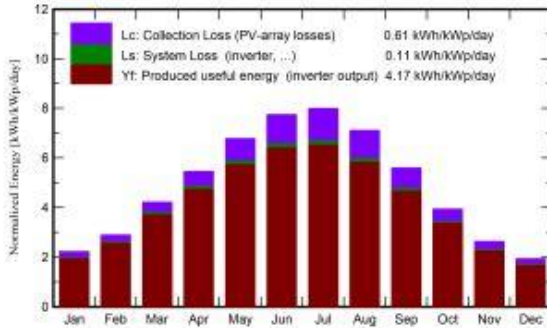
### System Production

Produced Energy 1496 MWh/year

Specific production  
Performance Ratio PR

1521 kWh/kWp/year  
85.27 %

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



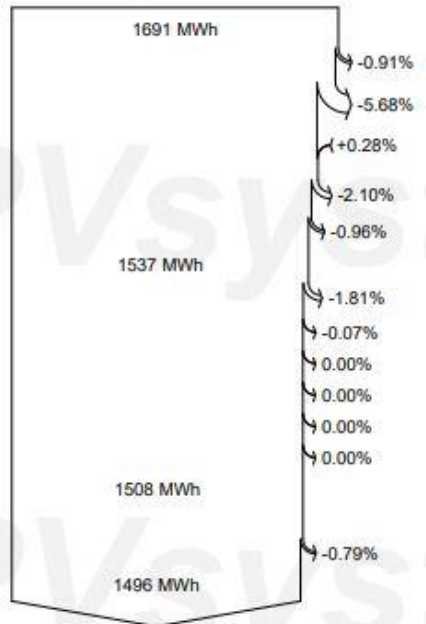
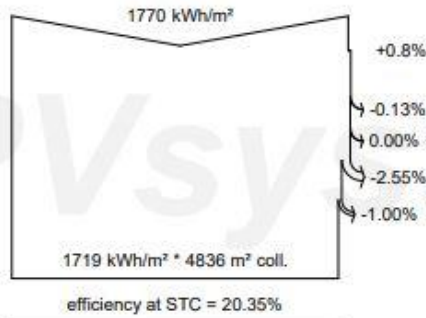
### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
<b>January</b>	67.4	30.20	8.90	68.9	64.3	61.7	60.3	0.889
<b>February</b>	79.7	35.80	10.00	81.0	77.0	73.4	71.6	0.899
<b>March</b>	129.4	53.20	12.30	130.8	125.8	117.3	114.3	0.889
<b>April</b>	162.7	69.40	16.10	163.7	158.4	145.1	141.2	0.877
<b>May</b>	209.4	77.90	21.30	210.0	203.8	180.9	176.0	0.852
<b>June</b>	232.1	70.10	26.10	232.4	225.6	195.8	190.5	0.834
<b>July</b>	247.4	65.80	29.00	247.9	241.1	205.5	199.9	0.820
<b>August</b>	219.3	62.80	28.70	220.5	214.2	184.0	179.1	0.826
<b>September</b>	166.0	54.70	24.20	167.6	161.8	142.8	139.1	0.844
<b>October</b>	120.1	45.70	18.90	121.9	116.4	106.3	103.7	0.865
<b>November</b>	77.4	33.00	13.90	79.0	74.2	69.5	67.9	0.874
<b>December</b>	58.7	27.30	10.10	60.0	56.0	53.4	52.2	0.884
<b>Year</b>	1769.6	625.90	18.34	1783.7	1718.6	1535.5	1495.8	0.853

### Legends

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

### Loss diagram



**Global horizontal irradiation**  
**Global incident in coll. plane**

Far Shadings / Horizon  
 Near Shadings: irradiance loss  
 IAM factor on global  
 Soiling loss factor

**Effective irradiation on collectors**

PV conversion

**Array nominal energy (at STC effic.)**

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

**Array virtual energy at MPP**

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

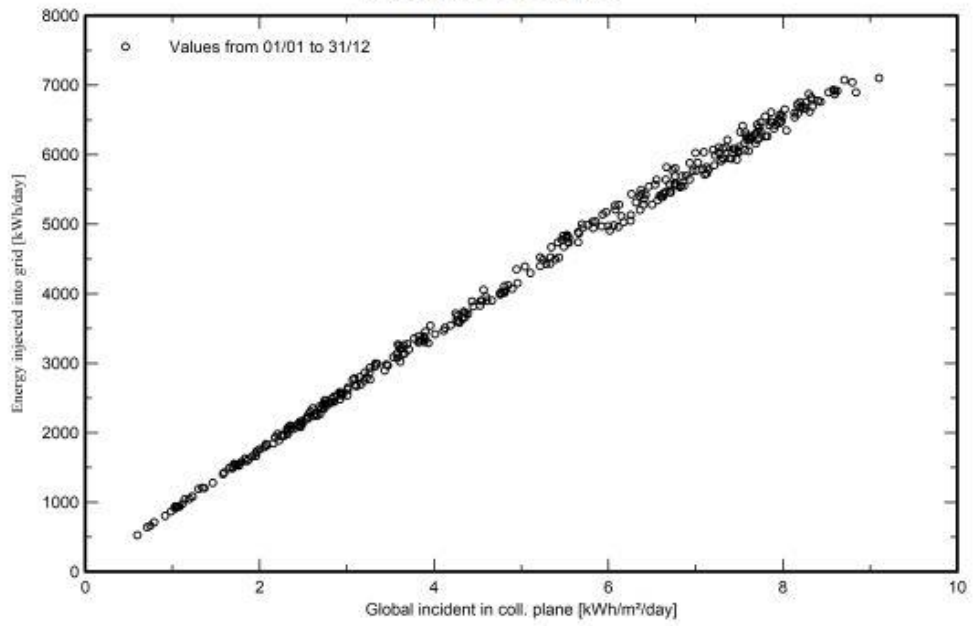
**Available Energy at Inverter Output**

AC ohmic loss

**Energy injected into grid**

### Special graphs

#### Daily Input/Output diagram



#### System Output Power Distribution

