



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İşletme Halindeki Bir Rüzgar Enerjisi Santraline
Güneş Enerjisi Santrali Entegre Edilmesiyle Oluşturulacak
Bir Hibrit Enerji Santralinin
Modellemesi Ve Optimizasyonu**

Yüksek Lisans Tezi

Ali Kaan Uzunsoy

Ekim 2023



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İşletme Halindeki Bir Rüzgar Enerjisi Santraline
Güneş Enerjisi Santrali Entegre Edilmesiyle Oluşturulacak
Bir Hibrit Enerji Santralinin
Modellemesi Ve Optimizasyonu

Yüksek Lisans Tezi

Ali Kaan Uzunsoy

Danışman

Doç. Dr. Hasan Köten

Ekim 2023

TEZ JÜRİSİ ONAYI

Ali Kaan Uzunsoy tarafından hazırlanan "İşletme Halindeki Bir Rüzgar Enerjisi Santraline Güneş Enerjisi Santrali Entegre Edilmesiyle Oluşturulacak Bir Hibrit Enerji Santralinin Modellemesi Ve Optimizasyonu" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Çevre Ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hasan Köten

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Doç. Dr. Fatih Öztürk

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa Yılmaz

Marmara Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 17/10/2023

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin APA yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun APA kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

Doç. Dr. Hasan Köten

Etik İlkelerine Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Ali Kaan Uzunsoy

ÖZET

İşletme Halindeki Bir Rüzgar Enerjisi Santraline Güneş Enerjisi Santrali Entegre Edilmesiyle Oluşturulacak Bir Hibrit Enerji Santralinin Modellemesi Ve Optimizasyonu

Uzunsoy, Ali Kaan

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hasan Köten

Ekim 2023

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması gittikçe popülerlik kazanmakta ve bu tesislerde üretilen elektrik enerjisinin toplam üretim içindeki payı giderek artmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar arasında olan rüzgar ve güneş kaynaklarından elektrik enerjisi üreten tesislerin elektrik arzında saatlik, günlük ve dönemsel dalgalanmalar yaşanmaktadır. Bu kaynaklardan elde edilecek elektrik, iklim şartlarına, meteorolojik olaylara ve gece-gündüz döngüsüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden rüzgar enerjisi santralının (RES) ve güneş enerjisi santralının (GES) her an tam kapasitede çalışması mümkün olmamaktadır.

Şebekeye aynı noktadan bağlanan, elektrik üretimi için birden fazla enerji kaynağını birlikte kullanan tesislere hibrit enerji santrali denmektedir. Mevcutta işletmede olan lisanslı RES'lerin hibrit enerji santraline dönüşümü ile tesisin elektrik arzındaki dalgalanmasının azaltılabileceği ve mevcut lisans kapasitelerinin en yüksek oranda kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada, işletme halindeki Süloğlu Rüzgar Enerjisi Santrali'nin bir hibrit enerji santraline dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Yardımcı kaynak olarak fotovoltaiik güneş seçilmiş olup, meteorolojik veri seti için SolarGIS programı, tasarım için PVsyst programı kullanılmış, hesaplamalar içinse excel programında "Hibrit Enerji Santrali Modeli" oluşturulmuştur.

Teknik ve finansal varsayımlar belirlenerek, PVsyst üzerinden 1 MWp referans GES (35° & dizi inverter) tasarlanmıştır. 1 MWp GES saatlik üretim verisi modele eklenerek, 5, 10, 15,

20 ve 25 MWp güçte GES içeren senaryolar oluşturulmuştur. Her senaryo için “GES Dahil Şebekeye Verilen Toplam Enerji”, “GES’in Üretime Katkısı” ve “GES Kullanılmayan Enerji miktarı” hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi ve LCOE (Levelized Cost Of Energy – Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti) değerleri en düşük senaryonun 15 MWp GES senaryosu olduğu tespit edilmiştir. Optimizasyon senaryolarında kullanmak üzere 15 MWp GES için PVSyst üzerinden tasarım yapılmıştır.

Hibrit tesisin fizibilitesini iyileştirmek için tilt (panel eğim) açısı değişimi ve inverter tipi değişimi ile optimizasyon imkanları incelenmiştir. İlk olarak 35, 25, 14 ve 7 derece tilt açısına sahip GES tasarımı PVSyst ile yapılmış ve saatlik üretim değerleri hibrit model senaryosuna eklenmiştir. Geri ödeme süresi ve LCOE değerleri karşılaştırılan senaryolarda, optimum senaryonun 25 derece tilt açısına sahip “Opt-1b” senaryosu olduğu tespit edilmiştir. Akabinde bu senaryodaki varsayımlar aynı kalma koşulu ile dizi inverter yerine merkezi inverter içeren yeni bir senaryo oluşturulmuş ve bu iki senaryo geri ödeme süresi ve LCOE değerleri üzerinden kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu nihai optimum senaryo “Opt-2b” (25° tilt açısı & merkezi inverter) olarak tespit edilmiştir. Bu iki aşamalı optimizasyon sonrasında geri ödeme süresinin 0,26 yıl kısılması, LCOE değerinin ise %2 (0,68 \$/MWh, 18,38 TL/MWh) düşmesi sağlanmıştır.

Son olarak nihai optimum senaryo için degradasyonu (%0,6) hesaba katarak 25 yıllık üretim verisi ve satış verisi hesaplanmıştır. Bu değerler üzerinden hibrit enerji santrali modeli ile geri ödeme süresi 9,45 yıl, LCOE değeri ise 35,54 \$/MWh (959,63 TL/MWh) olarak hesaplanmıştır. İşletmede olan Süloğlu RES’e 15 MWp GES entegre edilmesiyle hibrit tesisin kurulu gücü 81 MWm / 66 MWe olacaktır.

Anahtar Kelimeler: yenilenebilir enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hibrit enerji, hibrit sistem

ABSTRACT

Modelling and Optimisation of a Hybrid Power Plant by Integrating a Solar Power Plant into an Operational Wind Power Plant

Uzunsoy, Ali Kaan

Master's Thesis, Department of Environmental and Energy Systems Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Hasan Köten

October 2023

The use of renewable energy sources in the production of electrical energy is becoming increasingly popular and the share of electrical energy produced in these facilities in total production is gradually increasing. There are hourly, daily and periodic fluctuations in the electricity supply of facilities generating electricity from wind and solar resources, which are among the renewable resources. Since the electricity to be obtained from these sources varies depending on climatic conditions, meteorological events and day-night cycle, it is not possible for the wind power plant (WPP) and solar power plant (SPP) to operate at full capacity at any time.

Facilities that are connected to the grid from the same point and use more than one energy source together for electricity generation are called hybrid power plants. It is predicted that the fluctuations in the electricity supply of the facility can be reduced and the existing licence capacities can be used at the highest rate by converting the currently operating licensed WPPs into hybrid power plants. In this study, it is aimed to convert the operating Suloglu Wind Power Plant into a hybrid power plant. Photovoltaic solar was selected as auxiliary source, SolarGIS software was used for meteorological data set, PVsyst software was used for design and "Hybrid Power Plant Model" was created in excel software for calculations.

Technical and financial assumptions were determined and 1 MWp reference SPP (35° & array inverter) was designed via PVsyst. 1 MWp SPP hourly production data was added to the model and scenarios with 5, 10, 15, 20 and 25 MWp SPP were created. For each scenario, "Total Energy Supplied to Grid Including SPP", "Contribution of SPP to Generation" and

"Unused Energy of SPP" were calculated. It was determined that the scenario with the lowest payback period and LCOE (Levelized Cost Of Energy) values was the 15 MWp SPP scenario. A design for 15 MWp SPP was made on PVsyst for use in optimisation scenarios.

In order to improve the feasibility of the hybrid plant, optimisation possibilities were examined by changing the tilt angle and inverter type. Firstly, PVsyst was used to design SPPs with 35, 25, 14 and 7 degree tilt angles and hourly production values were added to the hybrid model scenario. The payback period and LCOE values were compared and the optimum scenario was found to be the "Opt-1b" scenario with a tilt angle of 25 degrees. Subsequently, a new scenario with a central inverter instead of a string inverter was created with the same assumptions in this scenario and these two scenarios were compared in terms of payback period and LCOE values. As a result of the comparison, the final optimum scenario was determined as "Opt-2b" (25° tilt angle & central inverter). After this two-stage optimisation, the payback period was shortened by 0.26 years and the LCOE value was reduced by 2% (0.68 \$/MWh, 18.38 TL/MWh).

Finally, for the final optimum scenario, 25-year production data and sales data were calculated by taking into account the degradation (0.6%). Based on these values, the payback period with the hybrid power plant model was calculated as 9.45 years and the LCOE value as 35.54 \$/MWh (959.63 TL/MWh). With the integration of 15 MWp SPP to the operating Suloglu WPP, the installed capacity of the hybrid plant will be 81 MWm / 66 MWe.

Keywords: renewable energy, wind energy, solar energy, hybrid energy, hybrid system

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim ve tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaşarak bana her zaman destek veren kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Hasan Köten'e teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan yazılımları sağlayan Entek Elektrik Üretimi A.Ş.'ye, modelleme konusunda bana destek olan değerli çalışma arkadaşlarım Aydın Haydar Işık, Oğuzhan Yazıcı, Ramazan Kaya ve Doğa Kelkitlioğlu'na teşekkür ederim.

Çalışma boyunca manevi desteğini hiç esirgemeyen biricik eşim Elif Betül Uzunsoy'a teşekkür ederim.

Ali Kaan Uzunsoy

İstanbul, 2023

İÇİNDEKİLER

BEYANLAR.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR.....	VII
TABLoların LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye'nin Enerji Görünümü.....	1
1.2. Hibrit Enerji Santrali Kavramı ve Türkiye'deki Mevzuat	7
1.3. Rüzgar - Güneş Hibrit Enerji Santrali Konsepti	11
1.4. Literatür Özeti	12
2. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNE (GES) GENEL BAKIŞ	16
2.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali	16
2.2. GES Tesisi Ana Bileşenleri	19
2.2.1. Fotovoltaik Panel	19
2.2.2. Inverter (Evirici)	20
2.2.3. Taşıyıcı Sistem (Konstrüksiyon)	21
3. TASARIM & MODELLEME.....	23
3.1. Seçilen Rüzgar Enerjisi Santralinin Mevcut Durumu.....	23
3.1.1. Genel Bilgiler	23
3.1.2. Üretim Verisinin İncelenmesi.....	24
3.2. Hibrit Enerji Santrali Modeli İçin Referans GES Tasarımı	26
3.2.1. Referans GES Bileşenlerinin Seçimi	26
3.2.2. PVsyst Programı Tanıtımı	28

3.2.3.	1 MWp Referans GES'in PVsyst ile Tasarlanması.....	28
3.3.	Hibrit Enerji Santrali Modelinin Kurgulanması	33
3.3.1.	Teknik Varsayımlar	33
3.3.2.	Finansal Varsayımlar	34
3.3.3.	Senaryoların Oluşturulması	36
3.4.	Hibrit Enerji Santrali Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	37
3.5.	15 MWp GES Bileşen Seçimi ve PVsyst İle Tasarlanması.....	39
4.	OPTİMİZASYON	41
4.1.	Modelin Gözden Geçirilmesi ve Optimizasyon Parametrelerinin Seçilmesi	41
4.2.	Farklı Tilt Açılarında Senaryoların Oluşturulması Ve Değerlendirilmesi.....	42
4.3.	Inverter Tipine Göre Senaryoların Oluşturulması Ve Değerlendirilmesi.....	46
4.4.	Optimizasyon Sonuçları ve Nihai Fizibilite.....	50
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
	KAYNAKÇA.....	56
	EKLER.....	61
EK-1.	Hibrit Enerji Santrali Model Dosyası	61
EK-2.	Arçelik ARCLK-SP-545W Modül Datasheet.....	62
EK-3.	Huawei SUN2000-330KTL-H1 Inverter Datasheet	63
EK-4.	TYT Firması GES Kurulum ve İşletme Teklifi	64
EK-5.	1 MWp (35°, dizi) Referans GES Tasarımı PVsyst Raporu.....	65
EK-6.	15 MWp (35°, dizi) GES Tasarımı PVsyst Raporu	71
EK-7.	15 MWp (25°, dizi) GES Tasarımı PVsyst Raporu	77
EK-8.	15 MWp (25°, merkezi) GES Tasarımı PVsyst Raporu	83
	ÖZGEÇMİŞ	89

TABLoların LİSTESİ

Tablo 1-1. 2022 sonu itibariyle Türkiye'nin toplam kurulu gücü ve üretimi.....	1
Tablo 3-1. Süloğlu RES 2019-2023 üretim miktarı (MWh)	25
Tablo 3-2. 1 MWp GES aylık üretim değerleri	32
Tablo 3-3. Hibrit Enerji Santrali Modeli – 1&5 MWp teknik varsayımlar	33
Tablo 3-4. TYT firması GES kurulum ve işletme teklifi	34
Tablo 3-5. Hibrit Enerji Santrali Modeli – 1&5 MWp finansal varsayımlar	35
Tablo 3-6. GES üretim senaryoları (5, 10, 15, 20, 25 MWp).....	37
Tablo 3-7. GES senaryoları üretim ve üretim kayıp (limitlenme) oranları	38
Tablo 3-8. GES senaryoları geri ödeme süresi ve LCOE karşılaştırma	38
Tablo 3-9. 15 MWp GES aylık üretim değerleri	40
Tablo 4-1. Edirne ili için optimum tilt açıları.....	42
Tablo 4-2. Optimizasyon senaryoları arasındaki farklı parametreler	43
Tablo 4-3. GES optimizasyon senaryolarının aylık üretim değerleri.....	43
Tablo 4-4. GES optimizasyon senaryoları üretim ve üretim kayıp (limitlenme) oranları...	44
Tablo 4-5. GES optimizasyon senaryoları geri ödeme süresi ve LCOE karşılaştırma.....	45
Tablo 4-6. GES Opt-2a & Opt-2b senaryo farklılıkları.....	47
Tablo 4-7. GES Opt-2a & Opt-2b optimizasyon senaryolarının aylık üretim değerleri	47
Tablo 4-8. GES Opt-2a & Opt-2b optimizasyon senaryoları üretim ve üretim kayıp (limitlenme) oranları.....	48
Tablo 4-9. GES Opt-2a & Opt-2b senaryoları geri ödeme süresi ve LCOE karşılaştırma..	50
Tablo 4-10. Nihai senaryo konfigürasyon özeti	50
Tablo 4-11. Opt-2b senaryosunun 25 yıllık üretim ve satış değerleri	51
Tablo 5-1. GES senaryoları verilen enerji ve fizibilite sonuçları karşılaştırılması	53
Tablo 5-2. GES Opt-1 senaryoları verilen enerji ve fizibilite sonuçları karşılaştırılması ...	53
Tablo 5-3. GES Opt-2 senaryoları verilen enerji ve fizibilite sonuçları karşılaştırılması ...	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 1-1. Kaynak bazında enerji santrali kurulu güç öngörüsü (2020-2035).....	2
Şekil 1-2. Kaynak bazında elektrik enerjisi üretim oranları öngörüsü (2020-2035)	3
Şekil 1-3. Rüzgar türbini kapasite faktörü dağılımı haritası.....	4
Şekil 1-4. 2011-2022 Türkiye'nin RES kurulu güç gelişimi	4
Şekil 1-5. 2011-2022 Türkiye'nin kurulu gücü içindeki RES'in payı.....	5
Şekil 1-6. Türkiye toplam güneş radyasyonu haritası	5
Şekil 1-7. 2011-2022 Türkiye'nin GES kurulu güç gelişimi	6
Şekil 1-8. 2011-2022 Türkiye'nin kuru gücü içindeki GES'in payı.....	7
Şekil 1-9. Aşağı Kaleköy Hidroelektrik Santrali ve Hibrit GES tesisi.....	8
Şekil 1-10. Uşak RES Hibrit GES tesisi.....	9
Şekil 2-1. Örnek güneş enerjisi santrali diyagramı (Anser, 2020)	17
Şekil 2-2. 1000 kWp GES için öngörülen üretim miktarına göre Türkiye yoğunluk haritası (kWh/yıl)	18
Şekil 2-3. 1000 kWp GES için öngörülen üretim miktarına göre Avrupa yoğunluk haritası (kWh/yıl)	18
Şekil 2-4. Dizi tip inverter kullanılan GES şeması.....	20
Şekil 2-5. Merkezi tip inverter kullanılan GES şeması	21
Şekil 2-6. Taşıyıcı sistemlerin üretim değerlerinin karşılaştırılması (Çınaroğlu, 2020)	23
Şekil 3-1. Süloğlu RES sınırı ve türbin noktaları	24
Şekil 3-2. Süloğlu RES 2019-2023 üretim miktarı grafiği (MWh).....	25
Şekil 3-3. Lalapaşa ilçesinin saatlik ve aylık bazda rüzgar hızı indeksi (ortalamadan sapma)	25
Şekil 3-4. Arçelik ARCK-SP-545W panel fotoğrafı.....	26
Şekil 3-5. Huawei SUN2000-330KTL-H1 inverter fotoğrafı	27
Şekil 3-6. 2 sıra dikey panel yerleşim düzeni.....	28
Şekil 3-7. Meteorolojik veri seti için seçilen konum.....	29
Şekil 3-8. PVsyst üzerinden saatlik meteorolojik verinin türetilmesi	29

Şekil 3-9. PVsyst panel açısı belirleme ekranı	30
Şekil 3-10. PVsyst sistem tanımlamaları ekranı	31
Şekil 3-11. 1 MWp GES sistem kayıp diyagramı	32
Şekil 3-12. GES üretime katkı ve kullanılmayan enerji (5, 10, 15, 20, 25 MWp)	37
Şekil 3-13. 15 MWp GES sistem kayıp diyagramı	40
Şekil 4-1. GES optimizasyon senaryoları üretime katkı ve kullanılmayan enerji (MWh)..	44
Şekil 4-2. Opt-1b sistem kayıp diyagramı	46
Şekil 4-3. GES Opt-2a & Opt-2b optimizasyon senaryoları üretime katkı ve kullanılmayan enerji (MWh)	48
Şekil 4-4. Opt-2b sistem kayıp diyagramı	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

AC	: Alternatif akım
AG	: Alçak gerilim
CO ₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru akım
EBITDA	: Earnings before interests, taxes, depreciation and amortization (FAVÖK)
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EPC	: Engineering, procurement and construction (Mühendislik, tedarik ve kurulum)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FAVÖK	: Faiz, amortisman ve vergi öncesi kâr
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt saat
HES	: Hidroelektrik santral
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
kWp	: Kilowatt peak
LCOE	: Levelised cost of energy (Seviyelendirilmiş enerji maliyeti)
LID	: Light induced degradation (Işık kaynaklı bozulma)
LPSP	: Loss of power supply probability (Güç kaynağı kaybı olasılığı)
MPPT	: Maksimum güç noktası izleme
MW	: Megawatt
MWe	: Megawatt elektrik

MWh	: Megawatt saat
MWm	: Megawatt mekanik
MWp	: Megawatt peak
OG	: Orta gerilim
Opt.	: Optimizasyon
PV	: Fotovoltaik
REPA	: Rüzgar enerjisi potansiyeli Atlası
RES	: Rüzgar Enerjisi Santrali
TARBİL	: Tarımsal izleme ve bilgi sistemi
TEA	: Teknik etkileşim analizi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TWh	: Terawatt saat
TYT	: Temiz Yaratıcı Teknolojiler Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş.
UEVM	: Uzlaştırma Esas Veriş Miktarı
W/m ² K	: Isı geçirgenlik katsayısı
Wp	: Watt peak
YEKA	: Yenilenebilir enerji kaynak alanı
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

1. GİRİŞ

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye'nin Enerji Görünümü

Dünyada ve ülkemizde enerji ihtiyacının çoğu kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliği, sera gazı salınımı, insan sağlığına olumsuz etkileri ve fosil yakıt kaynaklarının tükenmeye başlaması sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmaya başlamıştır. Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, rüzgar ve güneş kaynağının elektrik üretiminde kullanılması, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de son dönemde popülerlik kazanmıştır. 2015 yılında rüzgar kaynağı ve güneş kaynağının toplam kurulu güç içindeki payı sırasıyla %6,16 ve %0,34 iken, 2022 yılı sonunda bu oranlar rüzgar kaynağı için %10,98, güneş kaynağı için ise %9,08 seviyelerine ulaşmıştır (Tablo 1-1). Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu olmanın yanı sıra ülkemizin doğalgaz ve kömür ithalatını azaltacak olması açısından da önem arz etmektedir (EPDK, 2023a).

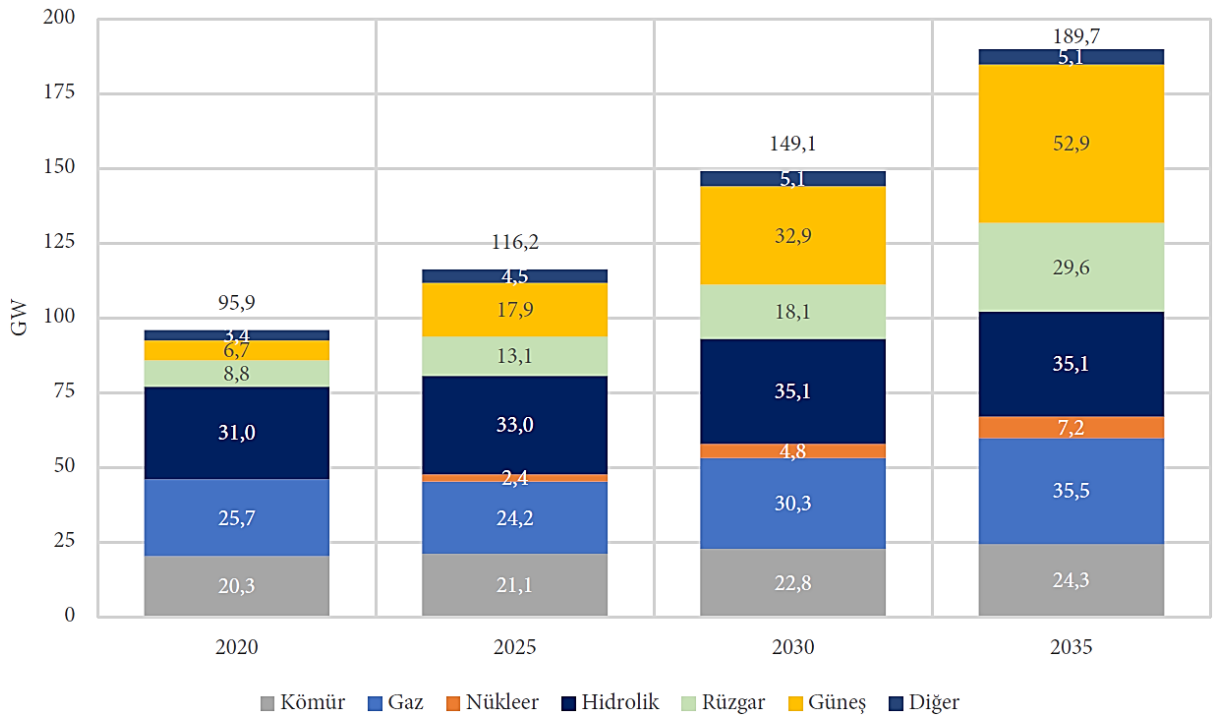
Tablo 1-1. 2022 sonu itibariyle Türkiye'nin toplam kurulu gücü ve üretimi

Kaynak Türü	Toplam Kurulu Güç (MW)	Oran (%)	Toplam Üretim (MWh)	Oran (%)
Hidrolik	31.571,48	30,41	67.194.934,69	20,71
Rüzgar	11.396,17	10,98	35.140.858,14	10,83
Güneş	9.425,44	9,08	15.435.661,31	4,76
Jeotermal	1.691,34	1,63	10.918.764,88	3,36
Biyokütle	1.921,31	1,85	9.080.038,21	2,80
Toplam Yenilenebilir	56.005,73	53,95	137.770.257,22	42,45
Doğal Gaz	25.732,79	24,79	70.827.228,33	21,83
Linyit	10.191,52	9,82	44.745.695,96	13,79
İthal Kömür	10.373,80	9,99	63.259.657,34	19,49
Taş Kömürü	840,77	0,81	3.242.363,27	1,00
Asfaltit	405,00	0,39	1.568.085,50	0,48
Fuel Oil	251,93	0,24	718.653,16	0,22
Nafta	4,74	0,00	0,00	0,00
Lng	1,95	0,00	0,00	0,00
Motorin	1,04	0,00	2.385.741,41	0,74
Toplam Termik	47.803,53	46,05	186.747.424,97	57,55
GENEL TOPLAM	103.809,26	100,00	324.517.682,20	100,00

Yenilenebilir enerji tesislerinden hidroelektrik santraller, 2022 yılındaki elektrik üretiminin %20,71'lik (67,2 TWh) kısmını sağlamıştır. İklim değişikliklerinden etkilenen bu tesislerde 2021 yılında 2020 yılına kıyasla 10 TWh (-%39) daha az üretim sağlanmıştır. Bu noktada enerji arzını sağlamak için ithal ve yenilenemez bir kaynak olan doğal gaz kaynağına mecbur kalınmıştır. (Yıldırım, 2023)

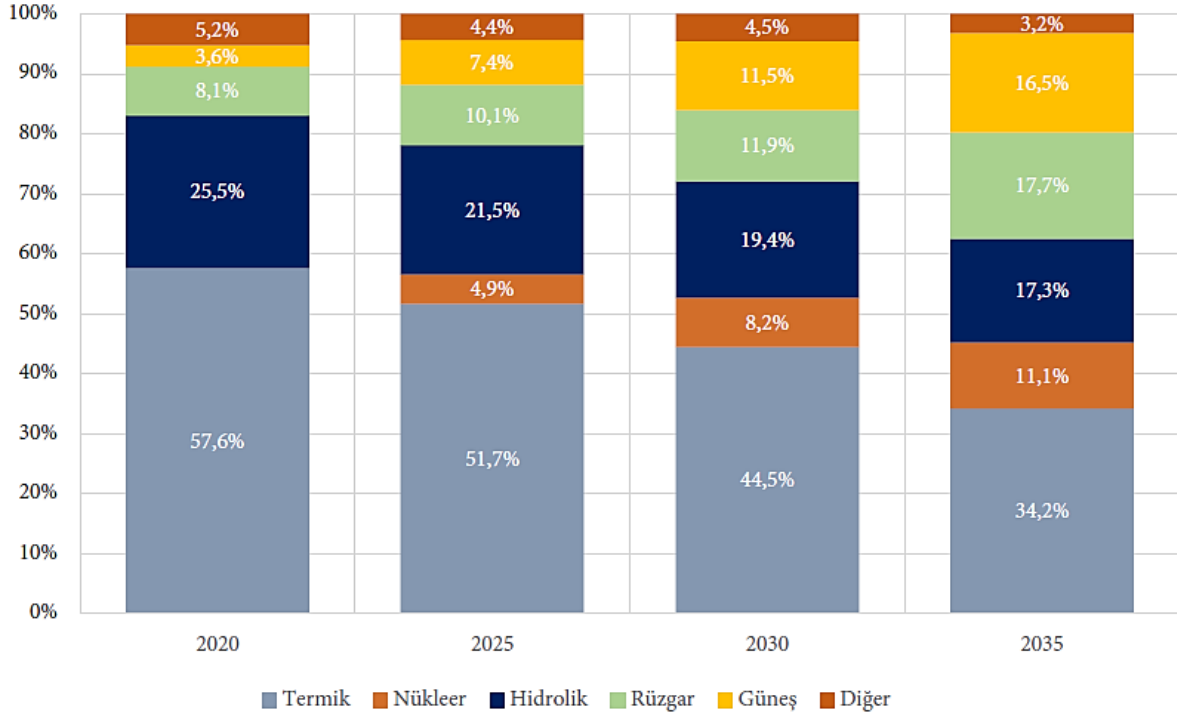
Öztüketimi karşılamaya yönelik GES/RES tesisleri kurulmasına ilişkin mevzuatta (Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği) yapılan değişikliklerde 2021 yılında 1,2 GW (olumlu değerlendirilen), 2022 yılında ise 6 GW (olumlu değerlendirilen) GES başvurusu yapılarak bu alanda önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. (Yıldırım, 2023).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) hazırladığı Türkiye Ulusal Enerji Planı 2022 çalışmasında 2025, 2030 ve 2035 yılları için enerji santrali kurulu güçleri ve kaynakların üretim oranları öngörülmesi yer almaktadır. Şekil 1-1'de göre GES kurulu gücü 2020 yılında 6.700 MW seviyesinde iken 2035 yılında 52.900 MW seviyesine çıkacağı, RES kurulu gücü ise 2020 yılında 8.800 MW seviyesinde iken 2035 yılında 29.600 MW seviyesine çıkacağı öngörülmektedir (ETKB, 2022).



Şekil 1-1. Kaynak bazında enerji santrali kurulu güç öngörüsü (2020-2035)

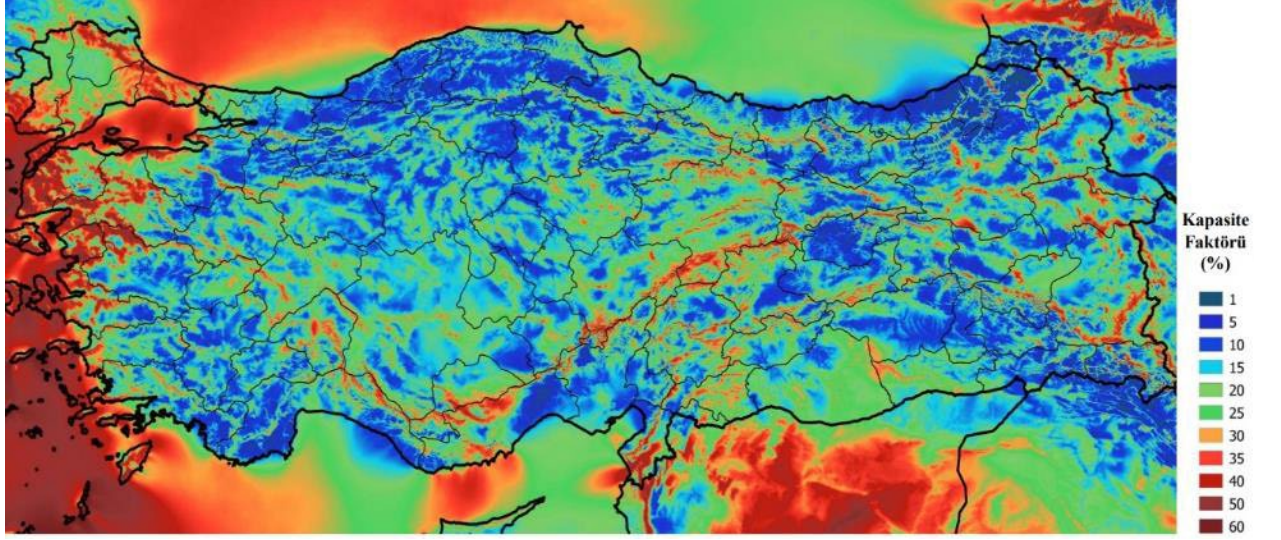
Şekil 1-2'ye göre 2020 yılında üretilen enerjinin %3,6'sı güneş kaynağından, %8,1'i rüzgar kaynağından sağlanıyorken 2035 yılında üretilen enerjinin %16,5'i güneş kaynağından, %17,7'si rüzgar kaynağından sağlanacağı öngörülmektedir. Üretilen enerji içindeki termik (fosil yakıt) kaynak payının yıldan yıla düşeceği öngörülen çalışmada, yenilenebilir kaynaklar dışında nükleer kaynaklardan enerji üretim oranının 2035 yılında %11,1 oranına ulaşacağı öngörülmektedir (ETKB, 2022).



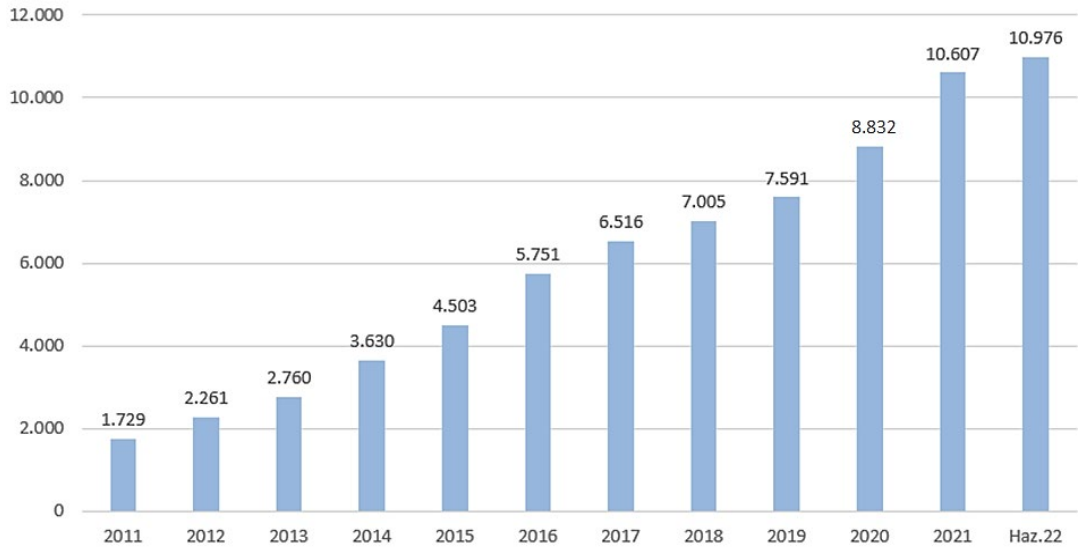
Şekil 1-2. Kaynak bazında elektrik enerjisi üretim oranları öngörüsü (2020-2035)

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş kaynaklarına odaklanılacaktır.

Rüzgar, güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşması sonucunda ortaya çıkan bir olaydır. Güneş enerjisinden dolayı yeryüzünde oluşan sıcaklık farkı, basınç değişimlerini meydana getirmekte ve bu değişimler sonucunda rüzgar olayı oluşmaktadır. Rüzgarın kinetik enerjisi, rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (REPA) göre Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli teorik olarak 48.000 MW civarındadır. 3 MW tipik bir rüzgar türbini ile enerji üretimi kapasite faktörü Türkiye Haritası Şekil 1-3'dedir (EİGM, 2022a).

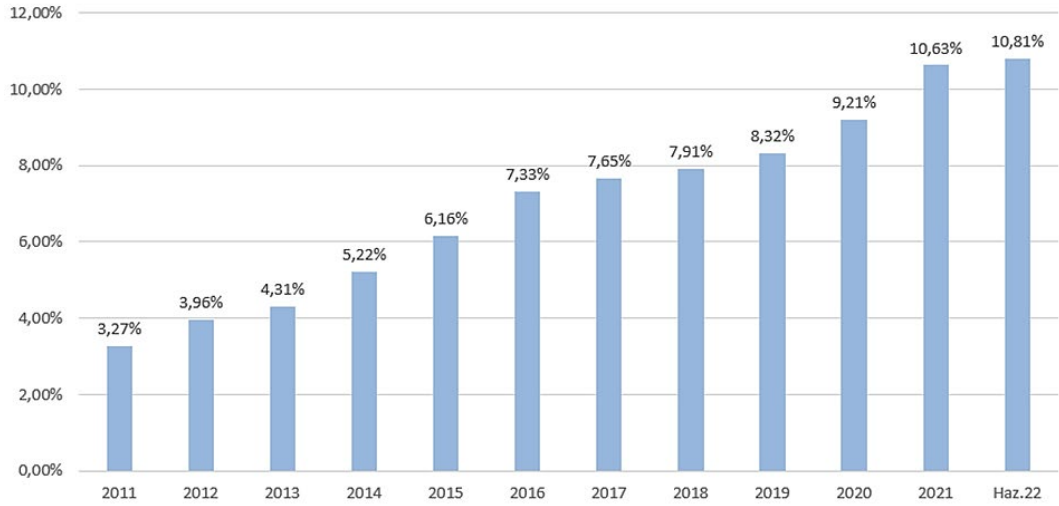


Şekil 1-3. Rüzgar türbini kapasite faktörü dağılımı haritası



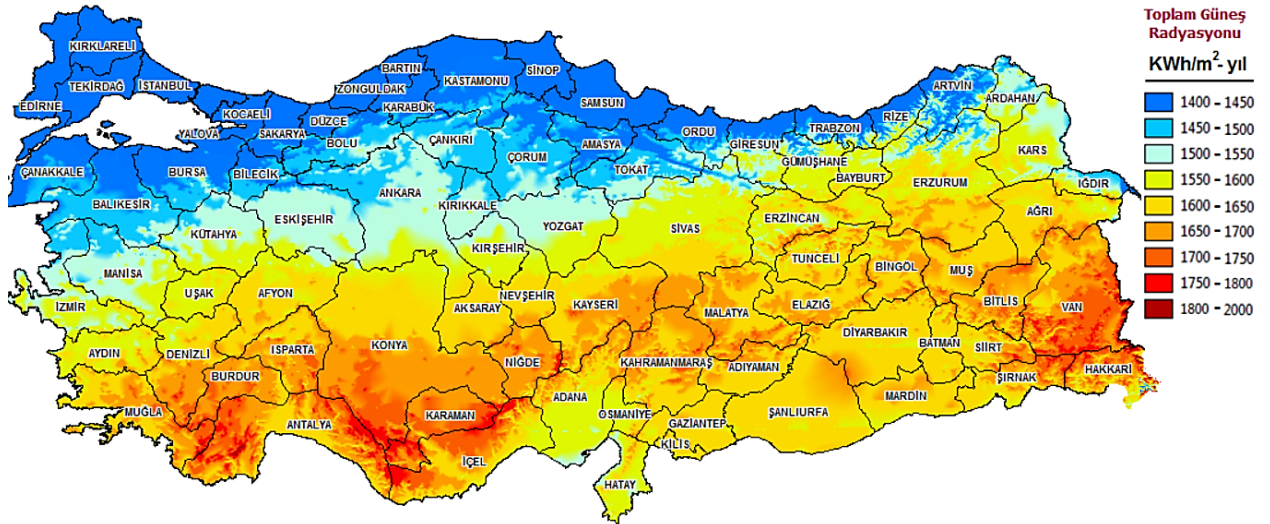
Şekil 1-4. 2011-2022 Türkiye'nin RES kurulu güç gelişimi

Ülkemizdeki rüzgar enerjisi santrali kurulu gücü 2011 yılında 1.729 MW iken Haziran 2022'de 10.976 MW (2022 sonu itibariyle 11.396 MW) değerine ulaşmıştır (Şekil 1-4). Toplam kurulu güç içindeki oranı ise, 2011 yılında %3,27 iken, Haziran 2022'de %10,81 (2022 sonu itibariyle %10,98) değerine ulaşmıştır (Şekil 1-4 & Tablo 1-1).



Şekil 1-5. 2011-2022 Türkiye'nin kurulu gücü içindeki RES'in payı

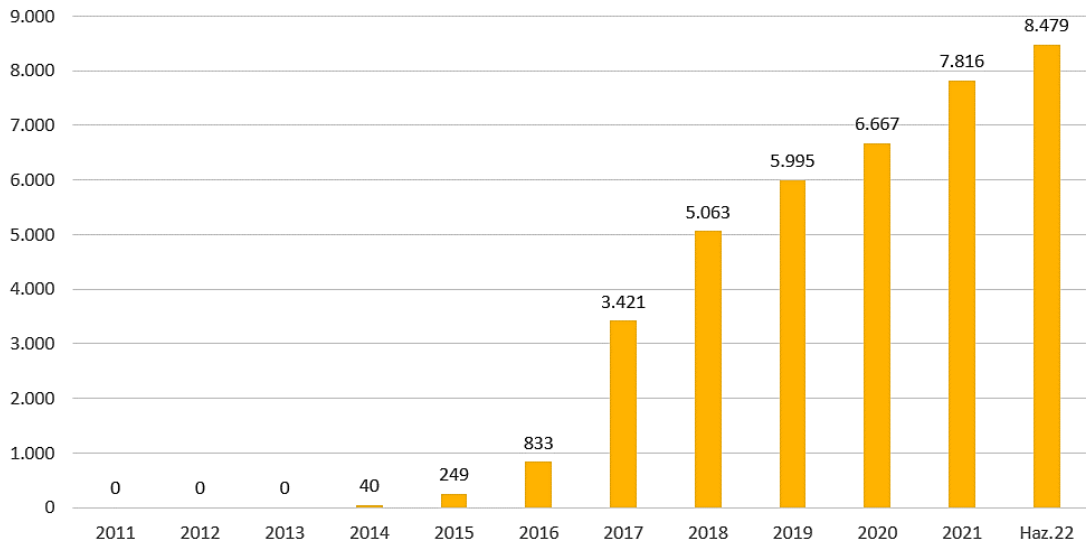
Rüzgar enerjisi santralleri çevreci olmasına karşın, haberleşme, seyrüsefer ve radar sistemlerini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Bu etkileri değerlendirmek ve en aza indirmek için santral projelendirme döneminde, ülkemizde TÜBİTAK tarafından teknik etkileşim analizi (TEA) çalışması yapılmakta ve olumlu/olumsuz görüş verilmektedir (RAPSİM, 2023).



Şekil 1-6. Türkiye toplam güneş radyasyonu haritası

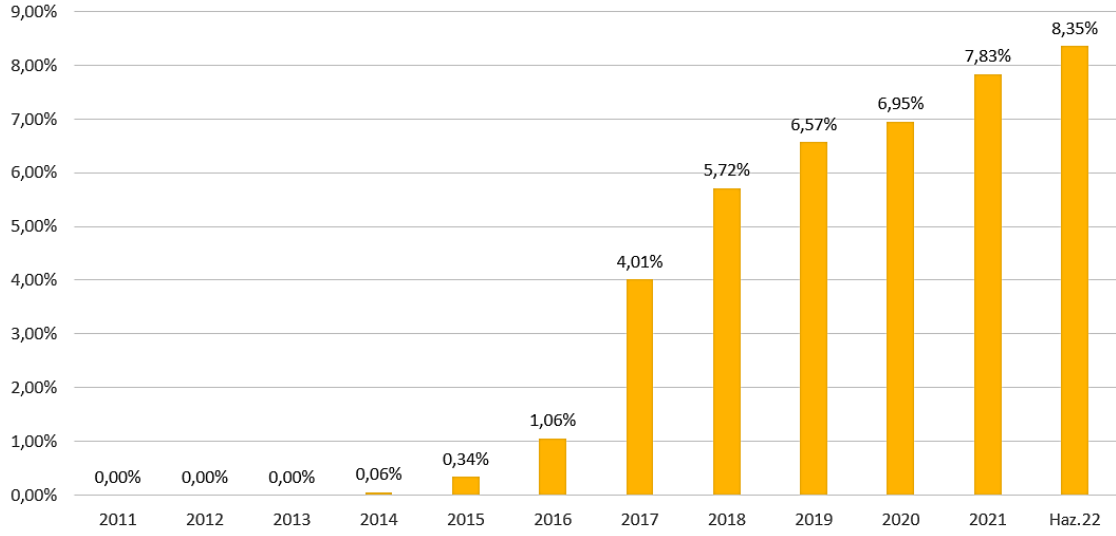
Güneş enerjisi, nükleer yakıtlar dışında dünyada kullanılan yakıtların ana kaynağıdır. Ülkemiz, coğrafi konumu sebebiyle güneş enerjisi potansiyeli bakımından avantajlı konumdadır. Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu haritası Şekil 1-6'da verilmiştir. Ülkemizde en yüksek üretim potansiyeli Güney Doğu Anadolu bölgesi ve Akdeniz Bölgesi'nde, en düşük potansiyel ise Karadeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi'ndedir (EİGM 2022b).

Güneş enerjisinden ısı (termal) ve fotovoltaik olarak 2 ana kategoride fayda sağlanmaktadır. Bu çalışmada, fotovoltaik güneş enerjisi santralleri, kısaca “Güneş Enerjisi Santrali (GES)” olarak ifade edilecektir.



Şekil 1-7. 2011-2022 Türkiye'nin GES kurulu güç gelişimi

Ülkemizdeki güneş enerjisi santrali kurulu gücü, İstanbul'da kurulan ilk tesis ile 2011 yılında 500 kW (0,1 MW) iken, Haziran 2022'de 8.479 MW (2022 sonu itibariyle 9.425 MW) değerine ulaşmıştır (Şekil 1-7). Toplam kurulu güç içindeki GES oranı ise, 2011 yılında %0'a yakınken, Haziran 2022'de %8,35 (2022 sonu itibariyle %9,38) değerine ulaşmıştır (Şekil 1-8, Tablo 1-1).



Şekil 1-8. 2011-2022 Türkiye'nin kuru gücü içindeki GES'in payı

1.2. Hibrit Enerji Santrali Kavramı ve Türkiye'deki Mevzuat

Şebekeye aynı bağlantı noktasından bağlanan, birden fazla enerji kaynağından elektrik üretmek amacı ile kurulan tek bir tesise hibrit enerji santrali denmektedir. Hibrit enerji santrali için birçok farklı kaynak birlikte kullanılabilir. Genellikle güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve batarya kaynaklarının kombinasyonlarından oluşmaktadır.

Ülkemizdeki ilk hibrit santral Aşağı Kaleköy Hidroelektrik Santrali (HES) ve GES tesisidir (Şekil 1-9). 510,20 MWm / 500,00 MWe güçte HES tesisi 2020 yılında devreye alınmıştır. Aynı yıl barajın kuyruk suyu kısmında, HES inşaatında kullanılıp rehabilite edilen yaklaşık 1.100.000 m2 alanda GES projesi geliştirilmiştir. Sağ ve sol sahil olmak üzere toplam 79,99 MWp kurulu güce sahip GES tesisinde üretilen elektrik enerjisi, Aşağı Kaleköy Barajı ve HES santral binasındaki mevcut trafo üzerinden şalt sahasına, oradan da elektrik şebekesine iletilmektedir.



Şekil 1-9. Aşağı Kaleköy Hidroelektrik Santrali ve Hibrit GES tesisi

Başka bir hidroelektrik - GES hibrit çalışması Murat HES için yapılmıştır. 36 MW güçte olan tesise 10 MW güçte GES tesisi entegre edilmiştir (Kaplan, 2023). Yağışların az olması ve sıcaklıkların artmasıyla yaz aylarında daha az enerji üretebilen hidroelektrik santrallerine, en fazla enerji üretimi yaz ayları olan GES tesisi entegre etmek optimum bir çözüm olarak ortaya konmaktadır.

RES - GES hibrit santral olarak projelendirilen ve birlikte işletmeye alınan ilk tesis, Erciyes RES tesisidir. Ekim 2022’de devreye alınan tesis 12 adet 5,7 MWm güçte türbin ile toplamda 68,4 MWm / 65 MWe güce ek 16 MWp gücünde fotovoltaik panel eklenerek 84,4 MWm / 65 MWe güce ulaşmıştır (YeşilEkonomi, 2022). RES tesisinin inşaatının devam ettiği ve kısmi olarak işletmede olduğu Akyel-1 RES ve Akyel-2 RES tesisine ise toplamda 50 MWp güçte GES tesisi entegre edilmiştir (EPDK, 2023c).

Ülkemizin en büyük RES - GES hibrit santrali, Haziran 2023’de devreye alınmıştır. 215,5 MWm / 202,3 MWe kurulu gücü olan 115,5 MWm / 104,7 MWe kısmi işletmede olan rüzgar enerjisi santraline tam 82,15 MWp güçte güneş enerji santrali entegre edilmiştir (Şekil 1-10). Toplamda 155.000 adet çift yüzlü (bifacial) PV panel kullanılan GES tesisinin yıllık 164 GWh enerji üretmesi öngörülmektedir (Aydem, 2023).



Şekil 1-10. Uşak RES Hibrit GES tesisi

Hibrit santrallerde farklı kaynak kullanımlarına bakıldığında, Ceylan & Devrim (2021) tarafından, bir sera için elektrik ve ısı sağlamak amacıyla Fotovoltaik – Elektrolizör - Proton Değişim Membranlı Yakıt Hücresinden (PEMFC) oluşan hibrit enerji sisteminin tasarımı ve optimizasyonunun yapıldığı görülmüştür. Rezzouk vd. (2015) tarafından fotovoltaik - dizel jeneratör - batarya bileşenleri içeren hibrit sistem için %0 - %100 arasında değişen fotovoltaik üretim oranı içeren senaryolar kıyaslanmış, optimum konfigürasyonun %25 fotovoltaik üretimi içeren senaryo olduğu ortaya konmuştur.

Güneş kaynağından hem fotovoltaik hem de termal olarak yararlanılan hibrit sistemler de mevcuttur. Yapılan bir çalışmada fotovoltaik panel, güneş kolektörü ve ikisinin birlikte kullanıldığı sistem olmak üzere 3 ayrı senaryo karşılaştırılmış, bunlar arasından en verimlisinin nanoakışkanlı PV/T (Fotovoltaik/termal) panel sistemi içeren senaryo olduğu sonucuna varılmıştır (Ökten, 2023).

Ülkemizde, “Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği” mevzuatında 2020 yılında yapılan değişiklik ile hibrit enerji santrali kurmanın yasal dayanağı oluşturulmuştur. 08.03.2020 tarih ve 31062 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile “Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği” revize edilmiştir. Bu revizyonda yönetmeliğin 4’üncü maddesinin birinci fıkrasına aşağıdaki tanımlar eklenmiştir:

“Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisi: Birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisini, birleşik elektrik üretim tesisini, destekleyici kaynaklı elektrik üretim tesisini ve birlikte yakmalı elektrik üretim tesisini,”

“Birleşik elektrik üretim tesisi: Şebekeye aynı bağlantı noktasından bağlanan birden fazla enerji kaynağından elektrik üretmek amacı ile kurulan tek bir elektrik üretim tesisini,”

“Birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisi: Şebekeye aynı bağlantı noktasından bağlanan tamamı yenilenebilir birden fazla enerji kaynağından elektrik üretmek amacı ile kurulan tek bir elektrik üretim tesisini,”

“Birlikte yakmalı elektrik üretim tesisi: Yenilenebilir enerji kaynakları dışındaki kaynakların kullanıldığı elektrik üretim tesislerinde, ana kaynak yanında yenilenebilir yardımcı kaynağın aynı tesiste yakıldığı tek bir elektrik üretim tesisini,”

“Destekleyici kaynaklı elektrik üretim tesisi: Üretim tesislerinde ısı dönüşüm sürecinde diğer bir enerji kaynağından da yararlanılan tek bir elektrik üretim tesisini,”

“Ana Kaynak: Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinde önlisans veya lisans başvurusunda tercih edilen kaynağı,”

“Yardımcı kaynak: Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinde önlisans veya lisans başvurusunda kullanılan ana kaynak türünde olmamak üzere, ana kaynak dışındaki diğer kaynak ya da kaynakları,”

“Yüzer GES: Rezervuarlı veya regülatörlü hidroelektrik üretim tesisleri santral sahaları kapsamındaki su yüzeylerine kurulan güneş enerjisine dayalı elektrik üretim ünitelerini ifade eder.” (EPDK, 2023b)

Aynı yönetmeliğin 5. Maddesinin birinci fıkrasına “Birden çok kaynaklı elektrik üretim tesislerinde kullanılan yardımcı kaynak ünitesi, ana kaynağa dayalı tesisin ünitesi olarak kabul edilir ve tesis tek bir önlisans veya lisans kapsamında değerlendirilir.” ifadesi eklenmiştir. Ayrıca 5. maddeye dördüncü fıkra eklenmiştir: “(4) Birleşik elektrik üretim tesisi ve birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisinde hiçbir koşulda yardımcı kaynak ana kaynağa dönüştürülemez.”

Yönetmelik Madde 25 – (17)’ye göre üretim lisansına konu tesisin birden çok kaynaklı elektrik üretim tesisine dönüştürülmesi kapsamında yapılan tadil başvurusu rüzgar - güneş hibrit santral için aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

- Lisansa derç edilmiş sahanın dışına çıkılmaması
- Lisansa derç edilmiş tesis toplam elektriksel kurulu gücünün değişmemesi
- Üretim lisansına derç edilmiş mevcut bağlantı şekli, bağlantı noktası ve gerilim seviyesinin değişmemesi
- Yardımcı kaynağı rüzgar veya güneş enerjisine dayalı olan lisanslar için yardımcı kaynaklara ilişkin EİGM (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü) tarafından yapılan teknik değerlendirmenin uygun olması (EPDK, 2023b)

1.3. Rüzgar - Güneş Hibrit Enerji Santrali Konsepti

Rüzgar ve güneş kaynaklarının birlikte kullanıldığı elektrik santralleri “Birleşik yenilenebilir elektrik üretim tesisi” sınıfına girmektedir. Rüzgar veya güneş kaynağından herhangi biri ana kaynak olup diğeri de yardımcı kaynak olabilir.

Rüzgar enerjisi santrali ve güneş enerjisi santralinden elde edilecek elektrik miktarı, iklim şartlarına, meteorolojik olaylara ve gece-gündüz döngüsüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden bu tesislerin her an tam kapasitede çalışması mümkün olmamaktadır. Ayrıca rüzgar enerjisi ve güneş enerjisindeki dalgalanmalar kısmen ters orantılı bir örüntü meydana getirmektedir. Yaz aylarında PV güneş enerjisi santrali üretimi yüksek olurken rüzgar hızının düşük olması dolayısıyla RES üretimi düşmektedir. Kışın ise tam tersi, güneşlenme miktarı az olup, rüzgar hızı daha yüksek seyretmektedir. Bu örüntüden dolayı güneş ve rüzgar kaynağın birlikte kullanılması ile hibrit tesisin elektrik arzındaki dalgalanmanın azaltılabileceği ve tesisin mevcut lisans kapasitesini en yüksek oranda kullanabileceği öngörülmektedir.

Rüzgar-güneş hibrit santralin avantajları aşağıda özetlenmiştir:

- Üretim potansiyelleri kısmen ters orantılı olup birbirini tamamlayacaktır.
- Ana kaynak santralde emre amadelik artacağı için, dengesizlik cezalarının azalmasını sağlayacaktır.

- Ana kaynak santraldeki bakım-onarım süreçlerinde enerji arzı yardımcı kaynak üretimi ile desteklenebilecektir.
- Ana kaynak ile sisteme kurulu güç kadar veriş yapıldığı durumlarda, iç tüketimi karşılamak için yardımcı kaynak üretimi kullanılabilir.
- Ana kaynak tesis için mevcut altyapı ve lisans gücünden maksimum fayda sağlanmış olacaktır.

1.4. Literatür Özeti

Rüzgar enerjisi santralleri ve güneş enerjisi santrallerinde her an istenen miktarda elektrik üretimi sağlanamaması, arz güvenliği ve sürekliliği açısından önemli bir problemdir. Tüm üretim tesisleri içindeki RES ve GES'lerin oranı artış trendinde olduğundan bu problemin çözümü gittikçe önem kazanmaktadır. İlgili konularda yapılan güncel bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Öz (2023) “Endüstriyel bir tesisin elektrik enerjisi talebinin hibrid güç sistemiyle karşılanmasının teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi” adlı çalışmada örnek olarak bir büyükbaş hayvan çiftliği seçmiştir. Bu çiftliğin elektrik ihtiyacı için Biyokütle - Güneş - Rüzgar kaynaklı hibrit enerji santrali tasarlanmıştır. Tasarım ve modelleme için PVsyst, PV*SOL ve HOMER yazılımı kullanılan çalışmada, fotovoltaik paneller 160 kW, rüzgar türbini 4,2 kW biyogaz ünitesi ise 1.600 kW güçte seçilmiştir. Tesis ilk yıl, ihtiyacının %85'ini şebekeden alırken biyogaz kaynağı olan çiftlik atıklarının artmasıyla şebekeden alınan enerji sıfırlanacağı hesaplanmıştır.

İster (2020) çalışmada Bozcaada'nın elektrik ihtiyacının depolamalı rüzgar-güneş hibrit enerji sistemi ile karşılanabilirliği ve bu sistemlerin boyutlandırmasındaki optimizasyona odaklanılmıştır. Bu optimizasyon işlemi için HOMER programı kullanılmıştır. Bozcaada'nın elektrik tüketim ve meteorolojik verileri ile gerçekleştirilen çalışma sonucunda 0,119 \$/kWh ile en düşük LCOE değerini sağlayan konfigürasyonda 11.004 kW gücünde güneş paneli, toplam 3.630 kW güce sahip 11 adet rüzgar türbini, 38.052 kWh kapasiteli lityum-iyon akü ve 4.914 kW gücünde inverter kullanılmıştır. Sistemin amortisman süresi 11,5 yıl olarak bulunmuştur.

Filik, vd. (2015) tarafından üniversite kampüsüne güneş - rüzgar verilerini izleme sistemi ve hibrit enerji üretme sistemi kurulmuştur. 6 kW şebeke bağlantılı, 4 kW şebekeden bağımsız

güneş panellerinden ve 1 kW rüzgar türbininden oluşan, kendi enerjisini kendi üreten bir evin tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Yeni yöntemler ve yeni yaklaşımlar geliştirmek için küresel ışınlım, direkt ışınlım, difüze ışınlım, güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve hava basıncı değerlerini hassas bir şekilde ölçen ve kayıt altına alabilen bir veri izleme sistemi de tasarlanmıştır. Modelleme/analiz çalışmaları için Power Transmission System Planning Software (PSSE) yazılımı kullanılmıştır.

Arslan (2022) tarafından yapılan “Güneş Enerji Santrallerinin Simülasyon İle Üretim Verilerinin Karşılaştırılması Ve Analizi” adlı çalışmada Uşak ve Kayseri illerinde yer alan 3 güneş enerjisi santralının üretim verileri PVsyst, PVSOL ve PVGIS programlarında oluşturulan simülasyonlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde PVsyst programı %3,83 sapma ile gerçek değerlere en yakın sonuçları verdiği görülmüştür. PVSOL programı %4,84 sapma ile 2. olmuş, PVGIS programı ise %5,78 sapma ile 3. olmuştur. Benzer şekilde Kılıcı (2022) tarafından yapılan “Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVsyst Programında Üretim ve Performans Analizi” adlı çalışmada Kayseri’de yer alan 500 kWp GES’in üretim değerinin PVsyst simülasyonu ile karşılaştırıldığında simülasyonun sapmasının “-%2” olduğu tespit edilmiştir.

Demiral (2023) tarafından yapılan çalışmada 50 hanelik bir topluluk için PV-batarya ve rüzgar türbini-PV-batarya sistem senaryoları, güç kaynağı kaybı olasılığı (LPSP) kullanılarak farklı şebeke bağımlılığı seviyelerinde karşılaştırılmıştır. Tasarım ve modelleme için TRYSYS ve MATLAB/Simulink programları kullanılan çalışmada 8 senaryo oluşturulmuştur. En düşük LCOE değeri 0,04 \$/kWh olarak bulunmuş, bu değer 163 adet 405Wp panel ve 7 adet 12,8V/200Ah içeren 0,281 LPSP değerine sahip sisteme ait senaryo olduğu ifade edilmiştir.

Malik vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada güneş, rüzgar ve biyokütle kaynaklarını kullanarak Batı Himalaya bölgesinde şebekeye bağlı bir hibrit sistemin tekno-ekonomik ve çevresel fizibilite analizi yapılmıştır. Depolama ünitesinin de mevcut olduğu senaryolar içeren toplam 5 farklı konfigürasyon oluşturulmuştur. Şebekeye bağlı biyokütle - fotovoltaik hibrit sistemin 0,099 \$/kWh enerji üretim maliyeti ile en uygun maliyetli olduğu görülmüştür. Optimum sistemin sadece dizel yakıtlı sisteme kıyasla 27,8 Mt CO₂/yıl tasarruf sağlayacağı tahmin edilmiştir.

Bozok (2017) tarafından Düzce ilinde bir konut için şebekeden bağımsız rüzgar-güneş hibrit enerji sistemi modellenmesi yapılmıştır. 2 farklı yük durumuna göre, sadece rüzgar, sadece güneş ve rüzgar-güneş birlikte kullanılan 3 sistem senaryosu oluşturulmuş, en ekonomik senaryonun sadece rüzgar türbini (2kW) olan senaryo olduğu fakat enerji sürekliliği açısından optimum senaryonun rüzgar - güneş (1kW + 3,5 kW) hibrit sistemi olduğu ifade edilmiştir.

Jafarzadeh (2017) tarafından İTÜ Ayazağa Yerleşkesi için rüzgar - güneş hibrit güç santrali analizi çalışması yapılmıştır. Meteorolojik veri olarak yerleşkede bulunan meteoroloji istasyonunun verileri kullanılan, tesis gücü olarak 900 kW seçilen çalışmada, 3 fotovoltaik panel türü (monoslikon, polislikon ve ince film) için ayrı ayrı 900 kW sistem ve 900 kW güçte rüzgar türbini sistemi boyutlandırılmıştır. Sonrasında toplam kurulu güç 900 kW olarak kalacak şekilde, panel gücü ve türbin gücü oranı adım adım değiştirilerek maksimum nokta olan, her 3 panel teknolojisi için yaklaşık olarak %72 fotovoltaik - %28 rüzgar türbini gücü değeri tespit edilmiştir. Bu orana göre kurulması gereken fotovoltaik panel gücü 650 kW, rüzgar türbini gücü ise 250 kW olarak hesaplanmıştır.

Gün (2019) “İstanbul ve çevresinde rüzgar - güneş hibrit sisteminin karşılama oranlarının belirlenerek ANFIS tabanlı modellenmesi” adlı çalışmada Ömerli, Ormanlı, Bağırhanlı, Melen Yolu ve Kıyıköy olmak üzere 5 bölgenin rüzgar, güneş, hibrit (rüzgar - güneş) üretim ve satış analizlerini yapmıştır. Rüzgar enerjisi üretim analizleri için AWS Openwind programı kullanılan çalışmada, güneş enerjisi üretim analizleri için PVsyst programı kullanılmıştır. Hibrit senaryolarda en yüksek kapasite faktörünün %29 ile Ormanlı bölgesinde, en düşük kapasite faktörünün ise %22 ile Kıyıköy bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Son olarak MATLAB programında ANFIS modeli kullanılarak saatlik bazda üretim verileri incelenmiş, bir aydaki rüzgar, güneş ve hibrit üretim değerleri ile bir sonraki ayın hibrit üretimi arasındaki korelasyonun yüksek olduğu görülmüştür.

Filik vd. (2017) tarafından Eskişehir bölgesindeki güneş takipli fotovoltaik sistemin verimlilik analiz çalışması yapılmıştır. 3 kW sabit sistem ve 3 kW doğu-batı güneş takipli sistem kurulmuş, üretim değerleri 70 günlük süre boyunca 5 dk aralıklarla ölçülmüştür. Güneş takipli sistemin üretim değerlerinin, güneşli bir gün için %40 oranında, sabit sistem verilerine göre daha yüksek olduğu ölçülmüştür. Parçalı bulutlu bir günde 2 sistem arasındaki oranın %30 olduğu, bulutlu günlerde ise her iki sistem arasında enerji üretimi açısından fark olmadığı bulunmuştur. 1 yıllık hava durumlarını temsil edecek şekilde, ölçüm

sürecindeki 70 gün örneklem olarak seçildiğinde, güneş takipli sistemin, sabit sisteme göre yıllık %33,6 oranında daha yüksek enerji ürettiği ortaya konmuştur.

Şekeroğlu (2022) tarafından rüzgar, güneş ve biyokütleyle dayalı hibrit enerji üretiminde Türkiye'deki mevcut yatırım alanları ile potansiyel alanlar arasındaki ilişki araştırılıp bu üç enerjiye dayalı hibrit santraller için potansiyel öncelikli alanlar incelenmiştir. Bu çalışmada Türkiye Haritası 26 bölgeye ayrılmış, her bölgedeki ortalama rüzgar hızı (m/s), ortalama güneş ışıınım değerleri (kWh/yıl) ve toplam biyokütle enerji eşdeğerlerine (TEP/yıl) bakılmıştır. Bölgeler VİKOR yöntemiyle belirlenmiş ve verimlilik sonuçlarına göre 5 gruba ayrılmıştır. Bu bölgeler içinde Konya-Karaman'ın oluşturduğu TR52 bölgesi verimlilik açısından ilk sırada yer almıştır. Tekirdağ, Edirne, Kırklareli'nin oluşturduğu TR21 bölgesi verimlilik potansiyeli açısından 4. grupta yer almıştır.

Güçyetmez (2023) tarafından Kırşehir ilinde bir mesken için binaya entegre düşey rüzgar türbini – fotovoltaik güneş hibrit enerji sistemi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin verimleri yaklaşık olarak %35'tir. Kuleye ihtiyaç duyulmaması, düşük rüzgar hızlarında çalışmaları sayesinde hibrit sistemlerde kullanıma uygundur (Nurbay & Çınar, 2005) Bu çalışmada Savonius tipi düşey rüzgar türbinleri kullanılmıştır. Güneşlenme miktarı yıllık ortalama 4.45 kWh/m²/gün, rüzgar hızı aylık ortalama 5.12 m/s ve 4 kişilik bir ailenin aylık ortalama elektrik tüketimi 300 kWh olarak alınan çalışmada, hesaplamalar HOMER Pro programı kullanılarak yapılmıştır. Programda tasarlanan sistemde 2 kW'lık düşey rüzgar türbini, 4.59 kW'lık güneş panelleri ve batarya ile bir meskenin elektrik ihtiyacının şebekeden bağımsız karşılanabileceği gösterilmiştir. 2022 yılı enerji tüketimi ve maliyet verileri baz alınarak yapılan hesaplamada, 12 mesken için, 3 ayrı marka-modelde yapılan konfigürasyon sonucu geri ödeme sürelerinin 9-16.5 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Yılmaz vd. (2023) tarafından İzmir'deki endüstriyel bölgenin elektrik ihtiyacının karşılanması merkezinde yapılan bir çalışmada beş farklı senaryo HOMER yazılım sistemi kullanılarak incelenmiştir. Meteorolojik veriler için NASA veri tabanı kullanılmış, ortalama güneş radyasyonu 4,68 kWh/m²/gün ve yıllık ortalama rüzgar hızı 5,50 m/s olarak kabul edilmiştir. Çalışmaya konu olan endüstri bölgesinin yük profili 24.000 kWh/gün ve pik gücü 1.833,2 kW olarak modellenmiştir. Beş senaryo arasında 3004 kW değerinde güneş enerji santrali, 1500 kW değerinde rüzgar enerji santrali, 2 adet batarya depolama sistemi, %13,6 oranında şebeke kullanımı olan senaryonun en yüksek yıllık enerji üretimi (9.470.347

kWh/yıl) sağlayan senaryo olduğu görülmüştür. Bu senaryonun geri ödeme süresi 7,5 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu senaryo, diğer senaryolara kıyasla en düşük CO₂ emisyon değerini sağlamıştır.

Güven ve Hatipoğlu (2022) tarafından 220 hane ve 350 kişiden oluşan, Muğla iline bağlı Zaferler Köyü'nde hibrit enerji sistemi üzerine 3 farklı senaryo çalışılmıştır. Çalışılan hibrit sistemler şebeke bağımsız rüzgar türbini - güneş paneli - jeneratör - batarya sistemlerinden oluşmaktadır. Üzerinde çalışılan senaryolarda jeneratör bileşimleri olarak biyogaz, yakıt hücresi ve dizel yakıt ele alınarak farklılaştırılmıştır. Meteorolojik veriler için NASA veri tabanı kullanılmış, Tekno-ekonomik analizler HOMER yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Köyün elektrik talebi 2021 yılı için ortalama 1.087,26 kWh/gün ve elektrik pil yükü 162,15 kW olarak alınan çalışmada, en optimal senaryoda enerji kaynakları %78.9 güneş paneli, %1.52 rüzgar türbini, %1.15 biyogaz jeneratörü, %18.4 yakıt hücresi olarak dağılmıştır. En optimal senaryonun aynı zamanda CO₂ emisyon değeri en düşük senaryo olduğu görülmüştür.

Zhang vd. (2021) tarafından rüzgar, fotovoltaik güneş, dizel jeneratör, batarya ve ters osmoz sistemi bileşenlerini içeren hibrit bir sistem modellenmiştir. Yükün belirsizliğinin yüksek olması nedeniyle enerji yönetimi şeması için derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Derin öğrenme algoritmasının diğer yöntemlere kıyasla, maliyetleri %14 düşüreceği ortaya konmuştur.

Güven vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş, rüzgar, dizel jeneratör ve batarya bileşenlerini içeren hibrit enerji sistemi kurgulanmıştır. 5 farklı elektrokimyasal tipte batarya içeren senaryolar oluşturulmuş, tasarım ve simülasyon için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji oranı yüksek ve birim enerji maliyetli en düşük olan senaryonun vanadyum redoks bataryalı içeren senaryo olduğu ifade edilmiştir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNE (GES) GENEL BAKIŞ

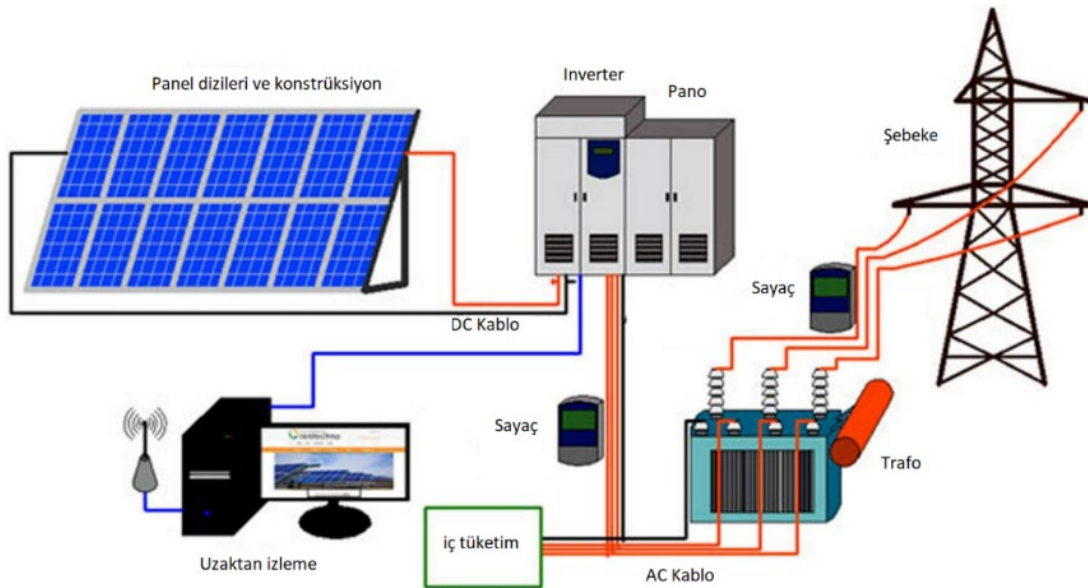
2.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali

Fotovoltaik dönüşüm, güneş ışığının herhangi bir mekanik hareket olmaksızın doğrudan elektriğe dönüştürülmesidir. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralleri, hareketli parça

içermediği ve basit bir sistem olduğundan işletmesi kolay, bakım maliyetleri düşüktür (Öztürk vd. 2013).

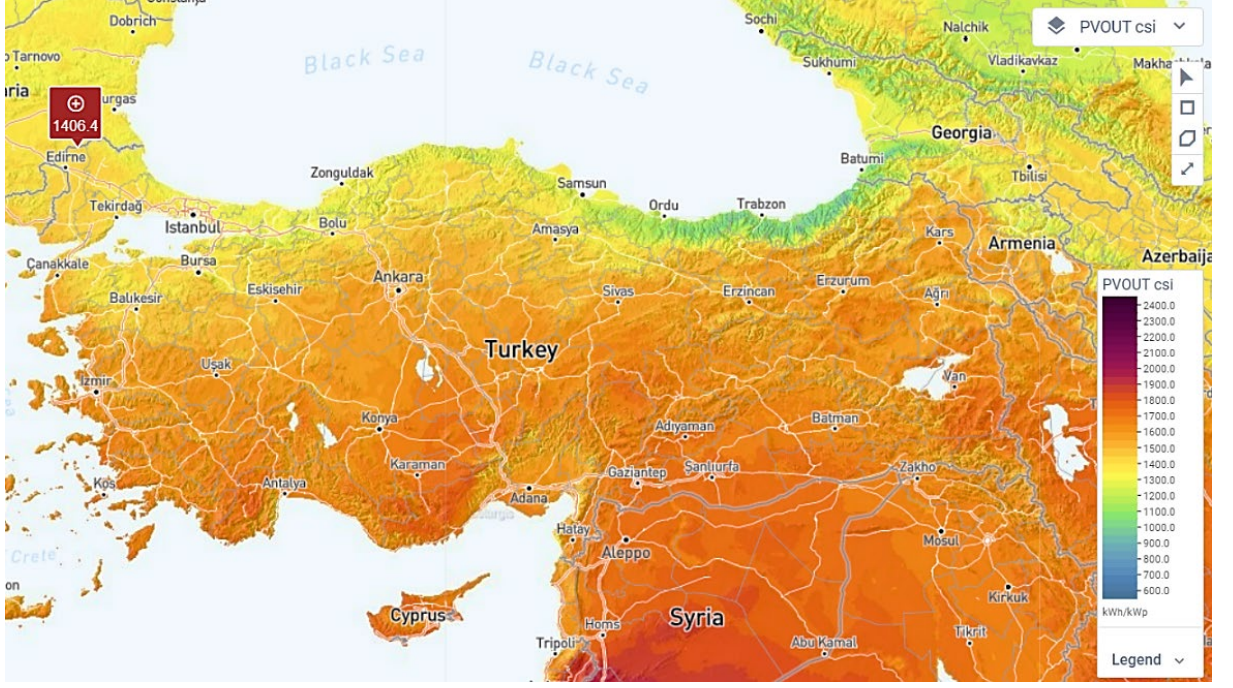
GES tesisleri birkaç panelden oluşan kW ölçeğindeki çatı üzeri GES projelerinden GW ölçeğindeki devasa arazi GES tesislere kadar geniş bir kapasite aralığında modüler olarak tasarlanıp işletilebilmektedir. Türkiye'nin en büyük GES'i, Konya Karapınar'daki 1.350 MWp / 1.000 MWe kurulu güçte Karapınar GES'dir. YEKA GES-1 ihalesi kapsamında Ağustos 2020'de kurulumuna başlanan tesis, Mart 2023'den itibaren tam kapasite işletilmeye başlanmıştır (Çağatay, 2023).

Tipik bir arazi GES santrali fotovoltaiik panel, inverter, taşıyıcı sistem, kablolar, AG/OG pano, trafo, uzaktan izleme ve kontrol sisteminden oluşmaktadır (Şekil 2-1).

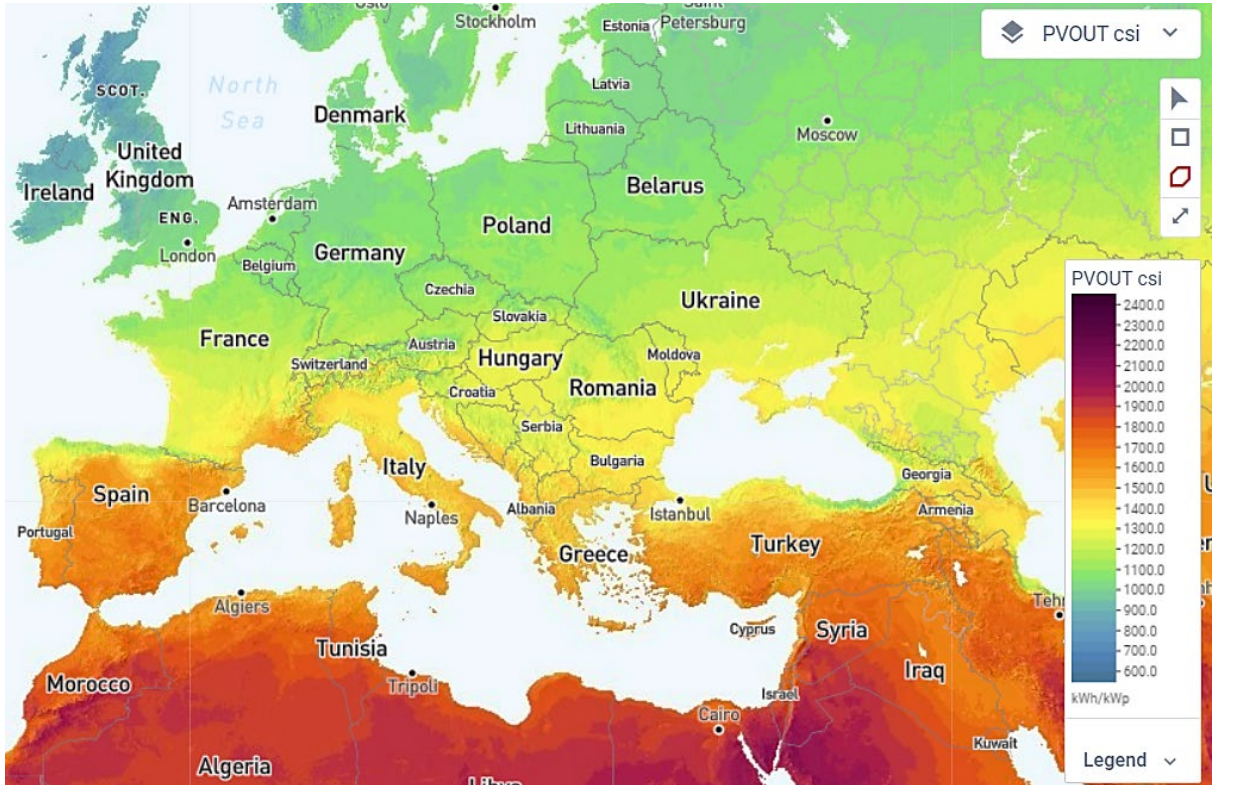


Şekil 2-1. Örnek güneş enerjisi santrali diyagramı (Anser, 2020)

Şekil 2-2 ve Şekil 2-3'de SolarGIS programından alınan ekran görüntüleri yer almaktadır. Bu şekillerdeki haritalar, 1 MWp (1000 kWp) güçte tipik bir GES tesisinin öngörülen yıllık elektrik üretim miktarına (kWh) göre yoğunluk haritasıdır. Şekil 2-2'ye bakıldığında Türkiye'nin güneyinde (Akdeniz Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi) yıllık üretim miktarı 1600-1900 kWh düzeylerine çıkmaktayken, Türkiye'nin kuzeyinde ve Marmara Bölgesi'nde ancak yıllık 1300-1600 kWh enerji üretilebileceği görülmektedir. Bu değerler düşük gibi görünmesine rağmen Avrupa haritası (Şekil 2-3) ile karşılaştırıldığında ülkemizin enerji potansiyelini net bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 2-2. 1000 kWp GES için öngörülen üretim miktarına göre Türkiye yoğunluk haritası (kWh/yıl)



Şekil 2-3. 1000 kWp GES için öngörülen üretim miktarına göre Avrupa yoğunluk haritası (kWh/yıl)

2.2. GES Tesisi Ana Bileşenleri

2.2.1. Fotovoltaik Panel

Fotovoltaik hücrelerden oluşan yapıya fotovoltaik panel (modül) denmektedir. Fotovoltaik paneller, güneş enerjisini doğrudan DC elektriksel enerjiye dönüştürülebilen yarı iletken bir yapıya sahip sistemlerdir (Öztürk vd. 2013). Panellerde yaygın olarak kullanılan 3 farklı hücre tipi bulunmaktadır.

Monokristal: Monokristal paneller tek bir büyük kristal yapısına sahiptir. Bu, panellerin atomlarının düzenli bir kristal yapısı içinde olduğu anlamına gelir. Bu düzenlilik, yüksek verimlilik sağlar, ancak üretim süreci daha maliyetlidir. Verimlilikleri %22-23 seviyesindedir. Maliyetleri polikristal panellere göre yüksektir fakat daha uzun ömürlüdür. En yaygın olarak kullanılan panel tipidir.

Polikristal: Polikristal paneller, birden çok küçük kristal yapısının bir araya gelmesiyle oluşur. Monokristal panellere göre verimlilikleri düşüktür, ancak üretilmesi daha ekonomiktir. Gözle görülür şekilde dalgalı içyapı ve daha açık mavi tonlarında hücreleri vardır. Verimlilikleri %16-18 seviyesindedir.

İnce film (Amorf-Silisyum): Bu tipte paneller geleneksel kristal panellere göre daha esneklerdir. Bu durum daha fazla uygulama çeşitliliği sağlamaktadır. Maliyetlerinin düşük olması ve yüksek sıcaklıklara dayanıklılığının yüksek olması öne çıkan özellikleridir fakat verimleri düşük (%7-10) olduğundan güneş enerjisi santrallerinde tercih edilmemektedir.

Fotovoltaik paneller tek yüzlü (monofacial) veya çift yüzlü (bifacial) olabilmektedir. Çift yüzlü panellerde, panelin arka yüzeyindeki hücrelere dolaylı olarak yansıyan ışınlar ile ek bir miktar üretim sağlanmaktadır. Bayyigit vd. (2023) tarafından Ankara ilinde aynı marka model tek yüzlü ve çift yüzlü panellerinden oluşan iki ayrı güneş enerjisi santrali modellenmiş ve PVsyst yazılımı kullanılarak panellerin enerji üretimleri hesaplanmıştır. Tek yüzlü panellerin ortalama performans oranı %82,21, üretim potansiyeli 1537 kWh/yıl, çift yüzlü paneller için ise bu değerler sırasıyla %93,06 ile 1740 kWh/yıl bulunmuştur. Bu değerler karşılaştırıldığında çift yüzlü panellerin yıllık enerji üretimini %13 oranında arttırdığı görülmüştür.

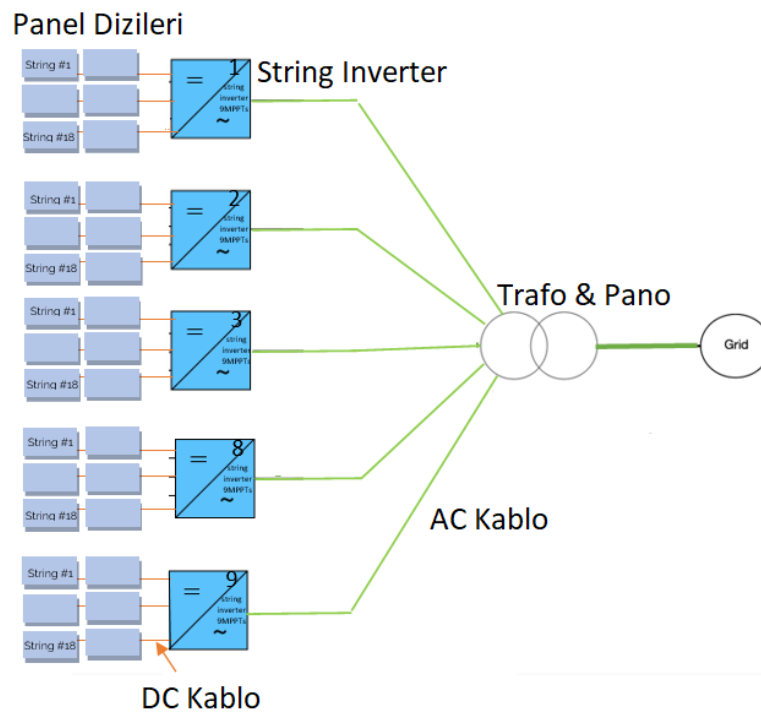
2.2.2. Inverter (Evirici)

Inverter'lar fotovoltaik paneller tarafından üretilen doğru akımı (DC), alternatif akıma (AC) dönüştüren cihazlardır. Inverter'lar, en verimli enerji üretimi için Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) teknolojisini kullanır. 3 tip inverter sistemi mevcuttur:

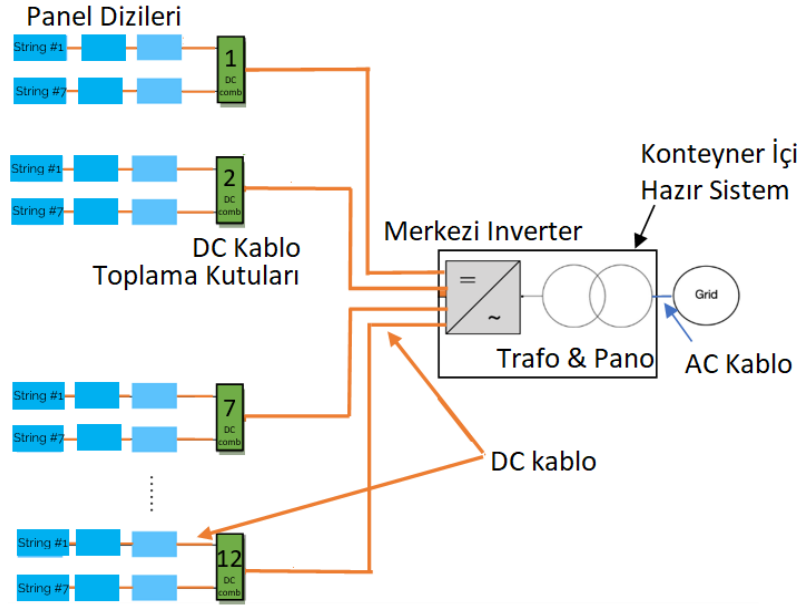
- Mikro inverter
- Dizi (string) inverter
- Merkezi (central) inverter

Mikro inverter sisteminde her bir panele bağlanan mikro inverter mevcuttur. Bu sistemin kurulum ve tasarım aşamasında esneklik sağlamaktadır fakat verimlilik ve işletme maliyetleri açısından dezavantajları bulunmaktadır (Öztürk vd. 2013).

Sektörde yayın olarak dizi tip inverter tercih edilirken büyük projelerde işletme maliyetleri ve işletme kolaylığı avantajı açısından merkezi inverter sistemleri tercih edilmektedir. Dizi inverter güçleri 1 kW- 350 kW arası değişmekteyken merkezi inverter gücü 700 kW – 4500 kW arasında değişmektedir. Merkezi inverter sisteminde ayrıca panel dizilerinin birleştirildiği toplama kutuları (combiner box) mevcuttur (Şekil 2-4 & 2-5).



Şekil 2-4. Dizi tip inverter kullanılan GES şeması



Şekil 2-5. Merkezi tip inverter kullanılan GES şeması

Yapılan bir çalışmada aynı güçteki GES için mikro, dizi ve merkezi inverter kullanılan 3 senaryo oluşturulmuştur. İşletme dönemindeki arıza sayısı/süresi model ile tahmin edilmiş ve yatırımların karlılıkları kıyaslanmıştır. En yüksek yatırım getirisinin merkezi inverter içeren sistem olduğu, 2. en yüksek yatırım getirisi ise dizi inverter içeren sistem olduğu ortaya konmuştur (Tariq vd. 2018).

2.2.3. Taşıyıcı Sistem (Konstrüksiyon)

Güneş panellerini taşıyan sistem (konstrüksiyon, masa ya da sehpa) güneş enerjisi santralının en temel bileşenlerinden biridir. Taşıyıcı sistem sabit olabileceği gibi, PV panellerde dönüştürülen enerji miktarı güneş ışınlarının geliş açısında göre değiştiğinden, güneş enerjisinden maksimum verim almak için güneşi takip eden (tracker) hareketli bir yapıda da olabilmektedir. Hareket şekline göre bu sistemler, tek eksenli dikey takip, tek eksenli yatay takip veya çift eksenli takip şeklinde uygulanmaktadır. Ayrıca mevsimsel/dönemsel olarak insan gücüyle açısı ayarlanabilen taşıyıcı sistem uygulamaları da mevcuttur (Kılıcı, 2020).

Yapılan çalışmalarda Berlin (Almanya) gibi soğuk şehirlerde güneş takip sistemi kullanılmasıyla toplam verimin yaklaşık %39 oranında artabileceği bulunmuşken bu oranın Aswan (Mısır) gibi sıcak şehirlerde, panellerin aşırı ısınması nedeniyle, %8'i geçemediği ortaya konmuştur (Bentaher vd. 2014).

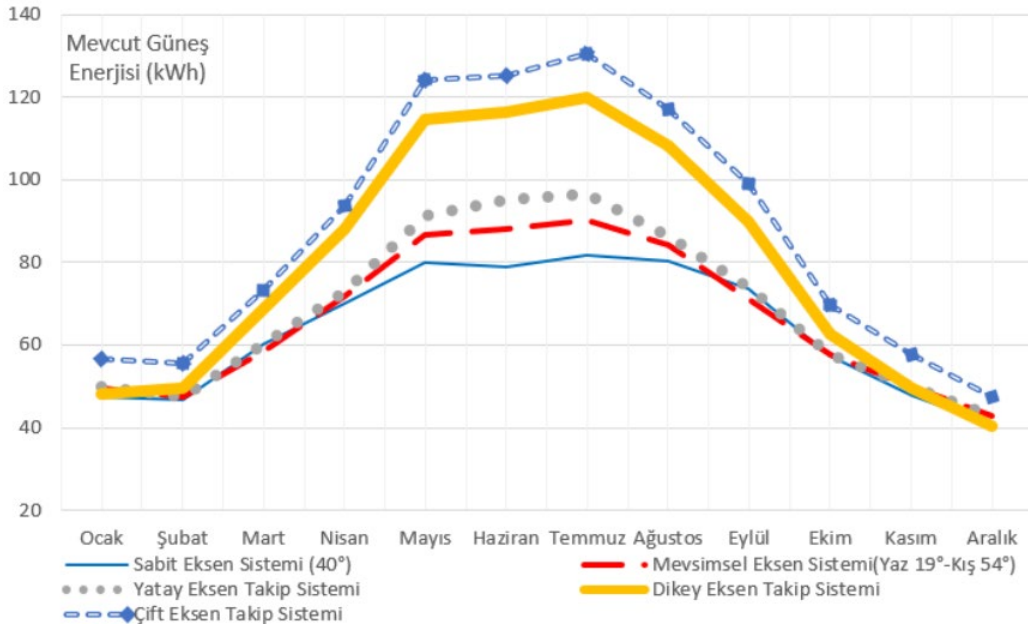
Hareketli taşıyıcı sistemlerinde güneşin konumunu takip etmek için astronomik algoritma veya sensörler kullanılmaktadır. Ek bileşen alınmaması ve bakım-onarım ihtiyacı olmaması açısından bu sistemler için genellikle astronomik algoritma kullanan yazılımlar tercih edilmektedir.

Kılıcı (2020) tarafından yapılan bir çalışmada 440 kWp güçte 5 ayrı “taşıyıcı sistem & panel” konfigürasyonu kıyaslanmıştır:

- 1) Sabit sistem & monofacial (tek yüzlü) panel
- 2) Mevsimsel hareketli ($10^{\circ}/30^{\circ}$) sistem & monofacial panel
- 3) Hareketli sistem (1-eksen tracker) & monofacial panel
- 4) Sabit sistem & bifacial (çift yüzlü) panel
- 5) Hareketli sistem (1-eksen tracker) & bifacial panel

Bifacial sabit sistemin, monofacial sabit sisteme kıyasla %6 oranında daha fazla enerji ürettiği, bifacial hareketli sistemin, monofacial hareketli sisteme kıyasla %4 oranında daha fazla enerji ürettiği ve hareketli sistemlerin, sabit sistemlere kıyasla %13-16 oranları arasında daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir.

Benzer şekilde sistem konfigürasyonu karşılaştırma çalışması Çınaroğlu (2020) tarafından yapılmıştır. İlgili çalışmada monofacial panel kullanılmış, sabit sistem, mevsimsel hareketli ($19^{\circ}/54^{\circ}$) sistem, yatay eksen takip sistemi, dikey eksen takip sistemi ve çift eksen takip sistemi kıyaslanmıştır (Şekil 2-6). Mevsimsel hareketli sistem ile yatay eksen takip sistemi kullanılan senaryo sonuçları birbirine yakın çıkmış olup, sabit sisteme kıyasla dikey eksen takip sistemli senaryoda %24; çift eksen takip sistemli senaryoda ise %37 oranında daha fazla üretim sağlandığı ifade edilmiştir (Çınaroğlu, 2020).



Şekil 2-6. Taşıyıcı sistemlerin üretim değerlerinin karşılaştırılması (Çınaroğlu, 2020)

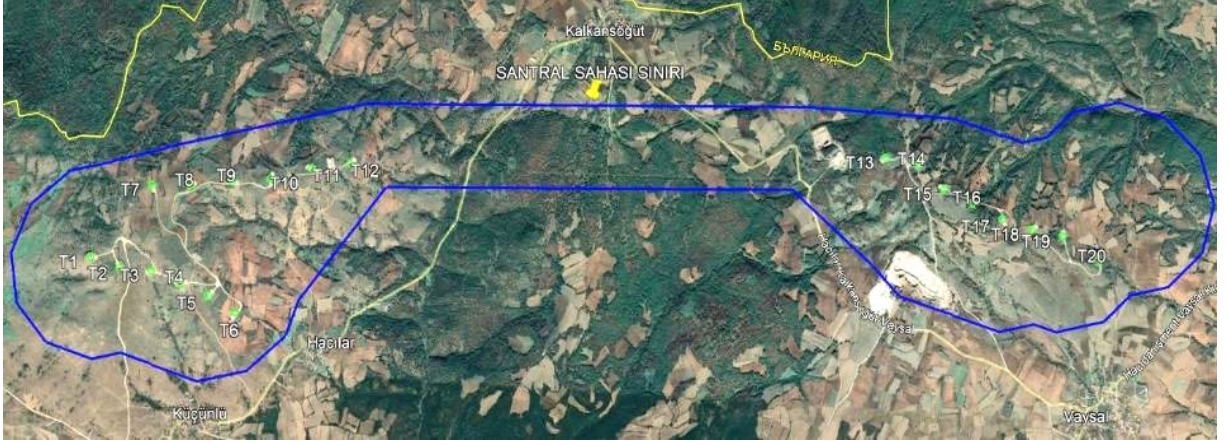
3. TASARIM & MODELLEME

3.1. Seçilen Rüzgar Enerjisi Santralinin Mevcut Durumu

3.1.1. Genel Bilgiler

Süloğlu Elektrik Üretimi A.Ş. tarafından işletilen Süloğlu Rüzgar Enerjisi Santrali, Edirne ili, Lalapaşa ilçesinde yer almaktadır. Santral projesi için yatırımcıya 16.03.2011 tarihinde EPDK tarafından 49 yıllığına “EÜ/3118-7/1873” numaralı üretim lisansı verilmiştir. Santral yatırımı 2015 yılı sonunda tamamlanıp, 01.01.2016 tarihinde tam kapasitede elektrik üretmeye başlamıştır. 2021 yılında hisse devri ile santral ve üretim lisansı Entek Elektrik Üretimi A.Ş. şirketine geçmiştir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması'ndan (YEKDEM) faydalanan santral, 1 kWh elektrik enerjisini 0,073 \$ birim fiyattan satmaktadır (EPDK, 2023c).

20 adet Vestas V126 - 3.3MW rüzgar türbininden oluşan santral (Şekil 3-1) toplamda 66 MWm mekanik güçtedir. Santral elektriksel gücü ise ilk lisans alındığında 60 MWm’idi. Haziran 2022 tarihinde elektriksel gücün, mekanik güce eşitlenmesiyle elektriksel güç de 66 MWe seviyesine çıkmıştır. Güneş enerjisi santrali dahil edilerek hibrit santrale dönüştürülecek bu tesis, mevzuata göre “Süloğlu Birleşik Yenilenebilir Elektrik Üretim Tesisi” olarak adlandırılacaktır.



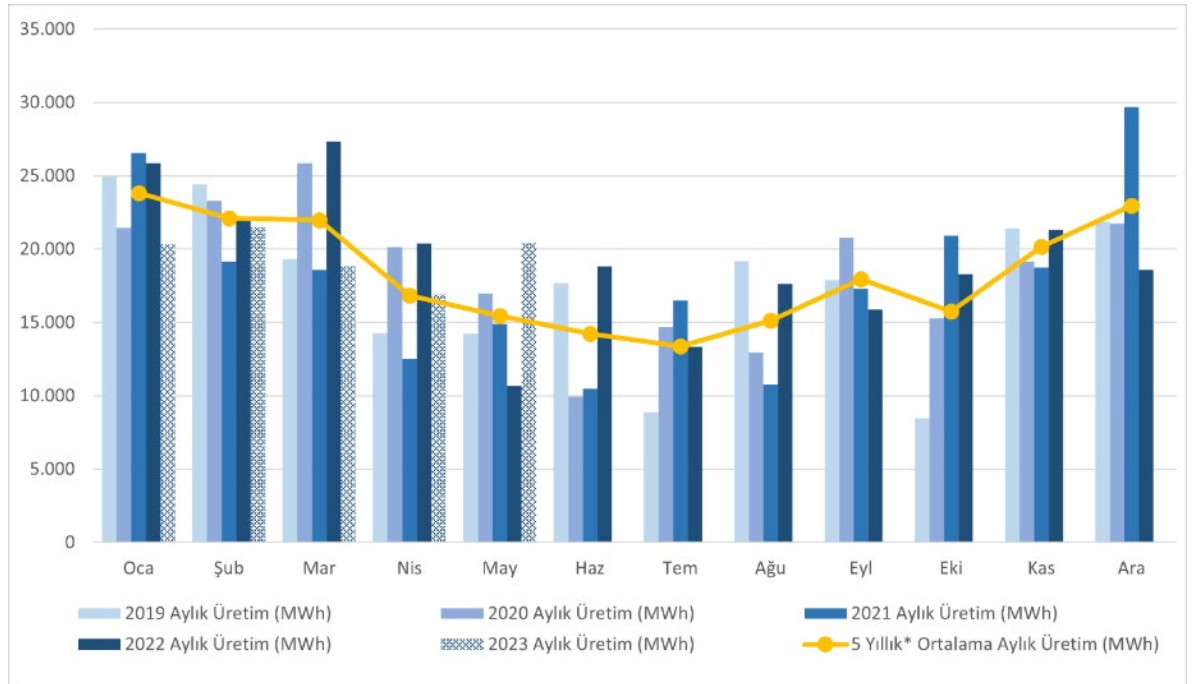
Şekil 3-1. Süloğlu RES sınırı ve türbin noktaları

3.1.2. Üretim Verisinin İncelenmesi

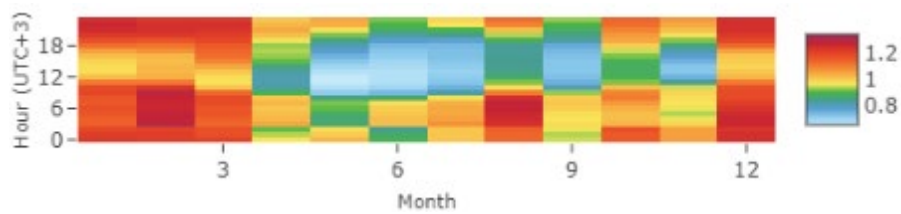
Süloğlu Rüzgar Enerjisi Santrali'nin 2019-2023 arası üretim verileri incelenmiştir. EPIAŞ şeffaflık platformundan (EPIAŞ, 2023) alınan saatlik uzlaştırmaya esas veri miktarı (UEVM) verisi Hibrit Enerji Santrali Modeli dosyasında yer almaktadır. Bu verilere dayanarak, toplam aylık üretim değerleri ve son 5 yıla göre aylık ortalamalar Tablo 3-1'de ve Şekil 3-2'de yer almaktadır. 2023 Mayıs ayından sonra henüz veri olmadığından, Mayıs sonrasındaki ortalamalarda son 4 yıl baz alınmıştır. Şekil incelendiğinde yaz aylarındaki enerji üretiminin, kış aylarına kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Global Wind Atlas (2023) kaynağı üzerinden Lalapaşa ilçesinin saatlik-aylık karşılaştırmalı rüzgar hızı indeksi (ortalamadan sapma) verisi incelendiğinde, yaz aylarında ve öğle saatlerinde rüzgar hızının, diğer zamanlara göre göreceli olarak daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3-3).

Tablo 3-1. Süloğlu RES 2019-2023 üretim miktarı (MWh)

Aylar	2019 Yılı	2020 Yılı	2021 Yılı	2022 Yılı	2023 Yılı	5 Yıllık Ortalama
Ocak	24.946	21.454	26.558	25.861	20.331	23.830
Şubat	24.421	23.279	19.152	22.176	21.490	22.104
Mart	19.321	25.867	18.564	27.351	18.846	21.990
Nisan	14.277	20.115	12.529	20.380	16.897	16.839
Mayıs	14.225	16.980	14.889	10.667	20.430	15.438
Haziran	17.695	9.941	10.469	18.819	0	14.231
Temmuz	8.889	14.700	16.520	13.340	0	13.362
Ağustos	19.159	12.954	10.783	17.637	0	15.133
Eylül	17.895	20.799	17.302	15.865	0	17.965
Ekim	8.459	15.286	20.915	18.300	0	15.740
Kasım	21.405	19.139	18.744	21.305	0	20.149
Aralık	21.868	21.748	29.686	18.568	0	22.967
TOPLAM (MWh)	212.559	222.262	216.112	230.269	97.994	219.749



Şekil 3-2. Süloğlu RES 2019-2023 üretim miktarı grafiği (MWh)



Şekil 3-3. Lalapaşa ilçesinin saatlik ve aylık bazda rüzgar hızı indeksi (ortalamadan sapma)

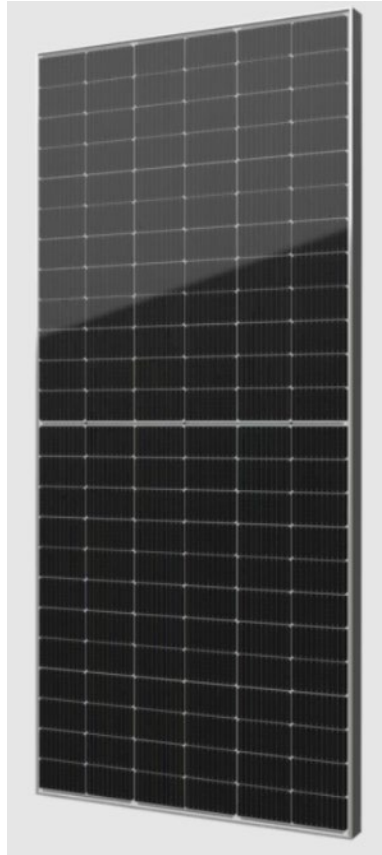
Santralin aylık üretim değerleri ve ortalama değerleri, üretim trendi hakkında genel bir bilgi vermektedir. Hibrit enerji santrali modeli için saatlik kırılımdaki ortalama değerleri almak, uç değerleri (üretimin 0 olduğu) ve dengesizliği yumuşatacağından hatalı bir çalışma olacaktır. Ayrıca elektriksel kapasite Haziran 2022 öncesinde 60 MWe olduğundan, şebekeye daha fazla enerji verme imkanı varken saatte 60 MWh enerji ile sınırlandırılmıştır.

Daha doğru bir yaklaşım için elektriksel kapasitenin 66 MWe olduğu 1 yıllık dönem (Haziran 2022 - Mayıs 2023) “Yaklaşık RES Üretimi” olarak hibrit modelde 1 saatlik zaman dilimleri şeklinde kullanılmak üzere referans alınmıştır.

3.2. Hibrit Enerji Santrali Modeli İçin Referans GES Tasarımı

3.2.1. Referans GES Bileşenlerinin Seçimi

Modelde kullanmak üzere PVsyst programı üzerinden 1 MWp referans GES tasarımı yapılacaktır. Bu tasarımın girdileri olarak öncelikle kullanılacak bileşenler seçilecektir.



Şekil 3-4. Arçelik ARCK-SP-545W panel fotoğrafı

Fotovoltaik panel olarak Arçelik marka, “ARCLK-SP-545W” model (Şekil 3-4) seçilmiştir. Monokristal PERC hücre teknolojisi kullanılan, monofacial (tek yüzlü) 545Wp güçte bu panelde %20,98 oranında verimlilik sağlanmaktadır. 12 yıl garanti sağlanan üründe performans garantisi ise 25. yılda minimum %83’dür.

1 MWp tasarım yapılacağı için string (dizi) inverter sistemi tercih edilmiştir. Arçelik panel ile uyumlu olması açısından Huawei marka “SUN2000-330KTL-H1” model inverter (Şekil 3-5) seçilmiştir. Teknik özellikleri kısaca aşağıda yer almaktadır.

- Maksimum DC giriş gerilimi: 1.500 Vdc
- Nominal DC çıkış gerilimi: 800 Vac
- Maksimum AC görünür güç: 330 kVA
- Nominal AC aktif güç: 300 kW
- 6 MPPT / 28 dizi girişi



Şekil 3-5. Huawei SUN2000-330KTL-H1 inverter fotoğrafı

Yatırım ve bakım-onarım maliyetlerinin düşük olması açısından konstrüksiyon tipi olarak sabit sistem seçilmiştir. Konstrüksiyona panel yerleşim düzeni olarak sektörde yaygın olarak kullanılan tiplerden 2 sıra dikey yerleşim (Şekil 3-6) tercih edilmiştir. Panel eğim açısı (tilt) içinse PVsyst programının önerdiği açı kullanılacaktır.



Şekil 3-6. 2 sıra dikey panel yerleşim düzeni

3.2.2. PVsyst Programı Tanıtımı

PVsyst, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve veri analizini yapmak için yaygın olarak kullanılan bir programdır. PVsyst’te temelde 3 farklı sistem tasarımı yapılmaktadır, bunlar: şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız (depolamalı), ve pompalama (sulama) sistemleridir. Programın veri tabanında fotovoltaik panel teknik bilgileri ve inverter teknik bilgileri yer almaktadır (PVsyst, 2023).

Bu çalışmada GES tasarımı ve modellemesi için PVsyst programının 7.4.2 numaralı sürümü kullanılacaktır. Üretim simülasyonları için meteorolojik veri kaynağı olarak PVsyst programı ile birlikte gelen Meteonorm, NASA, PVGIS, NREL/NSRDB gibi kurumların meteorolojik veri setleri kullanılabileceği gibi ayrı bir kaynaktan veri seti eklenebilmektedir. Bu çalışmada meteorolojik veriler için SolarGIS veri seti kullanılacaktır. SolarGIS firması birden fazla uydu ve meteoroloji veri setinden yararlanarak kendi algoritmaları ile daha keskin bir meteorolojik tahmin modeli ortaya koymaktadır (SolarGIS, 2023a).

3.2.3. 1 MWp Referans GES’in PVsyst ile Tasarlanması

PVsyst üretim simülasyonunda kullanılması için öncelikle proje konumuna ait SolarGIS meteorolojik veri seti programa eklenecektir. SolarGIS programı (SolarGIS, 2023b) üzerinden Süloğlu RES santral sahasının batı kısmı, Şekil 3-7’de görülen “41.955706°, 26.779514°” koordinatlı yer seçilmiştir. Bu haritada aynı zamanda türbin yerleri beyaz noktalar halinde görünmektedir. SolarGIS programından aylık üretim verisi CSV formatında

çekilmiş ve PVsyst programının algoritmasına göre sentetik olarak saatlik veri türetilmiştir (Şekil 3-8).



Şekil 3-7. Meteorolojik veri seti için seçilen konum

Generation of Synthetic Hourly Mete Values

Source data (site, monthly values)

Country / Region: Turkey Site: Lalapasa_RES SolarGIS Monthly aver. , period not spec. Open

Meteo file to be created (hourly data)

Type: Synthetic Site: Lalapasa_RES Source: SolarGIS Monthly aver. , period not spec. File name: Lalapasa_RES_SolarGIS_SYN.MET Initial random seed: 1 ?

	Global [kWh/m ² /mth]	Diffuse [kWh/m ² /mth]	Temper. [°C]
January	50.2	26.1	2.5
February	67.5	33.0	4.0
March	109.4	51.8	6.5
April	144.4	65.9	10.9
May	189.0	80.2	16.1
June	202.3	78.7	20.3
July	216.7	77.2	22.9
August	192.8	72.1	23.0
September	136.1	56.7	18.5
October	90.8	42.2	13.0
November	54.8	28.9	8.5
December	41.2	23.1	4.0
Year	1495.2	635.9	12.5

Irradiation units

☐ kWh/m²/day
☒ kWh/m²/mth
☐ MJ/m²/day
☐ MJ/m²/mth
☐ W/m²
☐ Clearness Index Kt

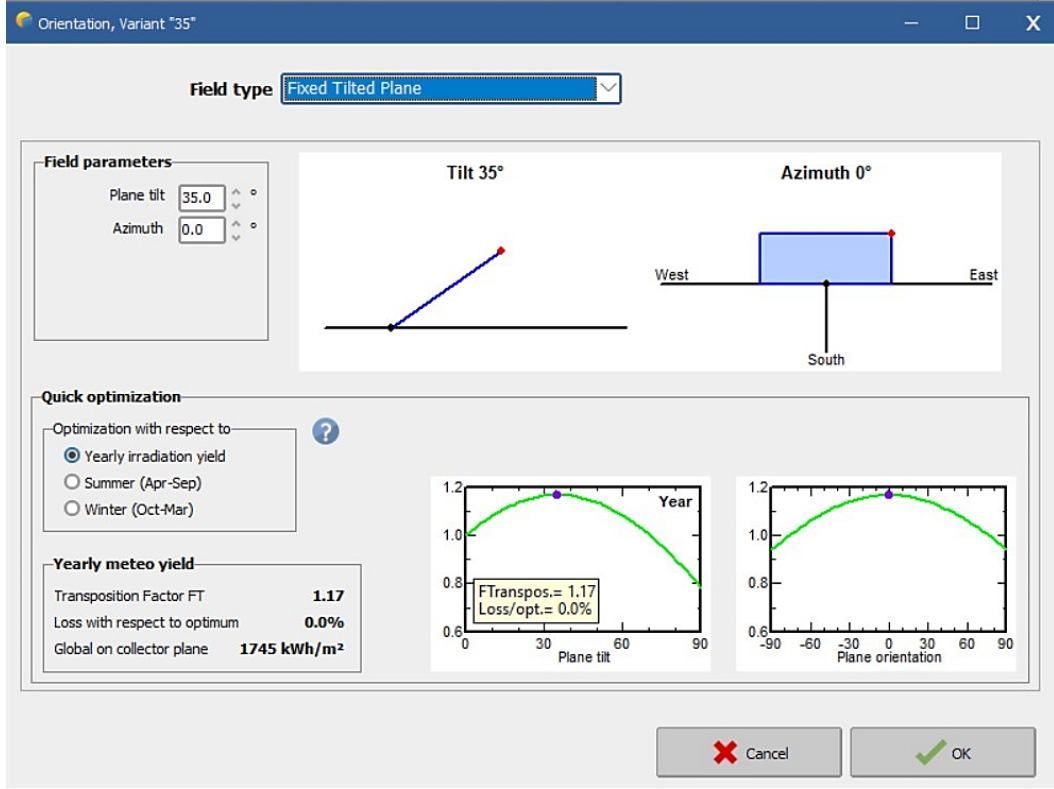
PVsyst will apply the synthetic generation and use the monthly diffuse to renormalise the hourly output values of diffuse.

Generation options

☒ Use Monthly Diffuse
Region typology (for temperatures) : Open site, open terrain, small incline, no raised skyline. Applies to m

Execute Generation Close

Şekil 3-8. PVsyst üzerinden saatlik meteorolojik verinin türetilmesi



Şekil 3-9. PVsyst panel açısı belirleme ekranı

Tasarım için öncelikle tilt açısı ve azimut açısı belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada Şekil 3-9’da PVsyst’in önerdiği gibi tilt açısı 35° azimut açısı 0° seçilmiştir. Seçilen inverter 330 kW güçte olduğundan 3 adet eklenerek toplam 990 kWe AC güç üzerinden boyutlandırma yapılacaktır. 1 dizi 26 adet panelden oluşmak üzere 1846 adet panel eklenmiş toplamda 71 adet dizi, 1006 kWp DC güç elde edilmiştir. Tasarım sırasında belirlenen sistem kayıp değerleri ise:

- Arazi üzeri kurulum olduğu için, termal kayıp faktörü 29 W/m²K,
- Kablo kayıpları, DC tarafta programın varsayılan değeri (%1,5) AC tarafta ise %1,
- Panel üretici verisine göre LID kayıp faktörü %2,5,
- Proje sahası etrafında tozlanma-kirlilik kaynağı olmadığından kirlilik faktörü %2,
- Sistem kesintisi, bakım veya arıza durumları için %1 (3 gün) duruş yapılması seçilmiş, diğer faktörlerde ise programın varsayılan değerleri kullanılmıştır.

Bileşenler ve varsayımların belirlenmesinden sonra sistem tanımlamaları ekranındaki genel görünüm Şekil 3-10’da yer almaktadır.

Grid system definition, Variant VCO: "35"

Sub-array

Sub-array name and Orientation
 Name: PV Array
 Orient.: Fixed Tilted Plane
 Tilt: 35°
 Azimuth: 0°

Pre-sizing Help
☒ No sizing
 Enter planned power: 0.0 kWp
 ... or available area(modules): 0 m²

Select the PV module
 Available Now: Filter: All PV modules
 ARÇELİK 545 Wp 35V Si-mono ARCLK-SP-545W Since 2022 Manufacturer Open
☐ Use optimizer
 Sizing voltages : Vmpp (60 °C) 37.5 V
 Voc (-10 °C) 53.8 V

Select the inverter
 Available Now: Output voltage: 800 V Tri 50Hz ☒ 50 Hz ☒ 60 Hz
 Huawei Technologies 330 kW 500 - 1500 V TL 50 Hz SUN2000-330KTL-H1-Preliminary V0.1 Since 2022 Open
 Nb. of inverters: 3 ☒ Operating voltage: 500-1500 V Global Inverter's power: 990 kWac
☐ Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: 1500 V inverter with 6 MPPT Power sharing within this inverter

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series: 26 between 14 and 27
 Nb. strings: 71
 Overload loss: 0.0 % Sizing
 Pnom ratio: 1.02
 Nb. modules: 1846 Area: 4857 m²

Operating conditions
 Vmpp (60 °C) 975 V
 Vmpp (20 °C) 1115 V
 Voc (-10 °C) 1399 V
 Plane irradiance: 1000 W/m²
 Impp (STC) 920 A
 Isc (STC) 965 A
 Isc (at STC) 965 A
 Max. operating power (at 1073 W/m² and 50 °C) 999 kW
 Array nom. Power (STC) 1006 kWp

List of subarrays

Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
PV Array		
ARÇELİK - ARCLK-SP-545W	26	71
Huawei Technologies - SUN2000...	3	1

Global system summary

Nb. of modules	1846
Module area	4857 m²
Nb. of inverters	3
Nominal PV Power	1006 kWp
Nominal AC Power	990 kWAC
Pnom ratio	1.016

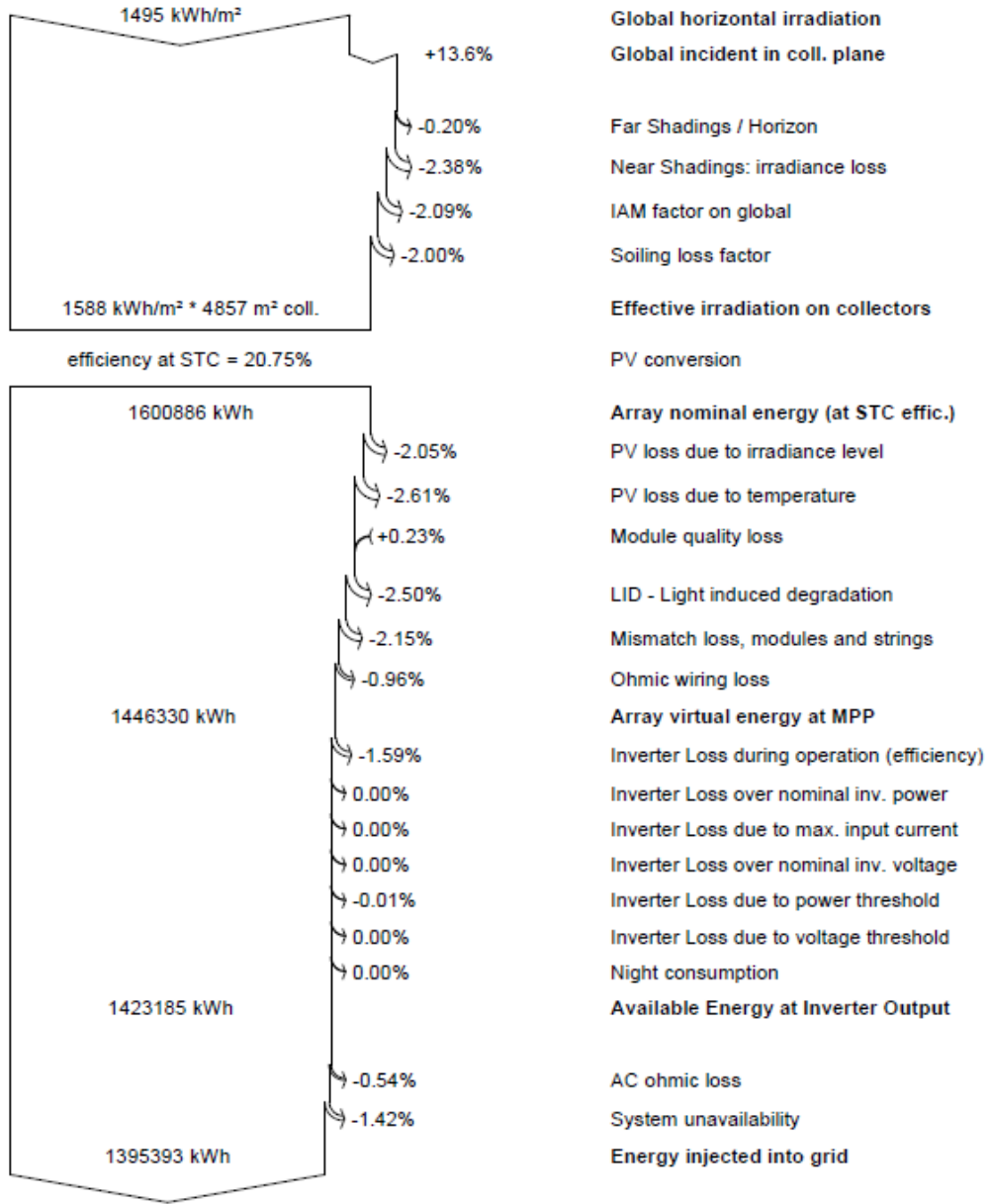
System overview Single-line diagram

Şekil 3-10. PVsyst sistem tanımlamaları ekranı

Panel tilt açısı 35 derece olduğu için dizilerin birbirini gölgelemesinden kaynaklanacak üretim kaybını azaltmak için dizi arası (koridor) mesafe yaklaşık 7,2 m olarak belirlenmiştir. Tasarlanan ve yıllık üretim simülasyonu yapılan senaryo için program üzerinden rapor oluşturulmuştur. Rapora göre spesifik üretim (specific yield) 1.387 kWh/kWp, yıllık üretim ise 1.395 MWh bulunmuştur. Aylık üretim değerleri (E_Grid) Tablo 3-2’de, kayıp diyagramı Şekil 3-11’de, PVsyst raporunun tamamı ise ektedir. 1 yıllık üretim değeri, saatlik kırılımlar şeklinde CSV formatında programdan dışarı aktarılmış ve hibrit enerji santrali modeli dosyasındaki (Ek-1) “Senaryolar (ilk)” sayfasına eklenmiştir.

Tablo 3-2. 1 MWp GES aylık üretim değerleri

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	50.2	26.10	2.50	81.7	75.4	71523	70071	0.852
February	67.5	33.00	4.00	97.6	92.3	87283	85541	0.871
March	109.4	51.80	6.50	137.4	128.8	120891	118445	0.857
April	144.4	65.90	10.90	156.7	146.6	135230	128980	0.818
May	189.0	80.20	16.10	185.0	172.4	156073	152685	0.820
June	202.3	78.70	20.30	188.3	175.5	156833	145626	0.769
July	216.7	77.20	22.90	206.3	192.7	170183	166324	0.801
August	192.8	72.10	23.00	203.1	190.4	168245	164429	0.805
September	136.1	56.70	18.50	164.2	154.2	138556	135529	0.820
October	90.8	42.20	13.00	123.5	116.2	106584	95505	0.769
November	54.8	28.90	8.50	84.9	79.2	73942	72432	0.848
December	41.2	23.10	4.00	70.2	64.3	60988	59827	0.847
Year	1495.2	635.90	12.56	1699.0	1588.1	1446330	1395393	0.816



Şekil 3-11. 1 MWp GES sistem kayıp diyagramı

3.3. Hibrit Enerji Santrali Modelinin Kurgulanması

3.3.1. Teknik Varsayımlar

Senaryolarda kullanılmak üzere hazırlanan genel bilgiler ve teknik bilgiler, model dosyasında “Varsayımlar” sayfasında yer almaktadır. Örnek olarak 1 MWp Referans GES’in ve 1. Senaryo (5 MWp) bilgileri Tablo 3-3’de verilmiştir. Diğer senaryolarda “Proje Gücü” ve proje gücüne orantılı olarak “Proje Alanı” değeri değişmektedir. Konstrüksiyon dizileri arasındaki mesafe (koridor) PVsyst tasarımında yaklaşık 7,2m olarak belirlendiğinden, her 1 MWp tesis için yaklaşık 13.000 m² alan gerekeceği varsayılmıştır. “GES’in Veri Katkısı – 1. Yıl” değeri, model senaryoları üzerinden hesaplanacak, sonuçları karşılaştırmada bu değer baz alınacaktır. Degradasyon (bozulma, eskime) değeri, seçilen panele ve bileşenlere göre yıllık %0,6 alınmış olup, nihai senaryo için degradasyon dikkate alınarak 25 yıllık üretim ve limitlenme oranları ayrıca hesaplanacaktır.

Tablo 3-3. Hibrit Enerji Santrali Modeli – 1&5 MWp teknik varsayımlar

Genel Bilgiler		1 MWp Referans GES	5 MWp GES (1. Senaryo)
Ana Kaynak		Rüzgar	Rüzgar
Ana Kaynak Gücü (mekanik)	MW _m	66,00	66
Ana Kaynak Gücü (elektrik)	MW _e	66,00	66
Yardımcı Kaynak		Fotovoltaik Güneş	Fotovoltaik Güneş
Yardımcı Kaynak Proje Adı		Süloğlu RES Hibrit GES	Süloğlu RES Hibrit GES
Yatırım Yılı		2023	2023
İşletmeye Geçiş		1.01.2024	1.01.2024
Teknik Bilgiler			
Proje Gücü	MW _p	1,00	5,00
Proje Alanı	m ²	13.000	65.000
Panel Açısı	Derece	35°	35°
DC/AC Oranı	%	1,0	1,0
Degradasyon	%/Yıl	0,6	0,6
Santral Ömrü	Yıl	25	25
GES'in Veri Katkısı – 1. Yıl	MWh	-	6.797
Konstrüksiyon dizi aralıkları	m	7,2	7,2

3.3.2. Finansal Varsayımlar

Teknolojinin gelişmesi ve üretim kapasitelerinin artması dolayısıyla EPC (Engineering, Procurement and Construction – Mühendislik, Tedarik ve Kurulum) maliyetlerinde, özellikle panel maliyetlerinde düşüş trendi olduğu görülmektedir. 2023 yılı panel fiyatları piyasa ortalaması, yerli panelde 0,40 \$/Wp, ithal panelde ise 0,35 \$/Wp seviyelerindedir. Modelde kullanmak üzere, “Temiz Yaratıcı Teknolojiler Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş.” (TYT) firmasından 1, 5, 10, 15, 20 ve 25 MWp güçte GES için EPC, proje geliştirme ve yıllık işletme-bakım maliyeti için bütçesel teklif alınmıştır. Teklif dosyası ekte, özet tablo aşağıdadır (Tablo 3-4).

Tablo 3-4. TYT firması GES kurulum ve işletme teklifi

Mal/Hizmet Cinsi	Detay	Miktar	Birim	Birim Fiyat (\$)	Toplam Fiyat (\$)
1 MWp GES	Anahtar teslim kurulum (EPC)	1	MWp	740.000	740.000
5 MWp GES	*545 Wp monofacial panel *String inverter *35 derece sabit sistem	5	MWp	740.000	3.700.000
10 MWp GES		10	MWp	725.000	7.250.000
15 MWp GES		15	MWp	710.000	10.650.000
20 MWp GES		20	MWp	710.000	14.200.000
25 MWp GES		25	MWp	710.000	17.750.000
Proje Geliştirme & Mühendislik Hizmeti	-	1	Proje	10.000	10.000
1 MWp GES	GES İşletme ve Bakım & Onarım Hizmeti	1	MWp	10.000	10.000
5 MWp GES		5	MWp	10.000	50.000
10 MWp GES		10	MWp	9.500	95.000
15 MWp GES		15	MWp	9.000	135.000
20 MWp GES		20	MWp	9.000	180.000
25 MWp GES		25	MWp	8.500	212.500

Modeldeki varsayımları döviz etkisinden arındırmak için USD üzerinden varsayımlarda bulunulmuştur. Sadece 2023 yılı TL harcamaları ve LCOE hesabında kullanılmak üzere 1\$=27 TL olarak alınmıştır. Bölgedeki satılık arazi fiyatları incelenmiş ve ortalama arazi maliyeti 4 \$/m² (~110 TL/m²) olarak alınmıştır. İletim sistemi kullanım bedelinde ise, tarifedeki (TEİAŞ, 2023) sistem kullanım güç bedeli mevcut tesis için ödendiğinden, burada sadece GES’in veriye katkısından kaynaklı sistem kullanım ve sistem işletim bedeli olarak yaklaşık 3,45 \$/MWh (93,25 TL/MWh) değeri alınmıştır. Yıllık işletme & bakım maliyetlerinin ve elektrik satış tarifesinin USD bazında aynı kalacağı varsayılmıştır.

Oluşturulan finansal varsayımlar, model dosyasında “Varsayımlar” sayfasında yer almaktadır. Örnek olarak 1 MWp Referans GES’in ve 5 MWp GES (1. Senaryo) bilgileri aşağıdaki Tablo 3-5’te verilmiştir.

Tablo 3-5. Hibrit Enerji Santrali Modeli – 1&5 MWp finansal varsayımlar

Yatırım Maliyetleri (CAPEX)		1 MWp Referans GES	5 MWp GES (1. Senaryo)
Birim Arazi Fiyatı	\$/m ²	4,00	4,00
Arazi Maliyeti	\$	52.000	260.000
Birim EPC Fiyatı	\$/MWp	740.000	740.000
Toplam EPC Maliyeti	\$	740.000	3.700.000
Proje Geliştirme Maliyeti	\$	10.000	10.000
Toplam Yatırım Maliyeti	\$	802.000	3.970.000
İşletme & Bakım Maliyetleri (OPEX)			
Sistem Kullanım Bedeli	\$/MWh	3,45	3,45
Bakım - Onarım Gideri	\$/MWp-yıl	10.000,00	10.000,00
Toplam İşletme Maliyeti	\$	-	59.638
Finansal Bilgiler			
Elektrik Tarifesi		YEKDEM	YEKDEM
Elektrik Satış Bedeli	\$/MWh	73,00	73,00
USD kuru (2023)	TL	27,0	27,0

Senaryolar “Geri ödeme süresi (Yıl)”, ve “LCOE (\$/MWh)” (Levelized Cost Of Energy – Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti) değerleri üzerinden karşılaştırılacaktır.

Geri ödeme süresi, yatırımın sağlayacağı net nakit girişlerinin, yatırım tutarına eşitlendiği süreyi ifade etmektedir. Net nakit girişi, yıllık elektrik satış gelirinden, yıllık işletme-bakım giderlerinin düşülmesiyle hesaplanır. Bu çalışmada net nakit girişi olarak EBITDA (Earnings Before Interests, Taxes, Depreciation and Amortization – Faiz, Amortisman ve Vergi Öncesi Kâr (FAVÖK)) değeri kullanılmıştır.

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Yıllık Gelir} - \text{Yıllık Gider}}$$

LCOE değeri ise, santralin ömrü boyunca yapılan maliyetlerin, santralin ömrü boyunca üretilen elektrik enerjisi miktarına oranını ifade eder. Bu değer, santralin ömrü (25 yıl) boyunca ürettiği elektriğin birim fiyatını oraya koyar. Bir başka ifadeyle, 25 yıl boyunca yapılan maliyetleri karşılayacak tek seviye birim elektrik fiyatıdır. Bu çalışmada aynı yatırım projesinin farklı güçlerdeki senaryoları karşılaştırılacağından, yatırımcının ve finansörün getirisini dikkate alan iskonto oranı (discount rate) LCOE hesaplamasına dahil edilmemiştir. LCOE basitçe aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$LCOE = \frac{(\text{Yatırım Maliyeti} + \text{Ömür Boyu İşletme Maliyeti})}{(\text{Ömür Boyu Üretilen Elektrik Enerjisi})}$$

3.3.3. Senaryoların Oluşturulması

Hibrit enerji santrali modelinde oluşturulacak senaryolar için yaklaşık RES üretim verisi (elektriksel kapasitenin 66 MWe olduğu, Haziran 2022 - Mayıs 2023 arası 1 yıllık dönem) ve referans olarak hazırlanan 1 MWp güçteki tesisin üretim verisi kullanılacaktır. 1 yıllık yaklaşık RES üretim verisi ve referans GES üretim verisi 1 saatlik zaman dilimleri halinde model dosyasına eklenmiştir. 5, 10, 15, 20 ve 25 MWp güçte GES olmak üzere 5 farklı senaryo oluşturulmuştur.

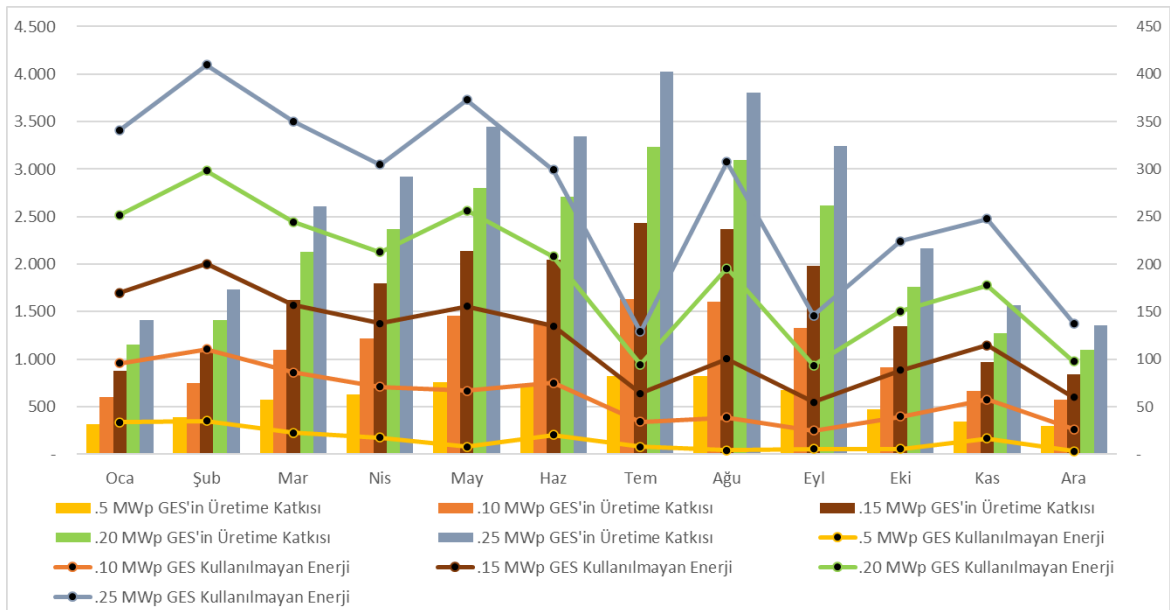
Senaryolardaki üretim verileri için 1 MWp referans GES yıllık üretim verisi kurulacak GES gücü ile çarpılarak yaklaşık üretim değerleri hesaplanmıştır. Her senaryo için saatlik bazda “GES Dahil Şebekeye Verilen Toplam Enerji”, “GES'in Üretime Katkısı” ve “GES Kullanılmayan Enerji miktarı” değerleri hesaplanmıştır. Saatlik kısımda tüm sütunları içeren detaylı tablo model dosyasında olup, aylık özet görünüm Tablo 3-6'dadır.

Tablo 3-6. GES üretim senaryoları (5, 10, 15, 20, 25 MWp)

Aylar	RES Yaklaşık Üretimi	5 MWp GES'in Üretime Katkısı	5 MWp GES Kullanılmayan Enerji	10 MWp GES'in Üretime Katkısı	10 MWp GES Kullanılmayan Enerji	15 MWp GES'in Üretime Katkısı	15 MWp GES Kullanılmayan Enerji	20 MWp GES'in Üretime Katkısı	20 MWp GES Kullanılmayan Enerji	25 MWp GES'in Üretime Katkısı	25 MWp GES Kullanılmayan Enerji
Ocak	20.331	317	34	605	96	881	170	1.150	252	1.411	341
Şubat	21.490	393	35	745	111	1.083	200	1.413	298	1.729	410
Mart	18.846	570	23	1.098	86	1.620	157	2.124	245	2.611	350
Nisan	16.897	627	18	1.219	71	1.797	138	2.367	212	2.920	305
Mayıs	20.430	756	8	1.460	67	2.135	156	2.797	256	3.445	373
Haziran	18.819	708	20	1.381	75	2.050	135	2.705	208	3.341	299
Temmuz	13.340	824	8	1.629	34	2.431	64	3.232	94	4.029	129
Ağustos	17.637	818	4	1.605	39	2.366	101	3.093	196	3.803	308
Eylül	15.865	672	5	1.330	25	1.978	55	2.617	93	3.242	146
Ekim	18.300	472	6	916	40	1.344	88	1.760	151	2.163	224
Kasım	21.305	346	17	667	57	972	114	1.271	178	1.563	248
Aralık	18.568	296	3	572	26	838	60	1.099	97	1.358	138
TOPLAM (MWh)	221.828	6.797	180	13.229	726	19.495	1.436	25.629	2.280	31.617	3.270

3.4. Hibrit Enerji Santrali Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Oluşturulan senaryoların üretime katkısı (MWh) ve limitlenen enerji miktarı (MWh - sağıdaki skala ile) Şekil 3.12'de yer almaktadır.



Şekil 3-12. GES üretime katkı ve kullanılmayan enerji (5, 10, 15, 20, 25 MWp)

Kurulacak GES gücü arttıkça hibrit tesise üretim katkısı artacak olmasına karşın, tesisin lisans kapasitesi kurulu gücü (66 MWe) limiti dolayısıyla kullanılmayan miktar da artacaktır. Ayrıca RES tesisi kış aylarında veriş kapasitesini daha yüksek oranda kullandığından, kış aylarındaki limitlenme oranının, yaz aylarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Oluşturulan senaryolardaki üretim ve üretim kayıp (limitlenme) oranları Tablo 3-7’de yer almaktadır.

Tablo 3-7. GES senaryoları üretim ve üretim kayıp (limitlenme) oranları

Senaryo No	GES Gücü (MWp)	Yaklaşık RES Üretimi (MWh/Yıl)	GES Üretim Tahmini (MWh/Yıl)	Şebekeye Verilen Toplam Enerji (MWh/Yıl)	GES'in Verişi Katkısı (MWh/Yıl)	Kullanılmayan GES Potansiyeli (MWh/Yıl)	GES Üretim Kayıp Oranı (%)
1	5	221.828	6.977	228.625	6.797	180	2,6%
2	10	221.828	13.955	235.056	13.229	726	5,2%
3	15	221.828	20.932	241.323	19.495	1.436	6,9%
4	20	221.828	27.909	247.456	25.629	2.280	8,2%
5	25	221.828	34.886	253.444	31.617	3.270	9,4%

Tablo 3-8. GES senaryoları geri ödeme süresi ve LCOE karşılaştırma

Senaryo No	GES Gücü (MWp)	Toplam Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme & Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	İlk Yıl GES'in Satışa Katkısı (\$/yıl)	İlk Yıl EBITDA (\$/yıl)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	LCOE (\$/MWh)	LCOE (TL/MWh)
1	5	3.970.000	73.451	496.203	422.753	9,39	34,17	922,54
2	10	7.780.000	140.638	965.684	825.046	9,43	34,16	922,22
3	15	11.440.000	202.259	1.423.170	1.220.910	9,37	33,85	913,86
4	20	15.250.000	268.420	1.870.908	1.602.489	9,52	34,27	925,41
5	25	19.060.000	321.578	2.308.020	1.986.442	9,60	34,28	925,69

Oluşturulan senaryolar, “Geri ödeme süresi (Yıl)” ve “LCOE (\$/MWh)” değerleri üzerinden Tablo 3-8’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda en düşük geri ödeme süresi 15 MWp senaryosunda, ikinci en düşük geri ödeme süresi 5 MWp senaryosunda, en yüksek geri ödeme süresi ise 25 MWp senaryosunda sırasıyla 9,37 yıl, 9,39 yıl ve 9,60 yıl olarak bulunmuştur. LCOE kıyaslamasında ise yine en düşük değer 15 MWp senaryosunda, ikinci en düşük değer 10 MWp senaryosunda, en yüksek değer ise 25 MWp senaryosunda sırasıyla 33,85, 34,14 ve 34,28 \$/MWh olarak bulunmuştur.

Proje gücü büyüdükçe birim yatırım maliyetleri azaldığından proje sonuçları iyileşmekte fakat aynı zamanda GES üretim limitlenme oranı arttığından bir noktadan sonra fizibilite kötüleşmektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda optimum GES gücü 15 MWp olarak tespit edilmiştir. 1 MWp referans üzerinden oluşturulan üretim varsayımlarına göre bu optimum senaryonun geri ödeme süresi 9,37 yıl, LCOE değeri ise 33,85 \$/MWh (913,86 TL/MWh) olarak hesaplanmıştır. 15 MWp güce göre GES tasarımı yapılp akabinde optimizasyon imkanları incelenecektir.

3.5. 15 MWp GES Bileşen Seçimi ve PVsyst İle Tasarlanması

Kurulması planlanan 15 MWp güçteki tesis için, referans tesiste olduğu gibi aşağıdaki bileşenler seçilmiştir:

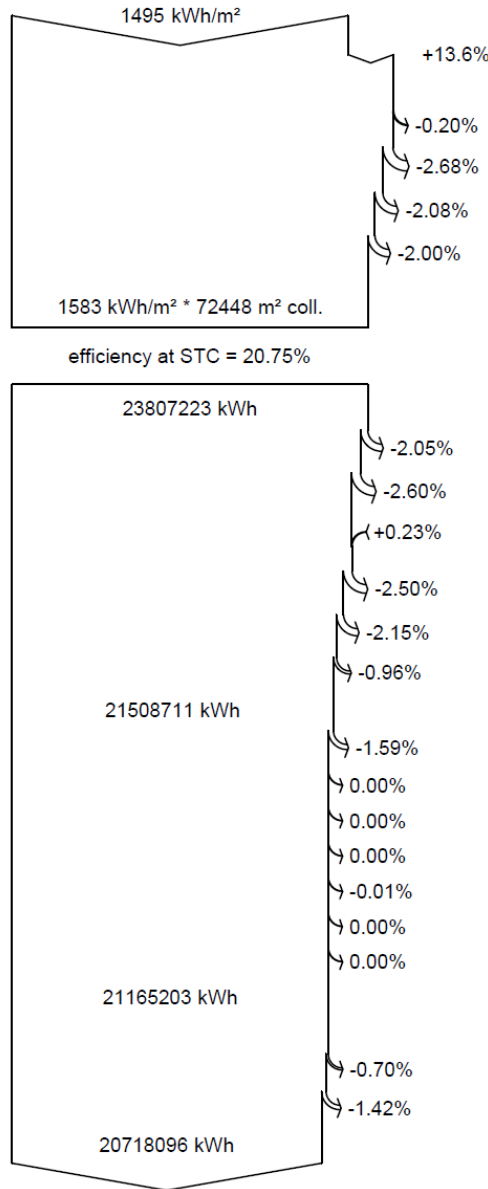
- Arçelik ARCLK-SP-545W panel
- Huawei SUN2000-330KTL-H1 inverter
- Sabit taşıyıcı sistem (2 sıra dikey panel)

Tilt (panel eğim) açısı 35° derece ve azimut açısı 0° derece seçilmiştir. Seçilen inverter 330 kW güçte olduğundan 46 adet eklenmiş ve 326 kWe değerine limitlenerek AC güç 15.000 kWe olarak belirlenmiştir. 1 dizi 26 adet panelden oluşmak üzere 27.534 adet panel eklenmiş toplamda 1.059 adet dizi, 15.006 kWp DC güç elde edilmiştir. Tasarım sırasında sistem kayıp değerleri olarak referans modelde kullanılan değerler kullanılmıştır.

Tilt açısı 35 derece olduğu için dizilerin birbirini gölgelemesinden kaynaklanacak üretim kaybını azaltmak için dizi arası (koridor) mesafe yaklaşık 7,2 m olarak belirlenmiştir. Tasarım sonrası ihtiyaç duyulan santral alanı 190.400 m² olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan ve yıllık üretim simülasyonu yapılan senaryo için program üzerinden rapor oluşturulmuştur. Rapora göre spesifik üretim (specific yield) 1.381 kWh/kWp, yıllık üretim ise 20.718 MWh bulunmuştur. Aylık üretim değerleri (E_Grid) Tablo 3-9’da, kayıp diyagramı Şekil 3-13’te, PVsyst raporunun tamamı ise ektedir. 1 yıllık üretim değeri, saatlik kırılımlar şeklinde CSV formatında programdan dışarı aktarılmış ve model dosyasındaki “Senaryolar (Opt-1)” sayfasına eklenmiştir.

Tablo 3-9. 15 MWp GES aylık üretim değerleri

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	50.2	26.10	2.50	81.7	75.0	1060610	1037483	0.846
February	67.5	33.00	4.00	97.6	92.0	1298695	1270850	0.867
March	109.4	51.80	6.50	137.4	128.5	1798281	1759193	0.853
April	144.4	65.90	10.90	156.7	146.2	2011750	1915649	0.815
May	189.0	80.20	16.10	185.0	171.9	2321522	2267425	0.817
June	202.3	78.70	20.30	188.3	175.0	2333004	2162865	0.765
July	216.7	77.20	22.90	206.3	192.2	2531915	2470327	0.798
August	192.8	72.10	23.00	203.1	190.0	2503559	2442586	0.802
September	136.1	56.70	18.50	164.2	153.9	2061853	2013527	0.817
October	90.8	42.20	13.00	123.5	115.9	1585506	1418366	0.766
November	54.8	28.90	8.50	84.9	78.9	1098361	1074361	0.843
December	41.2	23.10	4.00	70.2	63.9	903657	885463	0.841
Year	1495.2	635.90	12.56	1699.0	1583.4	21508711	20718096	0.813



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

LID - Light induced degradation

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

Night consumption

Available Energy at Inverter Output

AC ohmic loss

System unavailability

Energy injected into grid

Şekil 3-13. 15 MWp GES sistem kayıp diyagramı

15 MWp sistem kayıp diyagramına bakıldığında 1 MWp kayıp diyagramına kıyasla, yakın gölgelemeler (Near Shadings) kaybının %2,38'den %2,68 değerine çıktığı, AC omik kayıp değerinin %0,54'den %0,70 değerine çıktığı görülmüştür. Yakın gölgelemelerdeki fark, dizi aralarındaki mesafenin tasarım esnasındaki görsel ölçüm hassasiyetine bağlı olarak çok az değişmesinden, AC omik kayıp ise proje büyüklüğüne bağlı olarak kablo kesitinin ve kablo metrajının değişmesinden kaynaklanmaktadır.

4. OPTİMİZASYON

4.1. Modelin Gözden Geçirilmesi ve Optimizasyon Parametrelerinin Seçilmesi

Oluşturulan senaryolar, aynı projenin farklı güçlerdeki aritmetik varyasyonları olduğu için, geri ödeme süreleri basit olarak ilk yıl EBITDA değeri üzerinden hesaplanmıştır. Benzer şekilde LCOE değeri de ilk yıl üretim değeri üzerinden hesaplanmıştır. Santral bileşenlerinin, özellikle panellerin yıpranmasından (degradasyon) dolayı her yıl, bir önceki yıla göre %0,6 daha az üretim olacağı öngörülmektedir. Optimizasyon sonrası nihai senaryo için 25 yıllık üretim ve veriş değerleri hesaplanıp, daha gerçekçi geri ödeme süresi ve LCOE değeri ortaya konacaktır.

Güneş enerjisi santralinin verimliliğini ve fizibilitesini iyileştirmek için bir takım parametreler bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak bazı parametreler aşağıda sıralanmıştır:

- Tilt açısının değiştirilmesi
- Azimut açısının değiştirilmesi
- Dizi arası mesafelerin değiştirilmesi
- Dizilerdeki panel sıra sayısının değiştirilmesi (tek sıra, 2 sıra dikey, 3 sıra yatay vb.)
- Farklı marka ve modelde ürün kullanılması (panel, inverter, kablo, trafo vb.)
- Tek yüzlü veya çift yüzlü panel kullanılması
- Çift yüzlü panel uygulamasında, yansıtma katsayısını (albedo) arttırmak için zemine çakıl, membran vb. serilmesi
- Kablo tip ve kesitlerinin değiştirilmesi
- Konstrüksiyon tipi olarak sabit sistem, tek eksenli güneş takip sistem ya da çift eksenli güneş takip sistemi kullanılması
- Inverter tipi olarak mikro, dizi ya da merkezi sistem kullanılması

Bu parametreler tek başına kullanılabileceği gibi farklı kombinasyonlar şeklinde kullanılarak verimlilik ve fizibilite açısından kıyaslanmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada optimizasyon için panel tilt açısı ve inverter tipi parametreleri seçilmiştir.

4.2. Farklı Tilt Açılarında Senaryoların Oluşturulması Ve Değerlendirilmesi

Referans GES senaryosu oluşturulurken PVsyst programının önerdiği tilt açısı ve azimut açısı seçilmiştir. Güneş yazın daha dik konumda olduğu için optimum panel açısı daha düşük, kışın ise optimum panel açısı daha yüksek olmaktadır. “Türkiye’nin Farklı İklim Bölgeleri İçin Optimal Fotovoltaik Panel Eğim Açılarının Belirlenmesi” isimli çalışmada, Liu ve Jordan Modeli (Liu & Jordan, 1962) ve TARBİL (Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi) ölçüm istasyonu verilerini kullanılarak her şehir için aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık optimum değerleri ortaya konmuştur. Edirne ili için hesaplanan değerler Tablo 4-1’dedir (Gönül, 2018).

Tablo 4-1. Edirne ili için optimum tilt açıları

Dönem	Optimum Tilt Açısı (°)
Kış	56
İlkbahar	22
Yaz	7
Sonbahar	42
Kış - Sonbahar	48
Yaz - İlkbahar	14
Yıllık	26

Teze konu olan Süloğlu RES tesisinin üretim verilerinin incelediği kısımda, üretimin en az olduğu dönemin yaz dönemi olduğu ifade edilmişti. Yardımcı kaynak GES tesisi üretimine yazın daha çok ihtiyaç duyulduğundan, mevcutta çalışılan 35° tilt açılı senaryoya ek, 25° (yıllık), 14° (yaz-ilkbahar) ve 7° (yaz) tilt açısına sahip senaryolar oluşturulacaktır. Sektörde yaygın olarak 25° tilt açılı konstrüksiyonlar kullanıldığından Tablo 4-1’de yer alan yıllık dönem değeri 26° yerine 25° tercih edilmiştir.

Seçilen tilt açılara göre optimizasyon senaryoları oluşturulurken, önceki bölümde detaylı olarak tasarlanan 15 MWp senaryosu varsayımları baz alınmış olup, optimizasyon senaryoları arasındaki farklı parametreleri gösteren Tablo 4-2 aşağıdadır. Burada tilt açısı

azaldığı için dizilerin birbirini gölgeleme mesafesi azalacağından dizi aralığı (koridor) mesafesini daraltarak arazi büyüklüğünden tasarruf edilmiştir. Konstrüksiyon yapısı değişeceği için TYT firmasından tekrar teklif alınmış, 25 derece standart ürün olduğu için, 14 ve 7 derecelerde ise kullanılacak malzeme miktarı azalacağı için EPC birim fiyatı olarak 705.000 \$/MWp teklif edilmiştir.

Tablo 4-2. Optimizasyon senaryoları arasındaki farklı parametreler

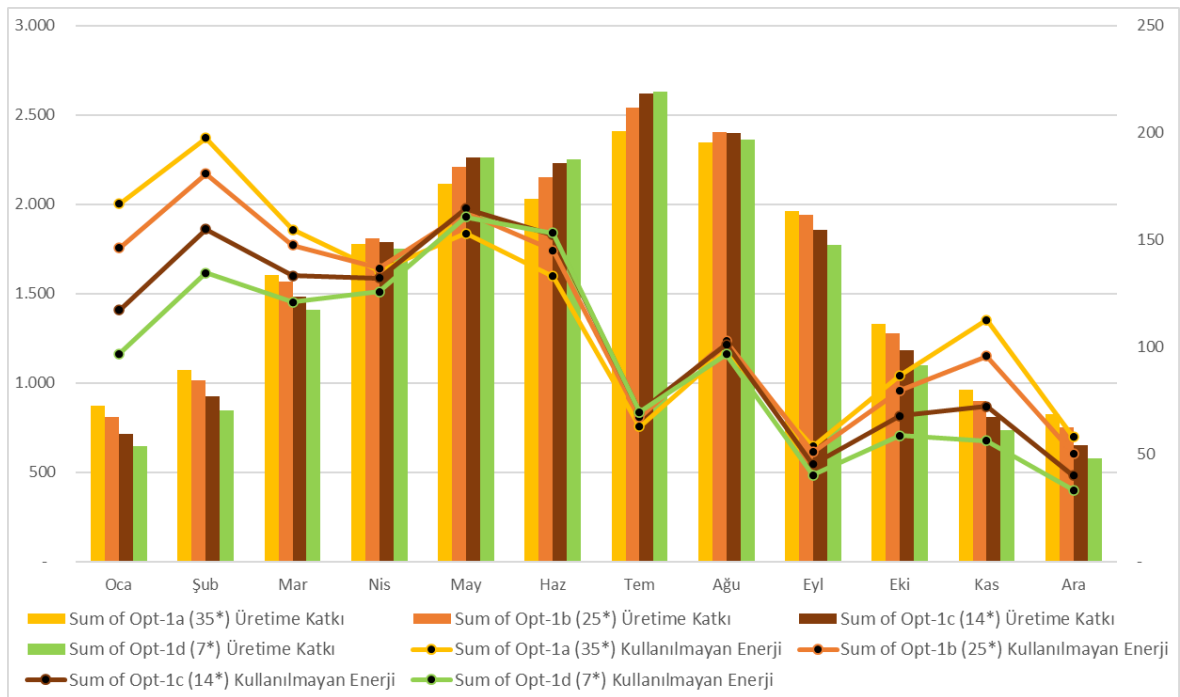
Senaryo No	Tilt Açısı (°)	Dizi aralığı (m)	Gereken Arazi Büyüklüğü(m2)	EPC Birim Fiyat (\$/MWp)
Opt-1a	35°	7,2	190.400	710.000
Opt-1b	25°	5,2	156.800	705.000
Opt-1c	14°	3,4	128.800	705.000
Opt-1d	7°	3,4	128.800	705.000

Her senaryo için PVsyst üzerinden detaylı tasarım yapılmış olup, belirtilen parametreler haricinde aynı varsayımlar (sistem kayıpları, teknik ve finansal) kullanılmıştır. Senaryolardaki “GES Dahil Şebekeye Verilen Toplam Enerji”, “GES'in Üretime Katkısı” ve “GES Kullanılmayan Enerji miktarı” değerleri hesaplanmıştır. Saatlik kırılımda tüm sütunları içeren detaylı tablo model dosyasında olup, aylık özet görünüm Tablo 4-3'dedir.

Tablo 4-3. GES optimizasyon senaryolarının aylık üretim değerleri

Aylar	Opt-1a (35°) Üretime Katkı	Opt-1a (35°) Kullanılmayan Enerji	Opt-1b (25°) Üretime Katkı	Opt-1b (25°) Kullanılmayan Enerji	Opt-1c (14°) Üretime Katkı	Opt-1c (14°) Kullanılmayan Enerji	Opt-1d (7°) Üretime Katkı	Opt-1d (7°) Kullanılmayan Enerji
Ocak	871	167	807	146	715	117	646	97
Şubat	1.073	198	1.017	181	923	155	849	135
Mart	1.604	155	1.570	148	1.485	133	1.407	121
Nisan	1.780	135	1.810	137	1.790	132	1.751	126
Mayıs	2.115	153	2.212	163	2.260	165	2.260	161
Haziran	2.030	133	2.153	145	2.233	152	2.252	153
Temmuz	2.407	63	2.542	67	2.619	70	2.629	70
Ağustos	2.344	98	2.403	103	2.400	101	2.361	97
Eylül	1.960	54	1.938	51	1.855	45	1.771	40
Ekim	1.332	87	1.278	80	1.182	68	1.101	59
Kasım	962	113	901	96	808	72	736	56
Aralık	827	58	754	50	652	40	579	33
TOPLAM (MWh)	19.306	1.413	19.385	1.367	18.924	1.252	18.343	1.148

Oluşturulan senaryoların üretime katkısı (MWh) ve limitlenen enerji miktarı (MWh - sağdaki skala ile) Şekil 4-1’de yer almaktadır. Tablo 4-3 ve Şekil 4-1’e bakıldığında tilt açısı düştükçe yaz aylarındaki üretimin arttığı, kış aylarındaki üretimin azaldığı görülmüştür. Yaz aylarındaki kayıp değerlerinin yakın olmasına karşın, kış aylarında en düşük kayıp oranı 7 derecelik senaryodadır. Buna paralel olarak kış aylarındaki en düşük üretim de 7 derecelik senaryoya aittir. Tilt açısı azaldıkça limitlenme oranı düşüyor şeklinde görülebilir fakat 25 dereceden sonra GES üretimi ve şebekeye veriş miktarında da düşme olduğu göz ardı edilmemelidir. Optimizasyon senaryolarının üretim, verişe katkı ve üretim kayıp (limitlenme) oranları gibi değerler Tablo 4-4’te yer almaktadır.



Şekil 4-1. GES optimizasyon senaryoları üretime katkı ve kullanılmayan enerji (MWh)

Tablo 4-4. GES optimizasyon senaryoları üretim ve üretim kayıp (limitlenme) oranları

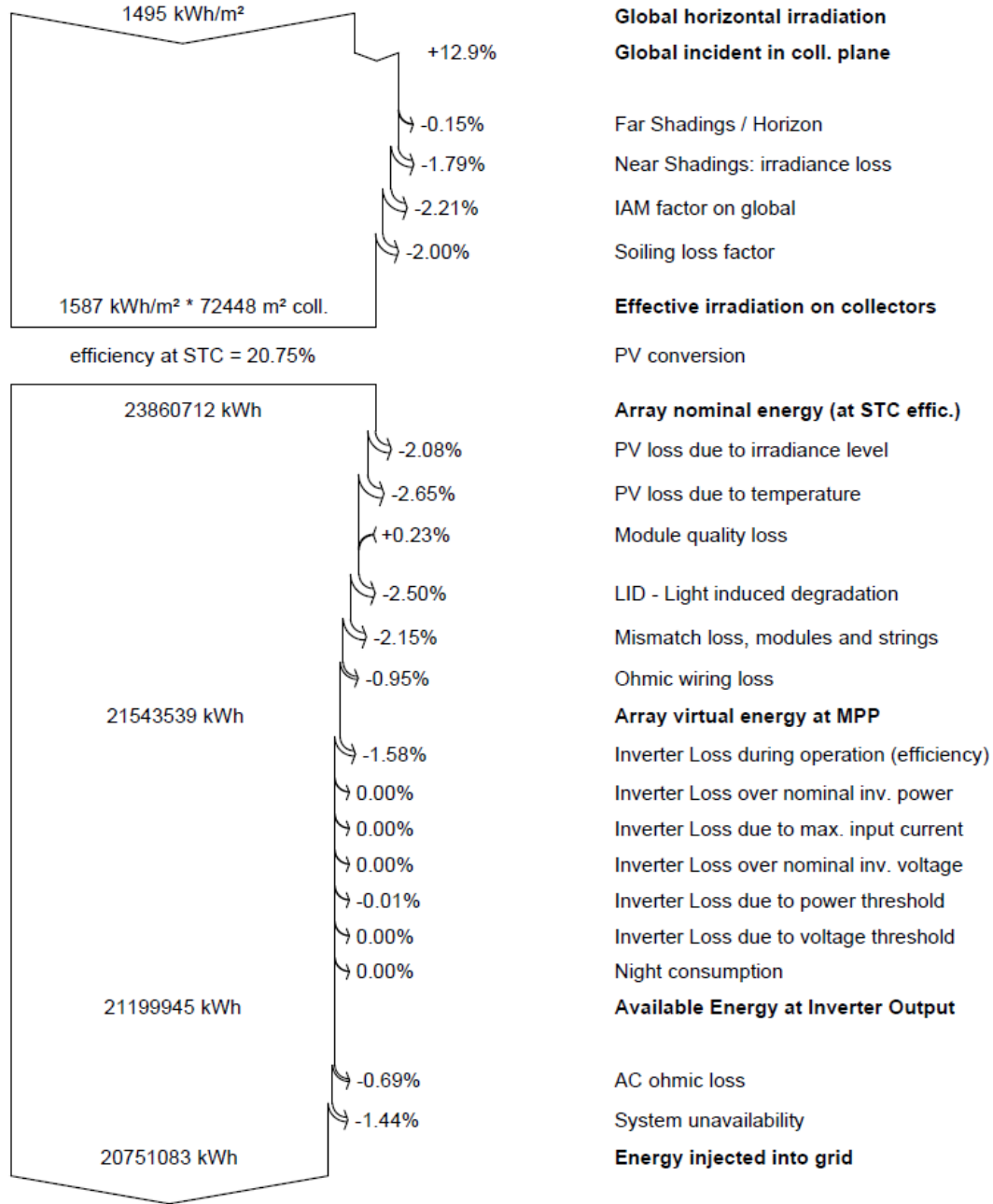
Senaryo No	Tilt Açısı (°)	Yaklaşık RES Üretimi (MWh/Yıl)	GES Üretim Tahmini (MWh/Yıl)	Şebekeye Verilen Toplam Enerji (MWh/Yıl)	GES'in Verişe Katkısı (MWh/Yıl)	Kullanılmayan GES Potansiyeli (MWh/Yıl)	GES Üretim Kayıp Oranı (%)
Opt-1a	35	221.828	20.719	241.133	19.306	1.413	6,8%
Opt-1b	25	221.828	20.752	241.212	19.385	1.367	6,6%
Opt-1c	14	221.828	20.176	240.751	18.924	1.252	6,2%
Opt-1d	7	221.828	19.491	240.170	18.343	1.148	5,9%

Oluşturulan senaryolar, “Geri ödeme süresi (Yıl)” ve “LCOE (\$/MWh)” değerleri üzerinden Tablo 4-5’te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda en düşük geri ödeme süresi 25° tilt açısı ile “Opt-1b” senaryosunda, ikinci en düşük geri ödeme 14° tilt açısı ile “Opt-1c” senaryosunda, en yüksek geri ödeme süresi ise 7° tilt açısı ile “Opt-1d” senaryosunda sırasıyla 9,24, 9,40 ve 9,73 yıl olarak bulunmuştur. LCOE kıyaslamasında ise yine en düşük değer 25° / Opt-1b senaryosunda, ikinci en düşük değer 14° / Opt-1c senaryosunda, en yüksek değer ise 7° / Opt-1d senaryosunda sırasıyla 33,55, 34,05 ve 35,02 \$/MWh olarak bulunmuştur.

Tablo 4-5. GES optimizasyon senaryoları geri ödeme süresi ve LCOE karşılaştırma

Senaryo No	Tilt Açısı (°)	Toplam Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme & Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	İlk Yıl GES'in Satışa Katkısı (\$/yıl)	İlk Yıl EBITDA (\$/yıl)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	LCOE (\$/MWh)	LCOE (TL/MWh)
Opt-1a	35	11.421.600	201.605	1.409.324	1.207.719	9,46	34,11	920,90
Opt-1b	25	11.212.200	201.877	1.415.074	1.213.197	9,24	33,55	905,87
Opt-1c	14	11.100.200	200.287	1.381.435	1.181.148	9,40	34,05	919,27
Opt-1d	7	11.100.200	198.282	1.339.021	1.140.738	9,73	35,02	945,43

Tilt açısı düşürüldüğünde fizibilite önce iyileşmiş, 25°’den daha fazla düşürüldüğünde ise kötüleşmeye başlamıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda güneş enerjisi santrali için optimum tilt açısı 25° (Opt-1b) olarak bulunmuştur. Bu senaryo en yüksek EBITDA değerine sahip olup, senaryoda geri ödeme süresi 9,24 yıl, LCOE değeri ise 33,55 \$/MWh (905,87 TL/MWh) olarak hesaplanmıştır. İlgili senaryonun PVsyst raporundaki kayıp diyagramı Şekil 4-2’dedir.



Şekil 4-2. Opt-1b sistem kayıp diyagramı

4.3. Inverter Tipine Göre Senaryoların Oluşturulması Ve Değerlendirilmesi

GES senaryoları oluşturulmaya başlandığında, tesis gücü belirsiz olduğundan Huawei SUN2000-330KTL-H1 model, dizi inverter ürünü kullanılmıştı. Optimum güç olarak tespit edilen 15 MWp büyüklüğünde bir tesis için merkezi inverter kullanılmasının daha iyi bir seçenek olacağı düşünülmektedir.

1. aşamada oluşturulan senaryoların merkezi inverter versiyonlarındaki iyileşmeler senaryolar arası simetrik olacağından, inverter optimizasyonuna 1. aşamada seçilen “Opt-1b” senaryosu üzerinden ilerlenecektir. İlgili senaryo aynen alınıp (Opt-2a) bu konfigürasyonu (15 MWp, 25° tilt açısı) baz alan merkezi inverter içeren yeni bir senaryo (Opt-2b) oluşturulmuştur. Senaryolardaki farklılıklar Tablo 4-6’da gösterilmektedir. Merkezi inverter içeren tesisin yatırım maliyetinin, dizi inverter içeren tesis ile aynı olduğu kabul edilmiştir.

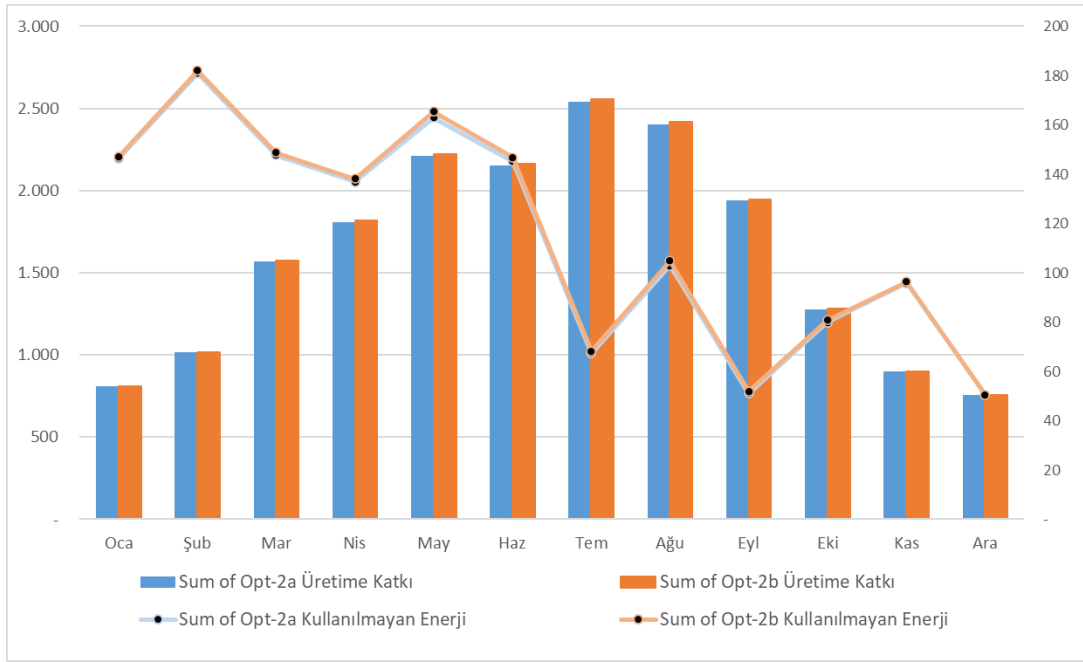
Tablo 4-6. GES Opt-2a & Opt-2b senaryo farklılıkları

Senaryo No	Inverter Tipi	Inverter Marka & Model	Inverter Adedi	Inverter Nominal Gücü	Inverter Ayarlanmış Güç
Opt-2a	Dizi	Huawei SUN2000-330KTL-H1	46	330 kW	326 kW
Opt-2b	Merkezi	Sungrow SG3125-HV-20	5	3.593 kW	3.000 kW

Bu iki senaryo için PVsyst üzerinden tasarım yapılmış olup, belirtilen parametreler haricinde aynı varsayımlar (sistem kayıpları, teknik ve finansal) kullanılmıştır. Senaryolardaki “GES Dahil Şebekeye Verilen Toplam Enerji”, “GES’in Üretime Katkısı” ve “GES Kullanılmayan Enerji miktarı” değerleri hesaplanmıştır. Saatlik kırılımda tüm sütunları içeren detaylı tablo model dosyasında olup, aylık özet görünüm Tablo 4-7 ve Şekil 4-3’tedir.

Tablo 4-7. GES Opt-2a & Opt-2b optimizasyon senaryolarının aylık üretim değerleri

Aylar	Opt-2a Üretime Katkı	Opt-2a Kullanılmayan Enerji	Opt-2b Üretime Katkı	Opt-2b Kullanılmayan Enerji
Ocak	807	146	807	147
Şubat	1.017	181	1.018	182
Mart	1.570	148	1.575	149
Nisan	1.810	137	1.817	138
Mayıs	2.212	163	2.222	165
Haziran	2.153	145	2.164	147
Temmuz	2.542	67	2.557	68
Ağustos	2.403	103	2.417	105
Eylül	1.938	51	1.948	52
Ekim	1.278	80	1.282	81
Kasım	901	96	902	96
Aralık	754	50	754	50
TOPLAM (MWh)	19.385	1.367	19.465	1.381

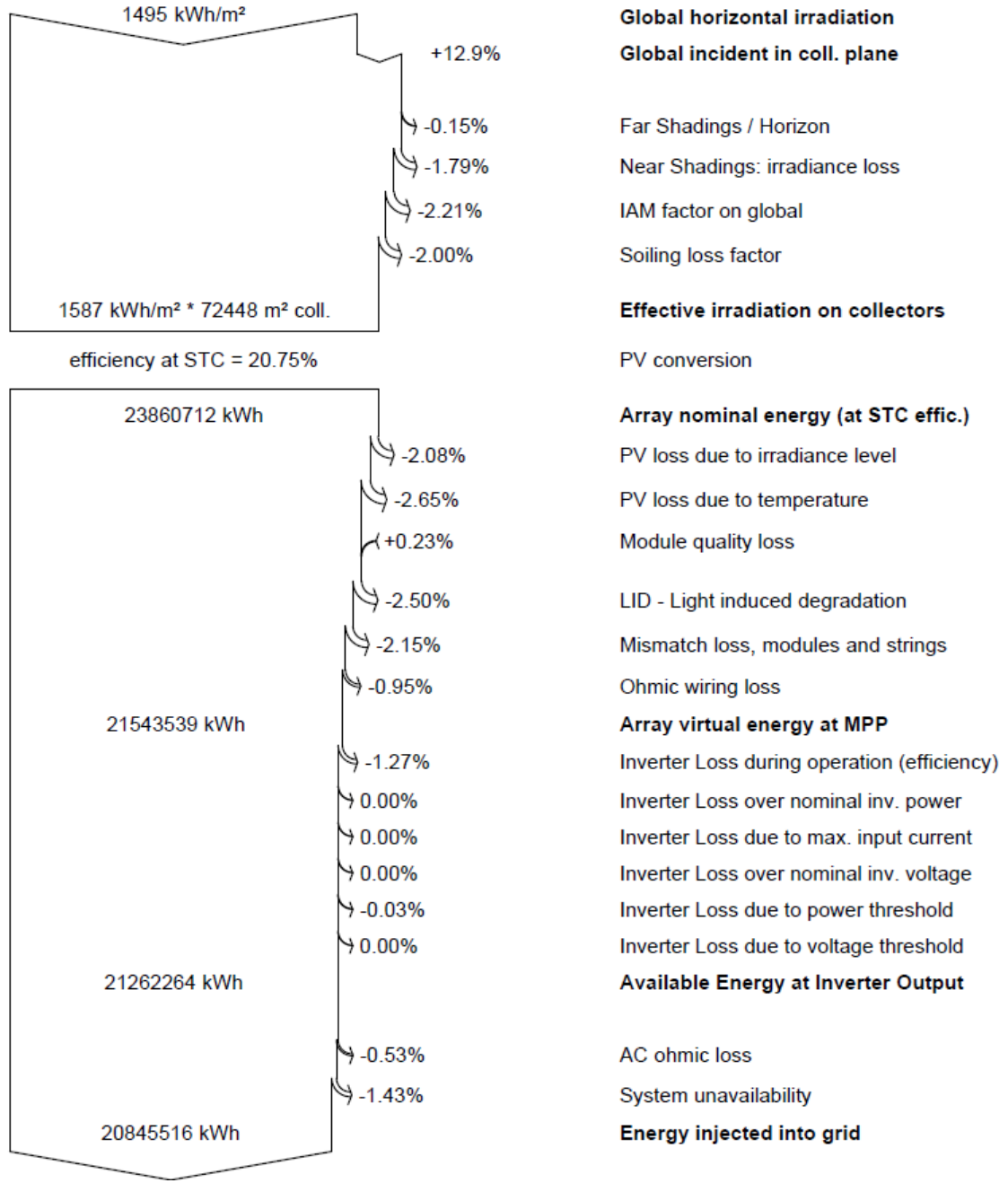


Şekil 4-3. GES Opt-2a & Opt-2b optimizasyon senaryoları üretime katkı ve kullanılmayan enerji (MWh)

Merkezi inverter olan senaryoda GES tesisinin üretimi yıllık 94 MWh artmış, üretime katkı miktarı ise yıllık 19.385'den 19.465'e çıkarak 80 MWh kadar artmıştır. Üretime katkıdaki iyileşme %0,41 oranında olmuştur. PVsyst raporlarındaki sistem kayıp diyagramları karşılaştırıldığında, Opt-2b senaryosunda inverter verimlilik kaybı ve AC omik kaybının daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 4-2 & Şekil 4-4). Senaryolardaki üretim kayıp oranları ise %6,6 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4-8).

Tablo 4-8. GES Opt-2a & Opt-2b optimizasyon senaryoları üretim ve üretim kayıp (limitlenme) oranları

Senaryo No	Inverter Tipi	Yaklaşık RES Üretimi (MWh/Yıl)	GES Üretim Tahmini (MWh/Yıl)	Şebekeye Verilen Toplam Enerji (MWh/Yıl)	GES'in VeriŞe Katkısı (MWh/Yıl)	Kullanılmayan GES Potansiyeli (MWh/Yıl)	GES Üretim Kayıp Oranı (%)
Opt-2a	Dizi	221.828	20.752	241.212	19.385	1.367	6,6%
Opt-2b	Merkezi	221.828	20.846	241.292	19.465	1.381	6,6%



Şekil 4-4. Opt-2b sistem kayıp diyagramı

Oluşturulan senaryolar, “Geri ödeme süresi (Yıl)” ve “LCOE (\$/MWh)” değerleri üzerinden Tablo 4-9’da karşılaştırılmıştır. “Opt-2b” senaryosu, diğer senaryoya göre 5.572 \$/yıl daha yüksek EBITDA değerini sağlamış olup, bu senaryoda geri ödeme süresi 9,2 yıl, LCOE değeri ise 33,43 \$/MWh (902,52 TL/MWh) olarak hesaplanarak fizibilitesi en iyi senaryo olduğu ortaya konmuştur.

Tablo 4-9. GES Opt-2a & Opt-2b senaryoları geri ödeme süresi ve LCOE karşılaştırma

Senaryo No	Inverter Tipi	Toplam Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme & Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	İlk Yıl GES'in Satışa Katkısı (\$/yıl)	İlk Yıl EBITDA (\$/yıl)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	LCOE (\$/MWh)	LCOE (TL/MWh)
Opt-2a	Dizi	11.212.200	201.877	1.415.074	1.213.197	9,24	33,55	905,87
Opt-2b	Merkezi	11.212.200	202.153	1.420.923	1.218.770	9,20	33,43	902,52

4.4. Optimizasyon Sonuçları ve Nihai Fizibilite

Tilt açısı optimizasyonu ve inverter tipi optimizasyonu sonrasında fizibilitesi en iyi senaryo “Opt-2b” olarak hesaplanmıştır. Bu senaryodaki konfigürasyon Tablo 4-10’da özetlenmiştir.

Tablo 4-10. Nihai senaryo konfigürasyon özeti

Senaryo No	Opt-2b
Proje Gücü	15 MWp
Tilt Açısı	25°
Inverter Tipi, Sayısı	Merkezi tip, 5 adet
Inverter Marka-Model	Sungrow SG3125-HV-20
Inverter Nominal Gücü	3.593 kW
Inverter Ayarlanmış Güç	3.000 kW

Optimizasyon öncesi tasarlanan 15 MWp tesisin (Opt-1a) fizibilite sonuçları (geri ödeme süresi 9,46 yıl, LCOE değeri 34,11 \$/MWh, 920,90 TL/MWh) ile nihai senaryo olan Opt-2b senaryosunun fizibilitesi sonuçları kıyaslandığında, optimizasyon işlemleri sonrası geri ödeme süresinin 0,26 yıl kısılması, LCOE değerinin ise %2 düşmesi (0,68 \$/MWh, 18,38 TL/MWh düşmesi) sağlanmıştır.

Model sonuçları hakkında tezin “4.1. Modelin Gözden Geçirilmesi ve Optimizasyon Parametrelerinin Seçilmesi” kısmında ifade edildiği üzere nihai senaryo için degradasyonu (%0,6) hesaba katarak 25 yıllık üretim verisi ve satış verisi hesaplanmıştır. 25. yılda, birinci yıla kıyasla GES üretimi %13,3 azalmış fakat veriye katkı kısmı %12,9 olarak daha az oranda azalmıştır. Sistemin ilk yıl %6,6 olan limitlenme oranı, 25. yılda %6,0 değerine düşmüştür.

25 yıllık değerler üzerinden geri ödeme süresi 9,45 yıl, LCOE değeri 35,54 \$/MWh, 959,63 TL/MWh olarak hesaplanmıştır (Tablo 4-11).

Tablo 4-11. Opt-2b senaryosunun 25 yıllık üretim ve satış değerleri

Yıllar	GES Üretim (MWh)	Toplam Veriş (MWh)	Veriş GES katkısı (MWh)	Kullanıl-mayan GES Potansiyeli (MWh)	Limit-lenme Oranı (%)	Toplam Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme & Bakım Maliyeti (\$/Yıl)	GES'in Satışa Katkısı (\$/yıl)	EBITDA (\$/yıl)
1	20.846	241.292	19.465	1.381	6,60%	11.212.200	202.153	1.420.923	1.218.770
2	20.720	241.181	19.353	1.367	6,60%	-	201.768	1.412.776	1.211.008
3	20.596	241.070	19.242	1.354	6,60%	-	201.385	1.404.677	1.203.291
4	20.473	240.959	19.132	1.341	6,50%	-	201.005	1.396.624	1.195.619
5	20.350	240.850	19.022	1.328	6,50%	-	200.626	1.388.617	1.187.990
6	20.228	240.741	18.913	1.315	6,50%	-	200.250	1.380.652	1.180.402
7	20.106	240.632	18.805	1.302	6,50%	-	199.876	1.372.735	1.172.859
8	19.986	240.524	18.697	1.289	6,40%	-	199.504	1.364.861	1.165.358
9	19.866	240.417	18.589	1.276	6,40%	-	199.134	1.357.032	1.157.898
10	19.746	240.310	18.483	1.264	6,40%	-	198.766	1.349.247	1.150.482
11	19.628	240.204	18.377	1.251	6,40%	-	198.400	1.341.502	1.143.102
12	19.510	240.099	18.271	1.239	6,40%	-	198.036	1.333.802	1.135.766
13	19.393	239.994	18.166	1.227	6,30%	-	197.674	1.326.143	1.128.469
14	19.277	239.890	18.062	1.215	6,30%	-	197.314	1.318.526	1.121.212
15	19.161	239.786	17.958	1.203	6,30%	-	196.956	1.310.954	1.113.998
16	19.046	239.683	17.855	1.191	6,30%	-	196.600	1.303.428	1.106.827
17	18.932	239.580	17.753	1.179	6,20%	-	196.247	1.295.944	1.099.697
18	18.818	239.478	17.651	1.168	6,20%	-	195.895	1.288.500	1.092.605
19	18.705	239.377	17.549	1.156	6,20%	-	195.545	1.281.100	1.085.555
20	18.593	239.276	17.449	1.145	6,20%	-	195.198	1.273.744	1.078.547
21	18.482	239.176	17.348	1.133	6,10%	-	194.852	1.266.432	1.071.580
22	18.371	239.076	17.249	1.122	6,10%	-	194.508	1.259.163	1.064.655
23	18.261	238.977	17.150	1.111	6,10%	-	194.167	1.251.935	1.057.768
24	18.151	238.879	17.051	1.100	6,10%	-	193.827	1.244.750	1.050.923
25	18.042	238.781	16.954	1.089	6,00%	-	193.490	1.237.607	1.044.118
Toplam	485.286	6.000.232	454.543	30.743	-	11.212.200	4.943.175	33.181.675	28.238.500
Ort.	19.411	240.009	18.182	1.230	-	-	-	-	-
25. yıldaki kayıp	13,40%	1,00%	12,90%	21,20%	-	-	-	-	-

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rüzgar enerjisi santrallerinde doğası gereği her an istenen miktarda elektrik üretimi sağlanamaması, arz güvenliği ve sürekliliği açısından önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü için rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan tesisler, birden fazla kaynağı birlikte kullanan hibrit enerji santrallerine dönüştürülebilirler. Bu çalışmada, işletmede olan bir rüzgar enerji santralinin hibrit enerji santraline dönüştürülmesi için entegre edilecek güneş enerjisi santrali tasarlanmış, hibrit enerji santrali modeli oluşturulmuş, teknik ve finansal fizibilite açısından farklı senaryolar ve tasarımlar denenerek en iyi senaryo ortaya konmuştur.

Öncelikle seçilen RES tesisinin üretim verisi ve kapasitesi incelenmiştir. GES kurulacak bölgedeki meteorolojik veriler SolarGIS programı üzerinden alınıp PVsyst programına aktarılmıştır. Hibrit enerji santrali modelinde üretim değerleri referans alınacak 1 MWp güneş enerjisi santrali PVsyst yazılımı ile tasarlanmıştır. Bu tasarımda tilt açısı PVsyst'in önerdiği 35 derece, inverter ise dizi tip seçilmiştir. Üretim verileri PVsyst programından çekilmiş, finansal varsayımlar için ise bir enerji şirketinden fiyat teklifi alınmıştır. Daha sonra bu üretim verileri, teknik ve finansal varsayımlar ile 5, 10, 15, 20 ve 25 MWp güçte GES içeren senaryolar oluşturulmuştur. Kurulacak GES ile hibrit tesisin mekanik gücü artacak olmasına karşın kurulu gücü 66 MWe olarak aynı kalacağından GES'in ürettiği elektriğin bir kısmı kullanılamayacaktır. RES ve GES'in saatlik kırımlı üretim değerleri kullanılarak “GES Dahil Şebekeye Verilen Toplam Enerji”, “GES'in Üretime Katkısı” ve “GES Kullanılmayan Enerji miktarı” her senaryo için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Senaryolar, geri ödeme süresi ve LCOE değerleri açısından karşılaştırılmış ve fizibilitesi en iyi senaryonun 15 MWp güçte GES kurulumu içeren senaryo olduğu ortaya konmuştur (Tablo 5-1). Daha sonra 15 MWp güçteki bu senaryonun PVsyst üzerinden detaylı tasarımı yapıp optimizasyon aşamasına geçilmiştir.

Tablo 5-1. GES senaryoları verilen enerji ve fizibilite sonuçları karşılaştırılması

Senaryo No	GES Gücü (MWp)	Şebekeye Verilen Toplam Enerji (MWh/Yıl)	GES'in Veriše Katkısı (MWh/Yıl)	GES Üretim Kayıp Oranı (%)	İlk Yıl EBITDA (\$/yıl)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	LCOE (\$/MWh)	LCOE (TL/MWh)
1	5	228.625	6.797	2,6%	422.753	9,39	34,17	922,54
2	10	235.056	13.229	5,2%	825.046	9,43	34,16	922,22
3	15	241.323	19.495	6,9%	1.220.910	9,37	33,85	913,86
4	20	247.456	25.629	8,2%	1.602.489	9,52	34,27	925,41
5	25	253.444	31.617	9,4%	1.986.442	9,60	34,28	925,69

Hibrit tesisinin verimliliğini ve fizibilitesini iyileştirmek için bir takım parametreler bulunmaktadır. Bu tezde tilt açısı değişimi ve inverter tipi değişimi ile optimizasyon imkanları incelenmiştir.

İlk olarak farklı tilt açılarının fizibiliteye etkisi incelenmiştir. Gönül (2018) tarafından yapılan çalışmadaki dönemsel optimum panel açılara dayanarak 15 MWp güçte tesis için 35 dereceye ek olarak 25, 14 ve 7 derece tilt açısına sahip GES tasarımı PVsyst ile yapılmış ve üretim değerleri hibrit model senaryosuna eklenmiştir. Bu tasarımlar yapılırken tilt açısı düştükçe dizi aralarındaki mesafe daha kısa tutularak araziden tasarruf edilmiş, ayrıca enerji şirketinden yeniden fiyat alınmıştır. RES ve GES'in saatlik kırımlı üretim değerleri kullanılarak "GES Dahil Şebekeye Verilen Toplam Enerji", "GES'in Üretime Katkısı" ve "GES Kullanılmayan Enerji miktarı" her senaryo için aynı ayrı hesaplanmıştır. Senaryolar geri ödeme süresi ve LCOE değerleri ile karşılaştırılmış ve fizibilitesi en iyi senaryonun 25 derece tilt açısına sahip "Opt-1b" senaryosu olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5-2).

Tablo 5-2. GES Opt-1 senaryoları verilen enerji ve fizibilite sonuçları karşılaştırılması

Senaryo No	Tilt Açısı (°)	GES'in Veriše Katkısı (MWh/Yıl)	GES Üretim Kayıp Oranı (%)	Toplam Yatırım Maliyeti (\$)	İlk Yıl EBITDA (\$/yıl)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	LCOE (\$/MWh)	LCOE (TL/MWh)
Opt-1a	35	19.306	6,8%	11.421.600	1.207.719	9,46	34,11	920,90
Opt-1b	25	19.385	6,6%	11.212.200	1.213.197	9,24	33,55	905,87
Opt-1c	14	18.924	6,2%	11.100.200	1.181.148	9,40	34,05	919,27
Opt-1d	7	18.343	5,9%	11.100.200	1.140.738	9,73	35,02	945,43

GES senaryoları oluşturulmaya başlandığında, kurulacak tesis gücü henüz belirlenmediğinden dizi tip inverter kullanılmıştı. Optimum güç olarak tespit edilen 15 MWp büyüklüğünde bir tesis için merkezi tip inverter kullanmak daha iyi bir seçenek olabileceğinden bu noktada bir karşılaştırma yapılmıştır. Opt-1 senaryolarında, merkezi tip inverter versiyonlarında iyileşme senaryolar arası simetrik olacağından, sadece optimum olarak belirlenen Opt-1b senaryosu üzerinden ilerlenmiştir. İlgili senaryo aynen alınıp (Opt-2a) bu konfigürasyonu (15 MWp, 25° tilt) baz alan merkezi inverter içeren yeni bir senaryo (Opt-2b) oluşturulmuştur. Merkezi tip inverter içeren tesisin yatırım maliyetinin, dizi tip inverter içeren tesis ile aynı olduğu kabul edilmiştir.

İki senaryo için PVsyst üzerinden tasarım yapılmış olup, senaryolardaki “GES Dahil Şebekeye Verilen Toplam Enerji”, “GES’in Üretime Katkısı” ve “GES Kullanılmayan Enerji miktarı” değerleri hesaplanmıştır. Senaryolar geri ödeme süresi ve LCOE değerleri ile karşılaştırılmış ve fizibilitesi en iyi senaryonun merkezi inverter içeren “Opt-2b” senaryosu olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5-4).

Tablo 5-3. GES Opt-2 senaryoları verilen enerji ve fizibilite sonuçları karşılaştırılması

Senaryo No	Inverter Tipi	GES'in Veriše Katkısı (MWh/Yıl)	GES Üretim Kayıp Oranı (%)	İlk Yıl EBITDA (\$/yıl)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	LCOE (\$/MWh)	LCOE (TL/MWh)
Opt-2a	Dizi	19.385	6,6%	1.213.197	9,24	33,55	905,87
Opt-2b	Merkezi	19.465	6,6%	1.218.770	9,20	33,43	902,52

Optimizasyon öncesi tasarlanan 15 MWp tesisin (35° & dizi inverter) fizibilite sonuçları (geri ödeme süresi 9,46 yıl, LCOE değeri 34,11 \$/MWh, 920,90 TL/MWh) ile nihai senaryo olan “Opt-2b” (25° & merkezi inverter) senaryosunun fizibilitesi sonuçları kıyaslandığında, optimizasyon işlemleri sonrası geri ödeme süresinin 0,26 yıl kısalması, LCOE değerinin ise %2 düşmesi (0,68 \$/MWh, 18,38 TL/MWh düşmesi) sağlanmıştır.

Bu kısma kadar yapılan karşılaştırmalarda finansal açıdan ilk yılki EBITDA değeri alındığından son olarak nihai senaryo için degradasyonu (%0,6) hesaba katarak 25 yıllık üretim verisi ve satış verisi hesaplanmıştır. 25. yılda, birinci yıla kıyasla GES üretimi %13,3 azalmış fakat veriše katkı kısmı %12,9 olarak daha az oranda azalmıştır. Sistemin ilk yıl %6,6 olan limitlenme oranı, 25. yılda %6,0 değerine düşmüştür. 25 yıllık değerler üzerinden

geri ödeme süresi 9,45 yıl, LCOE değeri 35,54 \$/MWh, 959,63 TL/MWh olarak hesaplanmıştır.

İşletmede olan Süloğlu RES'e 15 MWp GES entegre edilmesiyle hibrit tesisin kurulu gücü 81 MWm / 66 MWe olacaktır. Tesisin elektrik satış tarifesı 73 \$/MWh olup hibrit enerji santrali dönüşümü sonrası GES'in 25 yıl boyunca sisteme vereceğı enerjinin birim maliyeti 35,54\$/MWh olacaktır. GES için 11,2 Milyon \$ yatırım yapılarak 25 yılda toplam 28,2 Milyon \$ faiz vergi amortisman öncesi kar (EBITDA) elde edilecektir. Hibrit enerji santrali dönüşümü sadece işletme olan tesisler için değil, projelendirme/inşaat döneminde bulunan veya yatırım geri ödeme süresi içerisinde bulunan RES tesisleri için de karlı bir yatırım olacaktır.

Bu çalışmada optimizasyon için tilt açısı ve inverter tipi parametreleri değerlendirilmiştir. Verimliliğı yüksek panel kullanılması, iki yüzölü panel kullanılması, zeminin yansıtıcılığını arttıracak malzeme kullanılması, güneş takipli taşıyıcı sistem kullanılması veya bu seçeneklerin birlikte kullanılması ile daha düşük LCOE elde edilme imkanı mevcuttur.

Lisans gücü limiti sebebiyle nihai senaryoda 25 yılda toplam 30.743 MWh büyüklüğünde enerji sisteme verilememektedir. Hibrit santralin limite takıldığı saatlerde elektrik enerjisinin depolanıp, lisans gücünün altında üretim olduğu saatlerde şebekeye verilmesi için depolama teknolojilerinin hibrit santrale dahil edilmesi ve böylece daha düşük LCOE elde edilmesi imkanı mevcuttur.

KAYNAKÇA

- Anser, M.K., Mohsin, M., Abbas, Q. & Chaudhry I.S. (2020).** Assessing the integration of solar power projects: SWOT-based AHP–F-TOPSIS case study of Turkey. *Environ Sci Pollut Res* 27. 31737–31749. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09092-6>
- Arslan, M. (2022).** Güneş Enerji Santrallerinin Simülasyon İle Üretim Verilerinin Karşılaştırılması Ve Analizi (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Aydem. (2023).** Aydem Yenilenebilir Enerji Türkiye'nin En Büyük Hibrit GES'ini Uşak'ta Devreye Aldı. Aydem Enerji. 16.06.2023. <https://www.aydemenerji.com.tr/haber/212/aydem-yenilenebilir-enerji-turkiye-nin-en-buyuk-hibrit-ges-ini-usak-ta-devreye-aldi>
- Bayyigit, A. Çinici, O. & Acır, A. (2023).** Tek Yüzeyli ve Çift Yüzeyli Fotovoltaik Panellerin Performans Analizi. *GU J Sci, Part C*, 10(2). 407 - 420. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1298017>
- Bentaher, H., Kaich, H., Ayadi, N., Hmouda, M.B., Maalej, A. & Lemmer, U. (2014).** A simple tracking system to monitor solar PV panels. *Energy Conversion and Management*. 78:872-875.
- Bozok, M. N. (2017)** Düzce ilinde tipik bir konut için rüzgar-güneş hibrit enerji sistemlerinin modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Düzce Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ceylan, C. & Devrim Y. (2021).** Design and simulation of the PV/PEM fuel cell based hybrid energy system using MATLAB/Simulink for greenhouse application. Volume 46, Issue 42. p22092-22106 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.04.034>
- Çağatay, G. (2013).** Karapınar'daki dünyanın tek yatırımcılı en büyük güneş santrali tam kapasite üretime başladı. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/karapinardaki-dunyanin-tek-yatirimcili-en-buyuk-gunes-santrali-tam-kapasite-uretime-basladi/2872773>
- Cınaroğlu, H. (2020).** Bağımsız Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Yazılımı Kullanılarak Tasarımı Ve Simülasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Demiral, İ. (2023). Techno-economic optimization of PV-wind-battery hybrid systems (Yüksek Lisans Tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

EİGM. (2022a). Yenilenebilir Enerji Kaynakları-Rüzgar. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. 17.08.2022. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>

EİGM. (2022b). Yenilenebilir Enerji Kaynakları-Güneş. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. 26.08.2022. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>

EPDK. (2023a). 2022 Yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. <https://epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari>

EPDK. (2023b). Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği (Resmi Gazete tarihi ve Resmi Gazete sayısı: 13.07.2023 - 32247). Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-6727/elektrik-piyasasi-lisans-yonetmeligi>

EPDK. (2023c). Elektrik Piyasası Üretim Lisansları Listesi. EPDK. <https://lisans.epdk.gov.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml>

EPİAŞ. (2023). Uzlaştırma Esas Veriş Miktarı (UEVM). EPİAŞ Şeffaflık Platformu. <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/uretim/gerceklesen-uretim/uevm.xhtml>

Filik, T. & Başaran Filik, Ü. (2017). Efficiency Analysis Of The Solar Tracking Pv Systems In Eskişehir Region. Anadolu University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering, 18 (1) , 209-217. www.doi.org10.18038/aubtda.267116

Filik, Ü. B., Ayvazoğluüksel, Ö., & Filik, T. (2015). Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsünde Güneş/Rüzgâr Verilerini İzleme Ve Hibrit Enerji Sisteminin Kurulması, Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi, 3(1);48-54

Global Wind Atlas. (2023). Rüzgar Hızı Zamansal Verileri. Edirne İli Lalapaşa İlçesi Zamansal Rüzgar Verisi Analizi. www.globalwindatlas.info

Gönül, Ö. (2018). Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için optimal fotovoltaik panel eğim açılarının belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Enerji Enstitüsü.

Güçyetmez, M. (2023). Mikro ve Akıllı Şebekelere Geçiş Sürecinde Binaya Entegre Düşey Rüzgâr Türbini ve Güneş Hibrit Enerji Sistemi (DRTG-HES)'in İncelenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(1), 225-236.

Gün, E. (2019). İstanbul ve çevresinde rüzgar-güneş hibrit sisteminin karşılama oranlarının belirlenerek ANFIS tabanlı modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güven, D. & Hatipoğlu, C. (2022). Şebekeden Bağımsız Güneş/Rüzgâr/Biyogaz/Yakıt Hücresi/Batarya Tabanlı Hibrit Enerji Sisteminin Tekno-Ekonomik Analizi: Muğla Zaferler Köyü Vaka Çalışması. EMO Bilimsel Dergi. 2021(12)-23

Güven, D., Türkmen, Ş., Aşıklı, E. & Örnek, G. (2023). Investigating the Effects of Different Types of Battery Impacts in Energy Storage Systems on Standalone Hybrid Renewable Energy Systems. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 13(3). 943 - 964. www.doi.org/10.31466/kfbd.1275823

İster, N. (2020). Bozcaada'da rüzgar ve güneş enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretim potansiyelinin HOMER ile incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Jafarzadeh, N. (2017). Analysis of hybrid wind-solar power plant for ITU Ayazaga Campus (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Enerji Enstitüsü.

Kalehan. (2023). Aşağı Kaleköy Barajı Ve HES Projesi. Kalehan Enerji Üretim ve Ticaret A.Ş. <https://kalehan.com.tr/projeler/asagi-kalekoy-baraji-ve-hes>

Kaplan, F. (2023). İklim Değişikliğinin Hidroelektrik Santraller Üzerindeki Etkisi Ve HES, GES Hibrit Modeli. DSİ Teknik Bülteni, 0(141), 8 -13.

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.

Liu, B. Y. H. & Jordan, R. C. (1962). Daily insolation on surface tilted toward the equator, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 67, 526-541.

Malik, P., Awasthi, M. & Sinha, S. (2022). A techno-economic investigation of grid integrated hybrid renewable energy systems. Sustainable Energy Technologies and Assessments. Volume 51. 101976

Nurbay, N., & Çınar, A. (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21.

Ökten, M. (2023). Isı ve elektrik enerjisi üretimi için doğal gaza yeşil bir çözüm: Güneş enerjisi uygulamalarıyla bir örnek olay incelemesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(3), 702 - 717. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1232214>

Öz, O. (2023). Endüstriyel bir tesisin elektrik enerjisi talebinin hibrid güç sistemiyle karşılanmasının teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü

Öztürk, H. & Kaya. D. (2013). Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji. Umuttepe Yayınları. Kocaeli.

PVsyst. (2023). PVsyst Features. 3.06.2023. www.pvsyst.com/features

RAPSİM. (2023). Teknik Etkileşim Analizi. TÜBİTAK - Radar Performans ve İz Analiz Merkezi. <https://www.rapsim.bilgem.tubitak.gov.tr/index.php>

Rezzouk, H. & Mellit, A. (2015). Feasibility study and sensitivity analysis of a stand-alone photovoltaic–diesel–battery hybrid energy system in the north of Algeria. Renewable and Sustainable Energy Reviews (43). 1134-1150

SolarGIS. (2023a). Methodology - Solar radiation modeling. SolarGIS. 3.06.2023. www.solargis.com/docs/methodology/solar-radiation-modeling

SolarGIS. (2023b). Prospect Map. SolarGIS. 3.06.2023. apps.solargis.com/prospect/map

Şekeroğlu, A. & Erol, D. (2022) Hibrit Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Mekânsal Analizi İçin Yöntem Önerisi. Megaron Journal, 17(3). 511–525.

Tariq, M.S., Butt, A. & Khan H.A. (2018). Impact of module and inverter failures on the performance of central -, string -, and micro-inverter PV systems. Microelectronics Reliability. 88–90. 1042-1046

TEİAŞ. (2023). 2023 Yılı Sistem Kullanım ve Sistem İşletim Tarifeleri ve Yöntem Bildirimi. <https://www.teias.gov.tr/duyurular/2023-yili-sistem-kullanim-ve-sistem-isletim-tarifeleri-ve-yontem-bildirimi>

YeşilEkonomi (2022). Enerjisa doğuştan hibrit ilk RES projesini devreye aldı. 27.10.2022. <https://yesilekonomi.com/enerjisa-dogustan-hibrit-ilk-res-projesini-devreye-aldi/>

Yıldırım, A. (2023). Güneş hedeflerine güneyde kullanılmayan potansiyelle ulaşılabilir Raporu. Ember (Sandbag Climate Campaign CIC). <https://ember-climate.org/tr/analizler/ara%C5%9Ft%C4%B1rma/gunes-hedeflerine-guneyde-kullanilmayan-potansiyelle-ulasilabilir>

Yılmaz, G., Şahin, M., Akyazı. Ö. & Öztürk, B. (2023). Şebeke Bağlantılı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin HOMER ile Ekonomik ve Çevresel Analizi: İzmir Endüstriyel Bölgesi Örneği. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi. 13(3) 1090-1106. www.doi.org/10.31466/kfbd.1292005

Zhang, G., Hu, W., Cao, D., Liu, W., Huang, R., Huang, Q., Chen, Z. & Blaabjerg, F. (2021). Data-driven optimal energy management for a wind-solar-diesel-battery-reverse osmosis hybrid energy system using a deep reinforcement learning approach. Energy Conversion and Management, 227, 1-16. [113608]. www.doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113608

EKLER

EK-1. Hibrit Enerji Santrali Model Dosyası

Hibrit Enerji Santrali Modeli “XLSX” formatında ektedir.

İçindeki sayfalar:

- 1) Genel Bakış
- 2) Model Sonuçları
- 3) Teknik ve Finansal Varsayımlar
- 4) Senaryolar (Opt-2)
- 5) Senaryolar (Opt-1)
- 6) Senaryolar (İlk)
- 7) 2019-2023 RES Üretim Verisi
- 8) EPIAŞ Ham Veri

EK-2. Arçelik ARCLK-SP-545W Modül Datasheet

Fotovoltaik Modül

ARCLK-SP-545W



Elektriksel Özellikler

STC

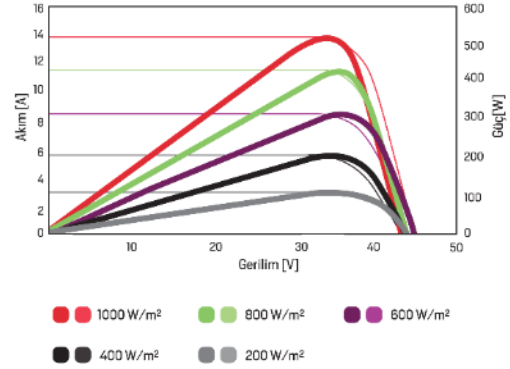
Maksimum Güç (Pmax)	545Wp
Açık Devre Gerilimi (Voc)	49.33 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	13.70 A
Maksimum Güç Gerilimi (Vmax)	42.13 V
Maksimum Güç Akımı (Imax)	12.96 A
Modül Verimi	20.98 %
Güç Toleransı	+5 W
Maksimum Sistem Gerilimi	1,500 V
Maksimum Seri Sigorta Değeri	20 A

Ölçüm Toleransı: $\pm 3\%$

STC: Işınım 1000 W/m^2 , Hava Kütlesi 1.5, Hücre Sıcaklığı 25°C

NOCT: Işınım 800 W/m^2 , Ortam Sıcaklığı 20°C , Hava Kütlesi 1.5, Rüzgar Hızı 1 m/s

I - V Eğrisi



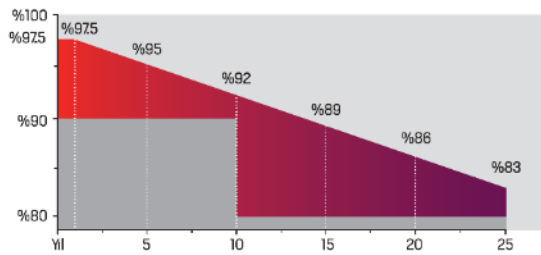
Mekanik Özellikler

Boyutlar	2,295 x 1,132 x 42 mm
Ağırlık	29 kg
Hücre Tipi	Monokristal PERC 182x91 mm [144 adet]
Busbar Sayısı	10 adet
Cam	3.2 mm AR Kaplamalı Temperli Cam
Çerçeve	Eloksallı Alüminyum Alaşım
Bağlantı Kutusu	IP68, 3 diyetli – MC4
Çıkış Kabloları	4.0 mm ²
Mekanik Dayanım	Ön Taraf 5,400 Pa / Arka Taraf 2,400 Pa
Paketleme Adedi	Bir palette 27 adet panel

Termal Özellikler

Pmax Sıcaklık Katsayısı	-0.31 %/°C
Voc Sıcaklık Katsayısı	-0.24 %/°C
Isc Sıcaklık Katsayısı	+0.04 %/°C
İşletme Sıcaklığı	-40~+85 °C
NOCT (Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı)	44±2 °C

Arçelik Linear Performans Garantisi



arcelik.com.tr

0850 210 0 888

0544 444 08 88

arçelik
iyiliği aşkla tasarlar

EK-3. Huawei SUN2000-330KTL-H1 Inverter Datasheet

SUN2000-330KTL-H1

Technical Specifications

Efficiency	
Max. Efficiency	≥99.0%
European Efficiency	≥98.8%
Input	
Max. Input Voltage	1,500 V
Number of MPP Trackers	6
Max. Current per MPPT	65 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	115 A
Max. PV Inputs per MPPT	4/5/5/4/5/5
Start Voltage	550 V
MPPT Operating Voltage Range	500 V ~ 1,500 V
Nominal Input Voltage	1,080 V
Output	
Nominal AC Active Power	300,000 W
Max. AC Apparent Power	330,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	330,000 W
Nominal Output Voltage	800 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current	216.6 A
Max. Output Current	238.2 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Total Harmonic Distortion	< 1%
Protection	
Smart String-Level Disconnect(SSLD)	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
AC Grounding Fault Protection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, WLAN + APP
USB	Yes
MBUS	Yes
RS485	Yes
General	
Dimensions (W x H x D)	1,048 x 732 x 395 mm
Weight (with mounting plate)	≤112 kg
Operating Temperature Range	-25 °C ~ 60 °C
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless

EK-4. TYT Firması GES Kurulum ve İşletme Teklifi



Temiz
Yaratıcı
Teknolojiler

FİYAT TEKLİFİ

Firma Bilgileri

Firma Unvanı: TEMİZ YARATICI TEKNOLOJİLER MÜHENDİSLİK VE DANIŞMANLIK A.Ş.

Firma Adresi: Reşitpaşa Mah. Katar Cad. Arı 6 Sit. Enerji Teknokenti Apt. Sarıyer/İstanbul

Alıcı Bilgileri

Firma Unvanı: -

Firma Yetkilisi: ALİ KAAAN UZUNSOY

Firma Adresi: -

Tarih: 01/07/2023

Proforma Fatura No: PS2023_0039

Geçerlilik Tarihi: 31/12/2023

Mal/Hizmet Cinsi	Detay	Miktar	Birim	Birim Fiyat (\$)	Toplam Fiyat (\$)
1 MWp GES	Anahtar teslim kurulum (EPC)	1	MWp	740.000	740.000
5 MWp GES		5	MWp	740.000	3.700.000
10 MWp GES		10	MWp	725.000	7.250.000
15 MWp GES	545Wp monofacial panel 35 derece sabit sistem String inverter	15	MWp	710.000	10.650.000
20 MWp GES		20	MWp	710.000	14.200.000
25 MWp GES		25	MWp	710.000	17.750.000
Proje Geliştirme & Mühendislik Hizmeti	-	1	Proje	10.000	10.000
1 MWp GES	GES İşletme ve Bakım & Onarım Hizmeti	1	MWp	10.000	10.000
5 MWp GES		5	MWp	10.000	50.000
10 MWp GES		10	MWp	9.500	95.000
15 MWp GES		15	MWp	9.000	135.000
20 MWp GES		20	MWp	9.000	180.000
25 MWp GES		25	MWp	8.500	212.500

EK-5. 1 MWp (35°, dizi) Referans GES Tasarımı PVsyst Raporu



PVsyst V7.4.2
VC0, Simulation date:
05/10/23 14:34
with v7.4.2

Project: Süloğlu RES Hibrit GES_1MWp Referans Senaryo

Variant: 35

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Project summary

Geographical Site Lalapasa_RES Turkey	Situation Latitude 41.98 °N Longitude 26.78 °E Altitude 465 m Time zone UTC+3	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Lalapasa_RES SolarGIS Hourly aver. , period not spec. - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 35 / 0 °	Sheds, single array Near Shadings Linear shadings : Fast (table)	User's needs Unlimited load (grid)
System information PV Array Nb. of modules 1846 units Pnom total 1006 kWp	Inverters Nb. of units 3 units Pnom total 990 kWac Pnom ratio 1.016	

Results summary

Produced Energy 1395393 kWh/year	Specific production 1387 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 81.64 %
----------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Near shading definition - Iso-shadings diagram	6
Main results	7
Loss diagram	8
Predef. graphs	9



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_1MWp Referans Senaryo

Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:34
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

General parameters

Grid-Connected System		Sheds, single array	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		Nb. of sheds	10 units
Fixed plane		Single array	
Tilt/Azimuth	35 / 0 °	Sizes	
		Sheds spacing	11.7 m
		Collector width	4.62 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	39.5 %
		Top inactive band	0.02 m
		Bottom inactive band	0.02 m
		Shading limit angle	
		Limit profile angle	18.6 °
Horizon		Near Shadings	
Average Height	3.0 °	Linear shadings : Fast (table)	
		User's needs	
		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	ARÇELİK	Manufacturer	Huawei Technologies
Model	ARCLK-SP-545W	Model	SUN2000-330KTL-H1-Preliminary V0.1
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	545 Wp	Unit Nom. Power	330 kWac
Number of PV modules	1846 units	Number of inverters	3 units
Nominal (STC)	1006 kWp	Total power	990 kWac
Modules	71 Strings x 26 In series	Operating voltage	500-1500 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.02
Pmpp	930 kWp	Power sharing within this inverter	
U mpp	1009 V		
I mpp	922 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	1006 kWp	Total power	990 kWac
Total	1846 modules	Number of inverters	3 units
Module area	4857 m²	Pnom ratio	1.02

Array losses

Array losses									
Array Soiling Losses			Thermal Loss factor			DC wiring losses			
Loss Fraction	2.0 %		Module temperature according to irradiance			Global array res.	18 mΩ		
			Uc (const)			29.0 W/m²K		Loss Fraction	1.5 % at STC
			Uv (wind)			0.0 W/m²K/m/s			
LID - Light Induced Degradation			Module Quality Loss			Module mismatch losses			
Loss Fraction	2.5 %		Loss Fraction			-0.2 %		Loss Fraction	2.0 % at MPP
Strings Mismatch loss									
Loss Fraction	0.2 %								
IAM loss factor									
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290									
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°	
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000	



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_1MWp Referans Senaryo

Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:34
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

System losses

Unavailability of the system

Time fraction 1.0 %
3.7 days,
3 periods

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 800 Vac tri
Loss Fraction 1.00 % at STC
Inverter: SUN2000-330KTL-H1-Preliminary V0.1
Wire section (3 Inv.) Copper 3 x 3 x 120 mm²
Average wires length 124 m

Horizon definition

Horizon from PVGIS website API, Lat=41°57'20", Long=26°46'46", Alt=465m

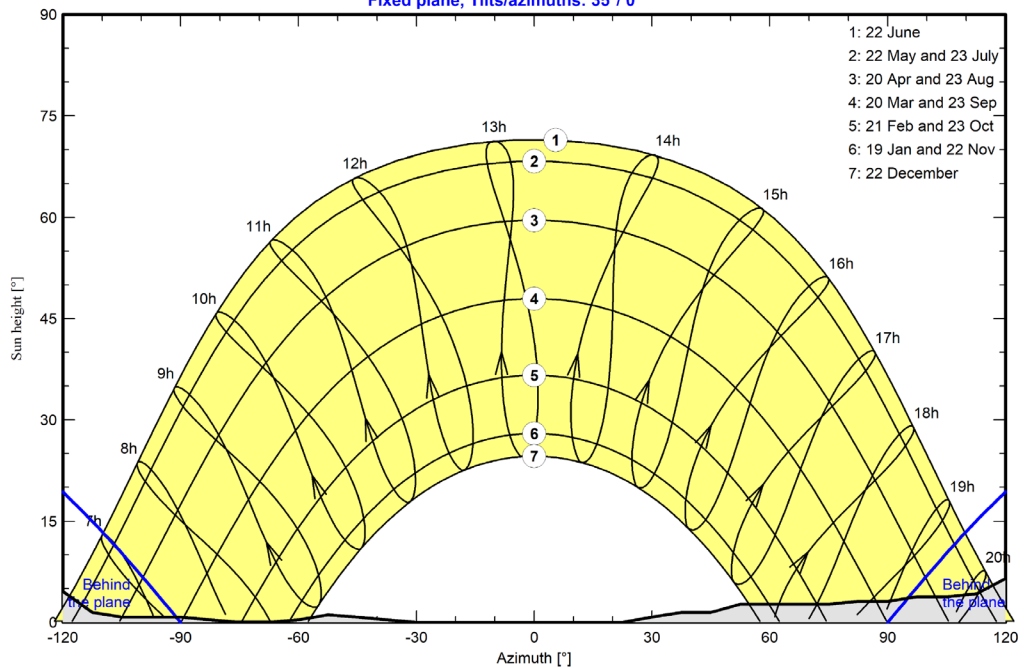
Average Height 3.0 ° Albedo Factor 0.98
Diffuse Factor 1.00 Albedo Fraction 100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-150	-143	-120	-113	-105	-90	-83	-75	-68
Height [°]	6.9	6.9	4.6	4.6	1.5	0.8	0.8	0.4	0.0	0.0
Azimuth [°]	-60	-53	-45	-38	-30	23	30	38	45	53
Height [°]	0.4	1.1	0.8	0.4	0.0	0.0	0.8	1.5	1.5	2.7
Azimuth [°]	75	83	90	98	105	113	120	143	150	180
Height [°]	2.7	3.1	3.1	3.8	3.8	4.2	6.5	6.5	6.9	6.9

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Fixed plane, Tilts/azimuths: 35°/ 0°





PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:34
with v7.4.2

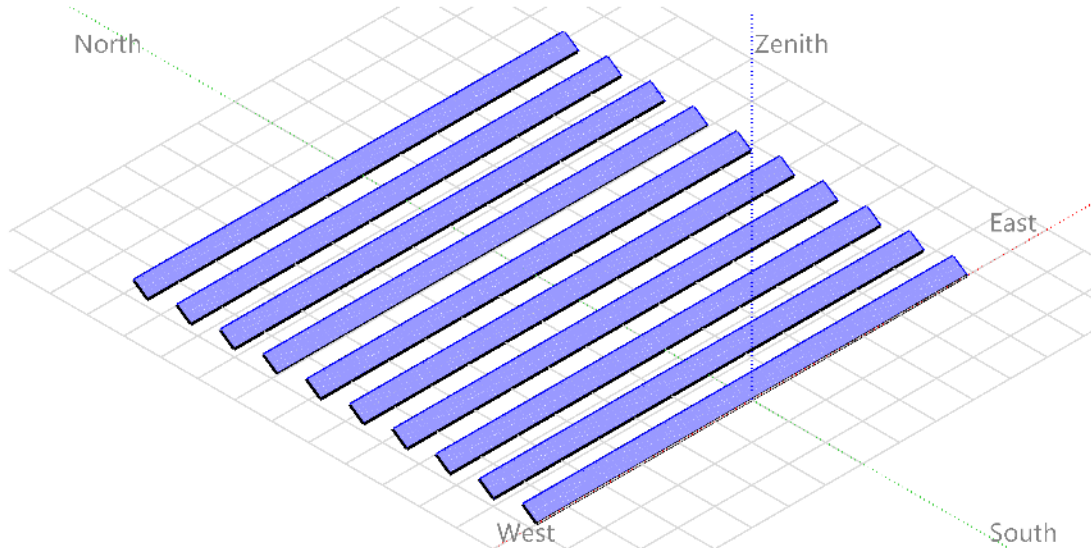
Project: Süloğlu RES Hibrit GES_1MWp Referans Senaryo

Variant: 35

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Near shadings parameter

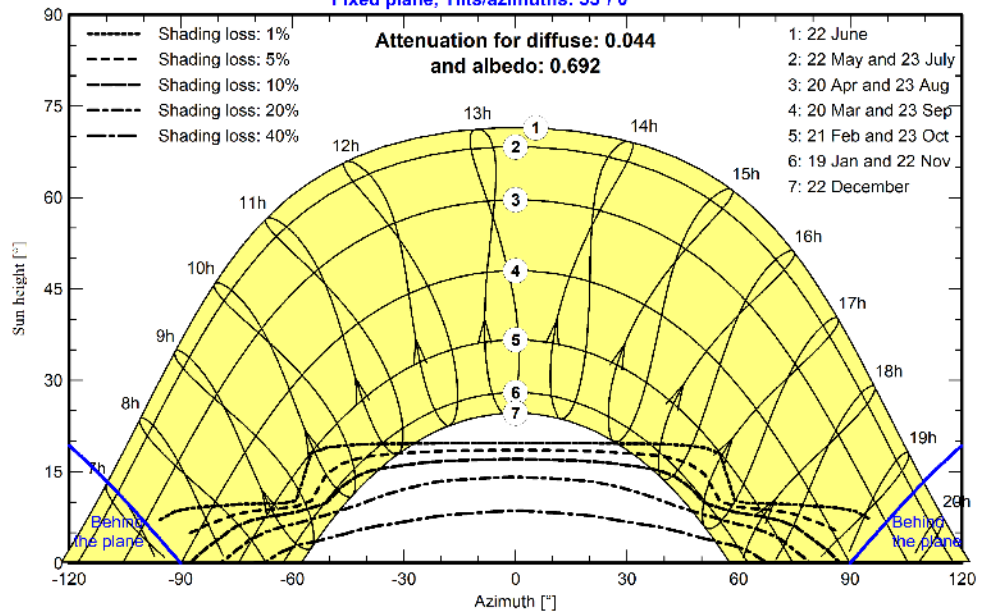
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 35°/ 0°





Project: Süloğlu RES Hibrit GES_1MWp Referans Senaryo

Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:34
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Main results

System Production

Produced Energy 1395393 kWh/year

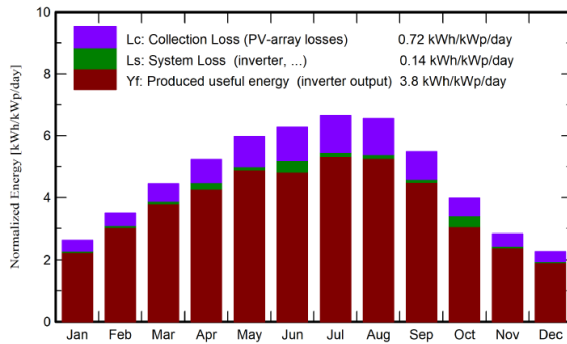
Specific production

1387 kWh/kWp/year

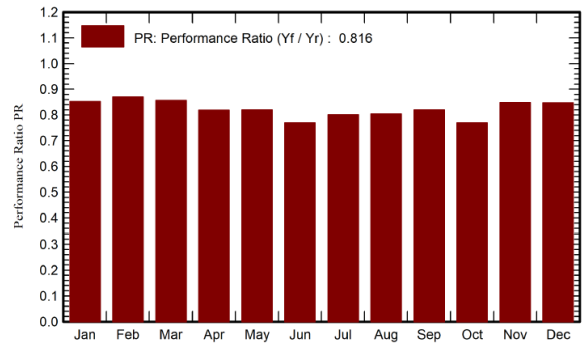
Perf. Ratio PR

81.64 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	ratio
January	50.2	26.10	2.50	81.7	75.4	71523	70071	0.852
February	67.5	33.00	4.00	97.6	92.3	87283	85541	0.871
March	109.4	51.80	6.50	137.4	128.8	120891	118445	0.857
April	144.4	65.90	10.90	156.7	146.6	135230	128980	0.818
May	189.0	80.20	16.10	185.0	172.4	156073	152685	0.820
June	202.3	78.70	20.30	188.3	175.5	156833	145626	0.769
July	216.7	77.20	22.90	206.3	192.7	170183	166324	0.801
August	192.8	72.10	23.00	203.1	190.4	168245	164429	0.805
September	136.1	56.70	18.50	164.2	154.2	138556	135529	0.820
October	90.8	42.20	13.00	123.5	116.2	106584	95505	0.769
November	54.8	28.90	8.50	84.9	79.2	73942	72432	0.848
December	41.2	23.10	4.00	70.2	64.3	60988	59827	0.847
Year	1495.2	635.90	12.56	1699.0	1588.1	1446330	1395393	0.816

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



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_1MWp Referans Senaryo

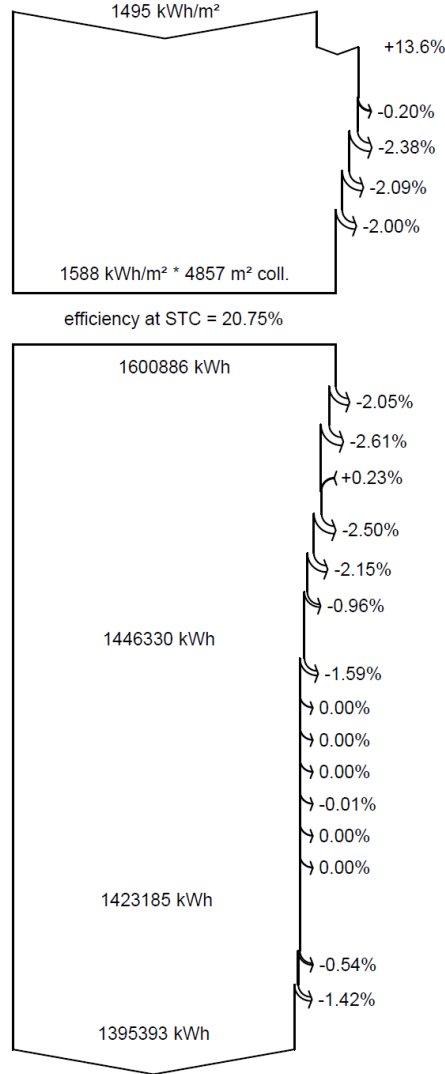
Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:34
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

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

LID - Light induced degradation

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

Night consumption

Available Energy at Inverter Output

AC ohmic loss

System unavailability

Energy injected into grid

EK-6. 15 MWp (35°, dizi) GES Tasarımı PVsyst Raporu



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:30
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Project summary

Geographical Site

Lalapasa_RES

Turkey

Situation

Latitude 41.96 °N

Longitude 26.78 °E

Altitude 465 m

Time zone UTC+3

Project settings

Albedo 0.20

Meteo data

Lalapasa_RES

SolarGIS Hourly aver. , period not spec. - Synthetic

System summary

Grid-Connected System

PV Field Orientation

Fixed plane

Tilt/Azimuth 35 / 0 °

Sheds, single array

Near Shadings

Linear shadings : Fast (table)

User's needs

Unlimited load (grid)

System information

PV Array

Nb. of modules

27534 units

Pnom total

15.01 MWp

Inverters

Nb. of units

46 units

Pnom total

15.00 MWac

Pnom ratio

1.000

Results summary

Produced Energy 20718096 kWh/year

Specific production

1381 kWh/kWp/year

Perf. Ratio PR

81.26 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Near shading definition - Iso-shadings diagram	6
Main results	7
Loss diagram	8
Predef. graphs	9



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:30
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

General parameters

Grid-Connected System		Sheds, single array	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		Nb. of sheds	29 units
Fixed plane		Single array	
Tilt/Azimuth	35 / 0 °	Sizes	
		Sheds spacing	11.7 m
		Collector width	4.62 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	39.5 %
		Top inactive band	0.02 m
		Bottom inactive band	0.02 m
		Shading limit angle	
		Limit profile angle	18.6 °
Horizon		Near Shadings	
Average Height	3.0 °	Linear shadings : Fast (table)	
		User's needs	
		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	ARÇELİK	Manufacturer	Huawei Technologies
Model	ARCLK-SP-545W	Model	SUN2000-330KTL-H1-Preliminary V0.1
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	545 Wp	Unit Nom. Power	326 kWac
Number of PV modules	27534 units	Number of inverters	46 units
Nominal (STC)	15.01 MWp	Total power	15000 kWac
Modules	1059 Strings x 26 In series	Operating voltage	500-1500 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.00
Pmpp	13.87 MWp	Power sharing within this inverter	
U mpp	1009 V		
I mpp	13746 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	15006 kWp	Total power	15000 kWac
Total	27534 modules	Number of inverters	46 units
Module area	72448 m²	Pnom ratio	1.00

Array losses

Array losses								
Array Soiling Losses			Thermal Loss factor			DC wiring losses		
Loss Fraction		2.0 %	Module temperature according to irradiance			Global array res.		1.2 mΩ
			Uc (const)		29.0 W/m²K	Loss Fraction		1.5 % at STC
			Uv (wind)		0.0 W/m²K/m/s			
LID - Light Induced Degradation			Module Quality Loss			Module mismatch losses		
Loss Fraction		2.5 %	Loss Fraction		-0.2 %	Loss Fraction		2.0 % at MPP
Strings Mismatch loss								
Loss Fraction		0.2 %						
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Project: Suloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:30
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

System losses

Unavailability of the system

Time fraction 1.0 %
3.7 days,
3 periods

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 800 Vac tri
Loss Fraction 1.30 % at STC
Inverter: SUN2000-330KTL-H1-Preliminary V0.1
Wire section (46 Inv.) Copper 46 x 3 x 70 mm²
Average wires length 96 m

Horizon definition

Horizon from PVGIS website API, Lat=41°57'20", Long=26°46'46", Alt=465m

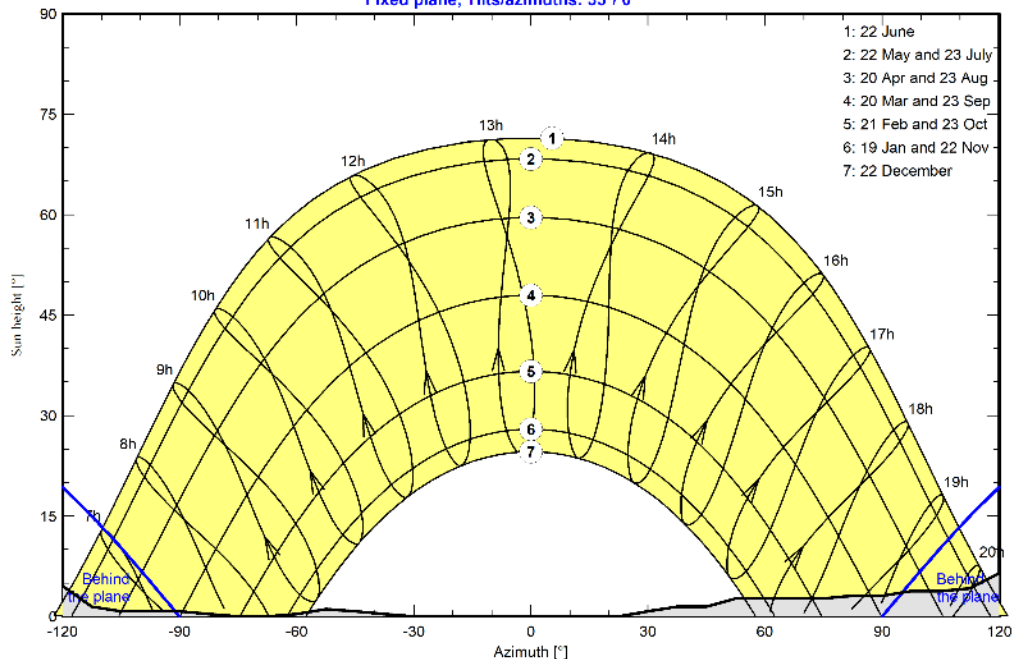
Average Height 3.0 ° Albedo Factor 0.98
Diffuse Factor 1.00 Albedo Fraction 100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-150	-143	-120	-113	-105	-90	-83	-75	-68
Height [°]	6.9	6.9	4.6	4.6	1.5	0.8	0.8	0.4	0.0	0.0
Azimuth [°]	-60	-53	-45	-38	-30	23	30	38	45	53
Height [°]	0.4	1.1	0.8	0.4	0.0	0.0	0.8	1.5	1.5	2.7
Azimuth [°]	75	83	90	98	105	113	120	143	150	180
Height [°]	2.7	3.1	3.1	3.8	3.8	4.2	6.5	6.5	6.9	6.9

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Fixed plane, Tilts/azimuths: 35°/ 0°





PVsyst V7.4.2
VC0, Simulation date:
29/09/23 19:30
with v7.4.2

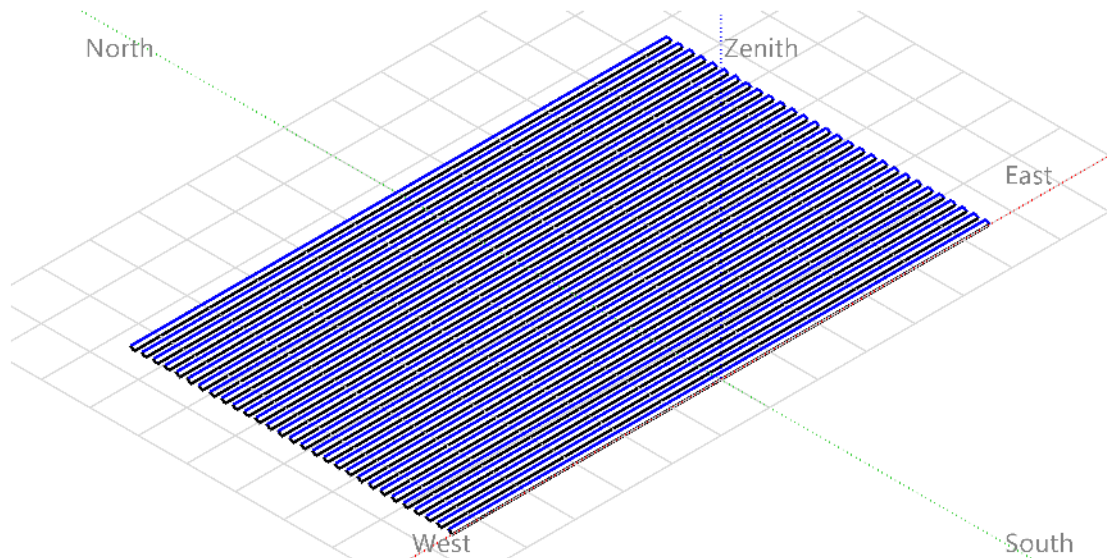
Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 35

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Near shadings parameter

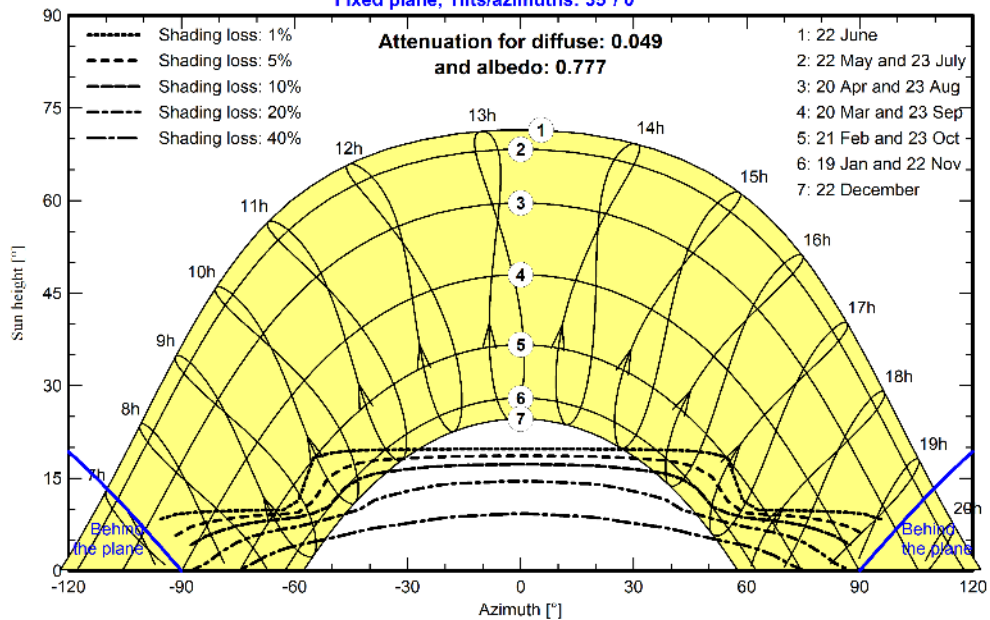
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 35°/ 0°





Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VCO, Simulation date:
29/09/23 19:30
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Main results

System Production

Produced Energy

20718096 kWh/year

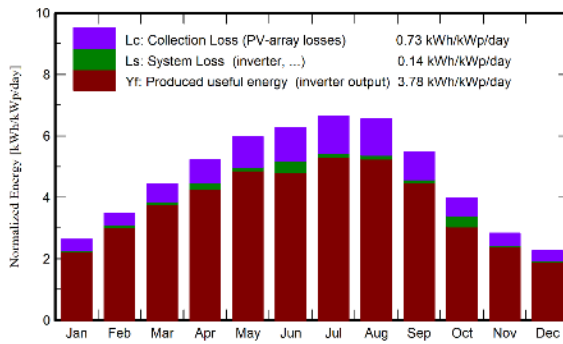
Specific production

1381 kWh/kWp/year

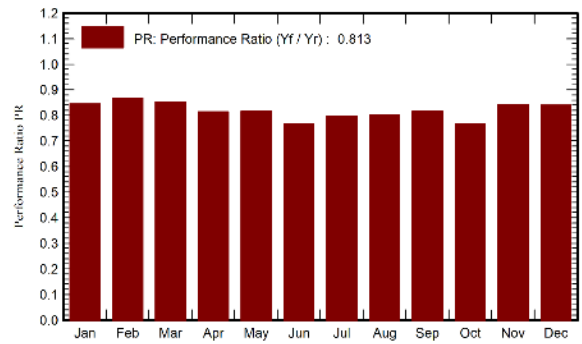
Perf. Ratio PR

81.26 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	ratio
January	50.2	26.10	2.50	81.7	75.0	1060610	1037483	0.846
February	67.5	33.00	4.00	97.6	92.0	1298695	1270850	0.867
March	109.4	51.80	6.50	137.4	128.5	1798281	1759193	0.853
April	144.4	65.90	10.90	156.7	146.2	2011750	1915649	0.815
May	189.0	80.20	16.10	185.0	171.9	2321522	2267425	0.817
June	202.3	78.70	20.30	188.3	175.0	2333004	2162865	0.765
July	216.7	77.20	22.90	206.3	192.2	2531915	2470327	0.798
August	192.8	72.10	23.00	203.1	190.0	2503559	2442586	0.802
September	136.1	56.70	18.50	164.2	153.9	2061853	2013527	0.817
October	90.8	42.20	13.00	123.5	115.9	1585506	1418366	0.766
November	54.8	28.90	8.50	84.9	78.9	1098361	1074361	0.843
December	41.2	23.10	4.00	70.2	63.9	903657	885463	0.841
Year	1495.2	635.90	12.56	1699.0	1583.4	21508711	20718096	0.813

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



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

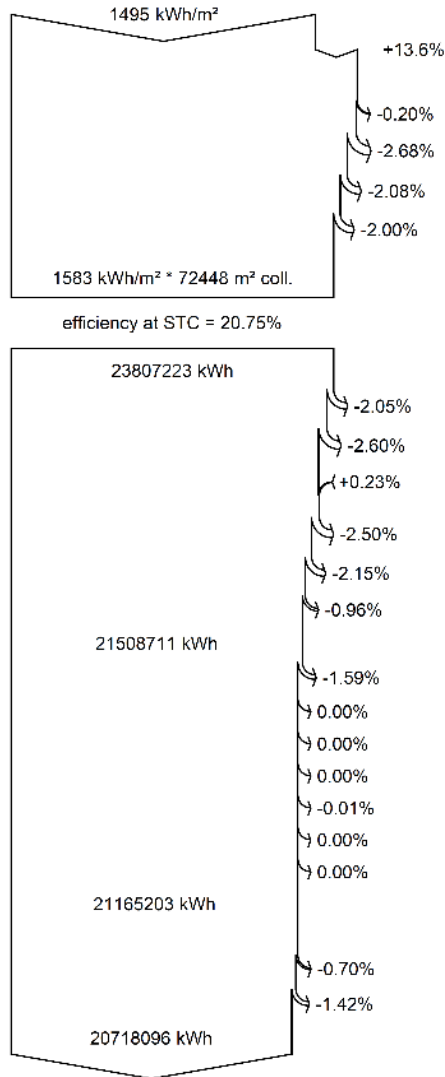
Variant: 35

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:30
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

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

LID - Light induced degradation
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
Night consumption

Available Energy at Inverter Output

AC ohmic loss
System unavailability

Energy injected into grid

EK-7. 15 MWp (25°, dizi) GES Tasarımı PVsyst Raporu



PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:33
with v7.4.2

Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Project summary

Geographical Site

Lalapasa_RES

Turkey

Situation

Latitude 41.96 °N

Longitude 26.78 °E

Altitude 465 m

Time zone UTC+3

Project settings

Albedo 0.20

Meteo data

Lalapasa_RES

SolarGIS Hourly aver. , period not spec. - Synthetic

System summary

Grid-Connected System

PV Field Orientation

Fixed plane

Tilt/Azimuth 25 / 0 °

Sheds, single array

Near Shadings

Linear shadings : Fast (table)

User's needs

Unlimited load (grid)

System information

PV Array

Nb. of modules

27534 units

Pnom total

15.01 MWp

Inverters

Nb. of units

46 units

Pnom total

15.00 MWac

Pnom ratio

1.000

Results summary

Produced Energy 20751083 kWh/year

Specific production

1383 kWh/kWp/year

Perf. Ratio PR

81.89 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Near shading definition - Iso-shadings diagram	6
Main results	7
Loss diagram	8
Predef. graphs	9



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:33
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

General parameters

Grid-Connected System		Sheds, single array			
PV Field Orientation		Sheds configuration		Models used	
Orientation		Nb. of sheds	29 units	Transposition	Perez
Fixed plane		Single array		Diffuse	Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth	25 / 0 °	Sizes		Circumsolar	separate
		Sheds spacing	9.70 m		
		Collector width	4.62 m		
		Ground Cov. Ratio (GCR)	47.6 %		
		Top inactive band	0.02 m		
		Bottom inactive band	0.02 m		
		Shading limit angle			
		Limit profile angle	19.6 °		
Horizon		Near Shadings		User's needs	
Average Height	3.0 °	Linear shadings : Fast (table)		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	ARÇELİK	Manufacturer	Huawei Technologies
Model	ARCLK-SP-545W	Model	SUN2000-330KTL-H1-Preliminary V0.1
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	545 Wp	Unit Nom. Power	326 kWac
Number of PV modules	27534 units	Number of inverters	46 units
Nominal (STC)	15.01 MWp	Total power	15000 kWac
Modules	1059 Strings x 26 In series	Operating voltage	500-1500 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.00
Pmpp	13.87 MWp	Power sharing within this inverter	
U mpp	1009 V		
I mpp	13746 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	15006 kWp	Total power	15000 kWac
Total	27534 modules	Number of inverters	46 units
Module area	72448 m²	Pnom ratio	1.00

Array losses

Array losses								
Array Soiling Losses			Thermal Loss factor			DC wiring losses		
Loss Fraction 2.0 %			Module temperature according to irradiance			Global array res. 1.2 mΩ		
			Uc (const) 29.0 W/m²K			Loss Fraction 1.5 % at STC		
			Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s					
LID - Light Induced Degradation			Module Quality Loss			Module mismatch losses		
Loss Fraction 2.5 %			Loss Fraction -0.2 %			Loss Fraction 2.0 % at MPP		
Strings Mismatch loss								
Loss Fraction 0.2 %								
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:33
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

System losses

Unavailability of the system

Time fraction 1.0 %
3.7 days,
3 periods

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 800 Vac tri
Loss Fraction 1.30 % at STC
Inverter: SUN2000-330KTL-H1-Preliminary V0.1
Wire section (46 Inv.) Copper 46 x 3 x 70 mm²
Average wires length 96 m

Horizon definition

Horizon from PVGIS website API, Lat=41°57'20", Long=26°46'46", Alt=465m

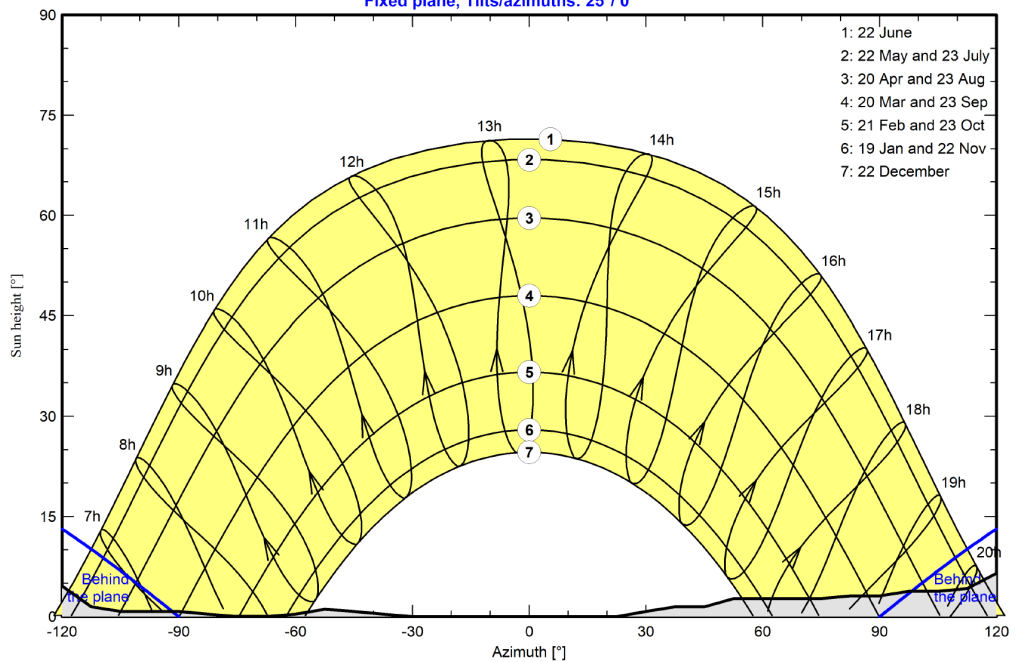
Average Height 3.0 ° Albedo Factor 0.98
Diffuse Factor 1.00 Albedo Fraction 100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-150	-143	-120	-113	-105	-90	-83	-75	-68
Height [°]	6.9	6.9	4.6	4.6	1.5	0.8	0.8	0.4	0.0	0.0
Azimuth [°]	-60	-53	-45	-38	-30	23	30	38	45	53
Height [°]	0.4	1.1	0.8	0.4	0.0	0.0	0.8	1.5	1.5	2.7
Azimuth [°]	75	83	90	98	105	113	120	143	150	180
Height [°]	2.7	3.1	3.1	3.8	3.8	4.2	6.5	6.5	6.9	6.9

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Fixed plane, Tilts/azimuths: 25°/ 0°





PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:33
with v7.4.2

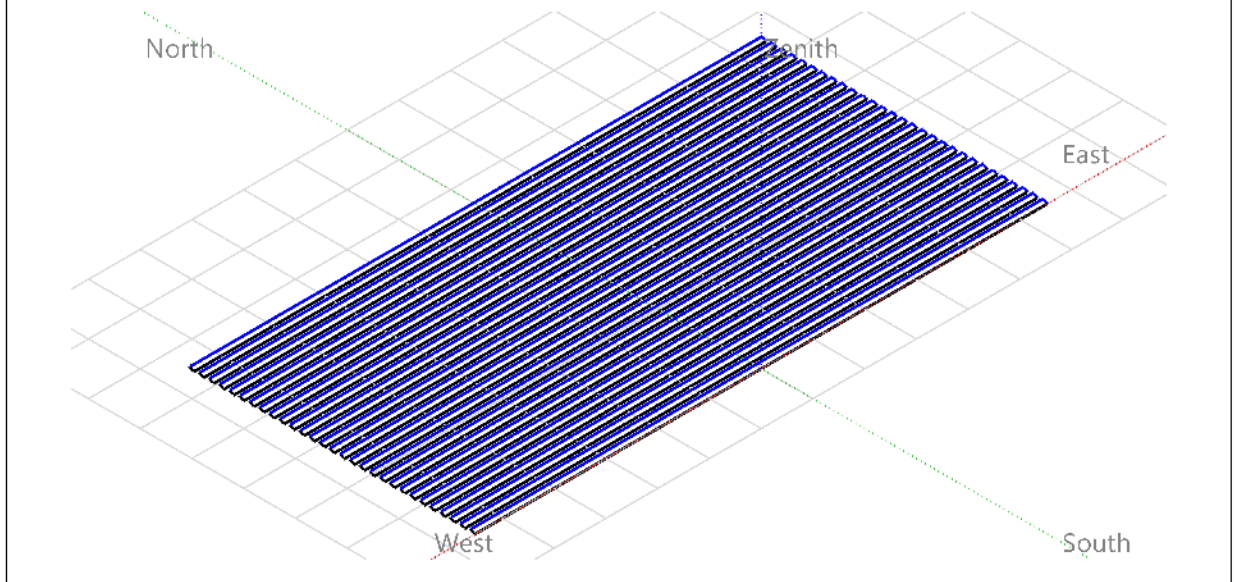
Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Near shadings parameter

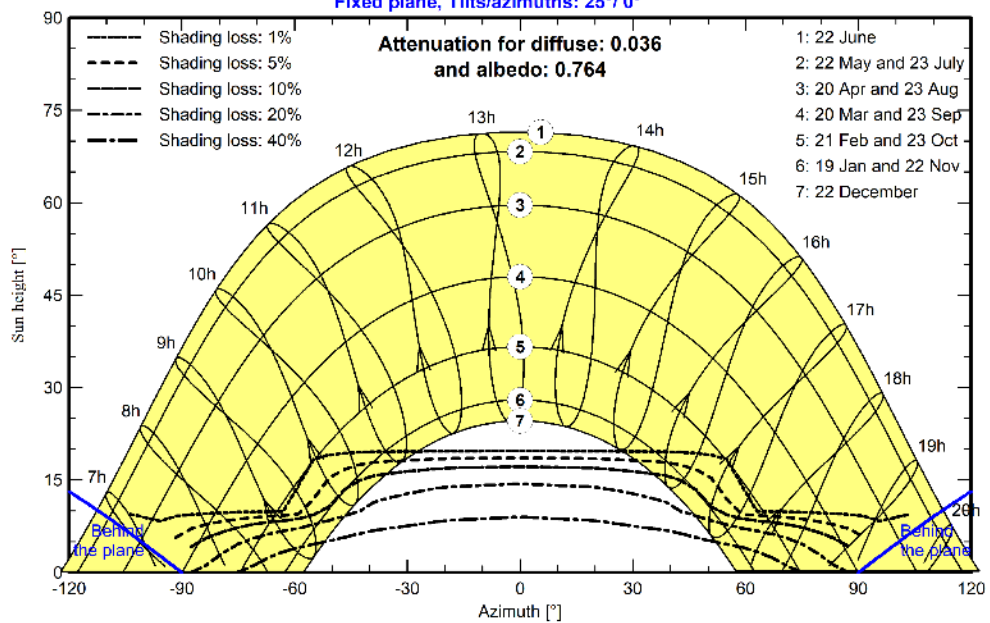
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 25°/ 0°





Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
29/09/23 19:33
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Main results

System Production

Produced Energy

20751083 kWh/year

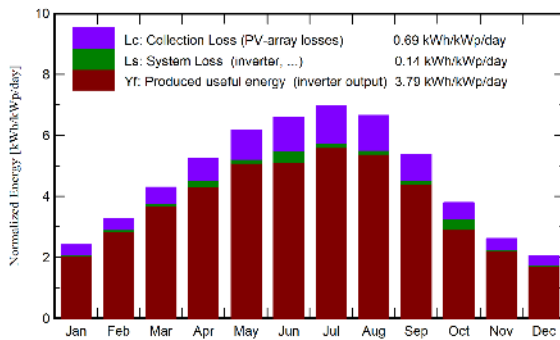
Specific production

1383 kWh/kWp/year

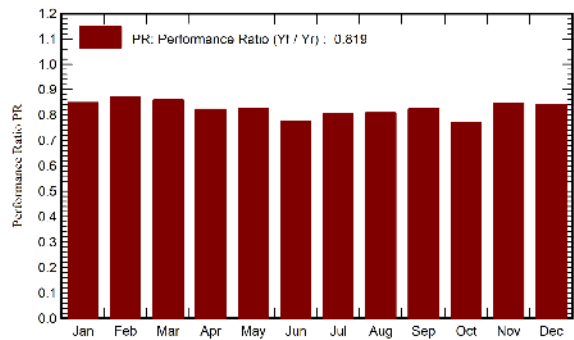
Perf. Ratio PR

81.89 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	50.2	26.10	2.50	74.8	68.7	973722	953211	0.849
February	67.5	33.00	4.00	91.6	86.6	1222917	1197429	0.871
March	109.4	51.80	6.50	133.2	125.3	1755060	1717472	0.859
April	144.4	65.90	10.90	157.7	148.6	2045892	1946321	0.823
May	189.0	80.20	16.10	191.3	180.0	2431298	2374407	0.827
June	202.3	78.70	20.30	197.8	186.1	2479795	2298509	0.775
July	216.7	77.20	22.90	215.6	203.1	2674608	2609036	0.806
August	192.8	72.10	23.00	206.3	194.9	2568665	2506049	0.810
September	136.1	56.70	18.50	161.0	151.8	2036592	1989417	0.824
October	90.8	42.20	13.00	117.5	110.7	1516430	1358253	0.771
November	54.8	28.90	8.50	78.4	73.0	1017890	996404	0.847
December	41.2	23.10	4.00	63.6	58.0	820671	804575	0.843
Year	1495.2	635.90	12.56	1688.8	1587.0	21543539	20751083	0.819

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



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

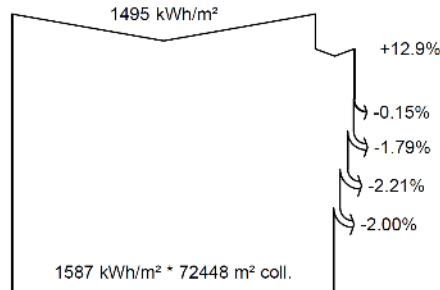
Variant: 25

PVsyst V7.4.2

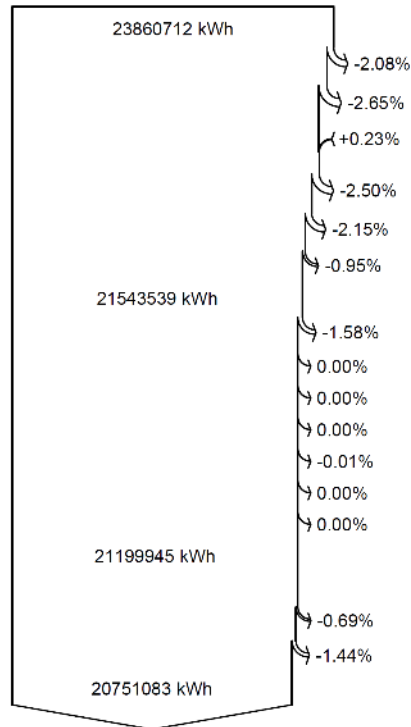
VC0, Simulation date:
29/09/23 19:33
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Loss diagram



efficiency at STC = 20.75%



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

LID - Light induced degradation

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
Night consumption

Available Energy at Inverter Output

AC ohmic loss

System unavailability

Energy injected into grid

EK-8. 15 MWp (25°, merkezi) GES Tasarımı PVsyst Raporu



PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:21
with v7.4.2

Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25 / merkezi

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Project summary

Geographical Site Lalapasa_RES Turkey	Situation Latitude 41.96 °N Longitude 26.78 °E Altitude 465 m Time zone UTC+3	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Lalapasa_RES SolarGIS Hourly aver. , period not spec. - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 25 / 0 °	Sheds, single array Near Shadings Linear shadings : Fast (table)	User's needs Unlimited load (grid)
System information PV Array Nb. of modules 27534 units Pnom total 15.01 MWp	Inverters Nb. of units 5 units Pnom total 15.00 MWac Pnom ratio 1.000	

Results summary

Produced Energy 20845516 kWh/year	Specific production 1389 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 82.26 %
-----------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Near shading definition - Iso-shadings diagram	6
Main results	7
Loss diagram	8
Predef. graphs	9



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25 / merkezi

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:21
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

General parameters

Grid-Connected System		Sheds, single array	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		Nb. of sheds	29 units
Fixed plane		Single array	
Tilt/Azimuth	25 / 0 °	Sizes	
		Sheds spacing	9.70 m
		Collector width	4.62 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	47.6 %
		Top inactive band	0.02 m
		Bottom inactive band	0.02 m
		Shading limit angle	
		Limit profile angle	19.6 °
Horizon		Near Shadings	
Average Height	3.0 °	Linear shadings : Fast (table)	
		User's needs	
		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	ARÇELİK	Manufacturer	Sungrow
Model	ARCLK-SP-545W	Model	SG3125-HV-20
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	545 Wp	Unit Nom. Power	3000 kWac
Number of PV modules	27534 units	Number of inverters	5 units
Nominal (STC)	15.01 MWp	Total power	15000 kWac
Modules	1059 Strings x 26 In series	Operating voltage	875-1300 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>25°C)	3593 kWac
Pmpp	13.87 MWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.00
U mpp	1009 V		
I mpp	13746 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	15006 kWp	Total power	15000 kWac
Total	27534 modules	Max. power	17965 kWac
Module area	72448 m²	Number of inverters	5 units
		Pnom ratio	1.00

Array losses

Array losses								
Array Soiling Losses			Thermal Loss factor			DC wiring losses		
Loss Fraction 2.0 %			Module temperature according to irradiance			Global array res. 1.2 mΩ		
			Uc (const) 29.0 W/m²K			Loss Fraction 1.5 % at STC		
			Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s					
LID - Light Induced Degradation			Module Quality Loss			Module mismatch losses		
Loss Fraction 2.5 %			Loss Fraction -0.2 %			Loss Fraction 2.0 % at MPP		
Strings Mismatch loss								
Loss Fraction 0.2 %								
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25 / merkezi

PVsyst V7.4.2

VCO, Simulation date:
05/10/23 14:21
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

System losses

Unavailability of the system

Time fraction 1.0 %
3.7 days,
3 periods

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 600 Vac tri
Loss Fraction 1.00 % at STC
Inverter: SG3125-HV-20
Wire section (5 Inv.) Copper 5 x 3 x 2000 mm²
Average wires length 129 m

Horizon definition

Horizon from PVGIS website API, Lat=41°57'20", Long=26°46'46", Alt=465m

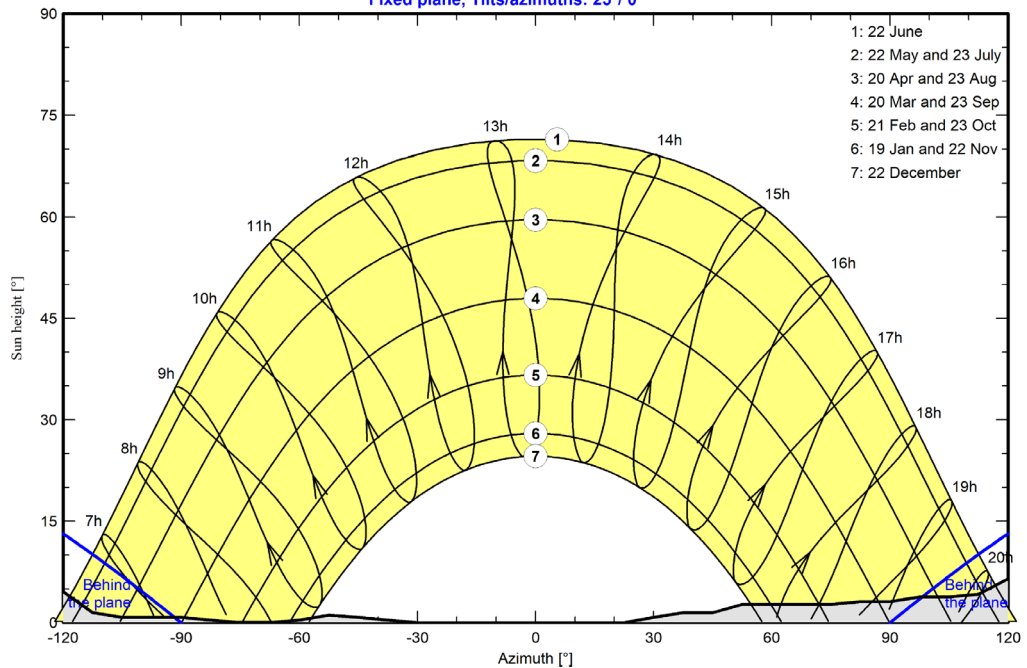
Average Height 3.0 ° Albedo Factor 0.98
Diffuse Factor 1.00 Albedo Fraction 100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-150	-143	-120	-113	-105	-90	-83	-75	-68
Height [°]	6.9	6.9	4.6	4.6	1.5	0.8	0.8	0.4	0.0	0.0
Azimuth [°]	-60	-53	-45	-38	-30	23	30	38	45	53
Height [°]	0.4	1.1	0.8	0.4	0.0	0.0	0.8	1.5	1.5	2.7
Azimuth [°]	75	83	90	98	105	113	120	143	150	180
Height [°]	2.7	3.1	3.1	3.8	3.8	4.2	6.5	6.5	6.9	6.9

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Fixed plane, Tilts/azimuths: 25°/ 0°





Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25 / merkezi

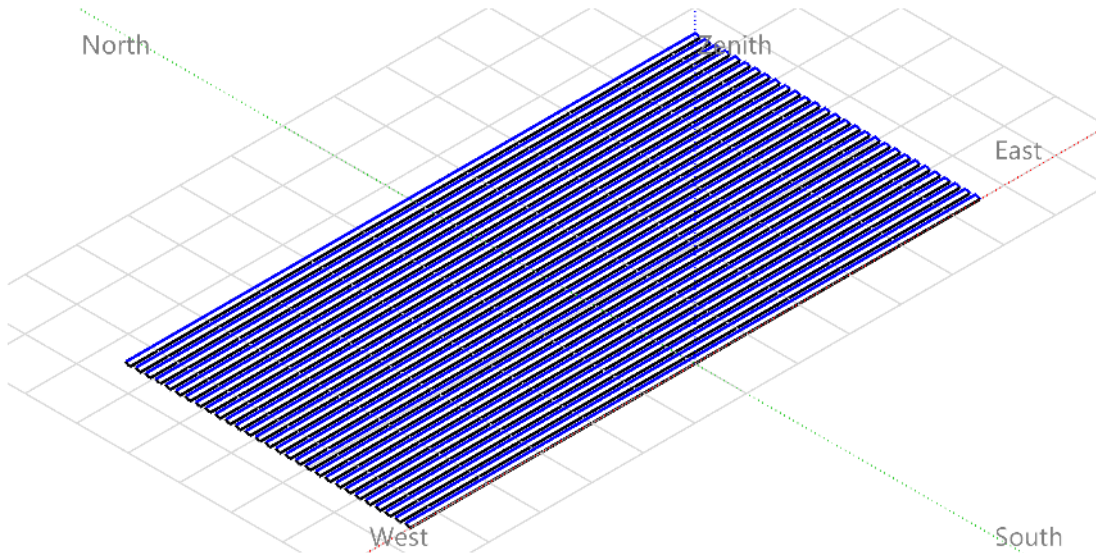
PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:21
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Near shadings parameter

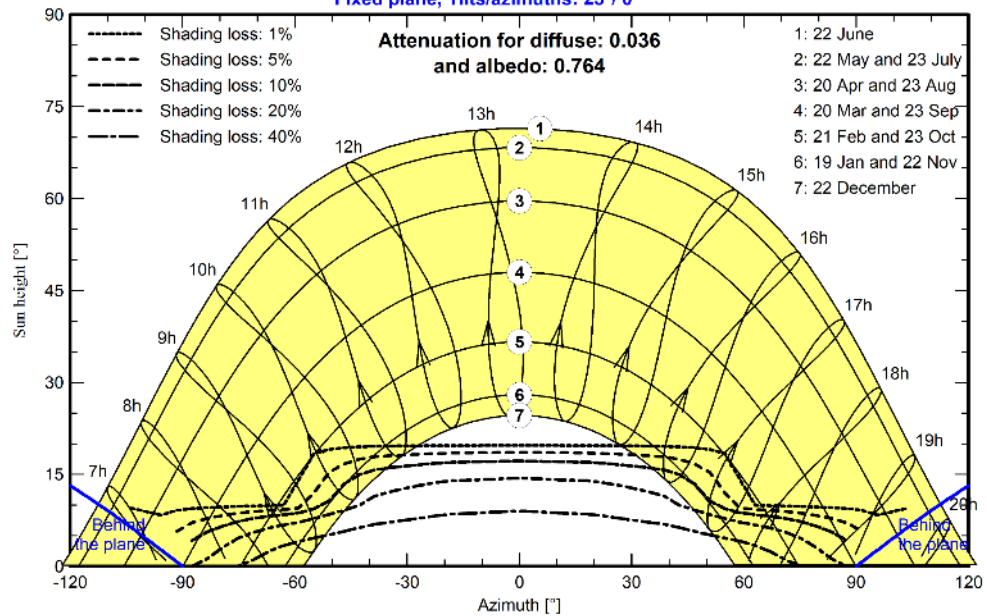
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 25°/ 0°





Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

Variant: 25 / merkezi

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:21
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

Main results

System Production

Produced Energy

20845516 kWh/year

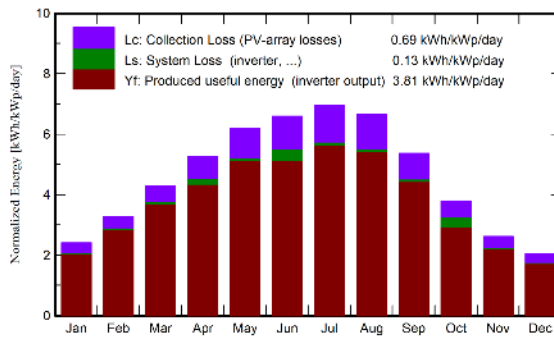
Specific production

1389 kWh/kWp/year

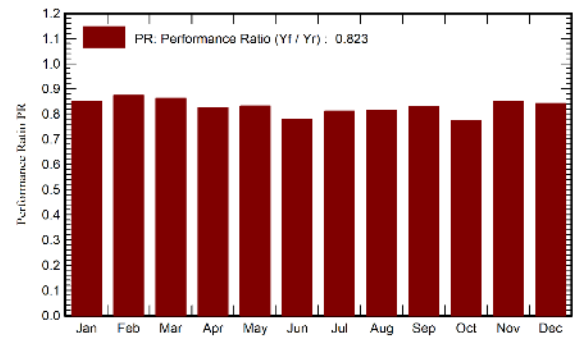
Perf. Ratio PR

82.26 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	ratio
January	50.2	26.10	2.50	74.8	68.7	973722	954285	0.850
February	67.5	33.00	4.00	91.6	86.6	1222917	1200364	0.873
March	109.4	51.80	6.50	133.2	125.3	1755060	1723654	0.862
April	144.4	65.90	10.90	157.7	148.6	2045892	1955543	0.826
May	189.0	80.20	16.10	191.3	180.0	2431298	2386956	0.831
June	202.3	78.70	20.30	197.8	186.1	2479795	2311142	0.779
July	216.7	77.20	22.90	215.6	203.1	2674608	2625333	0.811
August	192.8	72.10	23.00	206.3	194.9	2568665	2522346	0.815
September	136.1	56.70	18.50	161.0	151.8	2036592	2000054	0.828
October	90.8	42.20	13.00	117.5	110.7	1516430	1362981	0.773
November	54.8	28.90	8.50	78.4	73.0	1017890	998304	0.848
December	41.2	23.10	4.00	63.6	58.0	820671	804554	0.843
Year	1495.2	635.90	12.56	1688.8	1587.0	21543539	20845516	0.823

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



Project: Süloğlu RES Hibrit GES_15 MWp Senaryo

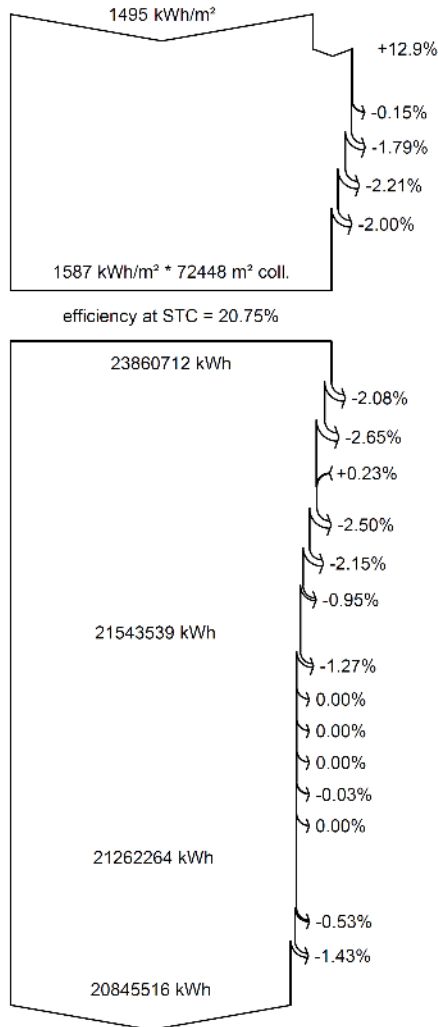
Variant: 25 / merkezi

PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
05/10/23 14:21
with v7.4.2

Entek Elektrik Üretimi A.Ş. (Turkey)

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

LID - Light induced degradation

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

System unavailability

Energy injected into grid

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Kaan Uzunsoy

EĞİTİM

Yüksek Lisans : İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Çevre Ve Enerji Sistemleri Mühendisliği, *Halen*

Lisans : Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi
Felsefe Bölümü, *Halen*

Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi
İşletme Bölümü, 2023

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü, 2014

İŞ TECRÜBESİ

2022 – Halen : Kıdemli Kalite Güvence Ve Kontrol Mühendisi
Entek Elektrik Üretimi A.Ş.

2020 – 2022 : Kalite Denetçisi
TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi

2016 – 2020 : Kalite Sorumlusu
TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi

2014 – 2016 : İş Geliştirme Sorumlusu
TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi

GÖNÜLLÜ ÇALIŞMALAR

2022 – Halen : Enerji Komisyonu Üyesi
TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi