T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EDİRNE İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ANALİZİ

MUSTAFA ACAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HESAPLAMALI BİLİMLER ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Akif SABANER

EDİRNE-2022

Mustafa ACAR'ın hazırladığı "**EDİRNE İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ANALİZİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalında bir **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri: İmza

Doç. Dr. Mehmet Akif SABANER ……

Prof. Dr. Metin ÖZDEMİR ……

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN ……

Tez Savunma Tarihi: 09/12/2022

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Doç. Dr. Mehmet Akif SABANER Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HESAPLAMALI BİLİMLER ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

09/12/2022

Mustafa ACAR

İmza

Tezli Yüksek Lisans Tezi

EDİRNE İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ANALİZİ

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalı

ÖZET

Günümüzde dünyanın en büyük sorunlarından olan küresel ısınmanın etkilerini azaltmak, enerji ihtiyacımızı çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak, petrol, kömür ve doğalgaza olan bağımlılığı azaltmak için güneş enerjisinden en iyi şekilde faydalanmak gerekmektedir. Güneş enerjisinden doğru bir şekilde faydalanabilmek ve yatırımımızın karşılığını alabilmek adına kuracağımız güneş enerji santralinin aşamalarına iyi hâkim olmak gerekmektedir. Kuracağımız güneş enerji santralinde dikkat etmemiz gereken başlıca konular güneş paneli seçimi, santralin kurulacağı ilin güneş radyasyonu, santralin maliyet hesapları, amortisman süresi, kurulumun yapılacağı arazinin özellikleridir.

Bu tez çalışmasında kısa tanımlarla güneş enerjisi, güneş enerjisinden elektrik üretirken ihtiyaç duyulan ekipmanlara değinilmiştir. Güneş enerjisi ile ilgili bilgilendirmelerden sonra Edirne ilinin güneş enerji potansiyeli ve Edirne ilinde kurulumunu yapacağımız güneş enerji santralinin detaylı bir analizi yapılmıştır.

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 66

Anahtar Kelimeler : Güneş Paneli, Enerji, Elektrik, Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerji Santrali, Güneş Radyasyonu

Master's Thesis

INVESTIGATION OF SOLAR ENERGY POTENTIAL IN EDIRNE AND AN EXAMPLE ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Computational Science

ABSTRACT

Today, it is necessary to make the best use of solar energy in order to reduce the effects of global warming, which is one of the biggest problems in the world, to meet our energy needs from environmentally friendly renewable energy sources, and to reduce dependence on oil, coal and natural gas. It is necessary to have a good command of the stages of the solar power plant that we will establish in order to benefit from solar energy correctly and to get the return of our investment. Among the main issues that we need to pay attention to in the solar power plant we will establish, we need to pay attention to the main issues such as the legal legislation, the choice of solar panel, the solar radiation of the province where the plant will be established, the cost calculations of the plant, the amortization period, the characteristics of the land where the installation will be made.

In this thesis study, solar energy and the equipment needed for generating electricity from solar energy are mentioned with short definitions. After informing about solar energy, a detailed analysis of the solar energy potential of Edirne and the solar power plant that we will install in Edirne were made.

Year : 2022

Number of Pages : 66

Keywords : Solar Panel, Electricity, Renewable Energy, Solar Power Plant, Solar Radiation, Energy

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinde, çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, yaptığım hataları düzeltmemde yardımcı olan ve kıymetli bilgi, birikim, tecrübeleri ile bana yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Akif SABANER'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Mustafa ACAR

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TEŞEKKÜR ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **x**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiii**

BÖLÜM 1 ..... **1**

GİRİŞ **1**

BÖLÜM 2 ..... **3**

GÜNEŞ PİLLERİ **3**

2.1. Güneş Pillerinin Yapısı 4

2.2. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi 6

2.3. Güneş Pili Çeşitleri 6

2.3.1. Monokristal Güneş Pilleri 7

2.3.2. Polikristal Güneş Pilleri..... 8

2.3.3. İnce Film Güneş Enerji Pilleri..... 9

2.3.4. Amorf Silisyum Güneş Pilleri 9

2.3.5. İnce film Güneş Pilleri Kadmiyum Tellür..... 10

2.3.6. Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri 11

2.3.7. Esnek Güneş Enerji Paneli 12

2.3.8. Saydam Güneş pilleri 12

2.4. Güneş Enerji Santrali Bileşenleri..... 13

2.4.1. Akü..... 13

2.4.2. Akü Şarj Regülatörü..... 14

2.4.3. İnverter 15

2.4.4. Diğer Ekipmanlar 16

2.5. Güneş Enerji Santrali Çalışma Prensibi 16

2.5.1. On-Grid (Şebeke Bağlantılı) Güneş Enerjisi Sistemleri..... 16

2.5.2. Off-Grid (Şebeke Bağlantısız) Güneş Enerjisi Sistemleri..... 17

BÖLÜM 3..... 19

3.1. Güneş Enerji Potansiyeli 19

3.2. Dünyada Güneş Enerji Potansiyeli 19

3.3. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli 20

3.4. Edirne İli Güneş Enerji Potansiyeli 23

BÖLÜM 4 26

MATERYAL VE YÖNTEM 26

4.1. Örnek Bir Güneş Enerji Santrali Analizi 26

4.2. Santralin Yapılma Amacı 26

4.3. Arazi ve Coğrafi Özellikler 27

4.4. Simülasyon programı ile enerji hesaplamaların yapılması 28

4.5. PVsyst 6.70 ile Simülasyon Raporu 31

4.6. Ekonomik Analiz 34

BÖLÜM 5 37

SONUÇLAR VE TARTIŞMA 37

KAYNAKLAR 38

EKLER 41

ÖZGEÇMİŞ 52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C : Santigrat Derece
AC : Alternatif Akım
a-Si : Amorf Sislisyum
CdS : Kadminyum Sülfür
CdTe : Kadminyum Tellür
CIGS : Bakır İndiyum Galyum Di Selenid
CIS : Bakır İndiyum Selenür
c-Si : Kristal Silisyum
CuS : Bakır Sülfür
DC : Doğru Akım
EAC : Üretilen Elektrik Enerjisi
GaAs : Galyum Arsenit
GES : Güneş Enerji Santrali
GW : GigaWatt
LES : Lisanssız Elektrik Santrali
MW : MegaWatt
KW : KiloWatt
PV : Fotovoltaik
YG : Yüksek Gerilim

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Güneş Pilleri 4

Şekil 2.2. Güneş pilinin yapısı 5

Şekil 2.3. Güneş pili çeşitleri 6

Şekil 2.4. Monokristal güneş pili 7

Şekil 2.5. Polikristal güneş paneli 8

Şekil 2.6. İnce film güneş enerji pilleri 9

Şekil 2.7. Amorf silisyum güneş pilleri 10

Şekil 2.8. Kadmiyum tellür ince film güneş pilleri 11

Şekil 2.9. Bakır indiyum diselenid güneş pilleri 11

Şekil 2.10. Esnek güneş pilleri 12

Şekil 2.11. Saydam güneş pilleri 13

Şekil 2.12. Akü 14

Şekil 2.13. Akü seri ve paralel bağlantısı 14

Şekil 2.14. Akü şarj regülatörü 15

Şekil 2.15. İnverter 16

Şekil 2.16. On-Grid sistem 17

Şekil 2.17. Off-Grid sistem 18

Şekil 3.1. Dünyadaki elektriğin üretim şekli..... 19

Şekil 3.2. Dünyanın güneş enerjisi potansiyeli 20

Şekil 3.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası 21

Şekil 3.4. Türkiye aylık ortalama radyasyon değerleri 21

Şekil 3.5. Elektrik kurulu gücü kaynaklara göre dağılımı 22

Şekil 3.6. Güneş enerjisi yıllara göre kurulu gücü 22

Şekil 3.7. Edirne global güneş radyasyonu 23

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Mevsim normalleri 24

Çizelge 3.2. Edirne güneş enerji santralleri 25

Çizelge 4.1. PVGIS giriş bilgileri 30

Çizelge 4.2. PVGIS Simülasyon Çıktıları 30

Çizelge 4.3. PV Sistemde Aylık Enerji Çıkışları 31

Çizelge 4.4. PVsyst 6.70 ile Simülasyon Programı Giriş Bilgileri 32

Çizelge 4.5. Şebekeye Bağlı Sistem: Simülasyon parametreleri 32

Çizelge 4.6. PVsyst Simülasyon programına göre sonuçlar 33

Çizelge 4.7. Sistemin yıllık kayıpları 34

Çizelge 4.8. PVsyst programına göre 1 yıllık kazanç 35

Çizelge 4.9. Yıllık Güneş Enerji Santrali Giderleri 35

Çizelge 4.10. Güneş Enerji Santralinin Yatırım Geri Dönüşüm Yılı Hesabı 36

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda enerji, dünyada çok önemli bir konuma gelmiştir. Birçok alanda kullanılan elektrik enerjisi günümüzde çok farklı kaynaklardan üretilmektedir. Bu kaynaklar; hidroelektrik enerji santralleri, termik kaynaklar, nükleer kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynaklardır. Bunların her biri kendi içerisinde geniş bir yelpazeye ayrılır. Kömür, doğalgaz, linyit ve petrol benzeri fosil yakıtlar tükenmeye yaklaşırken bunun üzerine bir de çevresel faktörler eklenmektedir. Fosil yakıtların giderek azaldığı, çevre kirliliği ve küresel ısınmanın giderek arttığı dünyamızda temiz enerji kaynaklarına talep giderek artmaktadır. Farklı enerji kaynakları arasında en çok dikkat çeken ve üzerinde çalışmalar yapılan alanların başında yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi gelmektedir. Ülkemiz Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanımı açısından oldukça elverişli bir coğrafyadadır.

Güneş enerjisi: Güneş ışınlarının özel teknolojiler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılır. Güneş enerjisi, dünyadaki en temiz ve en çok bulunan enerjidir. Çevre ve gürültü kirliliğine neden olmaz. Güneş enerjisi. Güneşin çekirdeğinde oluşan füzyon reaksiyonuyla meydana gelen ışınım enerjisidir. Güneşte bulunan hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi füzyon sürecinden kaynaklanmaktadır. Güneşin önemli bir kısmını oluşturan hidrojen gazı çekirdekleri füzyon tepkimesiyle helyum gazının çekirdeklerine dönüşür ve belirli bir miktarı enerji yüklü fotonlar aracılığı ile yeryüzüne ulaşan büyük bir enerji açığa çıkmaktadır.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan en temel malzeme güneş pilleridir. Güneş pilleriyle üretilen elektrik enerjisi doğru akım olarak

kullanılabileceği gibi, alternatif akıma dönüştürülerek veya daha sonra kullanabilmek için depolanabilir.

Güneş enerji santrallerinin kurulumu çok yüksek bütçeleri bulabilir. En doğru ve en verimli şekilde santralden faydalanmak adına öncelikle kurulumu yapmayı düşündüğümüz ilin güneşlenme süresini incelemeliyiz. Ayrıca güneş santralimizin kurulum alanının uygunluğu, maliyet analizi, güneş paneli ve diğer malzemelerin seçimi ve uygunluğu iyi araştırılmalıdır.

Bu çalışmada Edirne ilinde bir güneş enerji santrali kurulumunda takip edilecek adımlar, güneş paneli seçimi, santralin kurulacağı ilin güneş radyasyonu, santralin maliyet hesapları, amortisman süresi, kurulumun yapılacağı arazinin özellikleri incelenmiş ve aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır;

1) Güneş enerjisi nedir ve güneş enerjisinden elektrik nasıl üretilir?
2) Güneş enerjisinden yararlanırken hangi ekipmanlar kullanılır?
3) Edirne ili güneş enerjisi potansiyeli ne kadardır?
4) Güneş enerji santralinin kurulumu ve maliyet hesaplamaları yapılırken nelere dikkat edilmelidir?

Güneş enerjisinin kaynağı hakkında genel bilgiler güneş pilleri ve güneş santralinin diğer donanımları ikinci bölümde verilmiştir. Üçüncü bölüm Dünyada ve Türkiye'de Güneş enerjisi potansiyellerini içermektedir. Tezde Edirne ilinde kurulması planlanan Güneş enerjisi santralinin analizi yapıldığından Edirne ilinin Güneş potansiyeli de bu bölümde verilmiştir

Tezin özgün kısmı olan dördüncü kısımda örnek Güneş enerjisi santralinin kapsamlı bir analizi ve simülasyon verileri ile sonuçları sunulmaktadır.

BÖLÜM 2

GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK PİLLER)

İngilizce ifade edilişi ‘photovoltaic’ olan fotovoltaik piller, Türkçe‘de güneş pilleri olarak ifade edilir. Fotovoltaik etkisini ilk defa Fransız Fizikçi Edmond Becquerel 1839 yılında incelemeye başlamıştır. İlk güneş hücresi 1983 yılında Charless Fritts tarafından üretilmeye başlanmıştır. İlk güneş hücresi altın tabakanın yarıiletken selenyum malzemesiyle kaplanması sonucunda %1,1’lik verim kapasitesine ulaşmıştır. 1946 yılında modern güneş pillerinin patentini alan Russell Ohl, 1954 yılında yaptığı çalışmalar ile silisyumun güneş hücreleri için iyi bir malzeme olduğunu buldu. Bu çalışmalardan sonra Sovyet Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri güneş pillerinin üretimine başladı. Güneş pilleri ilk defa 1958’de Vanguard 1 uzay aracında kullanılmıştır. 1988 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde Güneş Enerji Uygulamaları Kurumu (ASEC) tarafından GaAs (Galyum arsenit) katkılı %17 verimli güneş hücreleri üretildi. ASEC 1989 yılında Germanyum yarıiletken maddesini kullanarak güneş hücresi de üretti (NASA, 2017).



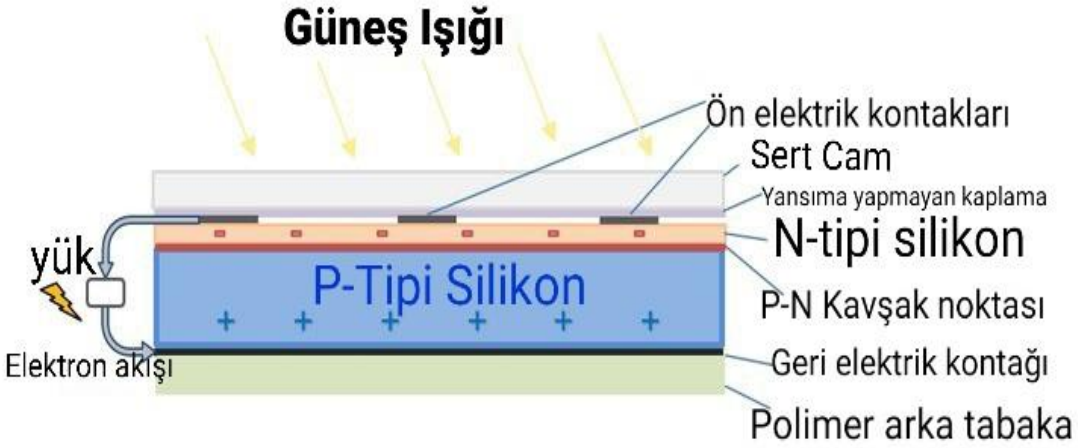
Şekil 2.1. Güneş pilleri (Emo, 2022)

Güneş pilleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmede kullanılan en temel ekipman olup, optik ve elektriksel yönleriyle güneş enerjisi-elektrik dönüşümünde doğru bir şekilde seçilen yarı iletken malzemeden meydana gelmiş diyotlardır. Güneş pilleri günümüzde hayatın her alanına girmiş, elektronik malzemelerin içerisinde kullanılan, küçük boyutlu yarıiletken diyotların, geniş yüzey alanlarına uygulanmış halidir. Meteorolojik değerler, coğrafya ve topografya gibi faktörler bölgedeki birim alana düşen güneş enerjisi miktarının spektrumunu belirleyen değişkenlerdir. Güneş pillerinin verimliliği güneş enerjisinden elde edilen elektriğin miktarını belirler. Elektriksel yük taşıyıcılarının gözlemlenen hareketlerine göre malzemeleri süper iletken, iletken, yarı-iletken ve yalıtkan olarak sınıflandırabiliriz.

2.1. Güneş Pillerinin Yapısı

Tristör, diyot ve transistor ile benzerlik gösteren güneş pilleri, yarı iletken maddelerden meydana gelmiştir. Güneş pillerinin yapımında galyum arsenit (GaAs), silisyum (Si), kadmiyum tellür (CaTe) benzeri yarı iletken maddeler kullanılır. GaAs ve CaTe yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılmaları için ‘n’ veya ‘p’ tipi olarak

katkılanmaları zorunludur. Saf haldeki yarı iletken içine konulmak istenen katkı maddesi ile katkılanır. Yarı iletken maddenin hangi tip olduğunun belirlenmesi katkı maddesine bağlıdır. Çok geniş bir kullanım alanına sahip fotovoltaik pil maddesi olan silisyum elementinden 'n' tipinde silisyumun elde edilebilmesi için periyodik cetvelde bulunan bir elementin silisyum eriyiğine eklenmesi gerekir. Periyodik cetvelde beşinci grupta bulunan fosfor elementinin silisyum eriyiğine eklendiğini kabul edelim. Fosfor elementinin dış yörüngesinde 5 elektron, silisyum elementinin dış yörüngesinde ise 4 elektron bulunur. Fosfor, dış yörüngesinde elektron sayısının fazlalığından dolayı fazla olan elektronu kristal yapıya verir. (Periyodik cetvelde 5. Grupta bulunan elementlere 'n' tipi elementler denilir.)



Şekil 2.2. Güneş pilinin yapısı

'p' tip silisyumun meydana gelmesi için silisyum eriğine periyodik cetvelde 3. Grupta bulunan bir elementin eklenmesi gerekir. Eklenecek elementin son yörüngesinde 3 tane elektron bulunduğu için kristalde elektron eksikliği oluşur. Meydana gelen bu elektron eksikliği hol ya da boşluk diye isimlendirilir ve pozitif bir yük taşıdığı kabul edilir. Verilen tipteki maddelere 'p' tipi katkı maddesi denilir.

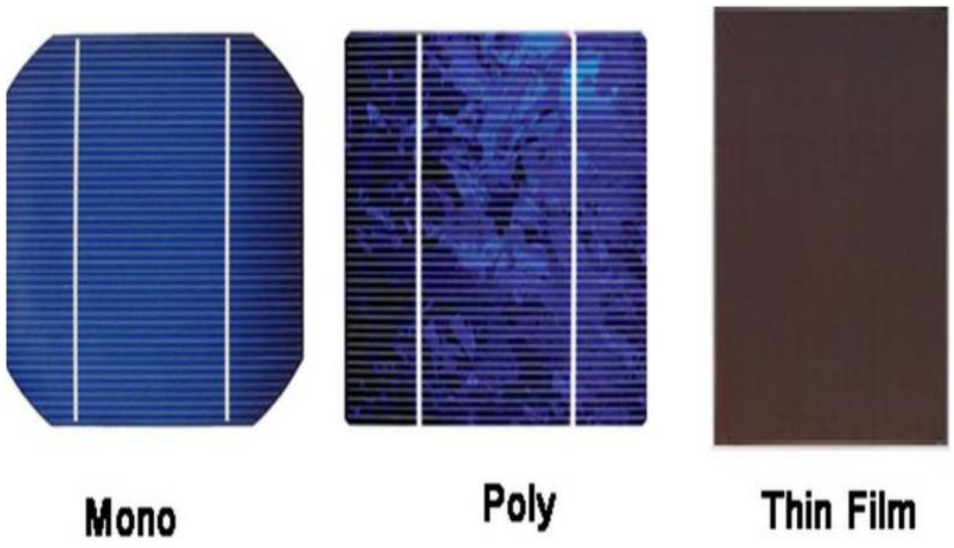
p ve n tipi yarı iletkenler bir araya getirilip eklemler oluşturulabilir. Yarı iletken eklemler meydana geldiğinde güneşten gelen fotonlar vasıtasıyla verici tip yarı iletkenden kopan elektronlar alıcı tip yarı iletkene doğru hareket eder. Bu hareket her iki tarafta yükler dengeye varıncaya kadar sürer (ACS, 2009).

2.2. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Güneş pilleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Foton elektromanyetik dalga olan ışığın enerjisini taşıyan parçacıktır. Güneşin ışıma spektrumunda bulunan faklı dalga boylarına sahip fotonlar farklı miktarlarda enerji taşırlar. Fotovoltaik pil hücresinin üzerine gelen fotonların belirli bir kısmı olduğu gibi yansır, bir kısmı fotovoltaik hücreler tarafından soğrulur ve bir kısmı da fotovoltaik hücrelerden geçer. Soğrulmaya uğrayan fotonun enerjisinin bir kısmı hücre yüzeyindeki elektrona aktarılır ve elektrona kinetik enerji kazandırır. Enerji kazanan elektron eklemlerin pozitif yönüne, boşluk olanlar negatif yöne doğru hareket etmeye başlar. Belirtilen yönelimler elektrik akımının oluşmasını sağlar. Güneş hücrelerine gelen ışınımlar arttıkça güneş pillerinden elde edilen elektrik akımı da artar.

2.3. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pillerinin birçok çeşidi bulunmakta ve yapımı için de farklı malzemeler kullanılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan güneş pili çeşitleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.3. Güneş pili çeşitleri (Bagher, 2015'den değiştirilmeden alınmıştır)

Tek başına 0,5 Volt gerilime sahip güneş hücreleri pratikte işe yaramaz. Daha fazla gerilim elde edebilmek için hücreler seri şekilde bağlanarak güneş paneli oluşturulur. Seri bağlama işlemi sistemdeki metal şeritler aracılığıyla yapılır.

2.3.1. Monokristal Güneş Pilleri

Monokristal güneş pillerinin verimliliği yüzde 24 dolaylarında ve en verimli güneş pilleri arasında yer alır. Bu güneş pilinin üretim maliyeti diğer güneş pillerine göre daha yüksektir. Monokristal güneş pilleri az güneş ışığında da iyi bir verim sağlar.



Şekil 2.4. Monokristal güneş pili

Güneş pili seçiminde verimlilik çok önemlidir. Yüksek verimlilik elde etmek için yüksek verimlilik sağlayan güneş pilleri seçilmelidir. İçerdiği silisyum oranı yüksek malzeme ile imal edilmiş güneş pilleri daha çok verimlilik sağlar. Silisyumun, elektriksel, optik ve yapısal özellikleri uzun süre değişmez. Güneş enerjisinden yararlanmak isteyen birçok kurum ve yatırımcı, yatırımının karşılığını daha erken sürede alabilmek için ucuz

malzeme seçimi yapmaktadır. Ama ucuz güneş pilleri daha kolay üretildiği için yüksek verimlilik sağlamaz ve kullanım süresi de daha kısadır. Monokristal güneş pillerinin hem verimliliği yüksek hem de en az 30 yıllık bir sürede rahatlıkla kullanılabilir.

2.3.2. Polikristal Güneş Pilleri

Polikristal güneş pillerinin verimliliği %14-%19 dolaylarındadır. Düşük verimliliğine rağmen güneş pilleri arasında en ucuz güneş pilidir. Ucuz olması nedeniyle en yaygın güneş pili çeşididir.



Şekil 2.5. Polikristal güneş paneli

Polikristal güneş pilleri, 1981 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Güneş pillerinin verimliliği silikonun saflığıyla orantılıdır. Polikristal pillerde saflık düşüktür ve bu nedenle verimlilik de düşüktür.

2.3.3. İnce Film Güneş Pilleri

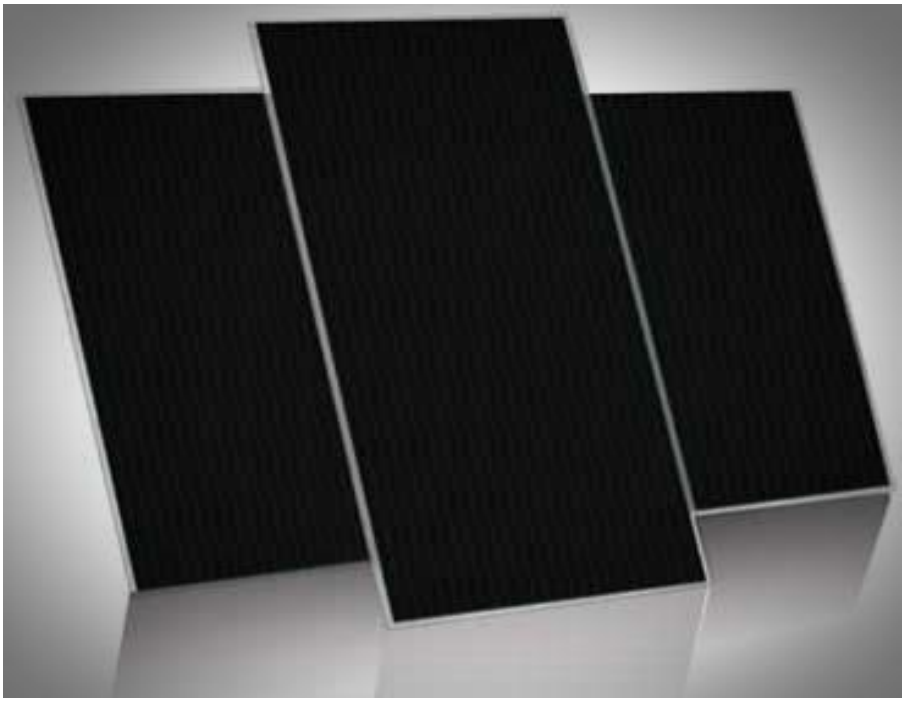
İnce film güneş pilleri, standart güneş pillerinden farklı olarak diğer hücrelere bağlantı gereksinimi olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu piller daha çok güneş ışını soğurur. Verim oldukça düşüktür. Klasik güneş pillerine oranla daha ekonomik olan bu piller oldukça ince yapıdadır.



Şekil 2.6. İnce film güneş enerji pilleri

2.3.4. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

1980'lerde ince film teknolojisinin en iyi malzemesi olan amorf silisyum, o yıllarda %10 verim sınırını aşmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmalarıyla verim %15 dolayına kadar da çıkmıştır. Pratikte verim oranının %7 dolaylarına kadar düşmesi bu pillerin büyük ölçekli enerji üretimlerinin dışında kalmasına sebep olmuştur. Amorf silisyum pilleri, yaşanan bu sorunlar nedeniyle küçük cihazların çalıştırılmasında (Saat pilleri, hesap makinası vb.) kullanılmaktadır (Sönmezoğlu, 2012).



Şekil 2.7. Amorf silisyum güneş pilleri

2.3.5. Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri

Periyodik cetvelde 2. Grupta bulunan kadmiyum ile 6. Grupta bulunan tellür elementi birleşmesiyle oluşan yarı iletken kadmiyum tellür (CdTe) oda sıcaklığındaki yasak enerji aralığı Eg=1,5eV değeri ile güneş spektrumundaki en yüksek enerji dönüşümünün elde edilebilmesi için gerekli olan değere çok yakındır. CdTe yüksek soğurma katsayısıyla beraber ince film teknolojilerinin çoğuyla üretimin sağlanması ve geniş yüzey alanlı güneş pillerinin üretiminde yer almış ve diğer güneş pillerine göre daha fazla ilgi duyulmuştur. Laboratuvar ortamında verimlilikleri %16-18 oranında, normal verimlilikleri ise %6-9 arasındadır (Emo, 2010).



Şekil 2.8. Kadmiyum tellür ince film güneş pilleri

2.3.6. Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri

Yasak enerji aralıkları güneş spektrumu ile uyum sağlayacak şekilde ayarlanabilen bakır indiyum diselenidin yarı iletken soğurma katsayısı epey yüksektir. Günümüzde yapılan son çalışmalar neticesinde bu gruba (CIS) Ga elementinin ilave edilmesiyle daha fazla verim elde edilip CdTe güneş pillerine önemli bir alternatif haline gelmiştir. Laboratuvardaki küçük alanlı pillerin verimliliği %18'lere kadar çıkarken, 900 cm2 yüzey alanını bulan modüllerde verim %15 civarındadır (Emo, 2010).



Şekil 2.9. Bakır indiyum diselenid güneş pilleri

2.3.7. Esnek Güneş Enerji Pilleri

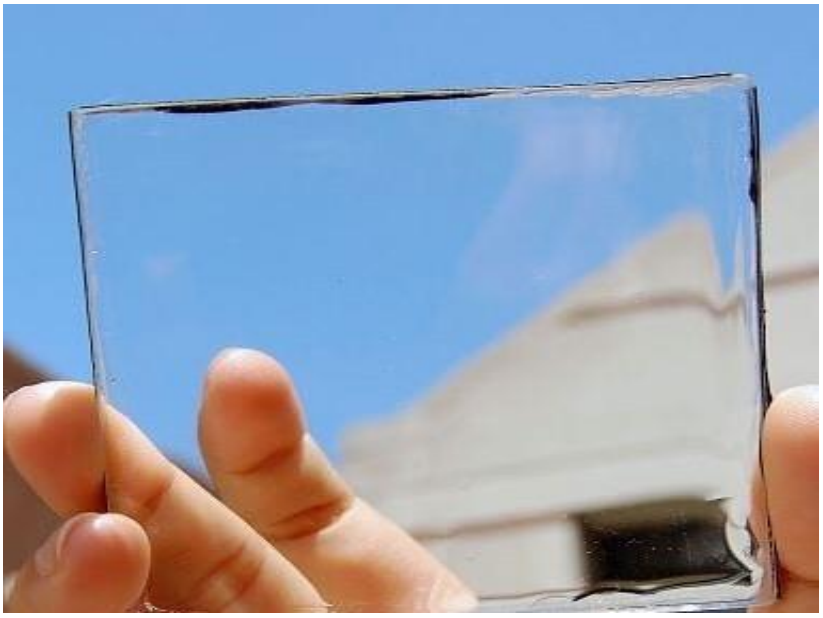
Bu güneş pilleri esnektir, çok hafiftir ve güneş ışığından daha fazla yararlanmak için geliştirilmiştir. Kolay taşınabilen bu güneş pilleri birçok alanda, özellikle yatlarda tercih edilir. İnce film teknolojisi kullanılarak üretilen esnek güneş pilleri, iletken özelliğe sahip olan silisyum esnek yüzey üzerinde çok ince katmanlar uygulanarak imal edilir.



Şekil 2.10. Esnek güneş pilleri

2.3.8. Saydam Güneş pilleri

Saydam güneş pilleri, sıcak havalarda pencerelerden gelen güneş ışığını engellerken, güneşten gelen mor ve kızıl ötesi ışınların enerjisinden faydalanmak için tasarlanmış camlardır. Saydam Güneş pillerinden elde edilen elektrik akülerde depolanır. Bu piller birçok organik maddenin yapısında bulunan hidrojen, karbon gibi elementler içerir. Mor ve kızıl ötesi ışınların enerjisinin toplanması bu pillerin saydam olmasıyla mümkündür. Ancak saydamlık bu pillerin veriminin düşük olmasına neden olur.



Şekil 2.11. Saydam güneş pilleri

2.4. Güneş Enerji Santrali Bileşenleri

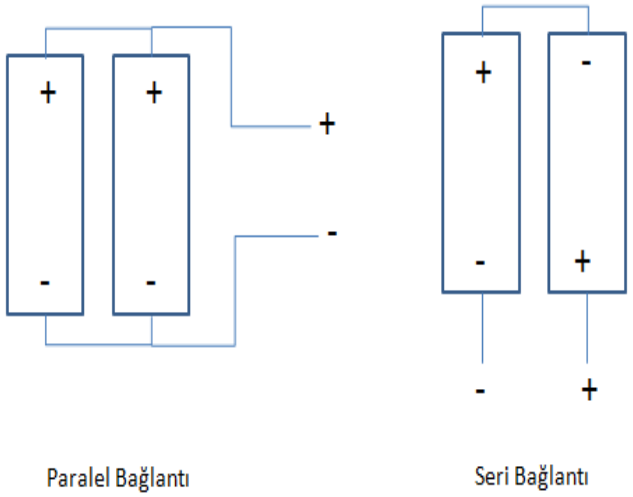
Güneşten elektrik üretebilmek için yapılacak bir sistemde güneş paneli, akü, akü şarj regülatörü, inverter ve diğer yardımcı ekipmanlar bulunabilir. Akü kullanılacak sistemlerde akünün fazla şarj veya deşarj olmasını önlemek için şarj regülatörü kullanılır. Güneş panellerinden elde ettiğimiz elektrik Doğru Akım'dır (DC). DC akım elektriği Alternatif Akım'a (AC) dönüştürmek için inverter kullanılır.

2.4.1. Akü

Aküler elektrik enerjisinin depolanması istenen sistemlerde kullanılır. Güneşin olmadığı zamanlarda elektrik enerjisinden faydalanmak için elektrik enerjisinin depolanması gerekir. Güneş ışınlarının olmadığı zaman diliminde ne kadar enerji tüketileceği belirlenirse sistemde kullanılacak akü kapasitesi de bulunur. Örneğin, günlük 5 kW elektrik tüketimi olan bir hane için iki günlük elektrik depolayabilecek bir akü grubu gerekir. Sistem için 12 v 1200 Ah bir akü grubu yeterlidir.



Şekil 2.12. Akü



Şekil 2.13. Akü seri ve paralel bağlantısı

2.4.2. Akü Şarj Regülatörü

Güneş pillerinden gelen akımın ayarlanarak akünün aşırı şarj ya da deşarj olmasını önlemek için kullanılır. Şarj regülatörünün sistemin akım değeriyle uyumlu olması gerekir. Yeni tip bir regülatör Şekil 2.14 de görülmektedir.



Şekil 2.14. Akü şarj regülatörü

2.4.3. İnverter

Doğru akım enerjisini alternatif akıma dönüştüren cihazlardır. İnverter yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretebilmek için kullanılır. İnverter, aynı zamanda güç dönüştürücü veya everici olarak da adlandırılır. Alternatif akım güç kaynağının gerilimi sinüs eğrisi gibi artıp azalmaktadır. Gerilim pozitif değerde olduğunda akım bir tarafa, gerilim negatif durumda iken ters tarafa doğru akar. Güç dönüştürücüler sayesinde sistemlerde elde edilen büyük miktarda enerji uzak mesafelere kayıp olmadan verimli bir şekilde aktarılır.



Şekil 2.15. İnverter

2.4.4. Diğer Ekipmanlar

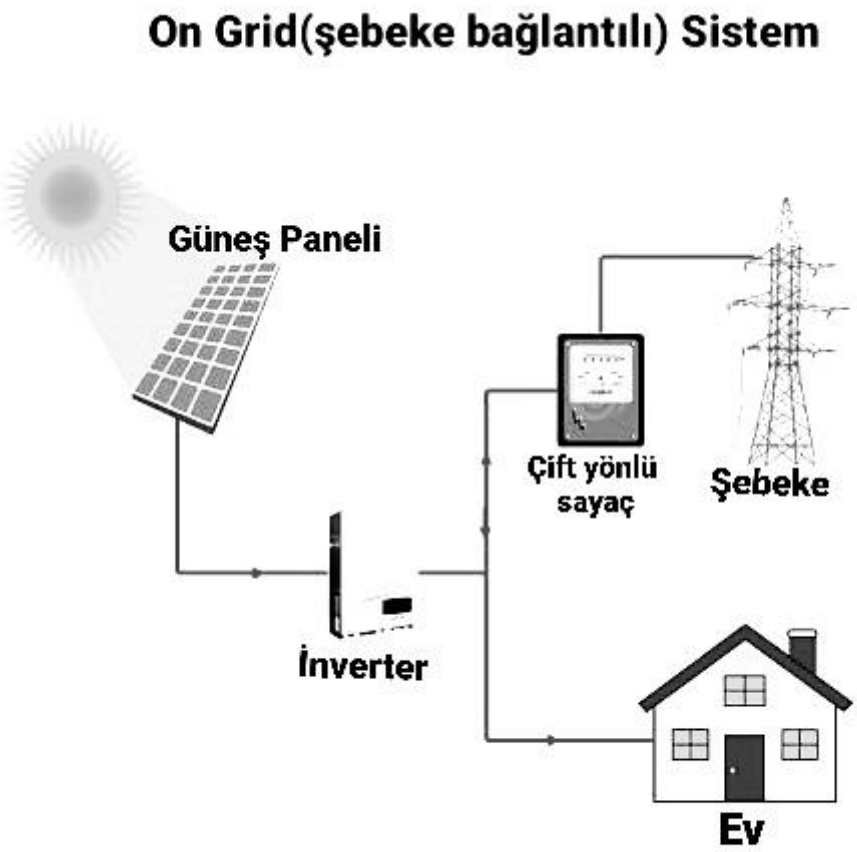
Sistemde kullanılan diğer malzemeler kablo ve sigortalardır. Ayrıca sistemde çeşitli elektronik devreler de kullanılabilir.

2.5. Güneş Enerji Santralinin Çalışma Prensibi

Güneş panelleri genelde iki şekilde kullanılır. On-grid ve off-grid sistemler.

2.5.1. On-Grid (Şebeke Bağlantılı) Güneş Enerjisi Sistemleri

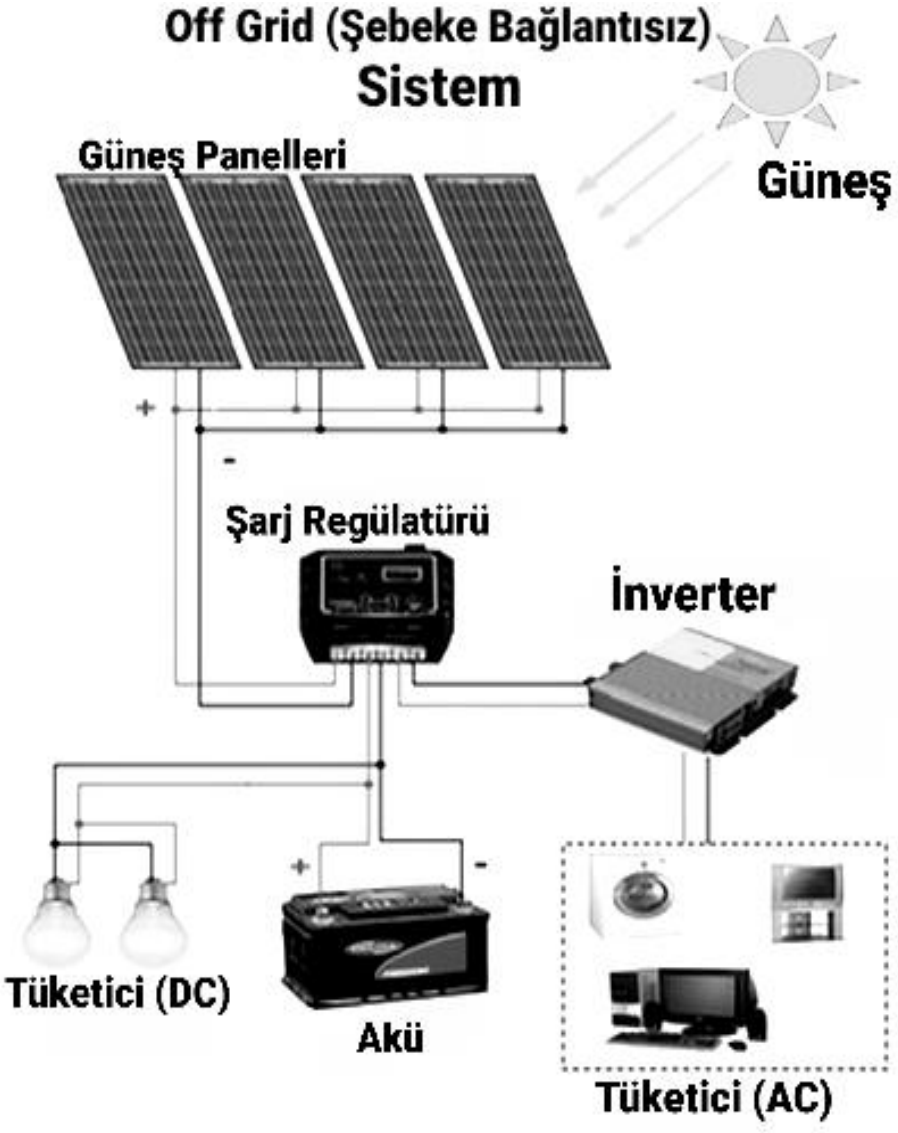
On Grid sistem, elektrik şebekesine bağlı olan ve elektrik depolanabilen herhangi bir pil veya akü gibi malzeme kullanımına gerek olmayan güneş enerjisi sistemidir. Bu sistemde üretilen elektrik öncelikle kendi ihtiyaçlarımız için kullanılır. Fazla güç şebekeye verilir. İhtiyaç için yeteri kadar güç elde edilmediği durumlarda ise şebekeden ihtiyaç giderir. Bu sistemde kullanılan inverter on-grid'dir.



Şekil 2.16. On-Grid sistem

2.5.2. Off-Grid (Şebeke Bağlantısız) Güneş Enerji Sistemleri

Şebekeden bağımsız güneş pillerinden üretilen elektrik, akü şarj regülatöründe düzenlenerek akülerde depolanır. Aküde depolanan Doğru Akım inverter ile Alternatif Akım'a dönüştürülür



Şekil 2.17. Off-Grid sistem

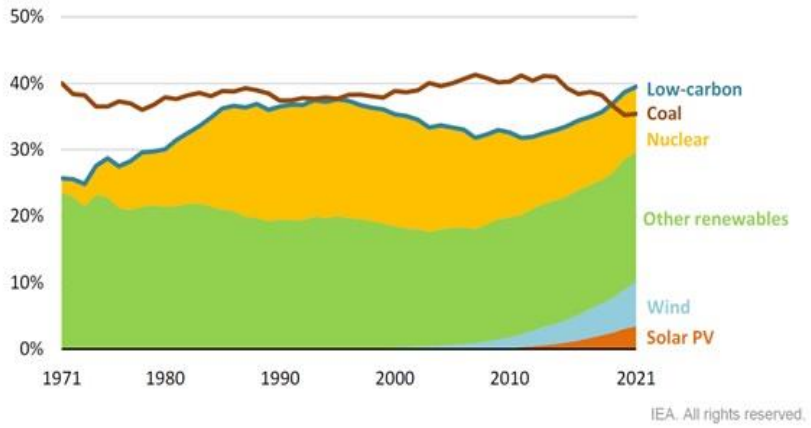
BÖLÜM 3

3.1. Güneş Enerji Potansiyeli

Dünyada çok miktarda bulunan güneş enerjisi yenilenebilir, temiz ve çevre kirliliği oluşturmayan bir enerjidir. Dünyamızda ve ülkemizde güneş enerjisinden yararlanma oranları her geçen gün artmaktadır.

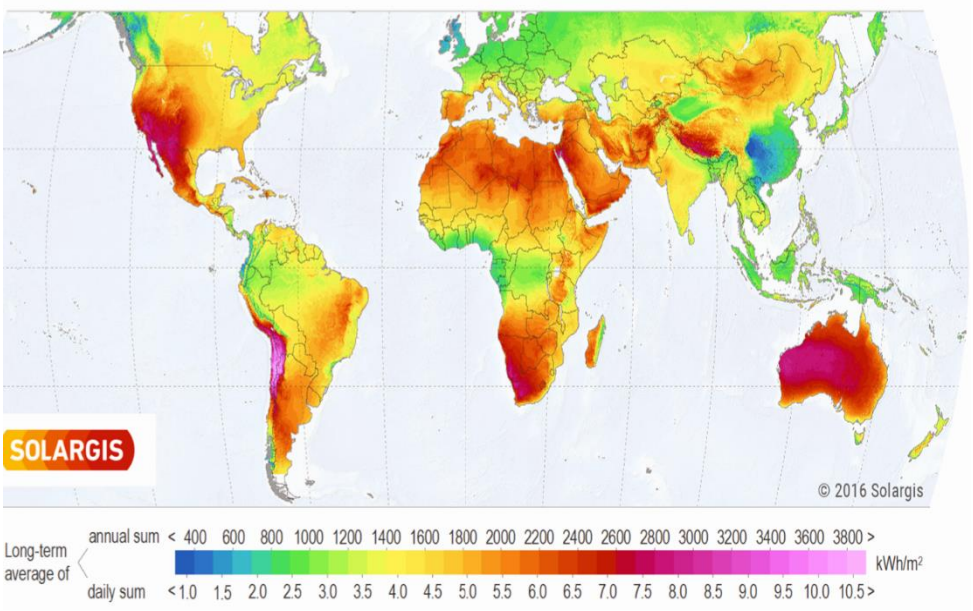
3.2. Dünyada Güneş Enerji Potansiyeli

Dünyadaki hemen hemen bütün ülkelerde güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Artış gösteren küresel ısınma, çevre kirliliği, enerjide dışa bağımlılık, Güneş Enerji Santrali (GES) kurulum ve kullanımın kolaylığı, yenilenebilir ve temiz bir enerji olması nedeniyle ülkelerin güneş enerjisine olan talebi artmaktadır.



Şekil 3.1. Dünyadaki elektriğin üretim şekli (IEA, 2021)

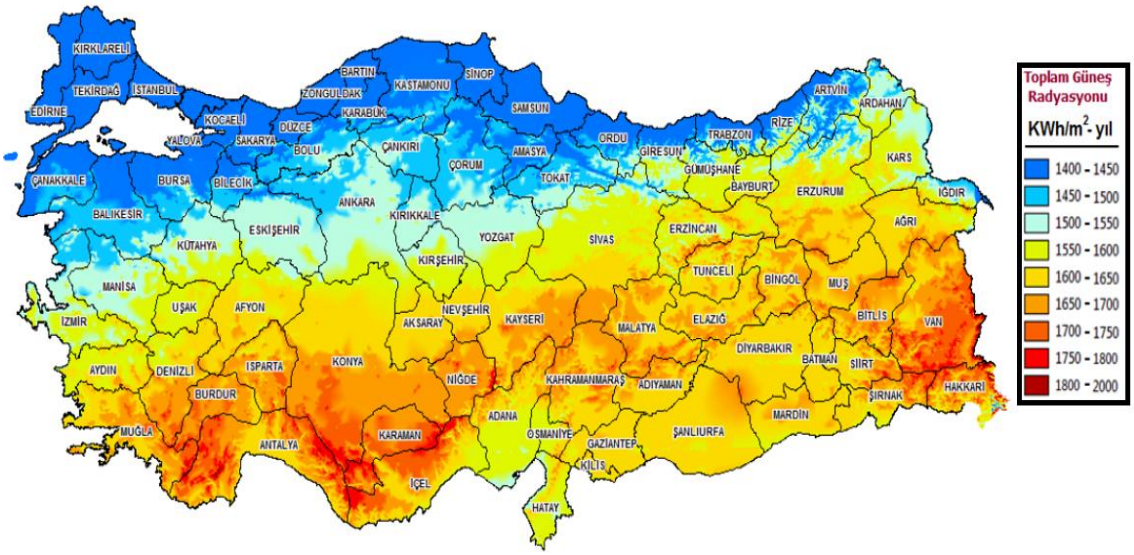
Dünyada güneş enerjisi kurulu gücü her yıl artmaktadır. 2020 yılı sonu itibariyle dünyada güneş enerjisi kurulu gücü 710 GW seviyesine kadar ilerlemiştir. Bütün enerji türleri içerisinde güneş enerjisi kullanım oranı yaklaşık %6 seviyesindedir. Daha temiz ve sürdürülebilir bir gelecek adına 2050 yılında güneş enerjisi kurulu gücünün 9 TW'nin üzerinde olacağı düşünülmektedir.



Şekil 3.2. Dünyanın güneş enerjisi potansiyeli (solargis, 2019)

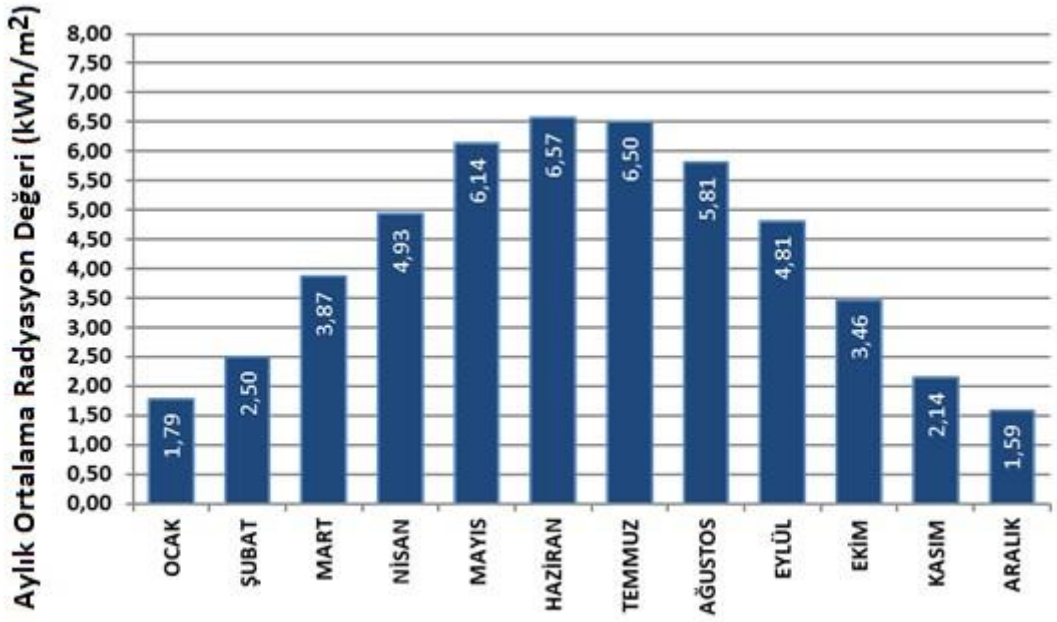
3.3. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye coğrafi konumu sayesinde çok iyi bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Yıllık güneşlenme süresi yaklaşık 2741,07 saat olup, yıllık ortalama ışınım değeri ise 1527,46 kWh/m^2 olarak bulunmuştur. Türkiye'nin en çok güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Ardından sırayla Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi ve Marmara Bölgesidir. En az güneş alan bölge neredeyse yok denilebilecek kadar az olan Karadeniz bölgesidir (Mgm, 2022).



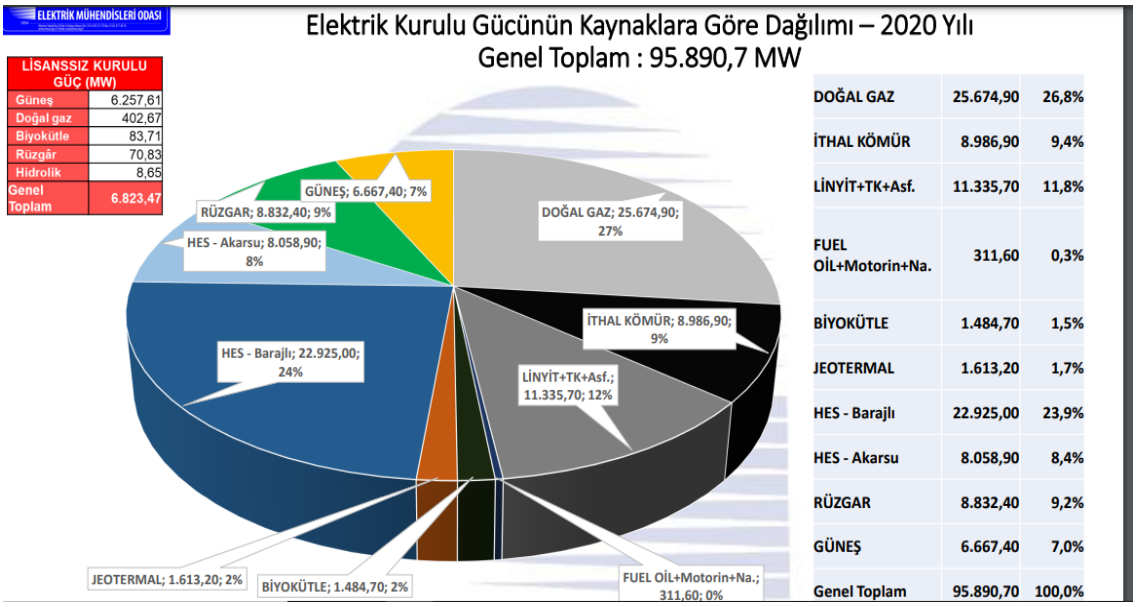
Şekil 3.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (Eigm, 2022)

Türkiye'de güneş radyasyonunun en çok olduğu aylar Haziran ve Temmuz aylarıdır. En az olduğu aylar ise Aralık ve Ocak aylarıdır.

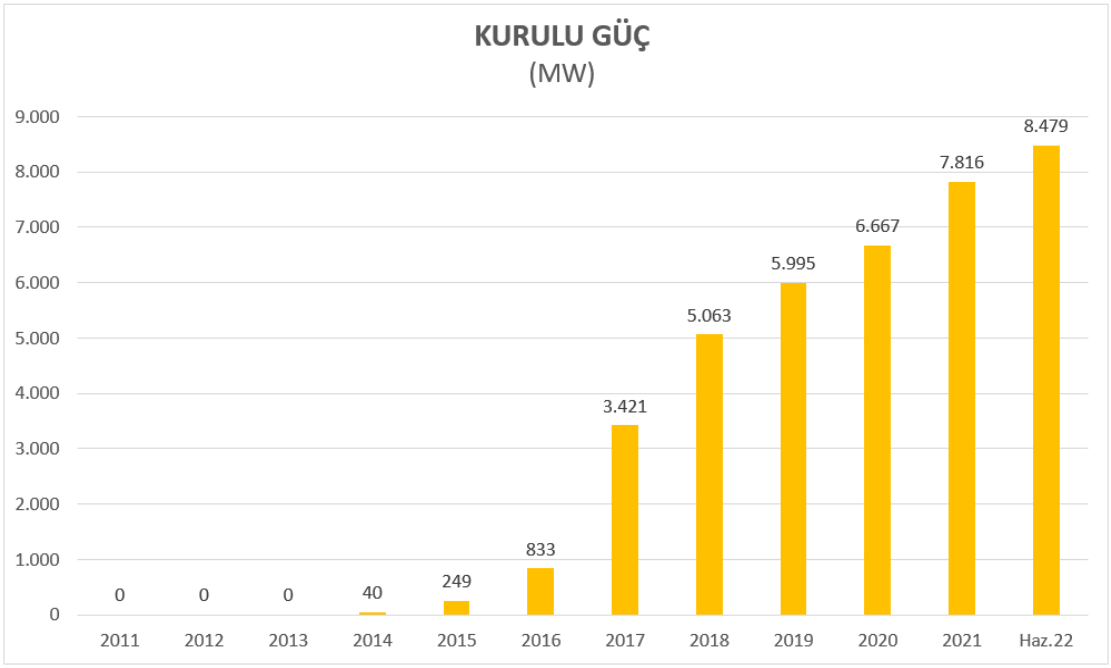


Şekil 3.4. Türkiye aylık ortalama radyasyon değerleri (Eigm, 2022)

Türkiye'de 2020 yılı aralık ayı sonu itibariyle güneş enerjisinden elektrik üretimi kurulu gücü 6,667 MW, elektrik kurulu gücü içerisindeki toplam payı ise %7'dir.



Şekil 3.5. Elektrik kurulu gücü kaynaklara göre dağılımı (Emo, 2021)

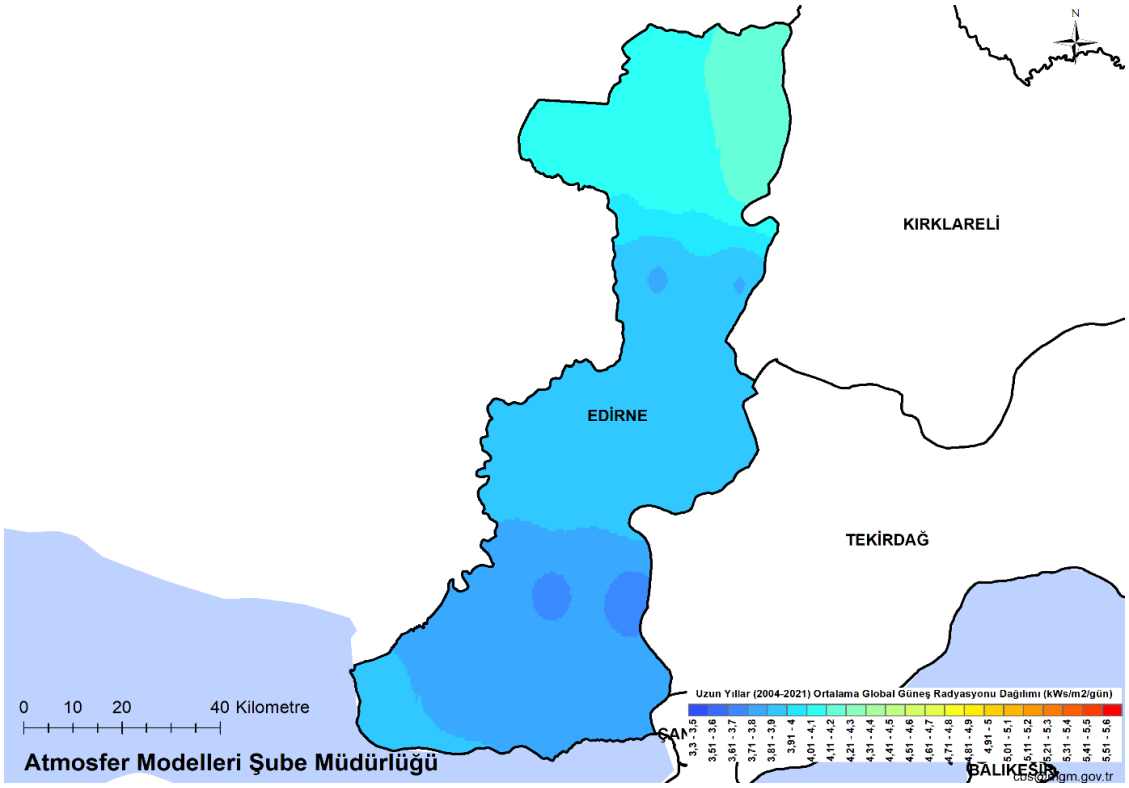


Şekil 3.6. Güneş enerjisi yıllara göre kurulu gücü (Eigm, 2021)

Türkiye'nin güneşlenme süresinin yüksek olması sayesinde gelişen teknolojiyle beraber güneş enerjisine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Yıllık toplam güneş enerjisi kurulu gücü, her bir önceki yıla göre artış göstermektedir.

3.4. Edirne İli Güneş Enerji Potansiyeli

Edirne, Marmara Bölgesi sınırları içinde bulunan bir ilimizdir. Konumu 41°40′37.6752″ Kuzey ve 26°33′20.5776″ Doğu gps koordinatlarındadır. Edirne ilinin yüz ölçümü 6,119 km^2'dir ve rakımı 63 metredir. Edirne mevsim normalleri Çizelge 3.1 de verilmiştir. Edirne'nin yıl bazında günlük ortalama güneşlenme süresi 6 saattir. Güneşlenme süresinin en çok olduğu aylar Temmuz ve ağustos aylarıdır. Güneşlenme süresinin en az olduğu aylar ise aralık ve ocak aylarıdır (Edirne.gov, 2022).



Şekil 3.7. Edirne global güneş radyasyonu (Mgm, 2022)

Çizelge 3.1. Mevsim normalleri (Mgm, 2022)

EDIRNE	Ocak	Şub.	Mr.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ar.	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930-2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.6	4.3	7.6	12.8	18.0	22.2	24.6	24.4	20.1	14.4	9.1	4.6	13.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.6	9.3	13.3	19.3	24.7	29.2	31.9	31.9	27.4	20.7	14.1	8.5	19.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.6	0.4	2.9	7.1	11.7	15.5	17.4	17.2	13.4	9.2	5.2	1.3	8.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.4	3.6	4.4	6.2	8.0	9.2	10.2	9.8	7.5	5.2	3.2	2.2	6.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.5	8.82	10.3	9.06	9.82	9.35	5.06	2.41	5.06	8.35	8.12	12.2	100.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	66.6	52.3	50.6	47.9	52.5	47.5	32.4	22.6	36.1	58.1	66.8	71.0	604.4
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.5	23.3	28.0	33.5	37.1	42.6	44.1	41.9	39.9	35.8	28.0	22.8	44.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.5	-19.0	-12.0	-4.1	0.7	6.0	8.0	8.9	0.2	-3.7	-9.4	-14.9	-19.5
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı					Günlük En Hızlı Rüzgâr					En Yüksek Kar			
28.11.2018 128.5 mm					15.02.1970 28,9 m/sn					01.02.1963 50 cm			

Edirne ili güneş enerji yatırımlarının az olmasının en önemli sebeplerinden biri ortalama güneş enerji radyasyon oranının Türkiye ortalamasının altında olmasıdır.

Edirne ilinde bulunan Emel Elekrik Güneş Enerji Santrali: 493,4 kW kurulu güce sahiptir. Emel Elektrik GES büyüklük sıralamasında Türkiye'de 1810. sıradadır. Edirne de kurulu lisanssız Güneş Enerji Santrallerinin toplam kurulu gücü 7,99 MW'dir. Lisanslı elektrik üretimi 5 MW üzeri enerji üreten bir tesis iken, lisanssız elektrik üretimi 5 MW gücün altında olacak şekilde planlanır.

Çizelge 3.2. Edirne'de güneş enerji santralleri

Santral adı	İlçe	Firma	Güç
Emel Elektrik GES	Süloğlu	Emel Elektrik	0,49 MW
Edirne'deki diğer lisanssız GES'ler		Farklı firmalar	7,99 MW
Yapımı devam eden Edirne Giyim Sanayi Güneş Enerji Santrali	Merkez	Edirne giyim Sanayi	2,00 MW

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Örnek Bir Güneş Enerji Santrali Analizi

Edirne ili güneş enerjisinden yararlanma konusunda oldukça zayıftır. Bunun en önemli sebeplerinden biri ortalama güneş radyasyonunun Türkiye ortalamasının altında olmasıdır. Ona rağmen Edirne yıllık bazında günlük ortalama 6 saatlik güneşlenme süresi vardır. Ve bu oran güneş enerjisinden yararlanmak için gayet iyi bir orandır. Bu bölümde Edirne ili Lalapaşa ilçesi 41.863 enlem, 26.847 boylamda yer alan tarıma elverişsiz alanda, 20 kW gücünde On-Grid yani şebekeye bağlı sistem olarak tasarlanan Güneş enerji santralinin analizini yapılacaktır.

4.2. Santralin Yapılma Amacı

Tarıma elverişsiz bir alanda küçük bir bütçe ile kurulabilecek Lisanssız Güneş Enerji Santralinde üretilecek elektrik, gerekli yasal süreçler tamamlandıktan sonra, en yakın trafo merkezine gönderilip tüketicilere dağıtılır. Yatırım yapılan Güneş Enerji Santrali, Elektrik Piyasasında Lisanssız Enerji Üretimine İlişkin Yönetmelik'te belirtilen birim fiyat üzerinden satılmaktadır. Yapılan bu santral sınırsız ve temiz bir enerji olan güneş enerjisinden faydalanıp tüketicilerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisine kavuşmasını amaçlamaktadır.

4.3. Arazi ve Coğrafi Özellikler

Güneş enerji santralinin (GES) kurulumu planlanan yer Edirne ili Lalapaşa ilçesi Sarıdanişment köyü verimsiz toprak arazisi olarak geçen arazidir.

Yapılacak GES yatırımı ile ilgili arazi seçiminde dikkat edilmesi gereken başlıca konular şunlardır;

a) **Güneş potansiyel durumu**: Güneş Enerji Santralinde ilk bakılması gereken güneşin potansiyelidir. Güneşlenme süresi ve güneş radyasyon değeri ne kadar yüksek ise santralden elde edilecek kazanç da o kadar yüksek olur.

b) **Arazinin Toprak Yapısı**: Santralin yapılacağı alanın kayalık veya toprak olması önemlidir. Kayalıkların fazla olduğu alanlarda konstrüksiyonların beton ayak olması gerekir. Bu da ek bütçe gerektirir.

c) **Arazinin bulunduğu cephe:** Türkiye'de dolayısı ile Edirne'de, güneşten en fazla şekilde faydalanmak için arazi güney cepheli olmalıdır.

d) Arazinin bulunduğu konum: Kış aylarında veya yağışın fazla olduğu zamanlarda sel riskiyle karşılaşmamak için arazi derelere ve akarsulara yakın olmamalıdır. Arazi yamaçta ise, santral tasarımında heyelan olasılığı göz önüne alınmalıdır.

e) Arazinin Fiziki Yapısı: Tümsek veya çukurların fazla olduğu alanda zemini düzeltmek ek maliyete neden olur.

f) Arazinin Tarıma Uygunluğu: Arazi çok verimli tarım arazisi olmamalıdır, aksi halde marjinal tarım yazısı alınamaz.

g) Arazinin Gölgelenme Durumu: Santral alanında günün belirli saatlerinde herhangi bir gölgelenme olmamalıdır.

h) Arazinin Yasal Sahipleri: Arazinin yasal sahiplerinden herhangi biri bile muvafakat yazısı vermezse santral kurulamaz.

i) Arazinin Kirlenme ve Tozlanma Durumu. GES kurulumunu yapacağımız arazinin yakınında taş ocağı, kum ocağı ve beton santrali gibi çok fazla toz oluşturan tesis varsa güneş pillerine bulaşma ihtimali vardır. Bunların temizlenmesi hem verim kaybına hem de fazladan maliyete neden olur.

j) Arazinin Enerji Nakil Hattına Yakınlığı: Güneş santrali kurulduktan sonra, enerjinin iletim veya nakil hatlarıyla dağıtım şirketinin gösterdiği yere ulaştırılması

gerekir. Elektrik telleri başka arazi sahiplerinin arazilerinden geçerse arazi sahibinden izin yazısı almak gerekir.

k) Arazinin Hava Durumu: Arazinin bulunduğu yerin yıl içinde ne kadar yağmurlu ne kadar karlı ve ne kadar sisli olduğunun bilinmesi gerekir.

l) Arazinin Ulaşım Durumu: Araziye ulaşım zor ise santralin kurulumunda taşıma masrafları fazla olur.

m) Arazinin Belediyenin İmar Planlarındaki Durumu: Arazinin ileriye yönelik imar durumunun bilinmesi gerekir.

4.4. Simülasyon programı ile enerji hesaplamalarının yapılması

Güneş enerji sistemlerinin analizi, simülasyonu ve enerji hesabı PVSOL, PVsyst, Polysun, Helioscope, PVGIS gibi programlar yardımı ile yapılabilir.

a) PVSOL: Güneş enerji sistemleri için tasarım ve simülasyon yazılımı, fotovoltaik sistemlerin cihazlar, batarya sistemleri ve elektrikli araçlarla beraber tasarımı ve optimizasyonu için dinamik bir simülasyon programıdır. PVSOL programı aşağıda belirtilen hizmetleri sunar: Projenin detaylı raporlanması, verimliliğin yıllık tahmini ve fizibilite raporu, bileşenlerin düzenli olarak güncellenmesi, modüllerin otomatik ve manuel olarak dizilişi, tesisin 2-D olarak görünümü, On-grid sistemde müşterinin kendi tüketimini hesaplaması, dünya genelinde 8.000 konuma ait bilgiler, 10 dakikalık zaman aralıklarıyla gölgelenme simülasyon bilgisi, modül-inverter bağlantısı seçenekleri, modüllerin dizilimi ve bağlantı düzeninin gölgelenme haline göre optimizasyonu, değişik şekildeki binalar, çatı biçimleri ve tiplerine göre modülleri dizme imkânını sağlar (Solar-academy, 2022).

b) Polysun: Kullanıcıların güneş-termal, fotovoltaik ve jeotermal sistemleri etkin bir şekilde simüle etmelerini sağlayan bir yazılımdır. Polysun, farklı teknolojileri (solar termal, PVT, fotovoltaik, ısı pompaları, toprak kaynaklı döngüleri, kojenerasyon üniteleri vb.) birbiriyle birleştirmemizi sağlayan yenilenebilir enerji sistemleri için tek ticari simülasyon yazılımıdır. Sistem şablonlarını düzenlemek ve kendi şablonlarınızı oluşturmak için kullanımı oldukça basit bir programdır.

c) Helioscope: Fotovoltaik enerji sistemlerinin tasarım ve mühendislik süreçlerini birleştirmeyi amaçlayan simülasyon programıdır. Çevrimiçi bir güneş enerjisi tasarım aracı olan HelioScope programına, tesisin yapılacağı yerin enlem ve boylam bilgileri, toplam kapasite, montaj bilgileri, inverter sayısı ve teknik özellikleri, kablo kesitleri ve uzunlukları girilir. Girilen değerler sonucunda simülasyon sonuçlarına ulaşılır

d) PVsyst: Fotovoltaik sistemlerin incelenmesi, boyutlandırılması ve verilerin analizinin yapılması için geliştirilen bir simülasyon programıdır. PVsyst programında proje penceresi içerisinde farklı güneş enerji santrallerinin üretim simülasyonları yapılabilmekte ve bu simülasyonlar birbirleriyle karşılaştırılabilmektedir. Simülasyon programında analiz yapacak kişinin güneş enerji santraline ilişkin özel oryantasyon bilgilerini ve istenilen başka bilgileri de simülasyon programına girmesi gereklidir. Programa girilecek veriler; termal özellikler, kablolama ile ilgili özellikler, ufuk çizgisi bilgileri ve çevresel faktörlere bağlı tozlanma ve gölgelenme gibi oldukça detaylı bilgiler girilir.

e) PVGIS: Güneş radyasyonu haritasına göre Asya, Afrika ve Avrupa kıtalarındaki güneş enerji sistemleri için üretim değerlerini ücretsiz ve online şekilde hesaplayan simülasyon programıdır. Bu simülasyon programına kullanıcı tarafından, enlem ve boylam bilgisi, kullanılacak güneş pili çeşidi, sistemin kurulu gücü, sistemin performans oranı, güneş pillerinin montaj özellikleri ve açıları gibi parametrelerin belirlenip programa girilmesiyle güneş enerji santraline ilişkin aylık ve yıllık güneş ışınım değerlerini kWh/m^2, üretilebilecek potansiyel elektriği kWh türünden hesaplar.

Arazinin enlem ve boylam bilgileri girilerek, panel türlerine göre üretilebilecek elektrik miktarı, radyasyon miktarı vb. analizler yapılabilen PVGIS giriş ve sonuç verileri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. PVGIS Giriş Bilgileri

Güneş Radyasyon Veri tabanı	PVGIS-SARAH2
Enlem ve Boylam bilgisi	41.863, 26.847
Yükseklik	326 m
PV Teknolojisi	Kristal Silikon
Eğim (°)	39
Kurulu Tepe PV Gücü(kWp)	20
Sistem Kaybı (%)	14

Çizelge 4.2. PVGIS Simülasyon Çıktıları

Eğim Açısı(°)	39
Yıllık PV enerji üretimi (kWh)	27887.27
Yıllık uçak içi ışınlama (kWh/m^2)	1777.86
Yıldan yıla değişkenlik (kWh)	1295.60
Çıkıştaki değişiklikler nedeniyle: Gelme açısı (%)	-2.72
Çıkıştaki değişiklikler nedeniyle: Spektrak etkiler (%)	0.97
Çıkıştaki değişiklikler nedeniyle:Sıcaklık ve düşük ışınım (%)	-7.15
Toplam kayıp (%)	-21.57

Çizelge 4.3. PV Sistemde Aylık Enerji Çıkışları

PVGIS ile PV Sisteminde Aylık Enerji Çıkışı(kWh)	
Ocak	1500
Şubat	1600
Mart	2350
Nisan	2600
Mayıs	2800
Haziran	2700
Temmuz	3100
Ağustos	3200
Eylül	2650
Ekim	2250
Kasım	1600
Aralık	1400

Aynı programın verdiği, enerji çıkışlarının aylara göre dağılımı Çizelge 4.3 de görülmektedir.

4.5. PVsyst 6.70 ile Simülasyon Raporu

PVsyst programı, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen, on-grid veya off-grid fotovoltaik sistemler, sulamada kullanılan sistemler ve Doğru Akım şebekeler gibi güneş sistemlerinin tasarımlarının yapıldığı ve sonuçlarının incelendiği bir simülasyon programıdır. Bu programda, diğer programlara göre daha detaylı hesaplamalar ve daha farklı parametreler kullanılır.

Çizelge 4.4. PVsyst 6.70 ile Simülasyon Programı Giriş Bilgileri

Kıta	Avrupa
Ülke	Türkiye
Enlem-Boylam bilgisi (°)	41.86, 26.85
Eğim bilgisi (%)	39
Sistemin kurulu gücü (kWp)	20
Kullanılan güneş paneli türü ve gücü	335 Wp 32V si-poly
İnverter türü ve gücü	20 kW 160-850 V 50/60 Hz SE-TM
Sistemin yıllık kaybı (%)	1
Ortalama bozulma faktörü (%/yıl)	0.40

Güneş enerji santrali için PVsyst programında giriş bilgileri yer verilmiştir. Giriş bilgileri sonucunda PVsyst simülasyon programının verdiği sonuç bilgilerine aşağıda yer verilmiştir.

Çizelge 4.5. Şebekeye Bağlı Sistem: Simülasyon parametreleri

Şehir	Edirne
Enlem-Boylam bilgisi (°)	41.86, 26.85
Toplam güneş pili sayısı	63
Kurulu güç (kWp)	19,21
Tesisin toplam alanı (m^2)	103

PVsyst Simülasyon programında fotovoltaik sistem için girilen özel oryantasyon bilgileri ve başka verilerle Çizelge 4.4 ve 4,5'de verilen özet bilgiler elde edilmiştir. Özet bilgilerde; panel sayısı, Simülasyon süresi, İnverter sayısı, sistem kayıpları, proje konumu, sistemin kurulu gücü vb. bilgiler bulunmaktadır.

Çizelge 4.6. PVsyst Simülasyon programına göre sonuçlar

Simülasyon programına göre sonuçlar					
Aylar	**Küresel Işınlama kWh/m²**	**Ortalama sıcaklık C°**	**Sistemden çıkan enerji MWh**	**Şebekeye verilen enerji MWh**	**Performans oranı**
Ocak	52.1	2.88	1.725	1.690	0.931
Şubat	66.5	4.70	1.748	1.713	0.910
Mart	93	8.74	2.060	2.018	0.892
Nisan	144.7	12.8	2.778	2.726	0.880
Mayıs	168.2	18.6	2.814	2.758	0.852
Haziran	177.9	22.69	2.739	2.684	0.831
Temmuz	199.4	25.8	3.132	3.072	0.823
Ağustos	173.7	25.95	3.020	2.962	0.816
Eylül	140.4	20.06	2.952	2.897	0.845
Ekim	93	15.08	2.323	2.279	0.867
Kasım	56.1	9.36	1.620	1.587	0.902
Aralık	46.8	4.50	1.648	1.616	0.930
Yıllık	1411.6	14.32	28.559	28.003	0.863

Çizelge 4.6'da verilen değerler güneş enerji santrali kurulum alanı için yıllık üretim değerleridir. Üretim değerlerinin hesaplanmasında sistemin kurulacağı alanın ışınım değeri, güneşlenme süresi, panel seçimi, verim kayıpları vb. etkilidir.

Çizelge 4.7. Sistemin yıllık kayıpları

Yansıma kaybı	3
Gölgeleme kaybı	0
Panel yaşlanma kaybı	1
Zayıf ışık kaybı	0,8
Sıcaklık kaybı	6,8
Yansıma kaybı	0
Kablolama kaybı (DC)	0,8
İnverter kaybı	1,1

Çizelge 4.7'de Polikristal güneş pilleri ile yapılan çalışmalar sonucunda sistemin kayıpları verilmiştir. Dize kayıpları (ışıma kaybı, sıcaklık kaybı, panel verim kaybı, DC kablo kaybı, ışınıma bağlı kayıplar) %8,9 ve inverter kayıpları ise %1,9 olarak bulunmuştur.

4.6. Ekonomik Analiz

20 kW Güneş Enerji Santrali Elektrik Üretim Sistemi için, ikinci bölümde özellikleri verilen, gerekli malzemeler; 63 Adet 335 W Polikristal Solar Panel, 1 Adet Growatt 20 kw On grid Trifaze İnverter. Montaj aşamasında güneş pilleri için profil, bağlantı klempleri, DC solar kablo, 1 adet TEDAŞ yönetmeliğine uygun GES pano ve çift yönlü sayaç, yıldırımdan korunma sistemi, uyarı levhaları ve etiketleri, kuş ve fareler için yuva engelleyici malzemeler gereklidir.

Güneş enerji Santralinin faaliyete geçmesi için santralin proje çizimi, proje onayı ve evrak takibi yapılmalıdır. Santralin montajı için mekanik montaj, DC ve AC kablolaması, inverter montajı, panoların montajı ve bağlantıları ve topraklamanın yapılması gerekir. Bundan sonra test aşamasına geçilir. Son aşamada üretilen enerjinin kabulü için bürokratik işlemler takip edilmelidir

20 kW güneş enerji santrali kurulumu ve diğer tüm giderler için 25.000 USD bütçe gerekmektedir. Kurulacak bu güneş santrali sayesinde yılda 80 ağaç korunur, ayrıca aylık 2335 kW enerjiye karşılık gelen ücret kadar tasarruf edilir. 25 yılın sonunda bile güneş enerji santrali yaklaşık %80 performans ile enerji üretmeye devam edecektir.

Çizelge 4.8. PVsyst programına göre 1 yıllık kazanç

AYLAR	**PvSYST ile üretim(kWh)**	**Birim Fiyat (USD)**	**Teorik Gelir (USD)**
OCAK	1690	0,105	177,45
ŞUBAT	1713	0,105	179,86
MART	2018	0,105	211,8
NİSAN	2726	0,105	286,23
MAYIS	2758	0,105	289,8
HAZİRAN	2684	0,105	281.82
TEMMUZ	3072	0,105	322,56
AĞUSTOS	2962	0,105	311,01
EYLÜL	2897	0,105	304,18
EKİM	2279	0,105	239,29
KASIM	1587	0,105	166,63
ARALIK	1616	0.105	169,68
TOPLAM	28003	0.105	3021,49

Çizelge 4.9. Yıllık Güneş Enerji Santrali Giderleri

Santral Giderleri Yıllık	**USD**
Bakım Hizmeti	750
Diğer Harcamalar	250
Sistemin Yıllık Toplam Maliyeti	1000

Çizelge 4.8'den, PVsyst programına göre sistemin ilk yıl karı yaklaşık 3021,49 USD'dir. Bakım ve diğer masraflar yılda toplam 1000 USD'dir (Çizelge 4.9). Güneş panellerinin yıllık verim kayıpları da hesaba katılarak amortisman süresi 15 yıl hesaplanmıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Güneş Enerji Santralinin Yatırım Geri Dönüşüm Yılı Hesabı

Güneş Enerji Santrali Geri Dönüşüm Yılı Hesabı						
YIL	**Güneş Paneli Verimi**	**Enerji Üretimi kWh/yıl**	**Yıllık Gelir (USD)**	**Yatırım Bedeli (USD)**	**Yıllık Gider (USD)**	**Yatırım Geri Dönüşümü (USD)**
1	%100	28053	3021,49	-25000	-1000	-22978,51
2	%99	27772,4	2916,10		-1000	-21052,41
3	%98	27491,8	2886,63		-1000	-19175,78
4	%97	27211,2	2857,16		-1000	-17318,62
5	%96	26930,6	2827,71		-1000	-15491
6	%95	26650	2798,25		-1000	-13693
7	%94	26369,4	2768,78		-1000	-11925
8	%93	26088,8	2739,32		-1000	-10186
9	%92	25808,2	2709,86		-1000	-8477
10	%91	25527,6	2680,39		-1000	-6797
11	%90	25247	2650,93		-1000	-5147
12	%89	24966,4	2621,47		-1000	-3526
13	%88	24685,8	2593		-1000	-1933
14	%87	24405,2	2562,54		-1000	-371
15	%86	24124,6	2533,08		-1000	1162
16	%85	23844	2503,62		-1000	2665
17	%84	23563,4	2474,15		-1000	4184
18	%83	23282,8	2444,69		-1000	5582
19	%82	23002,2	2415,23		-1000	6997
20	%81	22721,6	2385,76		-1000	8382
21	%80	22441	2356,3		-1000	9738

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, dünya ve ülkemiz açısından yakın gelecekte çok önemli bir konumda olacaktır. Güneş enerjisi; ısıtmada, soğutmada ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. 2040'lı yıllarda Dünya için gereken enerji ihtiyacının yaklaşık %26'sı güneş enerjisinden karşılanması beklenmektedir. İlerleyen zamanlarda hayatımıza daha çok girmesi düşünülen güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik üretebilmek için detaylı bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Güneş enerji santrallerinin kurulumu yüksek maliyetleri bulabilir. GES'ten en iyi ve verimli şekilde faydalanmak, yatırımın karşılığını almak için kullanılan malzemeler, arazi yeri ve yapısı, bölgenin güneş radyasyonu, sistemin ekonomik analizi, amortisman süresi, sistemin yıllık maliyeti, mevzuatlara uygunluk vb. konulara hâkim olmak gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında Edirne ili için güneşten enerji üretme kapasitesi ve Edirne'de yapılması planlanan güneş enerji santralinin analizi yapılmıştır. Bu analizler, PVGIS ve PVsyst6.70 simülasyon programları kullanılarak yapılmıştır. Edirne ilinin güneş radyasyonu, Türkiye'nin ortalama güneş radyasyonunun altındadır. Edirne'nin güneş radyasyonu Türkiye ortalamasının altında oluşu Edirne'nin güneş enerjisinden yararlanma oranı ve güneş enerjisine yönelik yatırımların düşük düzeyde olmasının en önemli sebeplerinden birisidir. Buna rağmen Edirne ili güneşlenme süresi bakımından Dünya ve Avrupa'da birçok ülkeden daha iyi bir durumdadır. Elde edilen veriler neticesinde Edirne'de yapılacak güneş enerji santrali yatırımları kısa sürede maliyetini karşılayacağını göstermektedir.

KAYNAKLAR

ACS, (2009). Accounts of Chemiacal

Ajder, A., (2015). *Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması,* Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akar, A. (2016). *Bir Güneş Enerji Santralinin Kurulumu ve Performansının Analizi.* Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.

Atalay, Z., A., (2019). *Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralinin Ekonomik Analizi*, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya

Aykar, C. (2016). *Türkiye Ege Bölgesi Güneş Enerjisi Potansiyeli Tekno-Ekonomik Analizi.* Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.

Bagher, A. M., Vahid, M. M. A., & Mohsen, M. (2015). Types of solar cells and application. *American Journal of optics and Photonics*, *3*(5), 94-113.

Bayram, S. (2015). *Güneş Enerjisi Uygulaması: Gebze Yöresinde Bir Fabrika Fizibilitesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi

Dunyaenerji https://www.dunyaenerji.org.tr/2021-kuresel-enerji-raporu

Edirne.gov (2022). http://www.edirne.gov.tr/ilin-cografi

Eigm, (2022). https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes

Emo, (2010). https://www.emo.org.tr/ekler/095e69ae7d0338f_ek.pdf?

EPDK, (2019). Elektrik Piyasası 2018 Sektör Raporu.

Girgin H., Tuğrul B. (2010). *5 MW'lık Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretimi İncelemesi Bildiri Kitabı*, 469-476, 2010.

Gezer, T., (2019). *Bir Güneş Enerji Santralinin Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Gündüz, M., S., (2019). *Bir Fotovoltaik Güneş Enerji Santralinin Tekno-Ekonomik Analizi; Kütahya-Simav Örneği,* Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya

Günser Enerji İnşaat Danışmanlık Tic. ve San. Ltd. Şti. (2018). Güneş Enerji Santralinde Kullanılan Malzeme Listesi ve Fiyatları.

Habitatdernegi https://habitatdernegi.org/wp-content/uploads/G_Pilleri.pdf

Haydaroğlu, C., (2017). *Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi.* Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır

Hisour, (2018). https://www.hisour.com/copper-indium-gallium-selenide-solar-cells-39668

IEA, (2011). Global Energy Review

Ilı, M., ve Taktak, F. (2018). Güneş Enerji Santrali Geliştirme (GES): Uşak Örneği. *Geometrik Dergisi,* 1-21.

Irena, (2022). Renewable Energy Statistics 2022, *The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*

Köse, G. (2010, Haziran). *Hibrit (Güneş +Rüzgâr) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi Kütahya Örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya,

Mgm, (2018). https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=edirne

NASA, (2017). ww.nasa.gov/mission_pages/station/structure/solar_arrays-about

Ölmez, Y. C. (2017, Nisan). *Türkiye Güneş Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi ve Karapınar Bölgesine Kurulma Planlanan Güneş Enerji Santralinin Şebekeye Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 105 s.

Önal, E. ve Yarbay, R.Z., (2010). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*

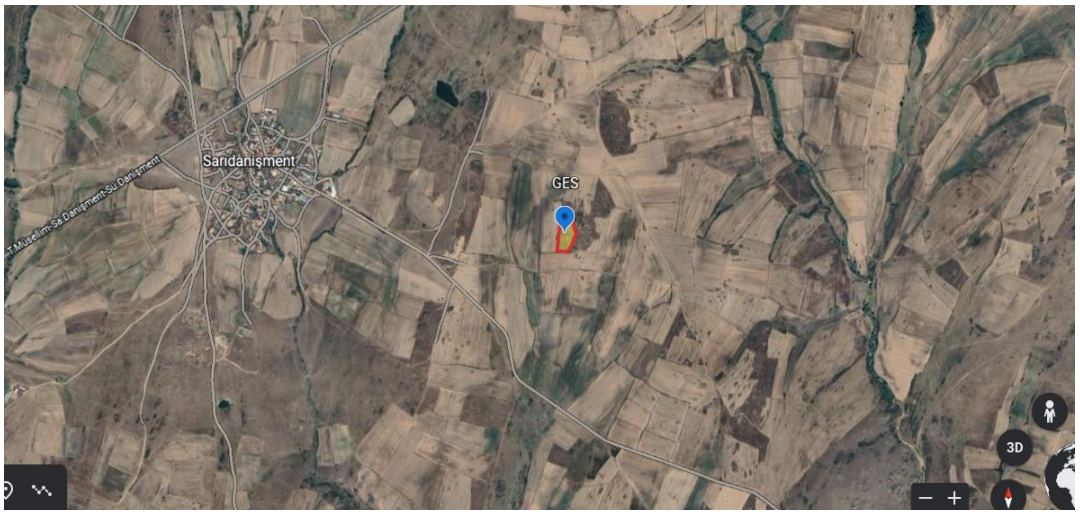
PVsyst 6.7.0 Programı

Solaracademy http://www.solaracademy.com/menu_detay.asp?id=2511

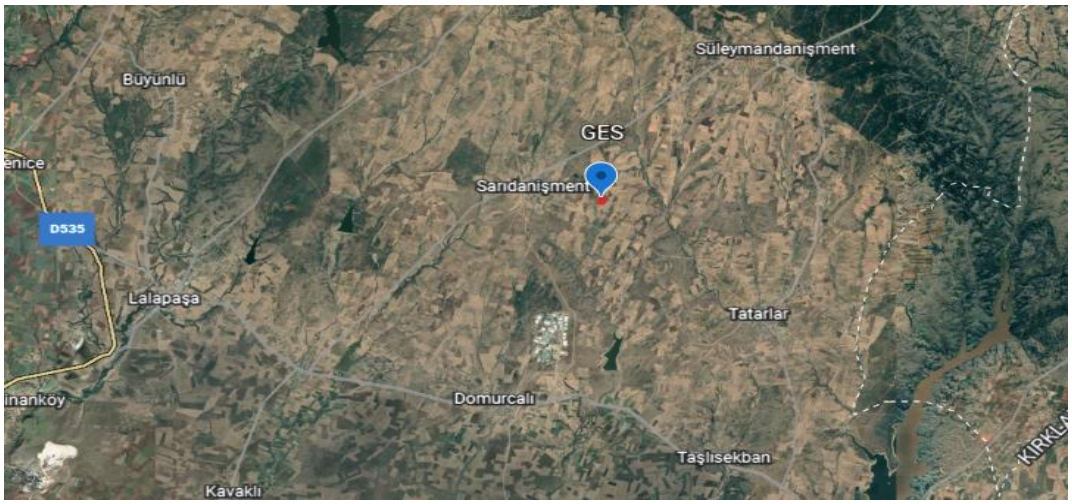
SOLARGIS, (2019). Solar Resource Maps Of World. https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world

Sönmezoğlu, S., Koç, M. & Akın, S. (2012). İnce film üretim teknikleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 28*(5), 389-404.

EKLER

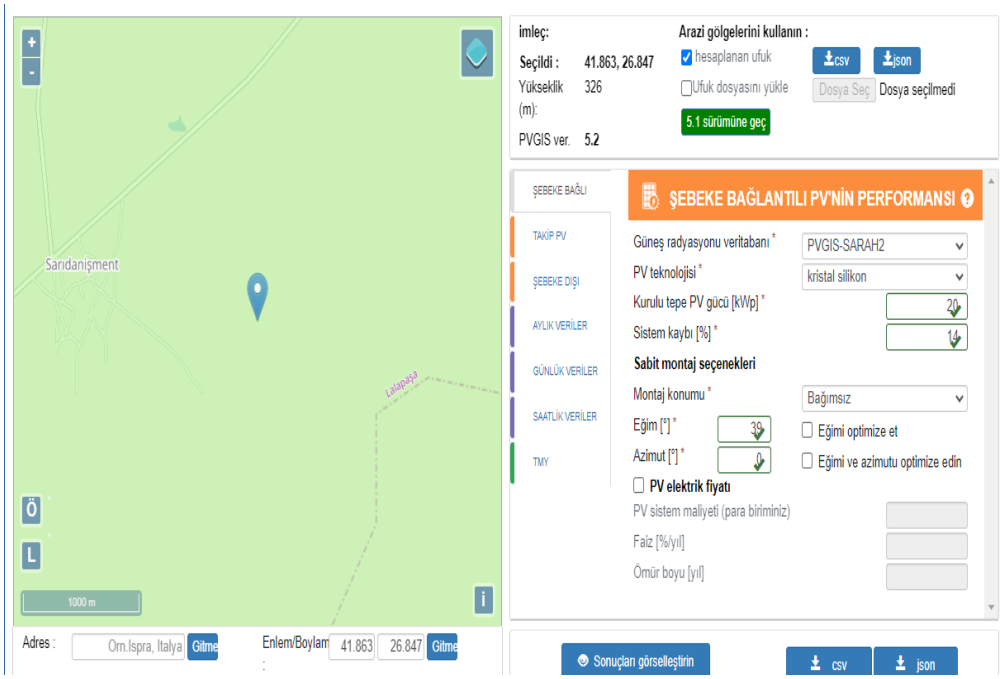


GES kurulum yeri (google earth)

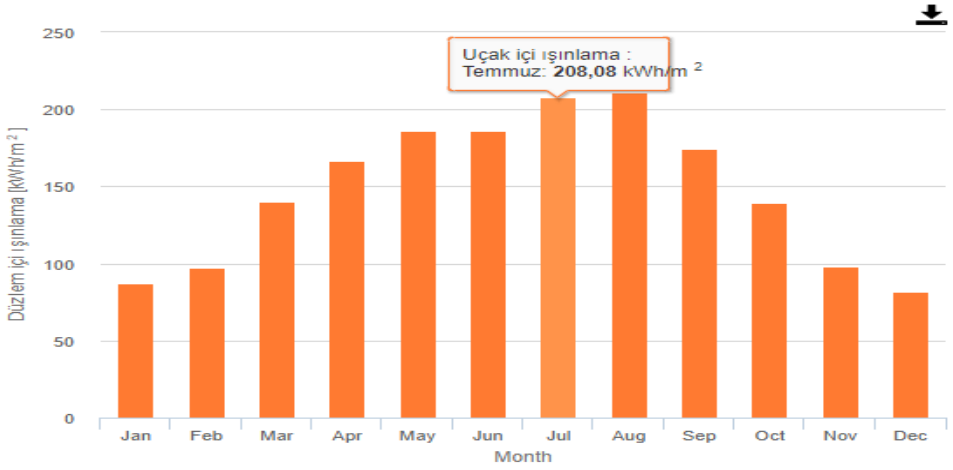


GES kurulum yeri 2 (google earth)

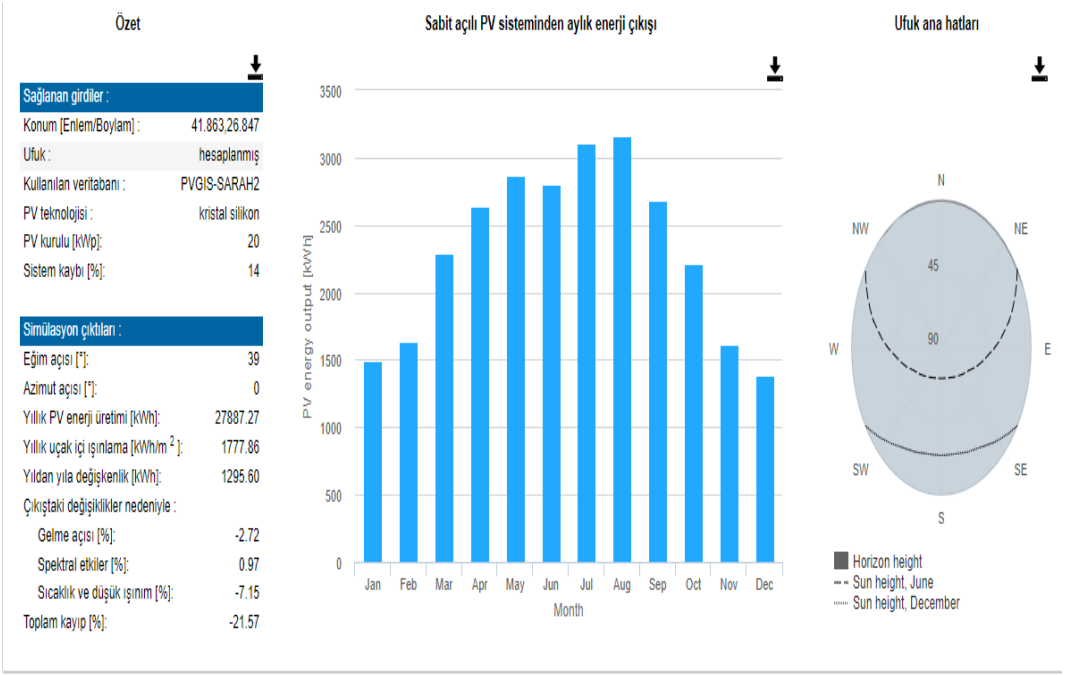
Simülasyon Verileri:



PVGIS ile veri giriş ekran görüntüsü

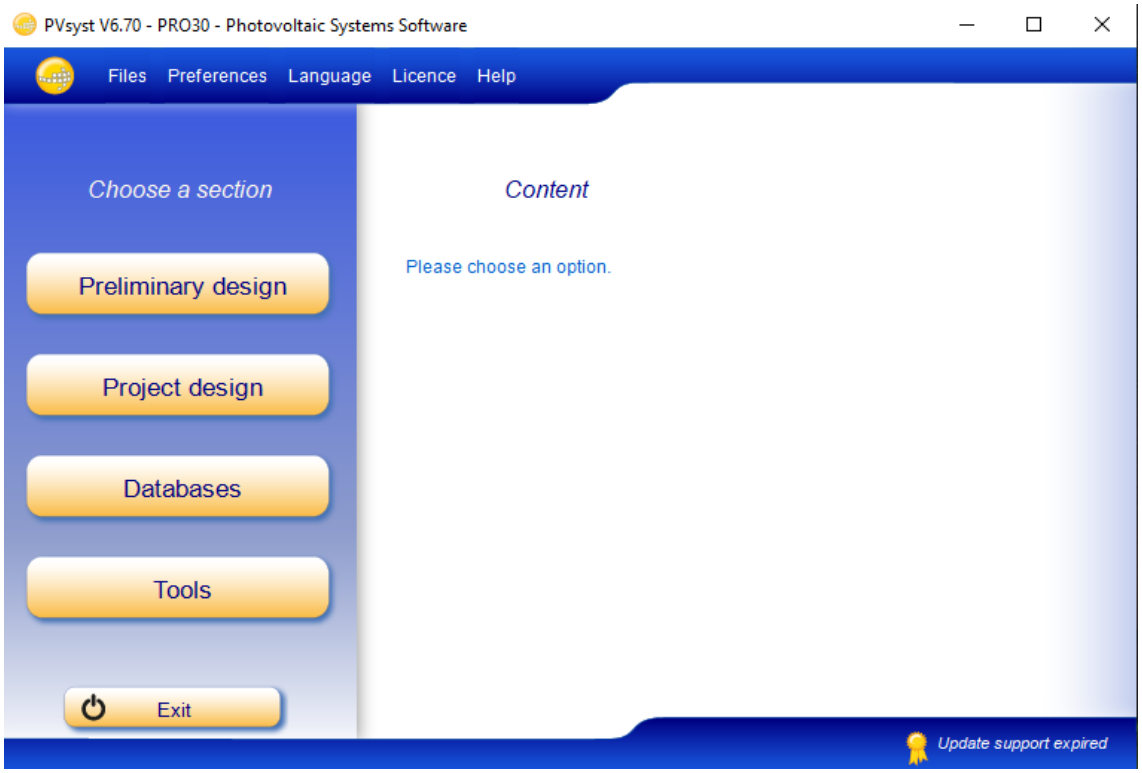


PVGIS ile seçilen arazi için m2 başına düşen aylık radyasyon miktarları (kWh/m2)

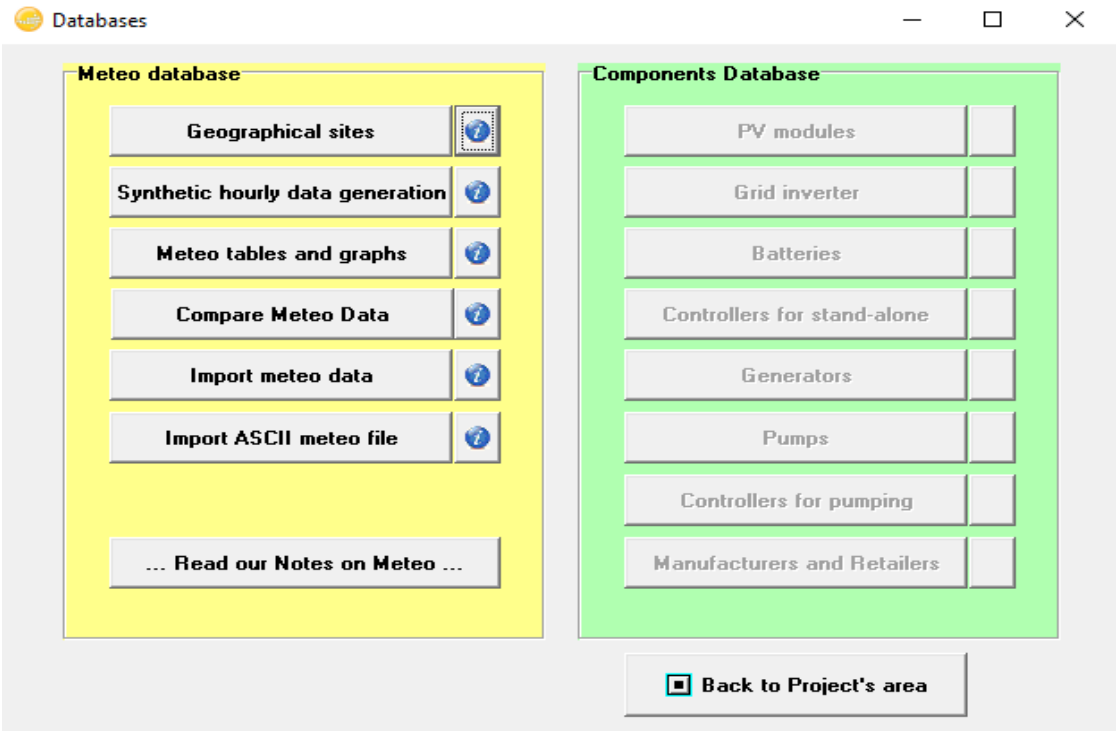


PVGIS ile seçilen arazi için aylık elektrik üretim miktarları (kWh) ve analiz sonuçlarının özet raporu

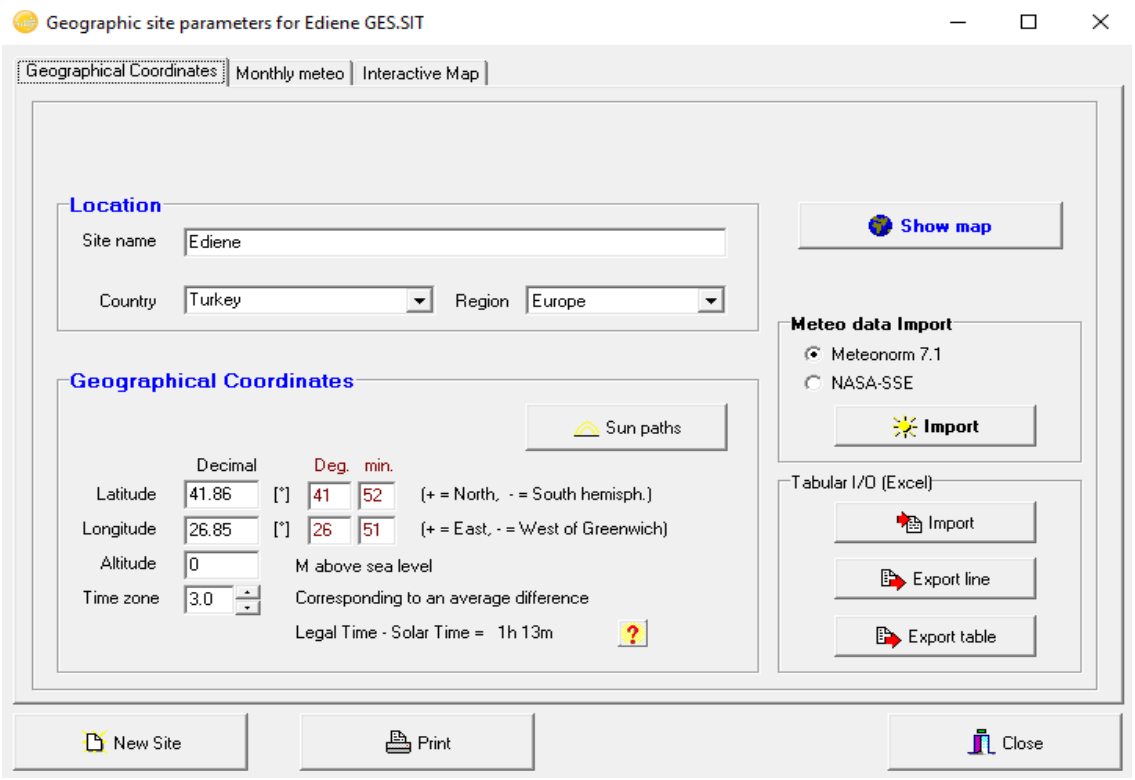
PVsyst 6.70 ile Ekran Görüntüleri ve Simülasyon Raporu



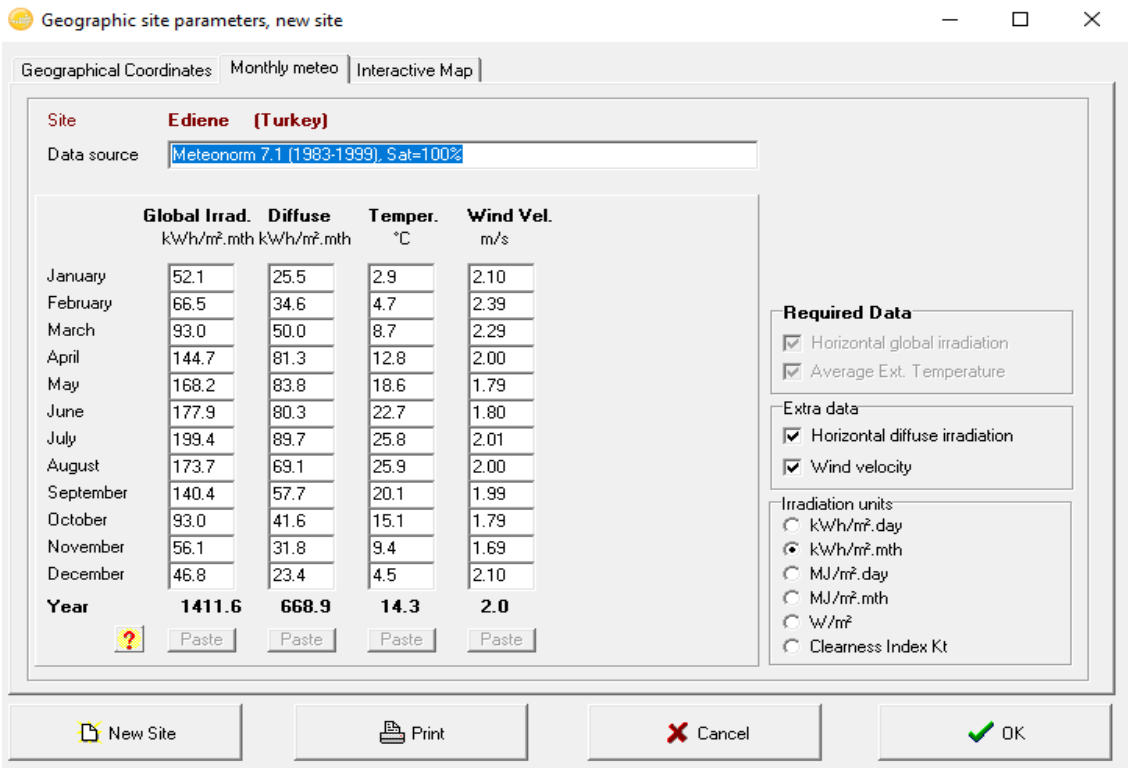
PVsyst giriş ekranı.



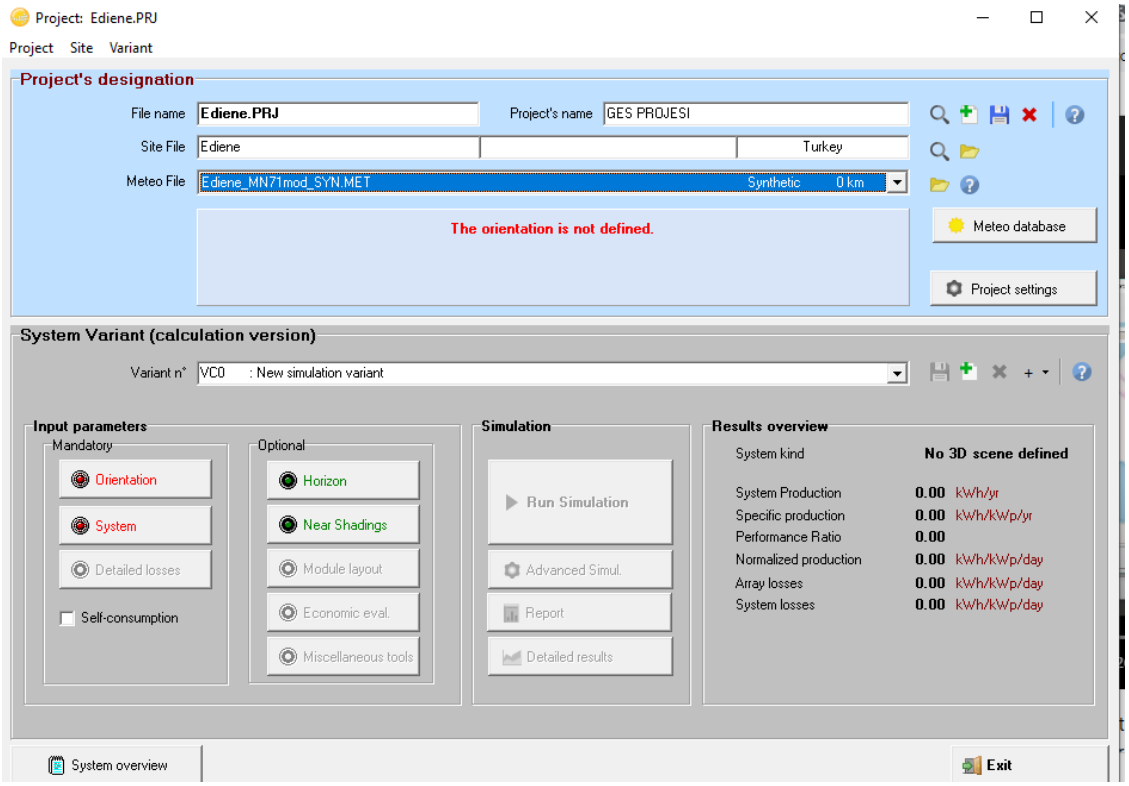
PVsyst coğrafi bilgi giriş ekranı.



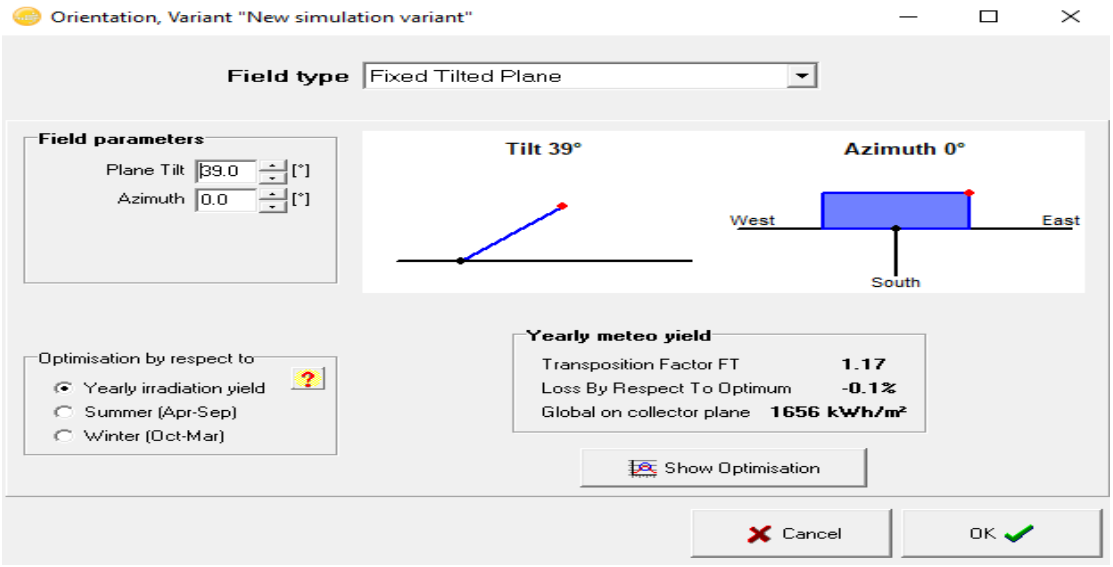
PVsyst konum kaydetme ekranı



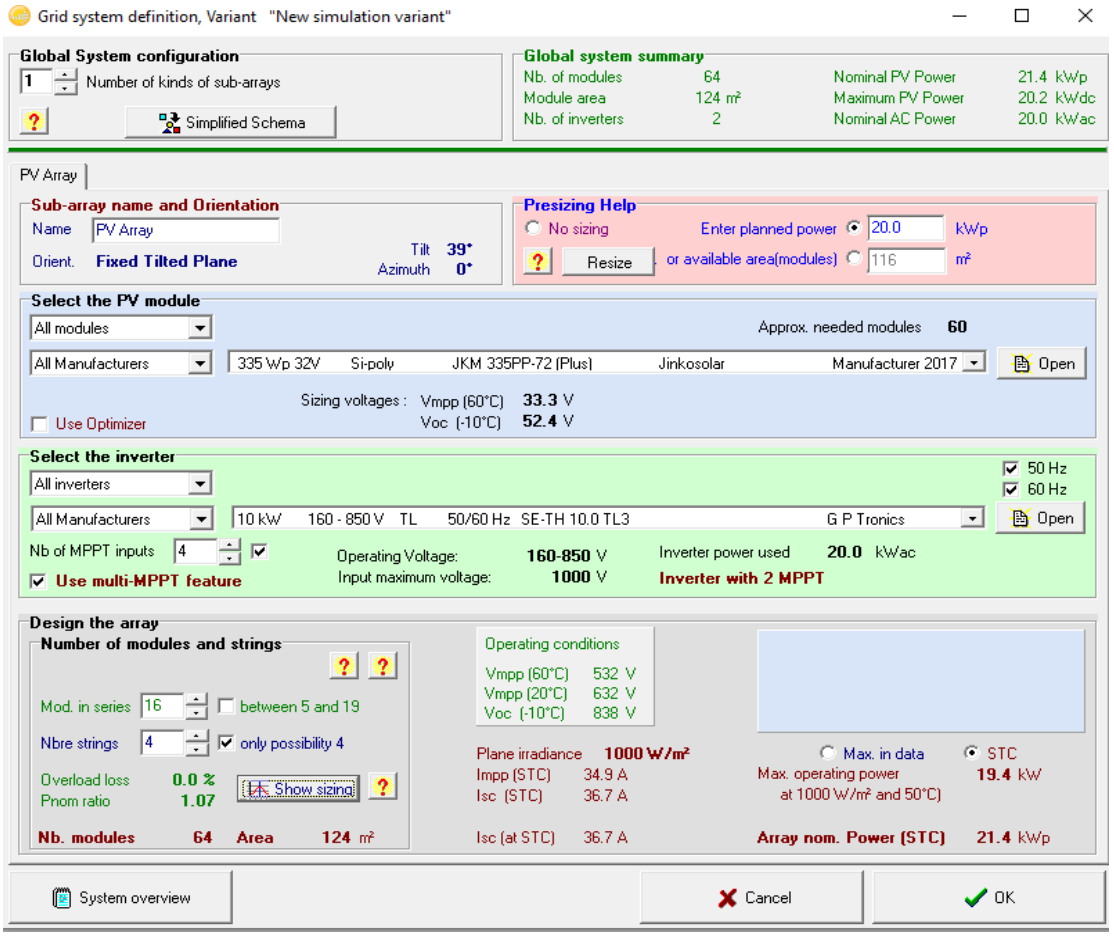
PVsyst seçili konum için aylık ışınım tablosu



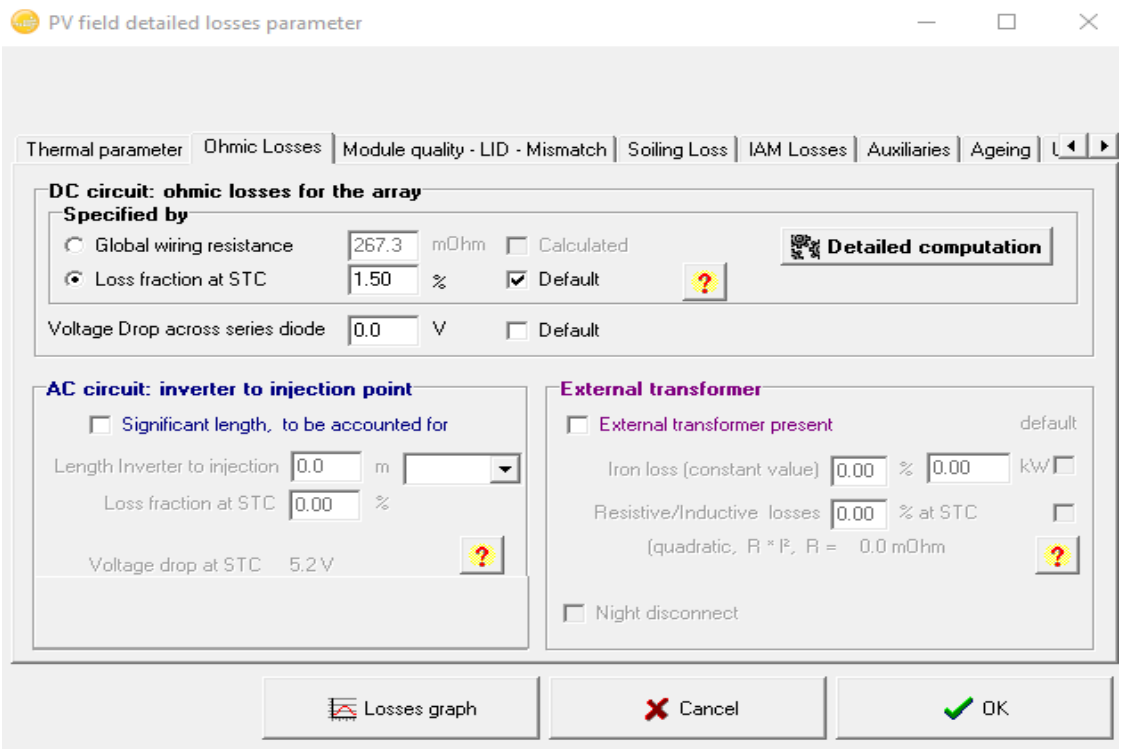
PVsyst proje kayıt sayfası.



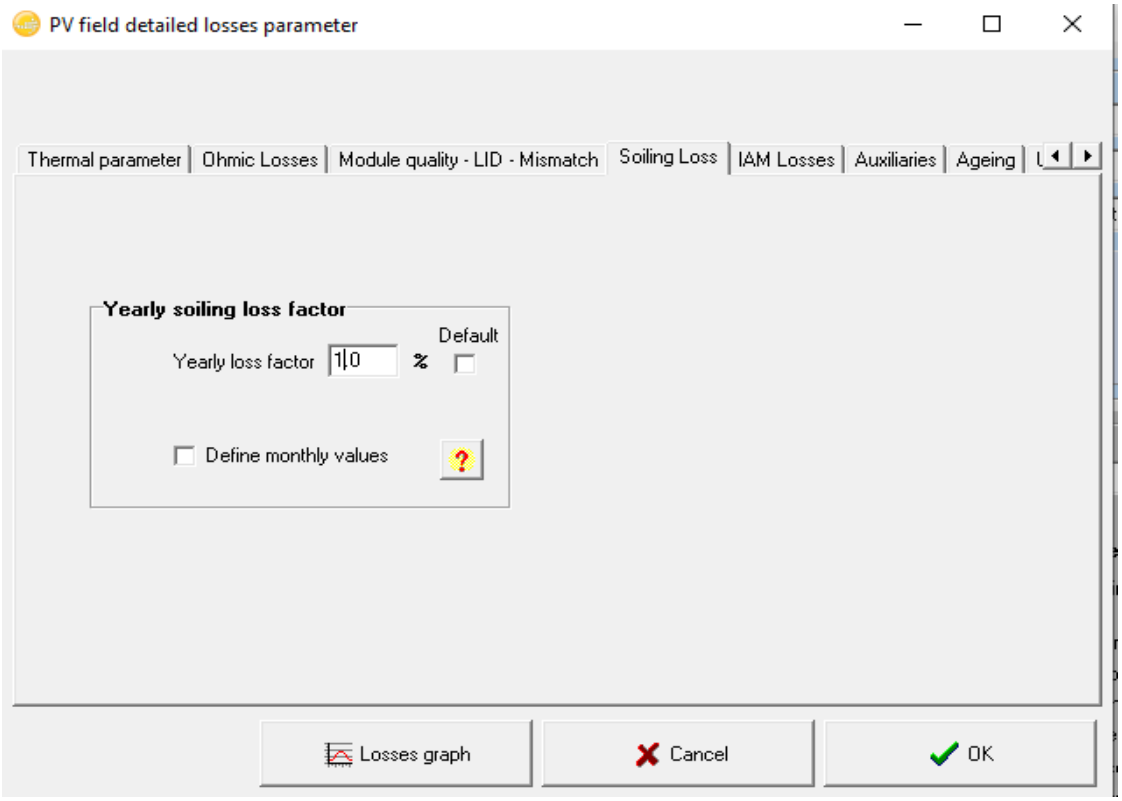
PVsyst arazi eğimi giriş ekranı.



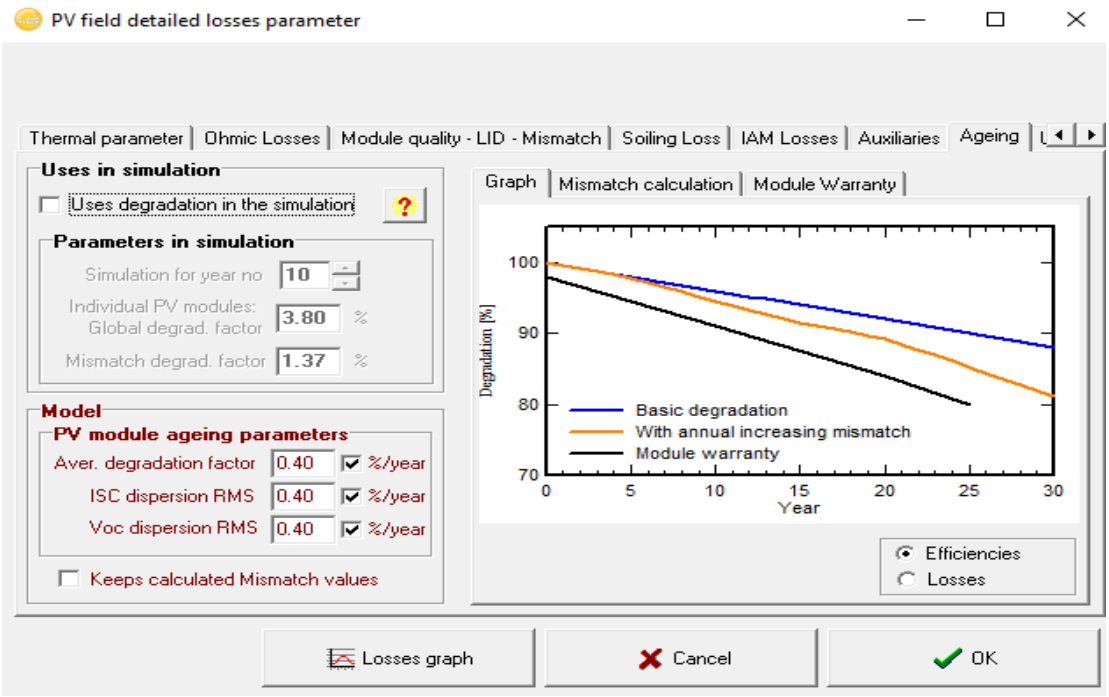
PVsyst panel, inverter vb. özellikler için giriş sayfası.



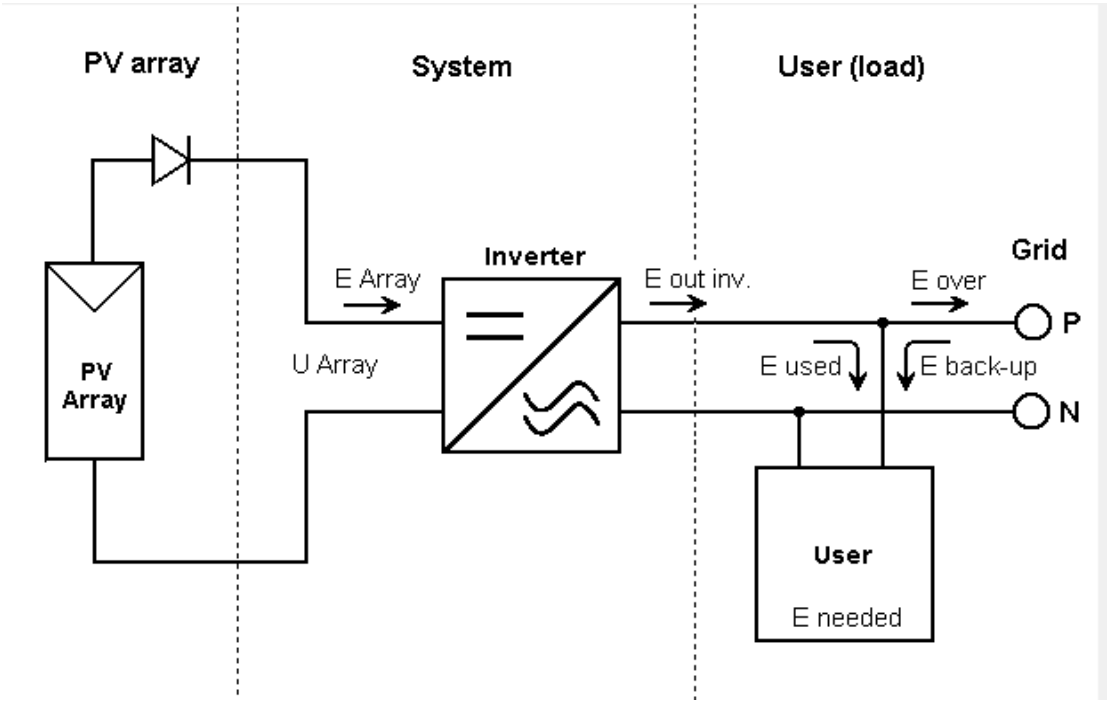
PVsyst sistem kayıpları giriş ekranı



Sistemin yıllık kaybı



PVsyst akım kayıpları ekranı



PVsyst programı şebekeye bağlı FV sistem modeli

PVSYST V6.70		15/07/22	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project : **GES PROJESI**

Geographical Site	**Ediene**		Country	**Turkey**
Situation	Latitude	41.86° N	Longitude	26.85° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	0 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Ediene**	Synthetic		

Simulation variant : **New simulation variant**

Simulation date 15/07/22 14h28

Simulation parameters		System type	**No 3D scene defined**		
Collector Plane Orientation		Tilt	39°	Azimuth	0°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
PV Array Characteristics					
PV module	Si-poly	Model	**JKM 335PP-72 (Plus)**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Jinkosolar		
Number of PV modules		In series	15 modules	In parallel	4 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	60	Unit Nom. Power	335 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**20.10 kWp**	At operating cond.	18.21 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	522 V	I mpp	35 A
Total area		Module area	**116 m²**	Cell area	105 m²
Inverter		Model	**SE-TH 10.0 TL3**		
Original PVsyst database		Manufacturer	G P Tronics		
Characteristics		Operating Voltage	160-850 V	Unit Nom. Power	10.0 kWac
				Max. power (=>25°C)	11.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	4 * MPPT 50 %	Total Power	20 kWac
				Pnom ratio	1.01
PV Array loss factors					
Array Soiling Losses				Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	251 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss				Loss Fraction	0.10 %
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

PVsyst analiz sonuçları 1.

Grid-Connected System: Main results

Project : GES PROJESI

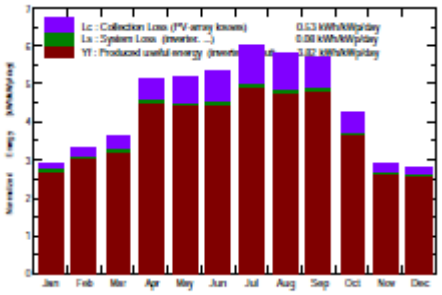
Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters	System type	Grid-Connected			
PV Field Orientation	tilt	39°	azimuth	0°	
PV modules	Model	JKM 335PP-72 (Plus)	Pnom	335 Wp	
PV Array	Nb. of modules	60	Pnom total	20.10 kWp	
Inverter	Model	SE-TH 10.0 TL3	Pnom	10.00 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	20.00 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)				

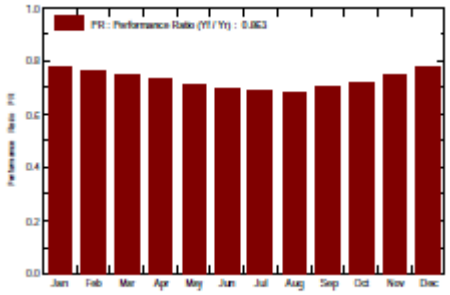
Main simulation results

System Production: Produced Energy 28.00 MWh/year; Specific prod. 1393 kWh/kWp/year; Performance Ratio PR 86.33 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 20.10 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	52.1	25.48	2.88	90.3	87.3	1.725	1.690	0.931
February	66.5	34.57	4.70	93.6	90.4	1.748	1.713	0.910
March	93.0	50.01	8.74	112.6	108.4	2.060	2.018	0.892
April	144.7	81.31	12.80	154.1	147.7	2.778	2.726	0.880
May	168.2	83.84	18.60	161.0	154.1	2.814	2.758	0.852
June	177.9	80.31	22.69	160.7	153.5	2.739	2.684	0.831
July	199.4	89.67	25.80	185.7	177.6	3.132	3.072	0.823
August	173.7	69.11	25.95	180.5	173.3	3.020	2.962	0.816
September	140.4	57.70	20.06	170.5	164.3	2.952	2.897	0.845
October	93.0	41.62	15.08	130.8	126.3	2.323	2.279	0.867
November	56.1	31.79	9.36	87.5	84.5	1.620	1.587	0.902
December	46.8	23.43	4.50	86.5	83.5	1.648	1.616	0.930
Year	1411.6	668.86	14.32	1613.9	1550.7	28.559	28.003	0.863

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

PVsyst analiz sonuçları 2.

PVSYST V6.70		15/07/22	Page 3/3

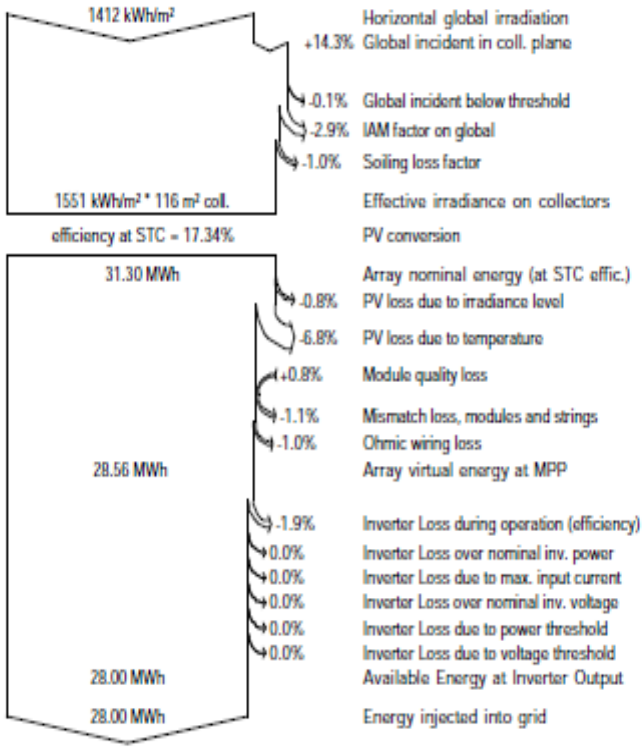
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : GES PROJESI

Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	39°	azimuth	0°
PV modules	Model	JKM 335PP-72 (Plus)	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	60	Pnom total	20.10 kWp
Inverter	Model	SE-TH 10.0 TL3	Pnom	10.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	20.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



PVsyst Analiz Sonuçları 3.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ACAR ilköğretim ve lise hayatını Diyarbakır'da tamamladı. Ardından lisans eğitimini Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamladı. Kocaeli'nde 1 yıl Asansör ve Proje çizimi üzerine çalıştıktan sonra 2020 yılında Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesinde çalışmaya başlamıştır.