

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ: ANKARA  
BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ EGO GENEL MÜDÜRLÜĞÜ BAKIM-ONARIM  
MERKEZİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÇALIŞMASI**

**Süleyman İÇTÜZER**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇANKIRI**

**2025**

TEZ ONAYI

Süleyman İÇTÜZER tarafından hazırlanan “**Güneş Enerji Santralının Teknik ve Ekonomik Analizi: Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü Bakım-Onarım Merkezi Güneş Enerji Santrali Çalışması**” adlı tez çalışması 28.05.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Abdullah AKBULUT

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Abdullah AKBULUT  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Oğuz ARSLAN  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Selma AKÇAY  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ersoy YILMAZ  
Enstitü Müdürü

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ: ANKARA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ EGO GENEL MÜDÜRLÜĞÜ BAKIM-ONARIM MERKEZİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÇALIŞMASI**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal oranının %20 olduğunu” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim. (24/06/2025).

Süleyman İçtüzzer

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ: ANKARA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ EGO GENEL MÜDÜRLÜĞÜ BAKIM-ONARIM MERKEZİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÇALIŞMASI

Süleyman İÇTÜZER

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdullah AKBULUT

Günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılamak için yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğayı ve çevreyi kirlettiği için fosil kaynaklı enerji santralleri yerine doğayı ve çevreyi daha az kirleten yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmektedir. Güneş enerjisi de yenilenebilir enerji kaynakları içinde en çok kullanılan kaynaklardır. Güneş ışığının içindeki enerjiyi elektrik enerjisine çeviren maddeler Silisyum, Galyum arsenur (GaAs), Kadmiyum tellür (CdTe) ve Kadmiyum sülfür (CdS) gibi maddeler güneş paneli yapımında tercih edilmektedir. Bu çalışmada güneş enerji santralinin elektriksel modeli çizilerek, Matlab programı yardımıyla akım, voltaj ve gücü ile I-V ve P-V arasındaki ilişki ve değişimler ayrıca grafiksel olarak da hesaplanmıştır. Farklı güneş ışınımında güneş panelinin elektriksel özelliklerindeki değişim hesaplanarak güneş panelinin elektrik üretimi bulunmuştur. Güneş panelinin çalışma şekli diyota benzediğinden güneş panelinden elde edilen akım hesaplanırken ideal diyot denkleminde faydalanılmıştır. Güneş panelinin akım hesaplamalarına güneş panelindeki direnç kayıpları da eklenerek ideal diyot denkleminin genişletilmiş formülü elde edilmiştir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren güneş panellerinin % 16-21'lik enerji dönüşümü ile elektrik ürettiği için güneş panellerini enerji santrali yapımında kullanılabilir duruma getirmiştir. Güneş santrali kurulacak yerin coğrafi özelliklerine dikkat ederek bilgisayarda simülasyon programlarıyla analiz edilerek aylık elektrik üretimi hesaplandı. Ankara EGO Genel Müdürlüğüne bağlı Araç Bakım Müdürlüğü'nün çatısına 1066,7 kW AC kurulu gücünde elektrik santrali inşa edilmektedir. PVSyst 7.4 ve PVSOL programları ile santralin simülasyonu yapılarak santralde kullanılan ekipmanların özellikleri, elektrik üretim miktarları ve ekonomik analizi elde edilmiştir. Yatırımdan elde edilen yıllık kâr miktarları ile yatırımın giderleri yıllık olarak bulunmuştur.

**2025, 81 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Güneş panelinin teknik analizi, güneş panelinin akım ve gerilim değişimlerinin analizi, güneş enerji santralinin planlanması, güneş enerji santralinin ekonomik analizi.

## ABSTRACT

### MASTER'S THESIS

#### TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT: ANKARA METROPOLITAN MUNICIPALITY EGO GENERAL DIRECTORATE MAINTENANCE- REPAIR CENTER SOLAR POWER PLANT STUDY

Süleyman İÇTÜZER

Çankırı Karatekin University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisors: Prof. Dr. Abdullah AKBULUT

Today, new and renewable energy sources are needed to meet the increasing energy demand. Renewable energy sources that pollute nature and the environment less are preferred instead of fossil fuel energy plants because they pollute nature and the environment. Solar energy is also one of the most used sources among renewable energy sources. Substances that convert the energy in sunlight into electrical energy such as Silicon, Gallium Arsenide (GaAs), Cadmium Telluride (CdTe) and Cadmium Sulfide (CdS) are preferred in solar panel production. In this study, the electrical model of the solar power plant was drawn and the relationship and changes between current, voltage and power, I-V and P-V were also calculated graphically with the help of the Matlab program. The change in the electrical properties of the solar panel in different solar radiation was calculated and the electricity production of the solar panel was found. Since the working method of the solar panel is similar to a diode, the ideal diode equation was used when calculating the current obtained from the solar panel. The extended formula of the ideal diode equation was obtained by adding the resistance losses in the solar panel to the current calculations of the solar panel. Solar panels, which convert solar energy into electricity, produce electricity with a 16-21% energy conversion, making solar panels usable in power plant construction. Considering the geographical features of the location where the solar power plant will be built, monthly electricity production was calculated by analyzing it with computer simulation programs. A power plant with an installed power of 1066.7 kW AC is being built on the roof of the Vehicle Maintenance Directorate affiliated to the Ankara EGO General Directorate. The plant was simulated with PVSyst 7.4 and PVSOL programs, and the characteristics of the equipment used in the plant, electricity production amounts and economic analysis were obtained. The annual profit amounts obtained from the investment and the expenses of the investment were found annually.

**2025, 81 page**

**Key Words:** Technical analysis of solar cell, analysis of current and voltage changes of solar cell, planning of solar power plant, economic analysis of solar power plant.

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının amacı, güneş enerji santrallerinin teknik ve ekonomik analizi ile elektrik üretim miktarını ve maliyetini bulmaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevreyi koruduğundan ve elektrik üretimi için kullanılabilir olduğundan insanlar için önemli bir enerji kaynağı olmuştur. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek ve elektrik akımı oluşturmak için yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Güneş enerji santrallerinde kullanılan malzemelerin maliyeti ise kurulacak santralin kapasitesine bağlı olduğundan santralin ekonomik analizi yapılarak güneş enerji santralinin karlılık oranı hesaplandı.

Tez çalışmamda çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Abdullah AKBULUT'a vermiş olduğu katkılar için çok teşekkür ederim. Tez çalışmamda bana devamlı destek gösteren EGO Bakım Onarım Müdürlüğü çalışanlarına ve Bakım Onarım Atölyesinde görevli Yüksek Makine Mühendisi Mehmet AÇIKGÖZ'e de çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI.....	I
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	V
SİMGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	X
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XII
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Güneş Enerjisi .....	1
1.2 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi .....	3
1.3 Fotovoltaik Güneş Santralleri .....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1 Güneş Pilleri.....	15
3.2 Güneş Pilleri ve Çeşitleri .....	16
3.2.1 Kristal Silisyum Piller .....	16
3.2.1.1 Monokristal güneş pilleri .....	16
3.2.1.2 Multikristal veya polikristal güneş pilleri .....	17
3.2.2 İnce-film güneş pilleri .....	18
3.2.3 Perovskite güneş pilleri .....	18
3.2.4 Silisyum haricindeki malzemelerden yapılan güneş pilleri .....	19
3.3 Güneş Açıları.....	19
3.4 Güneş Işınımının Hesaplanması.....	22
3.5 Güneş Panelinin Elektrik Modeli .....	26
4. PVSYST VE PVSOL İLE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI .....	35
4.1 EGO Genel Müdürlüğü Araç Bakım ve Onarım Atölyeleri.....	35
4.2 EGO Genel Müdürlüğü Güneş Enerji Santralinin Kurulumu .....	40
4.3 PVSYST İle Simülasyon Çalışması .....	48
4.4 PVSYST Simülasyon Verileri .....	59
4.5 PVSOL İle Simülasyon Çalışması .....	60
4.6 PVSOL Simülasyon Verileri .....	69

4.7 PVSYST ve PVSOL Sonuçlarının Karşılaştırması .....	70
4.8 EGO GES Santralının Ekonomik Analizi .....	71
4.8.1 Ortalama yıllık gelirin ortalama yatırım tutarına oranı yöntemi .....	71
4.8.2 Geri ödeme süresi yöntemi .....	72
4.8.3 Net bugünkü değer yöntemi .....	73
5. BULGULAR VE SONUÇLAR .....	76
6. ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	78
EK 1 : Güneş enerji santralının elektrik şeması .....	81



## SİMGELER DİZİNİ

MW	Megawatt
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş.
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A. Ş.
PV	Fotovoltaik
a-Si:H	Hidrojenli amorf silisyum
mono-Si	Monokristal silisyum
poly-Si	Polikristal silisyum
Si	Silisyum
GaAs	Galyum arsenür
CdTe	Kadmiyum tellür
CdS	Kadmiyum sülfür
R	Dünya ve güneş arası uzaklık
$G_{sc}$	Güneş sabiti, ( $W/m^2$ )
$G_0$	Yılın herhangi bir günü için güneş sabiti, ( $W/m^2$ )
n	Seçilen günün yılın ilk gününden itibaren kaçınıcı gün olduğu
$\alpha$	Yükseklik açısı, ( $^{\circ}$ )
$\delta$	Deklinasyon açısı, ( $^{\circ}$ )
$\beta$	Güneş azimut açısı, ( $^{\circ}$ )
$\gamma$	Yüzey azimuth açısı, ( $^{\circ}$ )
$\theta$	Geliş açısı, ( $^{\circ}$ )
$\theta_z$	Zenit açısı, ( $^{\circ}$ )
$\phi$	Enlem açısı, ( $^{\circ}$ )
$\omega$	Saat açısı, ( $^{\circ}$ )
S	Eğim açısı, ( $^{\circ}$ )
N	Güneş ışığı saatleri (s)
H	Yatay bir yüzeye gelen anlık güneş ışınımı miktarı, ( $kJ/m^2$ )
$H_0$	Dünya dışı güneş ışınım miktarı, ( $kJ/m^2$ )
$H_b$	Dik olarak genel güneş ışınımı miktarı, ( $kJ/m^2$ )
$R_b$	Dik genel güneş ışınımı yatay genel güneş ışınımına oranı
$H_d$	Yatay yüzeydeki difüz güneş ışınımı, ( $kJ/m^2$ )
$K_t$	Günlük berraklık oranı
$k_t$	Saatlik berraklık oranı
$H_y$	Yansıyan güneş ışınımı, ( $kJ/m^2$ )
$\rho$	Yansıma katsayısı

$H_t$	Toplam güneş ışıınıımı, ( $\text{kJ}/\text{m}^2$ )
$A$	Yıllık net nakit giriş ortalaması
$C$	Yatırım tutarı
$\dot{I}_a$	Yatırımın beklenen kârlılık oranı
$D$	Yıllık amortisman
$R_n$	Net nakit girişleri
$i$	İskonta faiz oranı
$\text{CNG}$	Sıkıştırılmış doğal gaz
$G$	Güneş ışıınıım değeri, $\text{W}/\text{m}^2$
$G_{\text{nom}}$	Standart test koşullarındaki güneş ışıınıım değeri, $\text{W}/\text{m}^2$
$K_i$	Akım sıcaklık katsayısı, $\text{A}/^\circ\text{C}$
$K_v$	Gerilim sıcaklık katsayısı, $\text{V}/^\circ\text{C}$
$q$	Elektron yükü, $1,60217646 \times 10^{-19}$ Coloumb
$k$	Boltzman sabiti, $1,38065 \times 10^{-23}$ J/K
$I_{\text{mp}}$	Maksimum akım
$V_{\text{mp}}$	Maksimum gerilim
$I$	Güneş panelinin çıkış akımı
$I_{\text{ph}}$	Paneldeki güneş ışığının oluşturduğu akım
$I_d$	Diyot akımı
$I_{\text{sh}}$	Paralel dirençte oluşan akım
$I_{\text{sc}}$	Kısa devre akımı
$V_{\text{oc}}$	Açık devre gerilimi
$R_{\text{sh}}$	Paralel direnç
$R_s$	Seri direnç

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi .....	2
Şekil 1.2 Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemi .....	3
Şekil 1.3 Aylık güneş enerji ışınımı (www.enerji.gov.tr) .....	4
Şekil 1.4 Ankara ili aylık ortalama güneş ışınımı (Koçer, vd. 2016) .....	5
Şekil 3.1 Güneş pilinin çalışma şeması (Yılmaz Ş., ELECO 2012) .....	15
Şekil 3.2 Monokristal güneş paneli (CW enerji 2024).....	17
Şekil 3.3 Multikristal güneş paneli (ACS enerji 2024) .....	18
Şekil 3.4 Güneş Açılımları .....	21
Şekil 3.5 Zenit açısı ve güneş açılımları.....	22
Şekil 3.6 Güneş pilinin elektriksel devresi.....	27
Şekil 3.7 CWT545 144PM10 güneş panelinin I-V grafiği .....	32
Şekil 3.8 CWT545 144PM10 güneş panelinin P-V grafiği.....	33
Şekil 3.9 Ocak, Şubat, Mart ayı saatlik güneş ışınımı .....	33
Şekil 3.10 Nisan, Mayıs, Haziran ayı saatlik güneş ışınımı.....	34
Şekil 3.11 Temmuz, Ağustos, Eylül ayı saatlik güneş ışınımı.....	34
Şekil 3.12 Ekim, Kasım, Aralık ayı saatlik güneş ışınımı .....	34
Şekil 4.1 Merkez atölye ana binadan görünüş (Açıkgöz 2019) .....	35
Şekil 4.2 Merkez atölye ana bina yandan görünüş.....	36
Şekil 4.3 Merkez atölye ana bina üstten görünüş (Açıkgöz 2019) .....	37
Şekil 4.4 Elektrik atölye binası üstten görünüş (Açıkgöz 2019).....	37
Şekil 4.5 CNG istasyonunun 2015-2018 yılları arasında elektrik tüketimi .....	38
Şekil 4.6 Bakım atölyesi güneş panellerinin montajı.....	40
Şekil 4.7 Bakım atölyesi güneş panellerinin montajı.....	41
Şekil 4.8 Elektrik atölyesinin çatı görüntüsü .....	41
Şekil 4.9 Elektrik atölyesinin güneş paneli yerleşimi .....	42
Şekil 4.10 CNG dolun istasyonunun görüntüsü.....	42
Şekil 4.11 Güneş enerji santralının yerleşim planı .....	44
Şekil 4.12 Güneş enerji santralının elektrik şeması .....	46
Şekil 4.13 PVSYST ana açılış ekran görüntüsü.....	48
Şekil 4.14 PVSYST ana menülerinin görüntüsü.....	49
Şekil 4.15 PVSYST coğrafi konum ana ekranı.....	50
Şekil 4.16 PVSYST’de kayıtlı hava durumu bilgileri.....	50
Şekil 4.17 PVSYST’de coğrafi konumun seçimi.....	51
Şekil 4.18 PVSYST’de hava durumu bilgilerinin görüntüsü.....	51
Şekil 4.19 PVSYST’de santralin simülasyonunun ana ekran görüntüsü .....	52
Şekil 4.20 PVSYST’de güneş panellerinin yerleşimi .....	53
Şekil 4.21 PVSYST’de güneş panellerinin yerleşim yönünün görüntüsü .....	54
Şekil 4.22 PVSYST’de güneş panelinin seçimi .....	55
Şekil 4.23 PVSYST’de alternatif akım eviricisinin seçimi.....	56
Şekil 4.24 PVSYST’de güneş paneli ve eviricilerin yerleşimi ve seçimi .....	57
Şekil 4.25 Ekonomik maliyetlerin fiyatlandırılması .....	58

Şekil 4.26 Ekonomik maliyetlerin analizi .....	59
Şekil 4.27 PVSYSY'T'de santralin proje bilgileri ve sonuçları .....	60
Şekil 4.28 PVSOL programının ana ekran görüntüsü.....	61
Şekil 4.29 PVSOL'de proje verilerinin görüntüsü.....	61
Şekil 4.30 PVSOL'de sistem türü, iklim ve şebekenin seçimi .....	62
Şekil 4.31 PVSOL'de simülasyon verilerinin seçimi .....	63
Şekil 4.32 PVSOL'de coğrafi yerleşim yerinin seçimi.....	63
Şekil 4.33 PVSOL'de güneş panellerinin çatıya yerleştirilmesi.....	65
Şekil 4.34 PVSOL'de güneş panelinin elektriksel özellikleri.....	66
Şekil 4.35 PVSOL'de güneş panellerinin ve eviricilerin bağlantısı .....	67
Şekil 4.36 PVSOL'de eviricilerin elektriksel özellikleri .....	67
Şekil 4.37 Growatt eviricisinin görüntüsü .....	68
Şekil 4.38 PVSOL'de santralin kablolama şeması .....	68
Şekil 4.39 PVSOL ile elde edilen elektrik verileri.....	69
Şekil 4.40 PVSOL ile elektrik üretim ve kullanım verileri.....	70
Şekil 4.41 PVSYSY'T ve PVSOL sonuçlarının karşılaştırması .....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Ortalama Yansıtma Katsayıları.....	26
Çizelge 3.2 CWT545-144PM10 Güneş panelinin özellikleri .....	31
Çizelge 4.1 Bakım Atölyelerinin çalışma alanları .....	36
Çizelge 4.2 Otobüs CNG dolum istasyonunun elektrik tüketimi.....	39
Çizelge 4.3 Güneş enerji santralının DC metrajı .....	47
Çizelge 4.4 Aylık güneş ışınım miktarları .....	64



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Güneş Enerjisi

Dünyamız güneş sisteminde yer alan bir gezegen olup güneşin etrafındaki yörüngesinde dönmektedir. Aynı zamanda insanların ihtiyaç duyduğu enerji içinde elektrik enerjisine dönüştürülebilir bir enerji kaynağı olmaktadır. Enerji üreten panellerin gelişmesiyle güneşten gelen enerji yüklü ışınların enerjisi kullanıldığından çevreci ve temiz enerji elde edilmektedir. Ayrıca sıcak su ısıtma sistemleri yapılarak güneş panelleri ile sıcak su da elde edilmektedir. Güneşin içinde yer alan birçok elementin kimyasal reaksiyonlara girmesiyle enerji açığa çıkmaktadır. Güneşin etrafına verdiği enerjisinin 1.367 W'ı dünyamıza ulaşmaktadır. Güneş enerjisinin kullanılmaya başlanmasıyla bu enerji kaynağının devamlı olması ve geliştirilen güneş panelleriyle istenilen güçte enerji üretilmesi için önemli bir kaynak olmuştur. Enerji verimliliği devamlı aratan güneş panellerinin verimleri, üretimde kullanılan malzemelere göre farklılık göstermektedir. Güneş panellerinin verimleri %16-21 aralığında değişmektedir. Güneş enerjisi panelleri üzerindeki gelişmeler ile ekonomik ve temiz ısı ve elektrik üretimi daha da ilerlemektedir (www.enerji.gov.tr 2024).

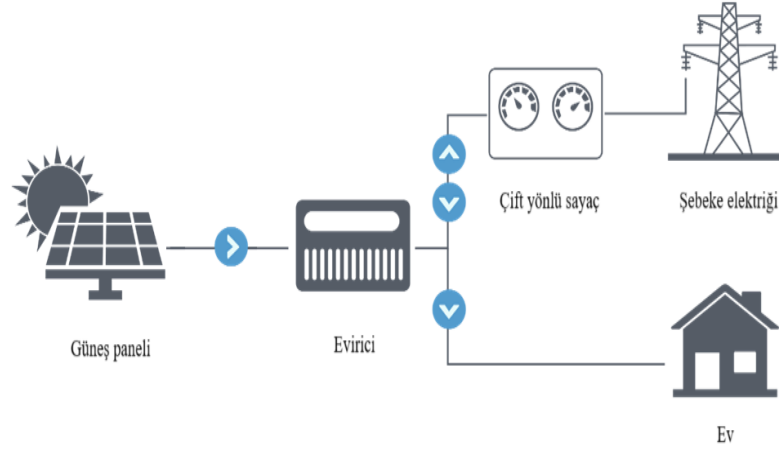
Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında 62 MW/m<sup>2</sup> enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışınım değeri yaklaşık 1.370 W/m<sup>2</sup>'dir. Güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı dünyanın şekli nedeniyle büyük farklılıklar göstermekte olup, dünyaya gelen güneş enerjisi ortalama 0 – 1.100 W/m<sup>2</sup> mertebesindedir. Güneş radyasyonunun enerji olarak % 46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, % 45'i görünür ışık bölgesinde geri kalan %10'u da mor ötesinde bulunur. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, % 30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımının % 20'si ise, atmosfer ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur (Ateş M.B. vd. 2009). Güneşten gelen ışınımında enerji yüklü parçacıklar vardır. Güneş ışığından elektrik üretimi güneş ışınımını elektrik akımına çeviren güneş panelleri kullanılarak yapılmaktadır. Güneş

panellerinden elde edilen doğru akım, şarj regülatörünü geçtikten sonra doğru akım ile çalışan aydınlatma ve aletleri beslemektedir. Aynı zamanda fazla akım aküde daha sonra kullanılacak şekilde depolanmaktadır. Günümüzde kullandığımız aletler genellikle alternatif akım ile çalışmaktadır. O yüzden elde edilen doğru akımın aletleri çalıştırması için alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. Güneş panellerinin ürettiği doğru akım evirici yardımıyla alternatif akıma çevrilir. Daha sonra eviricinin alternatif akıma çevirdiği elektrik akımı ekipmanları çalıştırmak için kullanılır. Güneş enerji sisteminin nasıl çalıştığı şekil 1.1’de gösterilmiştir (Akcan vd. 2020).



Şekil 1.1 Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi

Elektrikli araç ve ekipmanları çalıştırmak için ihtiyaç duyulan enerjiyi üretmekte güneş enerjisi sistemlerinden faydaniılmaktadır. Güneş enerji sisteminin üretmiş olduğu enerjiyi kullandıktan sonra artan fazla enerjiyi yakında bulunan şebeke hattına bağlayarak şebekeye de elektrik verebilmektedir. Şebeke bağlantılı güneş enerjisi şebeke bağlantısız enerji sistemine ilave olarak çift yönlü elektrik sayacı kullanılmaktadır. Güneş panellerinden üretilen elektrik doru akım olduğundan eviricide alternatif akıma çevrilir çünkü elektrikli ekipmanların çoğu alternatif akım ile çalışmaktadır. Eviricilerde doğru akımdan alternatif akıma çevrilen enerji daha sonra kullanmak üzere elektrik tesisatına veya şebeke hattına iletilir (Akkaya ve Oy 2021). Şebeke bağlantılı güneş sisteminin bağlantı şeması Şekil 1.2’de verilmiştir.



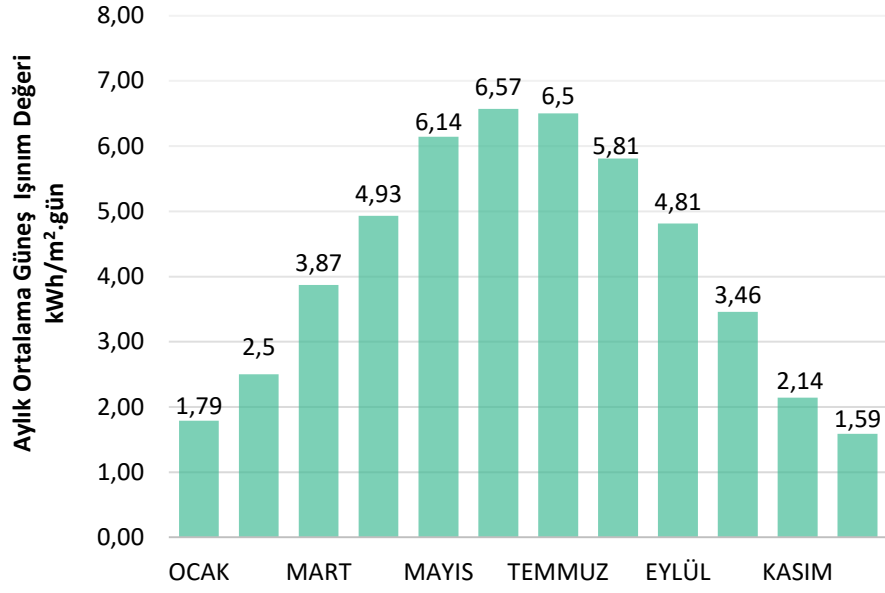
Şekil 1.2 Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemi

## 1.2 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Dünyamızın şeklinin küresel olmasından dolayı coğrafi konuma göre güneşten aldığı enerji miktarı değişiklik göstermektedir. Ülkemizin coğrafi konumu  $36^{\circ}$  - $42^{\circ}$  derece kuzey enlemleri ile  $25^{\circ}$  - $45^{\circ}$  doğu boylamları arasında yer aldığından güneş enerjisini yılın büyük bir bölümünde almaktadır. Ülkemizin güneşten aldığı enerji değerlerine göre, bir yıl içinde güneşten aldığı ışıınım süresi 2.741 saattir. Bu alınan ışıınım süresini bir yıldaki gün sayısına oranlarsa, günlük ortalama 7,5 saat olarak hesaplanır (www.enerji.gov.tr 2024).

Güneş panellerinin gelişmesiyle birlikte güneş enerji santrallerinin kurulduğu ülkemizde, güneş enerji santral sayısı 2022 yılında 9.353 adede erişmiştir. 2022 yılında güneş enerji santrallerinden elde edilen kurulu güç 8.479 MW'a ilerlemiştir. Diğer enerji santralleri içindeki kurulu güç oranı ise 2022 yılında %8,35'e ulaşmıştır. Şekil 1.3'de ülkemizin aylık ortalama güneşten aldığı enerji miktarları gösterilmektedir. Mart, nisan, eylül aylarında ülkemizin aldığı enerji miktarı bir ay içinde, günde  $4.500 \text{ Wh/m}^2$  güneş ışığından faydalanılmakta iken yazın mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül aylarında gün içinde  $6.500 \text{ Wh/m}^2$  güneş ışığından faydalanılmaktadır (TEİAŞ 2024).

Güneş panellerinin enerji üretim kapasitelerinin artmasıyla güneş enerjisinde elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Güneş panellerinin üretiminin artmasıyla güneş enerji santrallerinin sayısı da artmaya başlamıştır.



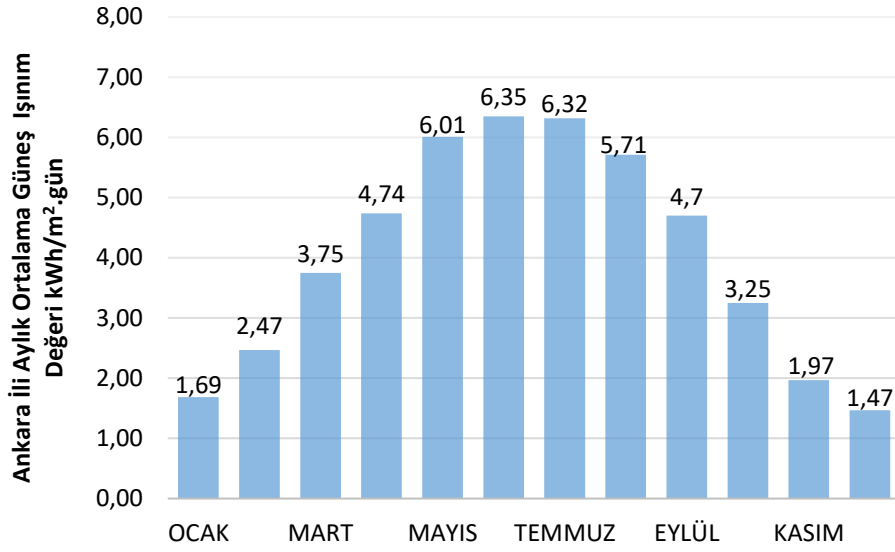
Şekil 1.3 Aylık güneş enerji ışınımı (www.enerji.gov.tr)

2016 yılında kurulu güneş enerji santrallerinin gücü 833 MW'a ulaşmıştır. Güneş panellerinin verimlerinin ve santral sayısının artmasıyla 2017 yılında ki kurulu güç 3.421 MW olmuştur. Diğer yıllarda da güneş santrallerinin kurulmasıyla toplam kurulu güç 2022 yılında 8.479 MW olmuştur. (TEDAŞ 2024).

### 1.3 Fotovoltaik Güneş Santralleri

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren güneş panelleri, güneş enerjisi üretiminin en önemli parçasını oluşturmaktadır. Güneşten gelen ışınım, fotovoltaik güneş panelleri vasıtasıyla elektrik akımına dönüştürülmektedir. Ankara ilinin bir yıl boyunca güneşten gelen global ışınım ölçümleri (kWh/m<sup>2</sup>.gün) şekil 1.4'de verilmektedir. Bu ölçümlerde metrekareye bir günde düşen güneş enerjisinin miktarları görülmektedir. Güneş ışınımı mayıs, haziran ve temmuz aylarında en yüksek değerlere ulaşmaktadır, yaz aylarında alınan güneş ışınımı ortalama 6.300 Wh/m<sup>2</sup>.gün'dür. Sonbahar ve ilkbahar aylarında ise güneş ışınımı 3.750 Wh/m<sup>2</sup>.gün ile 4.700 Wh/m<sup>2</sup>.gün aralığında değişmektedir.

Güneş panellerindeki dönüşüm güneş panelinin içinde bulunan p ve n tipi yarı iletken malzemelerin kullanılmasıyla oluşan elektrik alan sayesinde elektronların hareketinin bir yönde akmasını sağlar. PN yarı iletkeninde fazla elektron bulunan n tipi yarı iletken madde ile fazla pozitif yük bulunan p tipi yarı iletken madde yan yana getirilir.



Şekil 1.4 Ankara ili aylık ortalama güneş ışınımı (Koçer, vd. 2016)

Elektriksel alan, elektron sayısı fazla olan parça ile elektron sayısı az olan parça arasında oluşur. Bu iki parçasının birleşim yerine güneş ışınları çarptığında, buradaki elektronlar ışığın enerjisini alır ve elektrik alan ile pozitif ve negatif yüklerin birbirine zıt yönde hareket etmesiyle doğru akım oluşur. Güneş paneline gelen enerji değerleri şekil 1.4’de verilmiştir. Elde edilen bu akım bir bataryada depolanabilir veya bir evirici yardımıyla doğru akımdan alternatif akıma çevrilerek kullanılabilir. Fotovoltaik güneş panellerinde, en çok tercih edilen malzeme silisyum elementidir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren maddenin yarı iletken özellik gösteren malzemeden yapılması, yarı iletken maddenin de çok yalıtkan bir madde ile çok iletken bir maddenin arasında bir madde olması gerekir. Bu özelliklere sahip birçok element içinden güneş hücresi elde etmek için en uygun olanlar, silisyum, kadmiyum sülfür, galyum arsenit, kadmiyum tellür, gibi elementlerdir. Güneş panelleri üzerinde yapılan birçok araştırma sonucunda değişik özelliklere sahip güneş panelleri üretilmiştir. Bunların içinde en çok kullanılan güneş panelleri ise tek kristalli silisyum hücreleri, çok kristalli silisyum hücreleri, ince flim güneş hücreleri olarak hidrojenli amorf silisyum (a-Si:H) ve polikristal silisyum (poly-S) maddeler kullanılır, GaAs, CdTe ve CdS ’dir. Güneş panelleri kullanılacak yere göre istenilen şekilde üretilebilmektedir. Güneş panellerini oluşturan tek bir hücrenin alanı  $100 \text{ cm}^2$  ve kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm aralığındadır. Güneş pillerinin bir araya getirilmesi ile güneş panelleri oluşturulmaktadır. Günümüzde

elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanılan güneş panellerinin yüzey alanları  $2 \text{ m}^2$  ve güçleri ise  $675 \text{ W}_p$  değerlerine ulaşmış durumdadır. Güneş panellerinin bir araya getirilmesi ile birlikte yüksek güçlerde güneş panelleri ve güneş enerji santralleri (GES) tesis edilebilmektedir. Günümüz teknolojileri ve kurulumun şekline (sabit sistem, güneşi takip eden sistemler) bağlı olarak 13-25 dönüm büyüklüğündeki bir alana 1 MW kapasitesinde GES kurulabilmektedir. Geniş yüzey alanlarına sahip bina çatılarına ve cephelerine kurulan güneş enerji santralleri ile elektrik enerjisi tüketim noktalarında da elde edilebilmektedir ([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) 2024).



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yenilenebilir enerji kaynaklarından çevre şartlarına bağılı olarak enerji üretilmektedir. Güneşten enerji üretimi de çevre şartlarına bağılı olarak değişmektedir. Güneş enerjisinin değişen sıcaklık, ışınım ve gölgeleme durumları için Simulinkte eşdeğer devre modeli oluşturularak elektrik üretim verileri elde edilmiştir. Güneş panellerinin artan sıcaklık ile akım değerlerinin arttığı, gerilim değerlerinin ise düştüğü görülmüştür. FV sistemin çıkış akımının analitik ifadesi,  $I_f = 0,037 \cdot T^{1,745} + 41,769 \cdot G^{0,084} - 61,657$  formülü kullanılarak elde edilmiştir. FV sistemin çıkış gücünün analitik ifadesi  $P = -0,771 \cdot T^{1,789} + 154,431 \cdot G^{0,301} - 329,064$  formülü kullanılarak elde edilmiştir. Doğru akımı doğru akıma dönüştüren, DC/DC yükseltici dönüştürücünün çıkış geriliminin sıcaklık ve ışımaya bağılı analitik ifadesi ise  $V = 150.000 \cdot T^{-20} + 2265,075 \cdot G^{0,665} + 191,05$  formülü kullanılarak elde edilmiştir. (Adak vd. 2019).

Güneş enerjisinin yaygın kullanılmasıyla güneş enerjisinin eşdeğer devre modelleri oluşturulmuştur. Güneş pilinin elektriksel devre modellerindeki parametrelerin elde edilmesi için iki yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntemde güneş pilinin ürettiği akım  $I_L$  akımı kısa devre akımı  $I_{sc}$ 'ye eşit alınarak, kısa devre noktasında  $I_{sc}$  denklemi, açık devre noktasında  $V_{oc}$  gerilim denklemi ve maksimum akım ile maksimum gerilim denklemleri elde edilmiştir. İkinci yöntemde ise akımın türevi alınarak  $R_s$  direncinin ifadesi elde edilir. Bu çalışmada diyot akımı olarak ifade edilen Shockley eşdeğeri kullanılmıştır. Ayrıca eşdeğer devrede yer alan  $R_s$  parametresinin bulunması için Shockley denkleminde elde edilen formüller kullanılmıştır. Matlab ortamında güneş pilinin I-V ve P-V grafiklerinin sonuçları deneysel olarak elde edilen verilerle kıyaslanmıştır. Birinci yönteminin ikinci yönteme göre deneysel sonuçlara daha yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca farklı ışınım şiddeti ve farklı sıcaklıklarda, ışınım şiddetinin kısa devre akımı üzerinde, sıcaklığın ise açık devre gerilimi üzerinde oldukça etkin değişkenler olduğu bulunmuştur (Toprak vd. 2016).

Bu çalışmada Şanlıurfa ilinde bulunan üniversitenin eğitim binalarına güneş enerji ile elektrik üretimi düşünülmüştür. Güneş enerjisi sistemi ile üniversite eğitim binalarının çatısından elektrik üretimi amaçlanmıştır. Bunun için ise 3 farklı güneş paneli ile analiz yapılmıştır. Monokristal silikon, Multikristal silikon ve CdTe PV panelleri kullanıldığı durumlarda ne kadar elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır. Güneş enerji

sisteminden elde edilen elektriği enerjisi  $E = A \cdot \eta \cdot I_T \cdot Pr$  formülü ile bulunmuştur. Bu denklemde, A; güneş panellerinin yüzey alanını,  $\eta$ ; güneş panelinin verimliliğidir,  $I_T$  ifadesi ise modül yüzeyine gelen güneş ışınımıdır ( $W/m^2$ ), Pr kayıpları belirten performans oranını göstermektedir. Bu çalışmada performans oranı 0,85 olarak hesaplanmıştır. Güneş panellerinin birim alanından aylık ortalama elektrik üretimi mono-Si panel için 28,70 kWh, p-Si panel için 25,90 kWh ve CdTe için 19,50 kWh olarak hesaplanmıştır. Mono-Si PV panel kullanılmasıyla birim alandan senelik üretilebilecek elektrik 345 kWh'tir. p-Si ve CdTe PV paneller için ise senelik üretim sırasıyla yaklaşık 311 kWh ve 234 kWh elektrik üretilmiştir (Yıldırım vd. 2021).

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne ait Farabi kampüsünün elektrik kullanım miktarları hesaplanmış olup bu enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile üretilmesi için analiz edilmiştir. PVSOL programı ile yapılan hesaplamalarda ne kadar enerji üretilebileceği hesaplanmaya çalışılmıştır. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi kampüsündeki içinde yer alan 14 adet binanın çatısına güneş panelleri yerleştirilerek toplamda 1.917,44 kWp kurulu gücünde enerji santralının kurulması amaçlanmıştır. Kurulan bu santralle senelik 2.354.885 kWh gücünde elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır. Kampüsteki binaların bulunduğu Zonguldak ili içerisinde ise yıllık toplam güneşlenme süresi 3,25 saat (günlük ortalama 6,5 saat), yıllık toplam 1.313 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük ortalama 3,60 kWh/m<sup>2</sup>.gün) güneş enerjisi almaktadır. Farabi kampüsünün 2023 yılı içinde kullandığı toplam elektrik enerjisi 3.210.000 kWh olarak bilinmektedir. PVSOL programı kullanılarak yapılan çalışmadan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre PV Modül sayısı 6.087 (Adet) , PV Jeneratör Çıkışı 1.917,44 (kWp), PV Jeneratör Yüzeyi 9.981,20 (m<sup>2</sup>), Evirici sayısı 122, Yıllık Özgül Kazanç 17.158,76 (kWh/kWp), Toplam üretilen elektrik enerjisi 2.354.885 (kWh) , Önlenebilir CO<sub>2</sub> Emisyonu 1.105.737 (kg/yıl) olarak hesaplanmıştır. Çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetinin 2023 yılında 1 kW elektrik başına 1.000\$ + KDV tutmaktadır. Güneş enerjisinin toplam maliyeti ise yaklaşık 1.917.440\$ + KDV tutarında olmaktadır (Ay ve Pamuk 2023).

Fabrikalar artan enerji maliyetlerine karşı güneş enerjisi sistemlerini kurmuşlardır. Bununla birlikte üretilen enerjinin de kalitesinin istenen şartlara uygun olmalıdır. Bunun için bir tekstil fabrikasında kurulan bir güneş enerji santralinin enerji kalitesinin analizi yapılmıştır. Enerji kalitesi bir güç analizatörü ekipmanı ile yapılmıştır. Elektrik

enerjisinin gerilim frekansının kaliteli olarak nitelenmesi için, TS EN 50160 standardında enterkonnekte sisteme bağlı sistemlerin besleme gerilimi anma frekansının normal çalışma koşullarında 1 yıl boyunca ölçülen ve 10 saniyelik ortalama değerlerinin % 99,5'i, şebeke frekansı 50 Hz'in  $\pm$  % 1 (49,5 Hz-50,5 Hz) aralığında olmalıdır. Elektrik enerjisinin gerilim genliğinin kaliteli olarak görülmesi için, enterkonnekte sisteme bağlı sistemlerin besleme gerilim genliğinin normal çalışma şartları altında 1 hafta boyunca ölçülen ve 10 dakikalık ortalama değerlerinin % 95'i, şebeke gerilim genliğinin  $\pm$  % 10, tamamının +% 10 - % 15 aralığında olması gerekmektedir. TS EN 50160 standardına göre elektrik enerjisinin dengeli bir gerilim olarak görülmesi için, besleme gerilimi negatif faz sıralı bileşenin 1 hafta boyunca ölçülen ve 10 dakikalık ortalama değerlerinin % 95'i, pozitif faz sıralı bileşenin % 2'sini aşmamalıdır. Toplam harmonik bozulma için limit değer 34,5 kV'a kadar olan tesislerde % 5 altındaki değerler güvenilirdir. Toplam harmonik bozulma için % 8'in üzeri değerler maksimum sınır değeridir. Ayrıca 3. harmonik % 5'in, 5. harmonik % 6 değerinin, 7. harmonik % 5'in altında olmalıdır. Yapılan ölçümlerde enerji kalitesi sınır değerlerde % 5,91 olduğu görülmüştür. Bölgeye kurulan güneş enerjisi santrallerinin şebekeye bağlanmasıyla birden fazla santral çalıştığı için şebekedeki elektrik kalitesi düşmektedir (Dinçer ve Karadağ 2022).

Özellikle Marmara Bölgesinde kurulan konteyner limanlarının güneş enerjisinden faydalanarak elektrik üretiminin sağlanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada Marmara (Kocaeli) bölgesinde bulunan büyük ölçekli bir konteyner limanında fotovoltaik yenilenebilir enerji sistemi kurulmasının PVGIS ile üretim ve maliyet analizi ile birlikte çevresel analizini yapılmıştır. Kocaeli Bölgesindeki büyük ölçekli bir konteyner limanında 2019 yılına ait yıllık elektrik tüketim miktarı 11.201.143 kWh/yıl olmaktadır. Güneş enerji santralini kurulacağı yer olarak incelenen konteyner limanında bulunan antrepo ve atölye binasının çatısıdır. Atölye binasının çatısının toplam alanı 1.700 m<sup>2</sup>'dir. Antrepo binasının toplam alanı çatı alanı ise 4.250 m<sup>2</sup>'dir. Konteyner limanının tamamına 962 kWp güce sahip PV sistem kurulabileceği hesaplanmıştır. PVGIS yazılımıyla Antrepo PV sistem gücü 686 kWp, Atölye PV sistem gücü 276 kWp olarak hesaplanmıştır. PV sistemi ile güneş enerjisi santralinden yıllık toplam 1.061.034 kWh/yıl elektrik üretimi mümkün olacaktır. PV sistemden elde edilecek elektrik ile konteyner limanının yıllık elektrik ihtiyacının %9,47'lik kısmı güneş enerji santralinden

karşılanmış olacaktır. Konteyner limanındaki antrepo ve atölye çatılarına kurulması düşünülen dört adet çatıdaki PV santralinin toplam maliyeti 5.439.800 TL olmaktadır. Konteyner limanının yıllık elektrik ihtiyacı 11.201.143 kWh/yıl mevcut durumda şebekeden sağlanmakta olup bunun için yılda yaklaşık 11.285.970 TL ödenmektedir. PV sistem kurulması durumunda ise güneş enerjisinden üretilecek olan 1.061.034 kWh/yıl elektriği doğrudan kendisi kullanabileceği için elektrik faturasından yılda yaklaşık 1.069.069 TL kazanç sağlayabilecektir. PV santrali ile yıllık 500,3 tCO<sub>2</sub> /yıl sera gazının atmosfere salımı önlenmiş olacaktır. Diğer bir ifadeyle 1.163,5 varil petrol tüketilmemiş olacaktır (Dal ve Yılmaz 2022).

Güneş enerji sisteminin kurulumu için, analiz programlarının kullanımı istenilen enerji ihtiyacına uygun santral tesisi yapmak için bu analiz programlarından faydalanılmaktadır. Bu çalışmada, simülasyon ortamında PVSOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS, PV simülasyon programları ile iklim verilerinin, yük taleplerinin ve temel sistem bileşenlerinin simüle edilmesi ve kurulu 1MW güneş enerji santralinin genel özelliklerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. FV enerji santrali tarafından üretilen elektrik miktarı ile bilgisayarda analiz ile elde edilen elektrik miktarı karşılaştırılarak simülasyon programlarının doğruluğu gözlenmiştir. Simülasyon programları arasında Helioscope programının gerçek çevre verilerine en yakın sonucu vermiştir. en az hata oranını vermesi bakımından diğer simülasyon programlarının sırası ise PVGIS, Polysun Online ve PVSOL simülasyon programları da en yakın sonuç elde edilmiştir. FV simülasyon programlarının, ileride daha yakın değerler elde edeceği düşünülmüştür. 1 MW kurulu güç elde etmek için 3.784 adet 265 Wp güneş paneli kullanılmıştır. Güneş panellerinin yerleşim açısı yatayda 25° ve 0° yatay azimut açısı ile güney cephesinde güneşi almaktadır. Toplam elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta'da kurulan GES'nin üretim değeri yıllık 1702,29 MWh'dir. Buna en yakın değeri 1723,3 MWh ile Helioscope programı vermektedir. İkinci olarak 1724,3 MWh ile PVGIS programının da en yakın değer elde edilmiştir. Polysun programı ise 1639,5 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. PVSOL ise 1.574 MWh üretim miktarı ile en uzak değere sahiptir. Elde edilen bu değerler karşılaştırıldığında Isparta GES toplam enerji üretimi değerine göre en yakın simülasyon programı % 1,2 hata ile Helioscope simülasyon programı olmuştur. İkinci sırada ise %1,3 hata ile PVGIS simülasyonu olmuştur. Üçüncü sırada %3,6 hata ile Polysun simülasyon programı bulunmaktadır. Isparta GES

toplam enerji üretim değeri verilerine göre en uzak değere sahip simülasyon programı ise %7,5 hata ile PVSOL simülasyon programıdır (Ceylan ve Taşdelen 2018).

Güneş enerji sisteminin Süleyman Demirel Üniversitesinde uygun binaların çatısına yerleştirilerek enerji elde edilmesi düşünülmüştür. Bunun için elektrik üretiminin, maliyetinin ve karbon emisyonunun analizinde SMA design programı tarafından hesaplaması yapılmıştır. Yapılan çalışmada proje yatırımın öz sermaye ile karşılanması durumunda yatırımdan yıllık %96 kazanç elde edileceği hesaplanmıştır. Yatırımın geri dönüş süresi ise 14 yıl olmaktadır. Çalışma yeri olarak Süleyman Demirel Üniversitesi kampüsünde uygun görülen 29 fakülte binasına PV çatı santralini yapılması uygun görülmüştür. Her binanın çatısına 25 kW'lık elektrik enerjisi kapasitesine sahip depolama ekipmanı olmadan şebekeye bağlanmıştır. Güneş panelleri binaların çatısına yerleştirildiğinde bir binadan yıllık 39.394,80 kW enerji elde edilmektedir. Binaların tamamına uygulanması durumunda ise 1.142,44 MW enerji üretilmektedir. Kurulan bu santraller ile 2011 yılı verileri temel alındığında üniversitenin toplam enerji tüketiminin %15'i güneş enerjisinden sağlanmış olmaktadır. 25 kW'lık bir santralde 787,9917 ton CO<sub>2</sub>/yıl sera gazları emisyonunu azaltmış olacaktır. Yatırımdan elde edilen gelir toplandığında 9. yılın sonunda 2.604.672,00 TL kazanç elde edilmiş olacaktır. Kurulan bu elektrik santrali ile 9. yılın içerisinde kar elde etmeye başlamış olacaktır (Üçgül vd. 2014).

Enerjinin en çok kullanıldığı yerlerden birisi olan aydınlatma lambalarında güneş enerjisinden yararlanmak üzere yapılan çalışmalar analiz edilmiştir. Bu çalışmada şebekeye bağlı sokak aydınlatmasına PV panel eklenerek akıllı sokak aydınlatması planlanmıştır. Gündüz güneş enerjisinden elde edilen elektrik bir aküde depolanarak sokak lambasının aydınlatılması sağlanmıştır. Aküde depolanan enerjinin düşmesi durumunda ise şebeke enerji olarak sistemin sürekli çalışması sağlanmış olacaktır. Sokak lambasının çalışması için gerekli olan yazılımsal ve donanımsal elektronik aygıtlar da kullanılmıştır. Aydınlatmada kullanılan klasik yüksek basınçlı sodyum armatür 175 W elektrik tüketirken led armatür 90 W elektrik tüketmektedir. Bunun için sokak aydınlatma lambasında led lambalar seçilmiştir. Sokak lambasının ışık şiddeti araç veya yaya sayısına göre ayarlanabilmektedir. PV panelin güneşlenme süresine bağlı olarak Trabzon ili Of ilçesinde gün içinde 6 saat elektrik üretebilmektedir. Havanın kararması durumunda ise 8 saat aydınlatma sağlayacağı planlanmıştır. Akü

gerilimi 10,5 V değerine düştüğünde şebekeden elektrik olarak akü doldurulacak ve akü dolduğunda otomatik olarak solar şarj regülatörü ile şebeke bağlantısı kesilecektir. Led armatür grubunun parlaklık değerleri normal aydınlatmada birinci parlaklık konumda çalışmaktadır, sensör sokakta hareket algılandığında ise ikinci parlaklık konumda ortamı aydınlatacaktır. 8 saat aydınlatma için gereken en az güç 0,4 kWh, en fazla güç ise 0,8 kWh olacaktır. Güneşin olduğu sürece 5 saat PV panelin enerji üretmesi ile 1 saat şebeke takviyesi gece boyu minimum aydınlatma ihtiyacını karşılamaktadır (Akyazı vd. 2019).

Güneşten elektrik enerjisi elde etmek için güneş panelleri kullanılmıştır. Güneş paneli üzerine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren yarıiletken maddeler sayesinde olmaktadır. Güneş pilinin çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve güneş ışığı şiddeti, eşdeğer devrenin seri direnci, paralel kol sayısı, seri bağlı hücre sayısı, yarıiletken sabiti gibi değişkenlerin elektrik üretimine olan etkileri gözlenmiştir. Güneş pilinin eşdeğer modeli çizilerek üretilen elektriğin akım ve gerilimi hesaplanmıştır. Güneş panellerinin içinde birbirine bağlı seri ve paralel kollardan oluşmuştur. Seri bağlı güneş pillerinin toplam gerilimi, aynı akım değeri için her bir güneş pili gerilim değerinin toplanmasıyla elde edilir. Paralel bağlı güneş pillerinin toplam akımı, aynı gerilim değerleri için üretilen akım değerlerinin toplamıdır. Bu çalışmada Sharp marka güneş panelinin analizi yapılmıştır. PV'nin elektriksel özellikleri; Güç: 185,0 W,  $V_{mp}$ : 36,21 V,  $I_{mp}$ : 5,11 A,  $V_{oc}$ : 44,9 V,  $I_{sc}$ : 5,75 A dir. Güneş paneline gelen ışık şiddeti 0 dan 1.000  $W/m^2$ 'ye artırıldığında akım gerilim grafiğinde akımı artırdığı ve güç gerilim grafiğinde ise gücü artırdığı gözlenmiştir. Sıcaklığı 250 den 310 Kelvine kadar artırılmıştır ve elektriksel özelliklerin değişimi incelenmiştir. Sıcaklığın akım-gerilim grafiğinde akımı artırdığı fakat gerilimi düşürdüğü, güç-gerilim grafiğinde ise gerilimi ve gücün tepe değerini düşürmüştür. Eşdeğer devrenin seri direnci 0,01'den 0,5 ohma kadar artırılarak, elektriksel özelliklerin değişimi incelenmiştir. Eşdeğer Devrenin Seri Direncinin artması sonucunda, akım-gerilim ve güç-gerilim grafiğinde maksimum değerlerini düşürmüştür (Yılmaz vd. 2012).

Güneş panellerinin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, elektrik ihtiyacını sürekli karşılamak için güneş panellerine güç kaynağı olarak akü bağlanmıştır. Burada yapılan çalışmada, güç kaynağının kullanımı ve özellikleri üzerinde olmuştur. Gündüz ve gece değişimlerinin, elektriğin kullanımının akü üzerinde oluşturduğu etkilerde gözlenmiştir.

Devrede DC/AC çeviriciler kullanılmış ve güç denkleştirme ile enerjinin verimli kullanılması için kontrol edilmiştir. FV/Akü grubu, ev tipi klimalar, su pompaları ve havalandırma gibi yüklerdeki küçük ölçekli FV kaynaklarının etkin kullanımı için bir temiz enerji sisteminin benzetim diyagramı geliştirilmiştir. Çatı tipi güneş enerjisinin tüm parçaları FV, DC/AC çeviriciler ve kontrol ekipmanları, MATLAB/ Simulinkte analiz edilmiştir, güneş enerjisinden elde edilen elektriğin gösterdiği değişimler analiz edilmiştir. Ayrıca yükler üzerindeki gerilimin dalga şeklini düzeltmek ve harmonikleri azaltmak için filtreler kullanılmış ve bu filtrelerin etkinlikleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Fotovoltaik güneş pilinin eşdeğer devre modeli dikkate alınarak Simulink programında gösterilmiştir. Fotovoltaik güneş modeline enerjisini sürekli iletilmesi için akü bağlanmıştır. Elektrik üretimi çatıya yerleştirilen 8 adet seri ve 2 paralel panelden oluşmaktadır. Sistemde kullanılan aküler 160 V gerilim değerine sahip ve akımı 10 A'lıktır. Elektrik üretiminde oluşacak dalga bozulmalarını düzeltmek için filtreler kullanılmıştır. Filtrelerin oluşan elektrik dalgalarını düzelttiği gözlenmiştir. Ayrıca 100 mW/cm<sup>2</sup> değerinden t=0,02-0,04 sn aralığında %30 azaltılarak 70 mW/cm<sup>2</sup> değerine getirilmiştir. Bu sefer t= 0,04-0,1 sn aralığında bu değer tekrar azaltılarak 40 mW/cm<sup>2</sup> değerine düşürülmüş ve elektrik üretimindeki değişiklikler analiz edilmiştir (Altaş ve Mengi 2007).

Ankara kurulacak olan güneş panellerinden daha çok elektrik üretmek için panellerin eğim açısının belirlenmesine çalışılmıştır. Ankara il ve ilçelerinde yerleştirilen güneş panellerinin yıllık eğim açısı 34°±1 olarak hesaplanmış buna karşın yıl içerisindeki panellerin yerleştirilme açılarının 1-67° arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmaların sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Güneş ışınlarının geliş açısı sürekli değiştiğinden, altı aylık periyotlar için 15° ve 56°, mevsimlik (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) periyotlar için ise sırasıyla 62°, 23°, 6° ve 49° olarak hesaplanmıştır. Sadece yılda iki kez eğim açısı değiştirildiğinde birim alana gelen enerji miktarı arttırıldığından % 5 verim artışı sağlar. Panellerin eğim açısı her ay güneşi dik açı ile alacak şekilde değiştirildiğinde ise elektrik üretiminde % 10 artış sağlandığı gözlenmiştir (Koçer vd. 2016).

Aydın'ın Çine ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulması durumunda santralin üreteceği elektrik ve santralde kullanılacak ekipmanlar analiz edilmiştir. Bunun için Aydın'ın Çine

ilçesine 1 MW gücündeki güneş enerji santralının yapılması durumunda santralin yatırım maliyeti de hesaplanmıştır. Aydın ilinde bu santralin kurulması için gerekli yatırım 2019 yılı için 7.300.000 TL hesaplanmıştır. Bu santralin yapılması durumunda yatırımın geri ödeme süresi ise 6 yıl 11 ay olmaktadır. Santralin yapılan analizlerinde ürettiği elektrik miktarı 2.071.982 kWh/yıl olmaktadır. Tesisin yıllık verimi %82 ve önlenebilir CO<sub>2</sub> emisyonu 1.242 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. (Bayrakçı ve Gezer 2019).

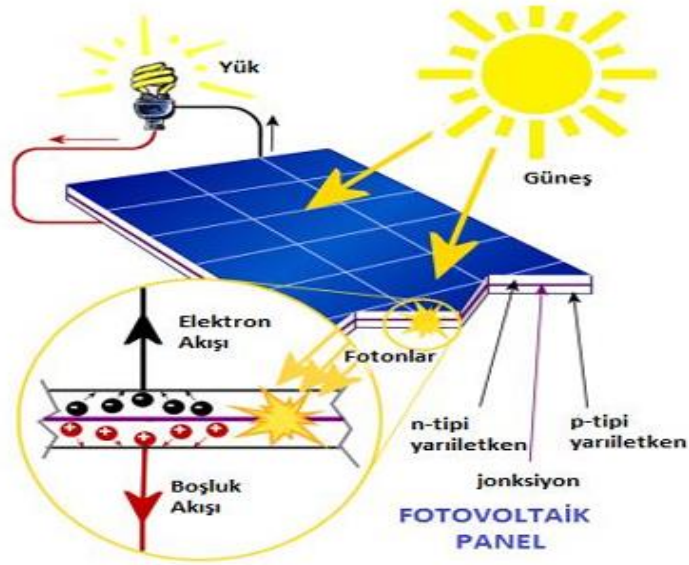
Elektrik üretiminde kullanılan güneş panellerinin tek diyotlu modeli yapılmıştır. Yapılan matematiksel model de güneş panelin ürettiği akım, panelin gerilim düşümü matematiksel olarak ifade edilmiştir. Paneldeki hücre sayısı ile panellerin seri ve paralel bağlanması durumunda üretilecek enerji hesaplanmıştır. Bunun için toplam altı adet 1Soltech 1STH-215-P panel kullanılmıştır. Panelin elektriksel özellikleri kısa devre akımı I<sub>sc</sub> :7,84 A, açık devre gerilimi Voc :36,3 V ve gücü ise P :213,15 W olarak alınmıştır. Yapılan modellemede panellerin 3 adeti seri bağlanarak iki tane kol oluşturulmuştur. Ayrıca yapılan bu modelin 1.000 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 500 W/m<sup>2</sup> ışınım altında ve 15 °C, 25 °C, 35 °C sıcaklıklardaki elektrik üretim miktarları hesaplanmıştır (İşen ve Koçhan 2020).

Van ilinde 1,00 MW gücünde güneş enerji santralının ekonomik olarak maliyeti analiz edilmiştir. İlk aşamada güneş enerjisi santralının kurulacağı arazi seçilmiştir. İkinci aşamada ise PVGIS programı ile elektrik üretimi hesaplanmıştır. Analiz ile yıllık 1.454.938,51 kWh elektrik üretilmiş olmaktadır. Santralde kullanılan ekipman maliyeti 7.085.000 TL, proje, inşaat ve lisanslama maliyetleri 312.000 TL, bakım, işletme maliyetleri ise 375.000 TL olarak hesaplanmıştır. Santralin ekonomik ömrü 25 yıl olacağı planlanmıştır. Maliyet hesabında geri ödeme süresi, net bugünkü değer, iç kârlılık oranı ve fayda/masraf oranı yöntemleri ile hesaplama yapılmıştır. Yapılan maliyet analizlerinde santralin kurulmasının öz sermaye ile karşılanması durumunda kârlı olduğu görülmüştür, yatırımın bankadan çekilen kredi ile karşılanması durumunda ise kâr getirisi düşük olduğu görülmüştür (Yalılı 2021).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Güneş Pilleri

Yarı iletken malzeme özelliği gösteren maddeler silisyum ve germanyumdur. Bu malzemelerin dış yörüngelerinde dörder adet elektron bulunur. Yarıiletken malzemelere dış yörüngesinde beş adet elektron bulunduran fosfor, arsenik eklenerek yarı iletken malzemenin dış yörüngesinde elektron fazlalığı oluşturulur ve yarıiletken negatif yüklü  $-1$  iyonu olur. Elde edilen yeni malzemeye n tipi yarıiletken denir. Yarıiletken malzemeye dış yörüngesinde üçer elektronu bulunan alüminyum, bor türü malzemeler eklenmesiyle yarıiletken malzemenin elektronlarının azalmasına sebep olur ve yarı iletken pozitif yüklü  $+1$  iyonu olur. Elektronunu vererek pozitif yüklü yarı iletkene ise p tipi yarıiletken malzeme denir.



Şekil 3.1 Güneş pilinin çalışma şeması (Yılmaz Ş., ELECO 2012)

Fotovoltaik güneş teknolojilerindeki temel ilke fotovoltaik dönüşümdür. Bu dönüşüm iki aşamada oluşmaktadır. Birinci aşamada, pozitif- negatif akım taşıyıcıları olan yük çiftlerinin oluşturulması, ikinci aşamada da çiftlerin bir elektrik alanı ile birbirinden ayrılmasıdır. PN eklemi oluşturulurken içerisinde fazla elektron bulunan n-tipi yarı iletken madde ile fazla pozitif yük bulunan p-tipi yarı iletken madde yan yana getirilir. Bu ekleme yapısal olarak oluşturulmuş bir elektriksel alan mevcuttur. Tüm enerji

dönüşüm olayları bu bölgede olmaktadır. Bu ekleme gelen güneş fotonları, enerjisini bu eklemdaki elektronlara verir ve bu enerji ile oluşan negatif–pozitif yükler, var olan elektriksel alan ile birbirlerinden ayrılır (Şekil 3.1). Böylece devrede doğru akım üretilmiş olur. Üretilen bu doğru akım istenildiğinde bir akü grubunda depolanabilmekte veya DC/AC evirici üzerinden şebekeye verilebilmektedir ([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) 2024).

### **3.2 Güneş Pilleri ve Çeşitleri**

Dünyamıza ulaşan güneş ışınları, güneş panelleri tarafından elektrik akımına çevrilir. Güneş panellerinin içinde bulunan pozitif ve negatif elektriksel özelliklerde bulunan yarıiletken maddelerin birleştirilmesiyle elektrik akımı üretilir. Yarıiletken maddelerin bir yüzü n tipi fazla elektron yüklü parçacıklardan oluşur, diğeri yüzü ise daha düşük elektron yüklü p tipi parçacıklardan oluşur. Bu iki yarıiletken temas ettirilerek üzerine güneş ışığı geldiğinde elektrik akımı üretilir.

Güneş panellerinin kullanılan maddeye bağlı olarak % 3 ile %25 arasında verimliliğe sahiptir. Güneş panelleri ilk olarak 1955 yılından sonra uzay araştırmaları için uzaya gönderilen uzay araçlarında kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda ise elektrik hatlarının az bulunduğu yerlerde ve telefon, telsiz ve gözetleme kulelerinde elektrik ihtiyacını karşılamak için güneş panelleri kullanılmıştır (Ateş M.B. vd. 2009).

#### **3.2.1 Kristal Silisyum Piller**

##### **3.2.1.1 Monokristal güneş pilleri**

Silisyum maddesi güneş paneli yapımında en çok kullanılan maddedir. Silisyumdan üretilen güneş panellerinin elektriksel özellikleri ve sağlam yapı da olmaları en çok tercih edilen güneş panelleri olmasına sebep olmuştur. Silisyumun ham maddesi kum olduğundan her yerde bulunmaktadır. Kum biçimindeki silisyumun saflığı düşük olduğundan tercih edilmez, kuvars maddesinin saflığı ise %90 oranında silisyum içermektedir. Kuvars maddesi saflaştırma işlemlerinden geçirilerek %99 saflıkta silika elde edilir. Daha sonra elde edilen silikadan silisyum üretilir. Yarı iletken özellikteki saf çok kristalli silisyum elde etmek için, çok kristalli silisyum tekrar eritilir ve büyütülür.

Çekirdekler çok düşük hızda ergimiş silisyum çözeltisinden çekilerek ince tek kristalli tabakaların büyümesi sağlanır. (Moduled elektronik 2024).

Monokristal paneller güneş pillerinin bir araya gelmesiyle oluşturulur, elde edilen güneş panelleri standart çalışma koşullarında  $1.000 \text{ W/m}^2$  güneş ışınımında ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  hücre sıcaklığında  $645 \text{ W}_p$  güç ve  $17,55 \text{ A}$  akım üretilebilmektedir. Monokristal paneller % 22,79 verim ile çalışmaktadır (Şekil 3.2). Güneş panelleri düzgün çalışması için dış hava şartlarına dayanıklı olmalıdır. Monokristal güneş pilleri için 30 yıla kadar performans garantisi verilebilmektedir (CW enerji 2024).



Şekil 3.2 Monokristal güneş paneli (CW enerji 2024)

### 3.2.1.2 Multikristal veya polikristal güneş pilleri

Çok kristalli güneş pillerinde kullanılan malzeme mono kristalli güneş pillerindeki kullanılan malzeme ile aynıdır. Çok kristalli güneş pillerinin üretim aşamaları mono kristalli hücrelerin üretim aşamalarından farklıdır. Güneş paneli üretiminde silisyum maddesi dökme ile kalıplara dökülür daha sonra silisyum maddesi dilimlere ayrılarak güneş pilleri üretilir. Çok kristalli güneş pillerinin yapısı daha dağınık olduğundan verimleri monokristalli hücrelerden daha düşüktür. Multikristalli güneş pillerinin verimleri % 12 -15 arasında değişmektedir. Ekonomik olmaları nedeni ile mono kristalli pilleri yerine multikristalli pilleri tercih edilmektedir (Moduled elektronik 2024).

Lexron marka polikristal güneş pili verilen şekil 3.3’de görülmektedir. Elektriksel özellikleri ise  $1.000 \text{ W/m}^2$  ışınımında ve  $25^\circ$  sıcaklıktaki gücü  $340 \text{ watt}$  olup ürettiği akım

8,83 A'dır, güneş pilinin gerilimi ise 38,5 V'dur. Polikristal güneş panellerinin çalışma verimi %17,04'dür (ACS enerji 2024).



Şekil 3.3 Multikristal güneş paneli (ACS enerji 2024)

### 3.2.2 İnce-film güneş pilleri

İnce-Film güneş pillerinde hidrojenli amorf silisyum (a-Si:H) ve polikristal silisyum (poly-S) maddeler kullanılır. Cam gibi amorf yapıdaki katı malzemelerin atomları belli bir düzende sıralanmamıştır. Amorf yapıdaki malzemenin atomlarının yerleşimi dağınık yapıdadır. Bu tip pillerin verimliliği genelde kristal silisyum pillerden daha düşük olup %6–10 civarındadır. Buna karşılık kristal pillere göre birçok üstünlükleri vardır. Bu üstün özellikleri şunlardır, üretimi basittir, üretimi için yüksek sıcaklığa gerek yoktur (300 °C'den az), daha az madde kullanılarak üretilirler (film kalınlığı 1 µm veya daha azdır). Düşük sıcaklıkta üretimi olduğu için daha ucuz tabakalar (cam gibi) kullanılarak üretilebilir. Kolay biçimde birleştirilerek yüksek gerilimli güneş pilleri elde edilebilir (Ateş M.B. vd. 2009).

### 3.2.3 Perovskite güneş pilleri

Perovskit güneş pilleri alanındaki son gelişmeler bilim insanlarını daha çok araştırma yapmasına sebep olmuştur. Bunun sebebi ise bu organometalik halojenürlerin sergilediği çok iyi ışık soğurma özelliğidir. Perovskitlerin sahip olduğu başlıca avantajlardan biri nispeten düşük sıcaklıklardaki çözeltilerle işlenebilme yeteneğidir. Perovskit malzemelerin yapısal, optik ve elektriksel özellikleri perovskit malzemesinin güneş pili olarak kullanılır hale getirmiştir. Yalnızca üç yıllık bir süre içinde,

verimlilikleri %3,8'den %20'nin üzerine çıktı ve yakın gelecekte daha da artması bekleniyor. Perovskit adı,  $\text{CaTiO}_3$  kalsiyum titanyum oksit bileşikli kristal yapıya sahip geniş bir bileşik grubuna benzeyen bileşiklerde kullanılır. Perovskitlerin genel formülü  $\text{ABC}_3$ 'dür, burada A atomu metilamoniyum  $\text{Ma}^+$ , formamidinyum  $\text{Fa}^+$  veya  $\text{Cs}^+$  sezyumdur. B katyonları  $\text{Sn}^{+2}$  kurşun veya  $\text{Pb}^{+2}$  kalaydır. Bu katyonlar protonlardan daha az elektronu olan pozitif (+) yüklü iyonu temsil eder. C ise bir anyon olan iyodür  $\text{I}^-$ , bromür  $\text{Br}^-$  veya klorürdür  $\text{Cl}^-$ , bu anyonlar protonlardan daha çok elektronu olan negatif (-) yüklü iyondur. A bölgesi katyonları B bölgesinde bulunanlarla karşılaştırıldığında genellikle daha büyük ve daha elektropozitifdir, C bölgesinde bulunanlar ise genellikle oksit iyonu  $\text{O}^{2-}$  veya halojenür iyonları  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ , yer almaktadır (Petrovic et al. 2015).

### 3.2.4 Silisyum haricindeki malzemelerden yapılan güneş pilleri

Yapılan araştırmalar, silisyumdan başka malzemelerin de güneş ışınımı altında elektrik enerjisi ürettiğini göstermiştir. Bu malzemelerin en çok kullanılanları şunlardır: Galyum arsenur  $\text{GaAs}$ , Kadmiyum tellür  $\text{CdTe}$  ve Kadmiyum sülfür  $\text{CdS}$ . Özellikle Galyum arsenur  $\text{GaAs}$  ile ilgili araştırmalar monokristal malzemeleri de ilgilendirir. Bunun yanında Kadmiyum tellür  $\text{CdTe}$  ile ilgili yapılan araştırmalar sadece monokristalleri değil, ince-film malzemelerini de ilgilendirir. Verimlilikleri yüksektir. (Ateş M.B. vd. 2009).

### 3.3 Güneş Açıları

Dünyanın kendi eksenini etrafında ve güneş etrafında elips şeklindeki dönme hareketinden dolayı mevsimler oluşur. Güneşin konumu ve güneş ışınlarının geliş açıları devamlı değiştiği için güneşle ilgili açıların bilinmesi gerekmektedir. Coğrafi konumlar değiştikçe dünya üzerindeki güneşin izlediği yörünge de değişmektedir. Onun için coğrafi konumların enlem ve boylam bilgilerinin de bilinmesi gerekmektedir. Dünyanın şekli küre olduğu için ekvator ve kutuplar arasında güneşin konumunun farklı olmasına ve farklı açılarla güneşlenmesine sebep olmaktadır. Dünya elips şeklindeki yörüngede  $23,45^\circ$  eğimle dönmektedir. O yüzden ülkemizde yaz aylarında gündüz saatleri kıs

aylarından daha uzun olmaktadır. Isı ve ışık kaynağı olan güneş ışınları dünyanın en dış katmanında  $1.367 \text{ W/m}^2$  enerji vermektedir.

Dünyanın izlediği yörünge elips şeklinde olduğundan dünya ile güneş arasındaki uzaklık ve güneş ışınımı zamanla değişmektedir. Güneşin ve dünyanın şekline ve hareketlerine bağlı olarak oluşan açılar sırasıyla deklinasyon açısı ( $\delta$ ), yükseklik açısı ( $\alpha$ ), güneş azimut açısı ( $\beta$ ), yüzey azimut açısı ( $\gamma$ ), geliş açısı ( $\theta$ ), zenit açısı ( $\theta_z$ ), saat açısı ( $\omega$ ), eğim açısı (S) ve enlem açısı ( $\phi$ )'dir (Şekil 3.4). Bu açılar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Deklinasyon açısı ( $\delta$ ): Güneşten gelen ışınların dünyanın ekvator düzlemi ile arasında kalan açıyı ifade eder. Dünyanın hareketi kutuplardan geçen eksenle döndüğü elips şeklindeki yörüngesinin dikinden  $23,45^\circ$  eğik açıyla döndüğünden deklinasyon açısı da yıl içinde  $-23,45^\circ$  ile  $+23,45^\circ$  arasında değişir. Eğim açısı Cooper denklemi yardımıyla hesaplanır. Burada n yılın ilk gününden itibaren kaçınıcı gün olduğunu belirtir.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \frac{360 \cdot (284+n)}{365} \quad (3.1)$$

Yükseklik açısı ( $\alpha$ ): Güneş ışınlarının yönü ile yatay düzlem arasında kalan açıyı ifade eder. Yükseklik açısı aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (3.2)$$

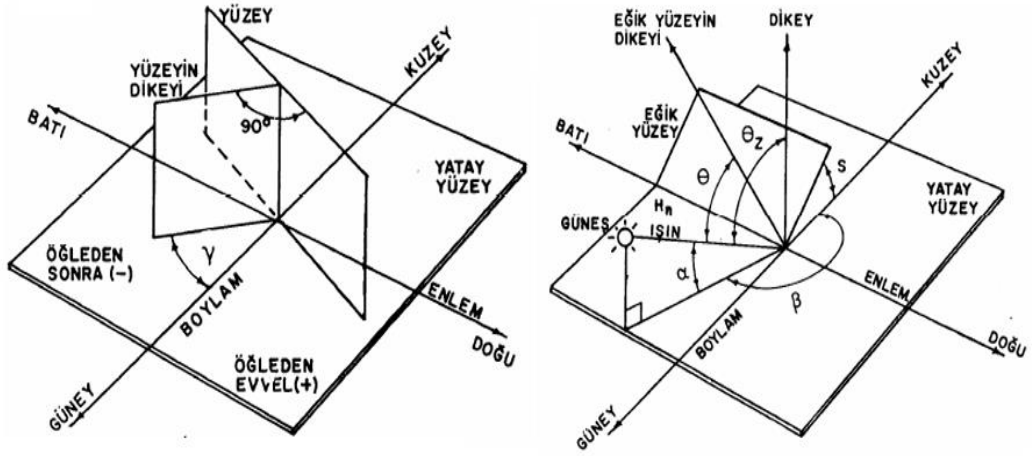
Yükseklik açısını ifade eden 3.2'deki formülünden  $\alpha$  çekilirse denklem 3.3'deki yükseklik açısı  $\alpha$  bulunur (Ajder 2011).

$$\alpha = \sin^{-1} (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega) \quad (3.3)$$

Güneş azimut açısı ( $\beta$ ): Güneş ışınlarının yönünün kuzey yönü ile sapmasını gösteren açıdır. Güneş azimut açısı  $\beta$  denklem 3.4 ile elde edilir (Yağlı ve Koç 2020).

$$\beta = \sin^{-1} \left( \frac{-\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha} \right) \quad (3.4)$$

Yüzey azimut açısı ( $\gamma$ ): Yüzeyin dikinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu yönünden sapmasını veren açıdır, 12:00'de değer  $180^\circ$  olur.



Şekil 3.4 Güneş Açıları

Geliş açısı ( $\theta$ ): Güneş panelinin yüzeyinin dikisi ile güneş ışınlarının doğrultusu arasındaki açıdır.

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos S - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin S \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos S \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin S \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin S \cdot \sin\phi \cdot \sin\omega \quad (3.5)$$

Geliş açısı  $\theta$ , direkt güneşe bakan eğimli yüzeyler için aşağıda verilen denklem ile elde edilir. Yüzey güneş ışınlarına dik ise geliş açısı  $\theta = 0^\circ$ , paralel ise  $\theta = 90^\circ$  dir.

$$\cos\theta = \cos\delta \cdot \cos(\phi - S) \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin(\phi - S) \quad (3.6)$$

Zenit açısı ( $\theta_z$ ): Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınlarının yönü arasındaki açıdır. Bu açıya baş açısı da denir. Burada  $\omega$  saat açısını göstermektedir (Şekil 3.5).

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi \quad (3.7)$$

Enlem açısı ( $\phi$ ): Yerden dünyanın merkezine doğru olan radyal çizgi ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır, Kuzey yarı kürede enlem açısı  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında bir değer alır. Şekil 3.5’de güneş açıları gösterilmiştir. (Ajder 2011).

Güneşin batış açısı  $\omega_s$  denklem 3.8’de verilen denklem ile elde edilmektedir.

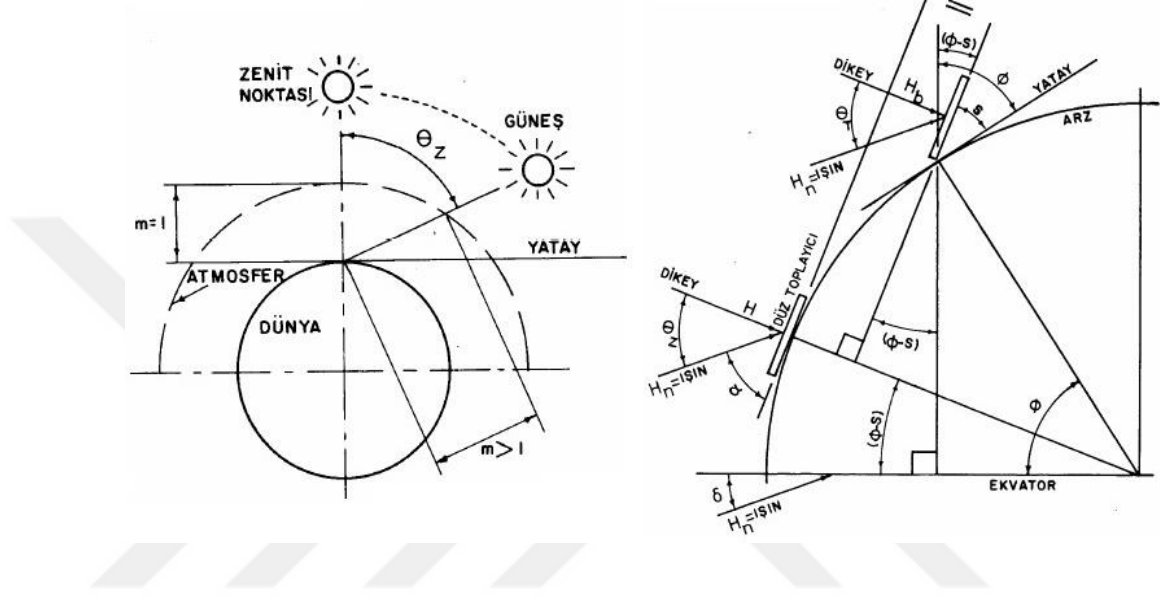
$$\omega_s = \cos^{-1} \cdot [-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi)] \quad (3.8)$$

Denklemden ki  $\phi$  enlem açısı olup güneş ışınlarının geliş açısı saatte  $15^\circ$  artış göstermektedir. Herhangi bir saatte gelen güneş ışınlarının açısını belirlemek için

günlük saat açısı 24'lük saat dilimi kullanılarak denklem 3.9 kullanılarak derece açısı bulunur (Güneş 2002).

$$\omega = 15 \cdot (t_s - 12) \quad (3.9)$$

Eğim açısı (S): Eğik düzlem ile yatay düzlem arasındaki kalan açığı göstermektedir. Güneş panelinin yerleştirildiği yerin yatay düzlemi ile yaptığı açıdır.



Şekil 3.5 Zenit açısı ve güneş açıları

Zaman, meridyen açısı olarak ifade edildiğinde, 1 saat,  $15^\circ$  boylama eşittir. Buradan güneşin doğuşu ile batışı arasındaki zaman olan güneş ışığı saatleri şu şekilde hesaplanır (Güneş 2002).

$$N = \frac{2}{15} \cdot \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (3.10)$$

### 3.4 Güneş Işınımının Hesaplanması

Güneş sabiti olarak adlandırılan  $G_0$  sembolü ise güneş ışınlarının birim alana dik düşen güneş enerjisini ifade eder. Dünyanın güneş etrafındaki yörüngesi eliptik olduğundan, Dünya ile güneş arasındaki mesafe ve güneş sabiti yıl boyunca değişir. Güneş ışınlarının değişimini ifade eden f düzeltme katsayısı kullanılarak dünyaya ulaşan güneş ışınlarının enerjisi bulunur. f katsayısı denklem 3.11'de verilmiştir.

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \quad (3.11)$$

Denklem 3.12'de ise herhangi bir gün için dünya dışındaki güneş sabiti  $G_0$  bulunur.  $G_{sc}$  güneş sabiti olup  $1.367 \text{ W/m}^2$ 'dir (Kaçan E. ve Ülgen K. 2012).

$$G_0 = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \quad (3.12)$$

Atmosfer dışındaki yatay düzlemin birim alanına gelen günlük güneş ışınımı ise denklem 3.13 ile hesaplanır. Hesaplanan güneş ışınımının birimi  $\text{W/m}^2$ 'dir. Denklemde yer alan  $\omega_s$  ifadesi güneşin batış açısıdır. Güneşin batış açısı

$$H_0 = \frac{24 \cdot I_g}{\pi} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \quad (3.13)$$

$$\times \left(\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta\right)$$

Dünyadaki eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı  $H$  ise denklem 3.14 ile hesaplanır. Denklemdeki  $a$  ve  $b$  sabitleri verilen denklemlerden bulunur. Denklemdeki  $z$  ifadesi yerin km olarak yüksekliğini ifade eden rakımıdır.

$$\frac{H}{H_0} = a + 0,7 \cdot b \quad (3.14)$$

$$a = 0,103 + 0,000017 \cdot z + 0,198 \cdot \cos(\varphi - \delta)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cdot \cos(\varphi - \delta)$$

Eğik düzleme gelen ışınımın direkt, difüz ve yerden yansıyan ışınım türleridir. Aylık ortalama günlük difüz ışınımını  $H_d$ 'yi bulmak için atmosfer dışındaki aylık ortalama günlük ışınım miktarı  $H_0$  ile 0,2681 sayısı çarpılarak bulunur.  $H_d = H_0 \cdot (0,2681)$  denklemi ile aylık ortalama günlük difüz ışınımını  $H_d$  elde edilir (Koçer A. vd. 2016)

Atmosfer dışındaki yatay bir düzleme gelen saatlik güneş ışınım miktarı olan  $I_0$ , denklem 3.15 ile bulunur. Hesaplanan güneş ışınımının birimi  $\text{W/m}^2$ 'dir. Denklem de yer alan  $\omega_1$  ve  $\omega_2$  saat açıları göstermektedir.

$$I_0 = \frac{12 \cdot I_g}{\pi} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \cdot \left(\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin(\omega_2 - \omega_1) + \frac{\pi \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{180} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta\right) \quad (3.15)$$

Günlük berraklık oranı  $K_t$ , günlük ışıınım miktarı  $H$ 'ın dünya dışı günlük ışıınım miktarı  $H_0$ 'a bölünmesiyle bulunur. Elde edilen bu oran ile dünya dışındaki ışıınımın atmosfer tarafından ne kadarının tutulduğunu ve yeryüzüne ulaşan ışıınım miktarını hesaplamada kullanılmaktadır.

$$K_t = \frac{H}{H_0} \quad (3.16)$$

Günlük difüz ışıınımını bulmak için berraklık oranı  $K_t$ 'den yararlanarak günlük difüz ışıınımının günlük toplam ışıınımına bölünmesiyle bulunur (F.Ahwide 2013).

Güneşin doğuş açısı  $\omega_s < 81.4$  ise denklem 3.17 kullanılır.

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1,0 - 0,2727 \cdot K_t + 2,4495 \cdot K_t^2 & K_t < 0,715 \\ -11,9514 \cdot K_t^3 + 9,3879 \cdot K_t^4 & \\ 0,143 & K_t \geq 0,715 \end{cases} \quad (3.17)$$

Güneşin doğuş açısı  $\omega_s > 81.4$  ise denklem 3.18 kullanılır.

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 1,0 + 0,2832 \cdot K_t & K_t < 0,722 \\ -2,5557 \cdot K_t^2 + 0,8448 \cdot K_t^3 & \\ 0,175 & K_t \geq 0,722 \end{cases} \quad (3.18)$$

Belirli bir eğim açısında konumlandırılmış güneş paneline uygulanan toplam güneş ışıınımını bulmak için yukarıda verilen denklemlerden direkt güneş ışıınımı, yayılı güneş ışıınımı ve yansıyan güneş ışıınımı toplanır (Koçer 2016).

$$H_t = (H - H_D) \cdot R_b + \frac{H_D}{2} \cdot (1 + \cos S) + \frac{H_p}{2} \cdot (1 - \cos S) \quad (3.19)$$

Güneş ışıınımınının toplamı olan  $H_t = H_b + H_d + H_y$  denkleminde direkt güneş ışıınımı, yayılı güneş ışıınımı ve yansıyan güneş ışıınımı yerine konursa yukarıda verilen günlük toplam ışıınımı veren 3.19 denklemi elde edilir.

Denkleminde yer alan  $R_b$  ifadesi güneş geliş açısı kosinüsünün zenit açısının kosinüsüne bölünmesiyle elde edilir (Maleki et al. 2016).

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (3.20)$$

$$R_b = \frac{\sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos S - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin S \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos S \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin S \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin S \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega}{\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi}$$

Saatlik yeryüzündeki güneş ışınımı  $I'$ 'yi bulmak için denklem 3.21'deki verilen ifadeden yararlanır. Denklemdeki verilen a ve b sayıları aşağıdaki verilen denklemi ile bulunur. Denklemde yer alan  $\omega_s$  güneşin batış açısını göstermektedir.

$$\frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} \cdot (a + b \cdot \cos\omega) \cdot \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \cos\omega_s} \quad (3.21)$$

$$a = 0,4090 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60)$$

$$b = 0,6609 + 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60)$$

Saatlik direkt güneş ışınım miktarı  $I_b$ 'yi hesaplamak için denklem 3.22'yi kullanarak  $I_b$  elde edilir. Denklemdeki  $\tau_b$  aşağıda verilen  $a_0$ ,  $a_1$  ve k değerleri hesaplanarak elde edilir. Denklemde yer alan Z değeri, güneş panelinin bulunduğu konumun rakımını km olarak göstermektedir,  $\tau_b$ ; atmosferin direkt ışınımı iletim katsayısıdır (Tabet et al. 2014).

$$I_b = I_0 \cdot \tau_b \cdot \cos\theta_z \quad (3.22)$$

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot \exp\left(\frac{-k}{\cos\theta_z}\right)$$

$$a_0 = 0,4237 - 0,00821 \cdot (6 - Z)^2$$

$$a_1 = 0,5055 - 0,00595 \cdot (6,5 - Z)^2$$

$$k = 0,2711 - 0,01858 \cdot (2,5 - Z)^2$$

Saatlik difüz ışınım miktarı  $I_d$ , saatlik berraklık oranı  $k_t$ 'den yararlanarak elde edilir. Saatlik berraklık oranı  $k_t$  saatlik toplam ışınım miktarı  $I'$ 'nin atmosfer dışındaki saatlik ışınım miktarı  $I_0$ 'a bölünmesiyle elde edilir (Maleki et al. 2016).

$$k_t = \frac{I}{I_0} \quad (3.23)$$

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0,09 \cdot k_t & k_t \leq 0,22 \\ 0,9511 - 0,1604 \cdot k_t + 4,388 \cdot k_t^2 & 0,22 \leq k_t \leq 0,8 \\ -16,638 \cdot k_t^3 + 12,336 \cdot k_t^4 & \\ 0,165 & 0,8 \leq k_t \leq 1 \end{cases} \quad (3.24)$$

Çizelge 3.1 Ortalama Yansıtma Katsayıları

Yüzey	Ortalama yansıtma Katsayısı ( $\rho$ )
Kar	0,75
Su yüzeyi	0,07
Yeşil çim	0,26
Kuru çim	0,2
Beton kaplı alan	0,22
Toprak	0,14
Beton kaplı alan	0,22
Çam ormanları	0,07
Sonbahardaki ormanlar	0,26

Güneş ışınımlarının yerden yansıyan ışın miktraları çizelge 3.1' de verilmiştir (Ajder 2011). Saatlik toplam güneş ışınım miktarı ise denklem 3.25 ile elde edilir (Tebet et al. 2014).

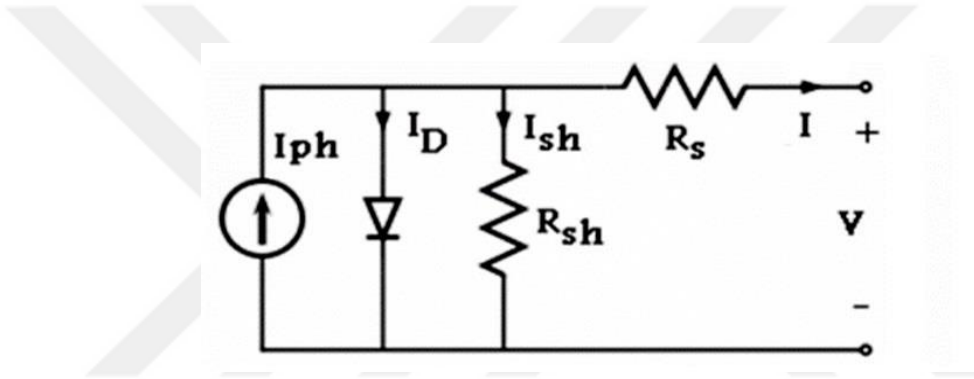
$$I_t = I_b \cdot R_b + \frac{I_d}{2} \cdot (1 + \cos S) + \frac{I_p}{2} \cdot (1 - \cos S) \quad (3.25)$$

### 3.5 Güneş Panelinin Elektrik Modeli

İnsanların enerjiye olan ihtiyaçları gün geçtikçe artmaya başlamıştır. Enerji kaynaklarının azalmaya başlamasıyla birlikte yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji kaynakları içinde çevreyi kirletmeyen ve devamlı enerji kaynağı olan güneş enerjinin kullanımı artmıştır. Daha büyük enerji üretmek amacıyla güneş

hücreleri seri ve paralel bağlanır, güneş hücreleri bir araya getirilerek güneş panelleri elde edilmektedir.

Güneş panelinin elektrik modelinde, güneş panelleri akım kaynağı olarak  $I_{ph}$  akımını üretmektedir. Eşdeğer elektriksel devrede güneş panelinin çalışması diyota benzediğinden, güneş paneli diyot ile gösterilir. Güneş panelinin elektriksel modellenmesi bir enerji kaynağı ve ona paralel bir diyot ile modellenmektedir. Seri direnç ise  $R_s$  güneş pilinin iç dirençleri ifade etmektedir ve güneş paneline seri bağlanmıştır.  $R_{sh}$  direnci ise güneş panelinden dışarı akan kaçak akımları ifade etmektedir ve güneş paneline paralel bağlantı ile gösterilmektedir. Güneş panelinin elektriksel eşdeğer modeli şekil 3.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6 Güneş pilinin elektriksel devresi

Yukarıdaki şekil 3.6'da gösterilen eşdeğer devrede güneş panelinin ürettiği  $I$  akımını bulmak için kirchhoff akım yasası uygulanırsa 3.26 denklemi elde edilir. Kirchoff akım yasasına göre bir düğüm noktasına giren akımların toplamı ile düğüm noktasından çıkan akımların toplamı birbirine eşittir.

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (3.26)$$

$I$ ; güneş panelinin çıkış akımını,  $I_{ph}$ ; hücredeki güneş ışığının oluşturduğu akımı,  $I_D$ ; diyot akımını,  $I_{sh}$  ise eşdeğer devredeki paralel dirençte oluşan akım kayıplarını göstermektedir.  $I_{ph}$  akımının büyüklüğü, güneşten gelen enerjiye bağlı olarak değişmektedir. Standart çalışma koşullarında  $1.000 \text{ W/m}^2$  alınmaktadır. Güneş ışınımı değişmesi durumunda  $I_{ph}$  akımı da değişmektedir ve denklem 3.27 ile bulunur.

$$I_{ph} = I_{ph,Gnom} \cdot \frac{G}{G_{nom}} \quad (3.27)$$

Bu ifade de  $G_{nom}$ ; standart test koşullarındaki güneş ışıyım değeri olan  $1.000 \text{ W/m}^2$ 'dir,  $G$  ise güneş ışığının ölçülen akımını gösterir. Güneş ışığından gelen akım değıştiğinde güneş ışığından üretilecek akım denklem 3.27 ile elde edilir. Uygulamada sıcaklık standart çalışma koşullarından farklı ise akım değeri de sıcaklık ve güneş ışıyımını ile değışkenlik göstermektedir. Güneş ışığından üretilen akımın sıcaklıkla ve güneş ışıyımını ile olan ilişkisi ise denklem 3.28 ile elde edilir.

$$I_{ph} = (I_{sc} + K_i \cdot \Delta T) \cdot \frac{G}{G_{nom}} \quad (3.28)$$

Denklemde yer alan  $I_{sc}$ ; kısa devre akımı,  $K_i$ ; sıcaklık katsayısı olup sabit bir terimdir ve kullanılan malzemenin cinsine bağlı olarak farklılık göstermektedir.  $\Delta T$  ise standart ve uygulama sıcaklıkları arasındaki farkı göstermektedir.  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  hava sıcaklığında, denklem 3.36'daki denklemden çalışma sıcaklığı  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  olmaktadır. Fakat bu sıcaklığı fotovoltaik akımı hesaplanırken kelvin cinsine çevrilerek kullanılır. Eşdeğer devre formülü akımında yer alan  $I_d$  ifadesi diyot akımını gösterir ve denklem 3.29 yardımı ile bulunur.

$$I_d = I_o \cdot \left[ \exp\left(\frac{q \cdot V_d}{n \cdot N_s \cdot k \cdot T_c}\right) - 1 \right] \quad (3.29)$$

Buradaki  $I_o$ ; diyotun sızıntı akımıdır,  $N_s$ ; paneldeki seri bağlı hücre sayısıdır,  $V_d$  ise diyot üzerindeki gerilim farkını,  $T_c$ ; panelin çalışma sıcaklığını,  $q$ ; elektron yükü olan ( $q: 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) sayısıdır ve  $k$  ise Boltzman sabiti olan ( $k: 1,38065 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ) sayısını ifade eder. Denklemde yer alan  $n$  sayısı idealite faktörü olup malzemenin cinsi ile değışmektedir. İdeal diyotlarda  $n$  sayısı 1 olarak alınır. Ayrıca diyot gerilimi denklem 3.30 ile elde edilir (Ibrahim and Anani 2017).

$$V_d = V + I \cdot R_s \quad (3.30)$$

Elde edilen eşitlikler ilk verilen eşdeğer akım formülünde yerine yazıldığında, denklem 3.31 ile akım formülü bulunur.

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left[ \exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T_c}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (3.31)$$

Elde edilen bu denklem tek bir hücrenin akım denklemidir. Güneş panelleri içerisinde birden fazla hücre seri ve paralel bağlanarak üretilmektedir. Daha fazla elektrik üretmek amacıyla güneş pilleri seri ve paralel olarak bağlanarak güneş panelleri elde edilir. Denklem 3.32 ile güneş panelinin akım denklemi seri bağlı güneş hücre sayısı  $N_s$  ile

geniştirilerek güneş panelinin ürettiği toplam akım hesaplanmış olur. Bu formülde panelin  $N_p$  sayısı 1 alındığından akım değerleri toplam akım olarak hesaplanmıştır.

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left[ \exp\left(\frac{q \cdot (V+I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot N_s \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (3.32)$$

Yukarıda ifade edilen denklemde, güneş panelinin eşdeğer devre modelinden elde edilen akımı vermektedir. Denklemde  $I_{ph}$ ; panelin ürettiği akımdır,  $I_d$ ; panelden geçen akımdır.  $I_{sh}$ ; paneldeki kaçak akımıdır, ayrıca güneş panelinin eşdeğer modeli akım kaynağı ve ona paralel diyot ile gösterilmektedir. Güneş panelindeki seri hücre sayısı  $N_s$ ; panelin gerilimini arttırırken, paneldeki paralel bağlı hücreler  $N_p$  ise panelin akımını arttırır.

Güneş panelinde oluşan akımı hesaplamak için kullanılan (3.32) formülünden  $V$  gerilim ifadesi çekilirse, güneş panelinin gerilim değeri elde edilir. Fotovoltaik akım formülündeki son terimdeki  $R_{sh}$  değeri sonsuz değer olarak açık devre alındığında son terim sıfır olur. Güneş panelinde oluşan açık devre gerilimini  $V_{oc}$  bulmak için aşağıda verilen denklemden yararlanılır. Açık devre geriliminde akım sıfır olduğundan, denklem sıfıra eşitlenerek  $V_{oc}$  gerilimi elde edilir.

$$I_{ph} - I_o \cdot \left[ \exp\left(\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot N_s \cdot T_c}\right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_{sh}} = 0 \quad (3.33)$$

$$V_{oc} = \frac{n \cdot N_s \cdot k \cdot T_c}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}+I_o}{I_o}\right) \quad (3.34)$$

Elde edilebilecek maksimum gerilim ise panele ait yukarıda verilen 3.32 denklemdeki maksimum akım formülünden maksimum gerilim ifadesi çekilirse, güneş paneline ait maksimum gerilim  $V_m$  elde edilir. Paralel direnç  $R_{sh}$  direnci ise ihmal edilmiştir (Ibrahim and Anani 2017).

$$V_m = \frac{n \cdot N_s \cdot k \cdot T_c}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}+I_o - I}{I_o}\right) - I \cdot R_s \quad (3.35)$$

Güneş panellerinin çalışma sıcaklığı çevre sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Çalışma sıcaklığını bulmak için denklem 3.36'da verilen ifade kullanılarak güneş panelinin çalışma sıcaklığı elde edilir. Denklemdeki  $T_c$  panelin çalışma sıcaklığıdır.  $T_a$  dış hava sıcaklığını göstermektedir.  $C$  sayısı sabit olup 0,03'dür. (Hansen et al. 2000).

$$T_c = T_a + C \cdot G_a \quad (3.36)$$

Çalışma şartları her zaman standart çalışma koşullarında olmadığından, değişen çalışma sıcaklıklarına ve güneş akımına bağlı olarak elde edilen enerjide değişmektedir. Üretilen enerjinin miktarını hesaplamak için sıcaklık faktörünü de dikkate almak gerekir,  $I_{sc}$  ve  $V_{oc}$  değerleri aşağıda verilen denklem ile değişen sıcaklıkta elde edilir (Aladağ ve Yanıktepe 2022).

$$I_{sc} = (I_{sc,n} \cdot (1 + K_i \cdot (T - T_{nom}))) \cdot \frac{G}{G_{nom}} \quad (3.37)$$

$$V_{oc} = V_{oc,n} \cdot (1 + K_v \cdot (T - T_{nom})) \cdot \frac{G}{G_{nom}} \quad (3.38)$$

Denklemdaki  $I_{sc,n}$ ; panelin normal 25 °C sıcaklıktaki kısa devre akımı,  $V_{oc,n}$  ise panelin normal 25 °C sıcaklıktaki açık devre gerilimidir,  $K_i$  ise sıcaklık katsayısı olup sıcaklıkla akımdaki değişimi göstermektedir,  $K_v$  ise sıcaklık katsayısı olup sıcaklıkla gerilimdeki değişimi göstermektedir.  $T$  çalışma sıcaklığını ve  $T_{nom}$ ; normal şartlardaki sıcaklığı ifade eder.

Diyotun sızıntı akımı  $I_o$ ; diyotun çalışma sıcaklığına bağlı olduğundan, sıcaklıktaki değişime bağlı olarak  $I_o$  akımı denklem 3.39'den faydalanarak hesaplanır.

$$I_o = I_{o,n} \cdot \left(\frac{T_{stc}}{T_c}\right)^3 \cdot \exp\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k} \cdot \left(\frac{1}{T_{stc}} - \frac{1}{T_c}\right)\right) \quad (3.39)$$

Bu denklemde  $I_o$ ; diyotun sızıntı akımını,  $I_{o,n}$ ; 25 °C deki diyotun sızıntı akımını,  $T$  hücrenin çalışma sıcaklığını,  $T_{nom}$ ; hücrenin standart sıcaklığını,  $q$ ; elektron yükü olan ( $q$ :  $1,60217646 \times 10^{-19}$  C) sayısıdır,  $k$  ise Boltzman sabiti olan ( $k$ :  $1,3806503 \times 10^{-23}$  J/K) sayısını,  $E_g$  malzemenin elektron geçiş enerjisi olup silisyum maddesi için 1,12 eV'dur,  $n$  ise diyot idealite katsayısı olup ideal diyotlarda  $n$  sayısı 1 olarak kabul edilir (İbrahim and Anani 2017).

EGO Genel Müdürlüğünün bakım atölyelerinin çatısında kullanılan güneş paneli, CW enerjinin silisyum monokristal CWT545-144PM10 modeli olup elektriksel özellikleri ise çizelge 3.2'de verilmiştir.

Güneş paneli içindeki 144 adet hücre, seri ve paralel bağlantılardan oluşmaktadır. 3.32 denkleminde paralel hücre sayısı  $N_p$ ; 2 yerine 1 paralel devre şeklinde hesaplanarak

akımın toplam değeri kullanılmıştır. Paralel ve seri hücre sayılarını da içine alan hücre modeli denklem 3.40 formülü ile hesaplanmaktadır (Adak 2019).

$$I = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_o \cdot \left[ \exp\left(\frac{q \cdot (V+I \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot k \cdot T_c}\right) - 1 \right] - \frac{1}{N_p} \cdot \left(\frac{V+I \cdot R_s}{R_{sh}}\right) \quad (3.40)$$

Bu denklemden gerilimi V'yi çekersek denklem 3.41'daki gerilim değeri elde edilir.  $R_{sh}$  direncinin değeri sonsuz değerde olduğundan son terim sıfır olarak alınır.

$$V = \frac{n \cdot N_s \cdot k \cdot T_c}{q} \ln\left(\frac{N_p \cdot I_{ph} + N_p \cdot I_o - I}{I_o}\right) - I \cdot R_s \quad (3.41)$$

Çizelge 3.2 CWT545-144PM10 Güneş panelinin özellikleri

$P_{nom}$	545 W
$I_o$	$2,50 \times 10^{-11}$
$I_{sc}$	13,76 A
$I_{mp}$	12,92 A
$V_{oc}$	50 V
$V_{mp}$	42,20 V
$R_s$	0,124 ohm
$R_{sh}$	127 ohm
$K_i$	0,05 A/°C
$K_v$	-0,27 V/°C
$N_s$	72
$N_p$	2

Güneş paneline ait veriler çalışma sıcaklığı  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğundan güneş hücresinin yazın çalışma şartlarında ki sıcaklığı  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ' ye yükseleceğinden, güneş panelinin  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki akım ve gerilimi de değişmektedir.

$$I_{sc} = I_{sc,n} \left( 1 + K_i \cdot (T - T_{nom}) \right) \cdot \frac{G}{G_{nom}}$$

$$I_{sc} = 13,76 \cdot \left( 1 + 0,05 \cdot \frac{1}{100} \cdot (343 - 298) \right) \cdot \frac{1}{100}$$

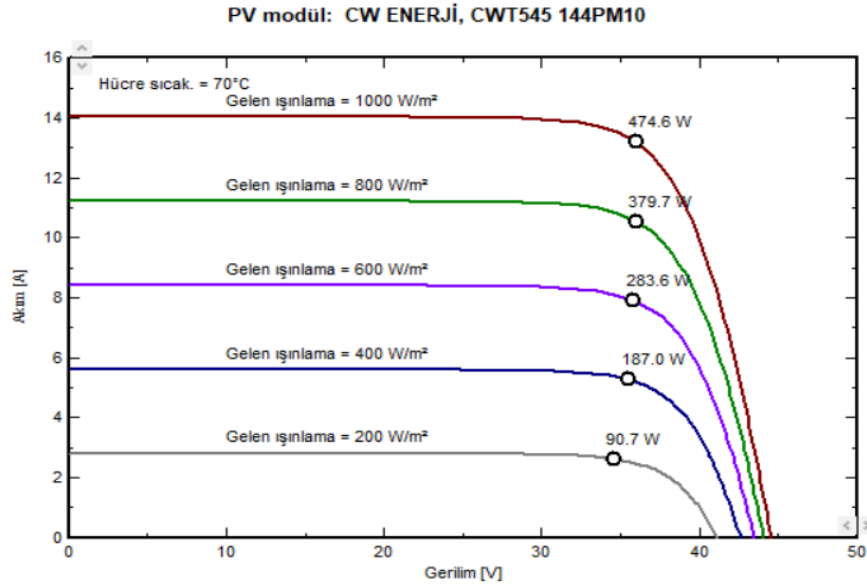
$$I_{sc} = 14,06 \text{ A}$$

$$V_{oc} = V_{oc,n} \cdot \left( 1 + K_v \cdot (T - T_{nom}) \right) \cdot \frac{G}{G_{nom}}$$

$$V_{oc} = 50 \cdot \left( 1 - 0,27 \cdot \frac{1}{100} \cdot (343 - 298) \right)$$

$$V_{oc} = 44 \text{ V}$$

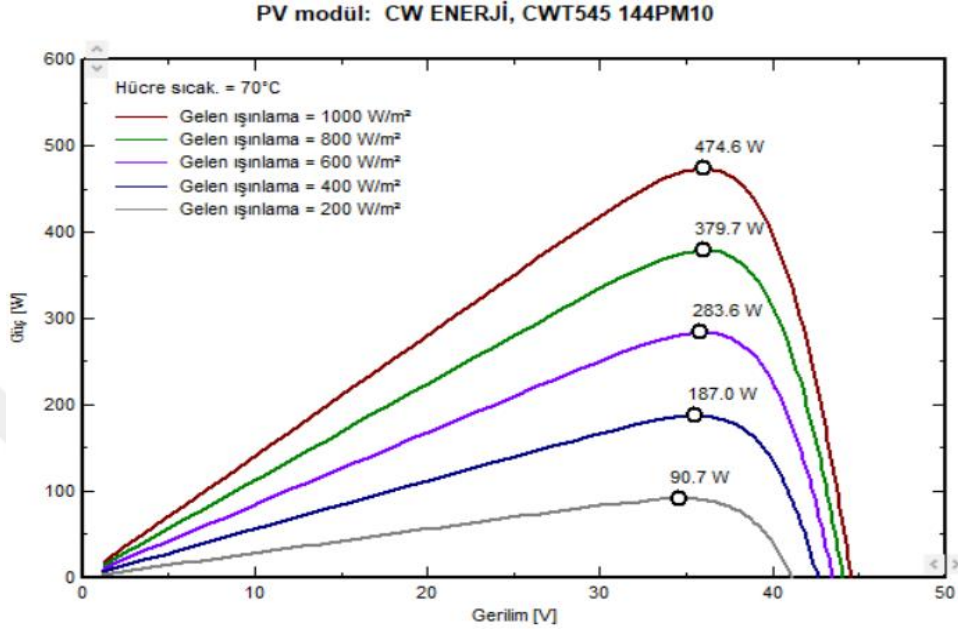
PVSYST programında güneş paneline ait akım gerilim grafiği I-V şekil 3.7’de verilmiştir. Grafikte ışımaya bağlı olarak akım ve gerilim miktarları değişmektedir. Akımdaki değişim gerilimdeki değişimden fazla olmaktadır. Güneş ışınımının 200 ile 1.000 W/m<sup>2</sup> arasındaki değişimine bağlı olarak akım ve gerilimdeki değişim şekil 3.7’deki verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 3.7 CWT545 144PM10 güneş panelinin I-V grafiği

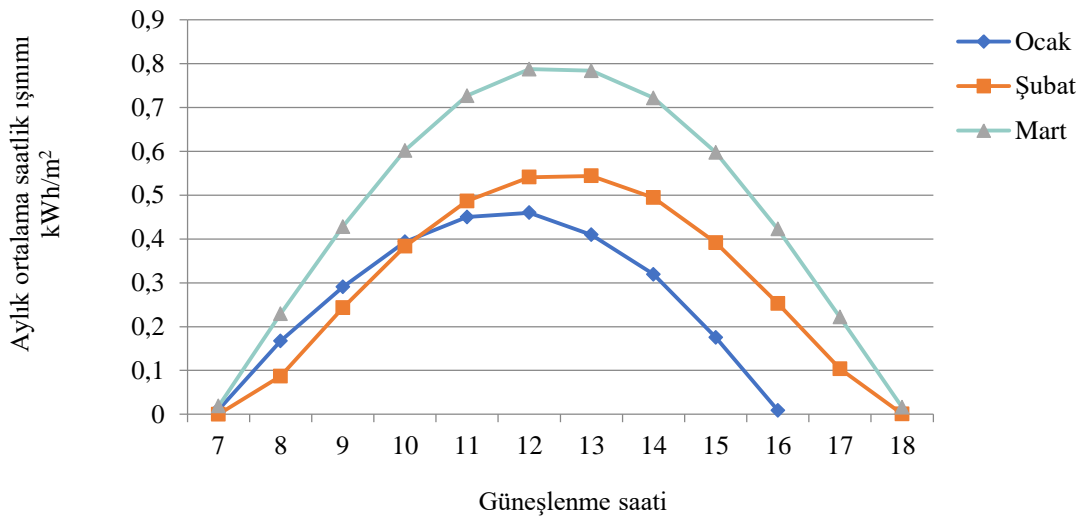
PVSYST programında, güneş panelinin güç ve gerilim grafiği şekil 3.8’de verilmiştir. Grafikte çizgi üstündeki daire ile işaretli nokta, maksimum güç ve maksimum gerilim

noktasıdır. Grafikte güneş ışınım şiddetinin 200-1.000 W/m<sup>2</sup> aralığındaki değişime bağlı olarak elde edilen gerilim ve güç miktarları da değişmektedir. Güçteki değişim gerilimdeki değişimden fazla olmaktadır. Güç ifadesi akım ve gerilim çarpımı olduğundan akım ve gerilimin maksimum olduğu noktada da maksimum güç elde edilir.

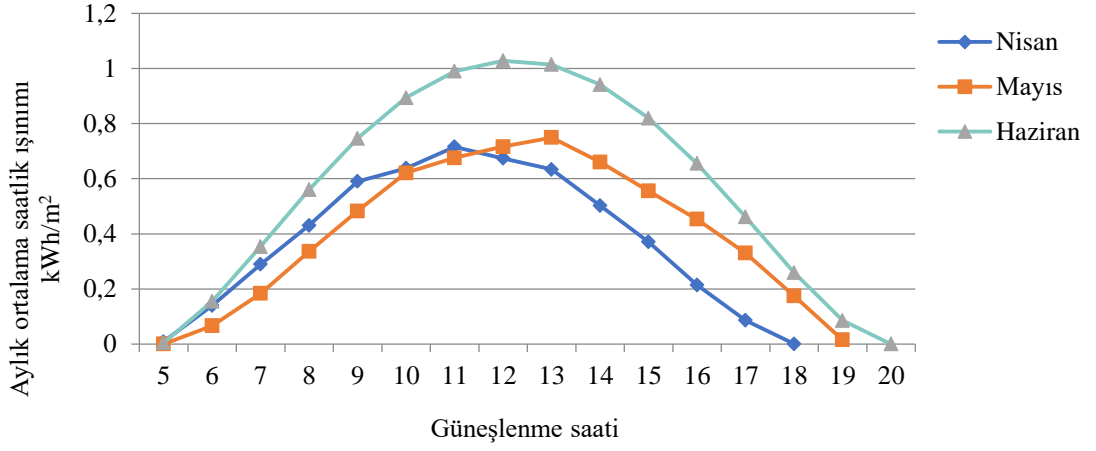


Şekil 3.8 CWT545 144PM10 güneş panelinin P-V grafiği

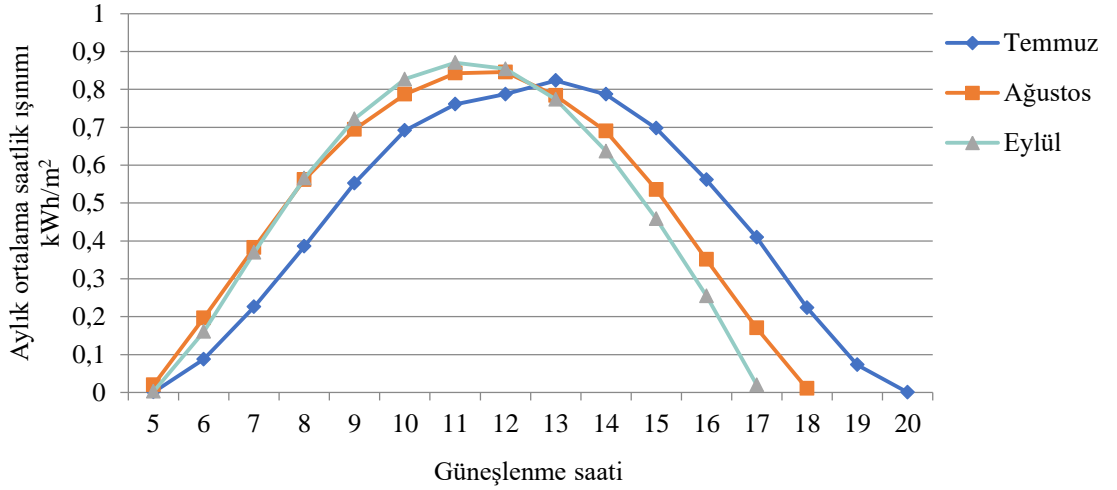
Güneş ışınımının geliş açısı günün içinde değiştiğinden elde edilen enerji miktarları da gün içinde değişmektedir. Güneş enerji santralının kurulacağı Yenimahalle ilçesindeki aylık güneş ışınımının saatlik değişimi aylık grafiklerde görülmektedir.



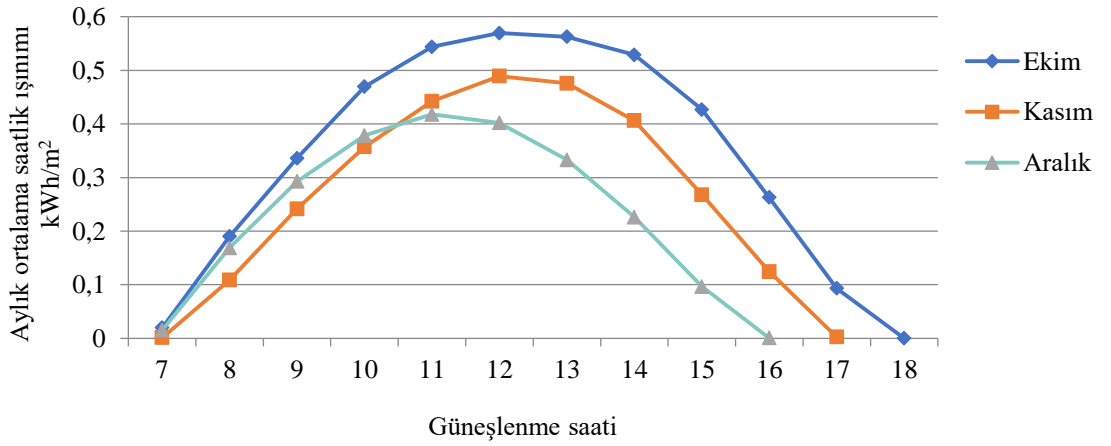
Şekil 3.9 Ocak, Şubat, Mart ayı saatlik güneş ışınımı



Şekil 3.10 Nisan, Mayıs, Haziran ayı saatlik güneş ışıınımı



Şekil 3.11 Temmuz, Ağustos, Eylül ayı saatlik güneş ışıınımı



Şekil 3.12 Ekim, Kasım, Aralık ayı saatlik güneş ışıınımı

## 4. PVSYST VE PVSOL İLE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

### 4.1 EGO Genel Müdürlüğü Araç Bakım ve Onarım Atölyeleri

EGO Genel Müdürlüğü bünyesinde yer alan bakım onarım atölyelerinin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla 1.066,7 kW AC kurulu gücünde güneş enerjisi santrali inşa edilmiştir. Bakım onarım atölyelerinin çatısına yerleştirilecek olan güneş panelleri ile atölyenin elektrik ihtiyacının karşılanması planlanmıştır.

EGO bünyesi altında çalışan, Araç Bakım Onarım Dairesi Başkanlığı Merkez Atölye Şube Müdürlüğü işletmesine bağlı Merkez Atölyesinde, Ankaralılara ulaşım hizmeti veren belediye otobüslerinin tüm bakım ve onarım işlemleri yapılmaktadır. Merkez atölye kapsamında, farklı alanlarda hizmet veren alt birim atölyeler bulunmaktadır (şekil 4.1). Motor Onarım Atölyesi, Kaporta Atölyesi, Mekanik Atölyesi, Elektrik Atölyesi, Buji- Beyin Atölyesi, Şanzıman Atölyesi, CNG Atölyesi, Klima Atölyesi ve Lastik Atölyesi olarak 9 adet atölyeden oluşmaktadır.



Şekil 4.1 Merkez atölye ana binadan görünüş (Açıkgöz 2019)

Ayrıca aynı kampüs ve içerisinde, aynı çatı altında Bakım Planlama Müdürlüğü ve Stok Ambarlar Müdürlüğü de görev yapmaktadır. Macunköy Bakım Onarım Birimlerinin Bakım Onarım Müdürlüğünde yer alan atölyelerin m<sup>2</sup> yüzölçümleri Çizelge 4.1’te yer almaktadır. Güneş enerji siteminin kurulması için en uygun yerler, merkez atölye binasının çatısı ile elektrik atölyesinin bulunduğu klima ve lastik atölyelerinin çatısıdır.

Merkez Atölye binalarının çatısına fotovoltaik sistem kurulması için hesaplamalar yapılan, biri büyük ana bina diğeri elektrik atölye biriminin bulunduğu bina olmak üzere toplam kapladığı oturma alan 11.000 m<sup>2</sup>'dir.

Çizelge 4.1 Bakım Atölyelerinin çalışma alanları

ATÖLYELER	ALAN (m <sup>2</sup> )
Merkez Atölye	8.489
Lastik Atölyesi	371
Bakım/Klima/Kademe	1.789
Polyester Atölyesi	152
Amba	666
Boya Atölyesi	652
Genel Toplam	12.119

Ana binada 2 kanatlı 2 adet, elektrik atölye biriminin olduğu binada da 2 kanatlı tek adet çatı bulunmaktadır. Ana binanın yandan görünüşü şekil 4.2'de gösterilmiştir. İki tane bakım onarım atölyesi kenarlarda yer almaktadır. Atölyelerin ortasındaki bina ise çalışma ofisi olarak kullanılmaktadır. Atölye binası çatılarından panellerin yerleştirilmesinin uygun olduğu yerler, Ana binanın bulunduğu merkez binada bulunan iki adet iki çatı kanadı ve elektrik atölye biriminin yer aldığı binanın bir adet iki kanatlı çatılardır.



Şekil 4.2 Merkez atölye ana bina yandan görünüş

Atölye çatılarından merkez biriminin bulunduğu binanın çatı alanı yaklaşık 7.500 m<sup>2</sup> bir alana sahiptir. Elektrik atölye binasının bulunduğu binanın çatı alanı ise yaklaşık 2.500 m<sup>2</sup> bir alana sahiptir. Kullanılabilir çatı alanı toplamda 10.000 m<sup>2</sup> alana sahiptir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de her iki binanın üstten görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Merkez atölye ana bina üstten görünüş (Açıkgöz 2019)

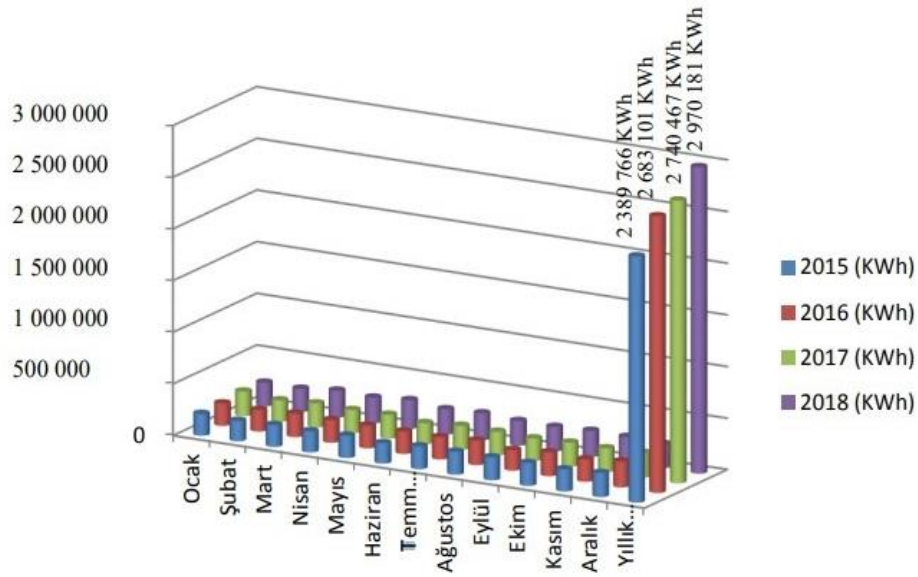


Şekil 4.4 Elektrik atölye binası üstten görünüş (Açıkgöz 2019)

Araç bakım atölye bünyesinde, 45 kW, 90 kW ve 11 kW gücünde 3 adet hava kompresörü çalışmaktadır. 45 kW’lık kompresör, Merkez Atölye ana binanın basınçlı hava ihtiyacını karşılamakta, 90 kW’lık kompresör, 45 kW’lık kompresörün çalışmasında bir aksaklık olması durumunda veya bakımı esnasında yedek kompresör olarak çalışmaktadır. 11 kW’lık kompresör, elektrik atölyesi binasında bulunan, lastik

atölye biriminin basınçlı hava vermektedir. Merkez Atölye aydınlatmasın da ciddi miktarda elektrik enerjisi kullanılmaktadır, aydınlatma yapan ampullerin sayısı 2.000'inin üzerinde bulunan ampuller ile aydınlatma yapmaktadır. Merkez atölye kampüsünde, elektrik enerjisi tüketiminin en büyük payına sahip kısım CNG dolun istasyonlarında bulunan ve her biri 355 kW'lık enerji tüketimi gerçekleştiren 2 adet ve 3 adet 250 kW'lık elektrik motoruna sahip kompresör çalışmaktadır.

Bakım Onarım Müdürlüğündeki otobüs yakıt dolun tesisine ait dolun yapan kompresörlerin harcamış olduğu elektrik miktarları şekil 4.5'de gösterilmiştir. Grafikte 2015 yılında toplam elektrik kullanımı 2.389.766 kWh, 2016 yılında toplam elektrik kullanımı 2.683.101 kWh, 2017 yılında toplam elektrik kullanımı 2.740.467 kWh, 2018 yılında ise toplam elektrik kullanımı 2.970.181 kWh'dir. Elektrik kullanımının 2023 ve 2024 yıllarına ait aylık ve yıllık miktarları ve tutarları ise çizelge 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 CNG istasyonunun 2015-2018 yılları arasında elektrik tüketimi

Otobüs tamir bakım atölyesinin mevcut durumunda, aydınlatma sisteminde geleneksel floresan şerit ampuller kullanılmaktadır. Atölye binasında aydınlatmada yıllık elektrik kullanımı 121.196,25 kWh olmuştur. Elektrik atölye binasında ise yıllık 37.634,63 kWh elektrik aydınlatmada kullanılmıştır (Açıkgöz 2019). Doğalgazın taşıtlarda benzin ve motorine göre düşük emisyonlu olduğundan tercih edilmektedir. Doğalgazın enerji yoğunluğu düşüktür. Enerji yoğunluğunun yükseltilmesi amacıyla doğalgaz sıkıştırılır

veya sıvılaştırılır. Doğalgazın ısı değeri 47 MJ/kg'a eşittir. Doğalgaz taşıtlarda 200 bar'da sıvılaştırılarak kullanılmaktadır. Bu nedenle sıkıştırılmış doğal gaz, İngilizce compressed natural gas isminin baş harfleri ile CNG olarak isimlendirilir. Doğalgaz yeryüzünün alt katmanlarında başta metan CH<sub>4</sub> ve etan C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Doğalgazın ısı değeri 47 MJ/kg veya 40MJ/m<sup>3</sup> 'e eşit olup, 1 kg doğalgaz 1,33 litre benzine veya 1,22 litre motorine eşittir. Diğer bir karşılaştırma ile 1 m<sup>3</sup> doğalgaz 1,1 litre benzine veya 1,0 litre motorine eşit olmaktadır (Aytaş 2012).

EGO Bakım Müdürlüğünde kullanılan CNG dolun istasyonunun 2024 yılına ait elektrik tüketimi 4.179.630,15 kWh olmuştur. 2023 yılına ait elektrik tüketimi ise 4.272542,90 kWh olmuştur. Çizelge 4.2'de 2023 ve 2024 yılına ait elektrik tüketiminin aylara göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 4.2 Otobüs CNG dolun istasyonunun elektrik tüketimi

2023 Yılı		2024 Yılı		
CNG Dolunu (Ay)	Elektrik Tüketimi (kWh)	CNG Dolunu (Ay)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Tutarı (TL)
Ocak 2023	339.231,60	Kasım 2023	343.316,40	1.312.793
Şubat 2023	295.047,45	Aralık 2023	352.458,90	1.397.134
Mart 2023	329.657,85	Ocak 2024	363.426,45	1.474.579
Nisan 2023	303.703,50	Şubat 2024	345.458,85	1.373.436
Mayıs 2023	324.921,00	Mart 2024	371.395,95	1.618.202
Haziran 2023	314.795,25	Nisan 2024	348.701,85	1.464.003
Temmuz 2023	609.021,60	Mayıs 2024	378.734,10	1.725.423
Ağustos 2023	365.023,80	Haziran 2024	344.416,95	1.473.140
Eylül 2023	339.373,05	Temmuz 2024	327.142,80	1.780.657
Ekim 2023	355.991,70	Ağustos 2024	317.255,10	1.669.127
Kasım 2023	343.316,40	Eylül 2024	333.194,10	1.671.706
Aralık 2023	352.458,90	Ekim 2024	354.128,70	1.875.559
Toplam	4.272542,90	Toplam	4.179.630,15	18.835.759

## 4.2 EGO Genel Müdürlüğü Güneş Enerji Santralinin Kurulumu

Bakım atölyesinin 2 adet çatısı ve 4 ayrı kanadına yerleştirilen güneş panellerine ait resim şekil 4.6 ve şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bakım atölyesinin eviricileri GES PANO-2 olarak ayrı elektrik panosuna bağlanmıştır. Bakım atölyelerinin 1564 adet güneş panellerinden 852,38 kW<sub>p</sub> DC gücü elde edilmektedir. Eviricilerde alternatif akıma çevrilen elektrikten 720 kW<sub>e</sub> enerji elde edilmiştir.

Güneş panelinin yerleşim dizilimine ait plan şekil 4.11’de görülmektedir. Yerleşim planında 1’den 7’ye kadar olan 6 adet eviriciye bağlanan paneller elektrik atölyelerinin çatısına yerleştirilen panellerdir. 7’den 18’e kadar olan 12 adet eviriciye bağlanan güneş panelleri ise bakım onarım atölyelerinin çatısına yerleştirilen güneş panelleridir. Bakım onarım atölyelerinin çatısına 1564 adet güneş paneli yerleştirilmiştir. Bakım onarım atölyelerinin çatısına yerleştirilen güneş panelleri şekil 4.6 ve şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Bakım atölyesi güneş panellerinin montajı

Elektrik atölyesinin 2 adet çatısı ve 3 ayrı kanadına yerleştirilen güneş panellerine ait resim şekil 4.8 ve şekil 4.9’da gösterilmiştir. Elektrik atölyesinin 6 adet eviricisi GES PANO-1 olarak, bakım atölyelerinin elektrik panosundan ayrı elektrik atölyelerinin içinde yer alan elektrik panosuna bağlanmıştır. Elektrik atölyelerinin çatısına toplam

707 adet güneş paneli yerleştirilmiştir. Elektrik atölyelerinin güneş panellerinin yerleşim planı şekil 4.11’de yer almaktadır.



Şekil 4.7 Bakım atölyesi güneş panellerinin montajı



Şekil 4.8 Elektrik atölyesinin çatı görüntüsü

Elektrik atölyelerinin 707 adet güneş panellerinden  $385,31 \text{ kW}_p$  DC gücü elde edilmektedir. Eviricilerde alternatif akıma çevrilen elektrikten  $346,6 \text{ kW}_e$  enerji elde edilmiştir. Elektrik atölyesinin 2 adet çatısı ve 3 ayrı kanadına yerleştirilen güneş panellerine ait resim şekil 4.8 ve şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 Elektrik atölyesinin güneş paneli yerleşimi

EGO Genel Müdürlüğü Bakım Onarım Merkezindeki, otobüslerin yakıt dolum istasyonunun elektrik tüketimini karşılamak için güneş enerji santrali kurulmaktadır. Otobüslerin CNG yakıt dolum istasyonu şekil 4.10'da verilmiştir. CNG yakıt dolum istasyonunun aylık elektrik tüketim miktarları çizelge 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 CNG dolum istasyonunun görüntüsü

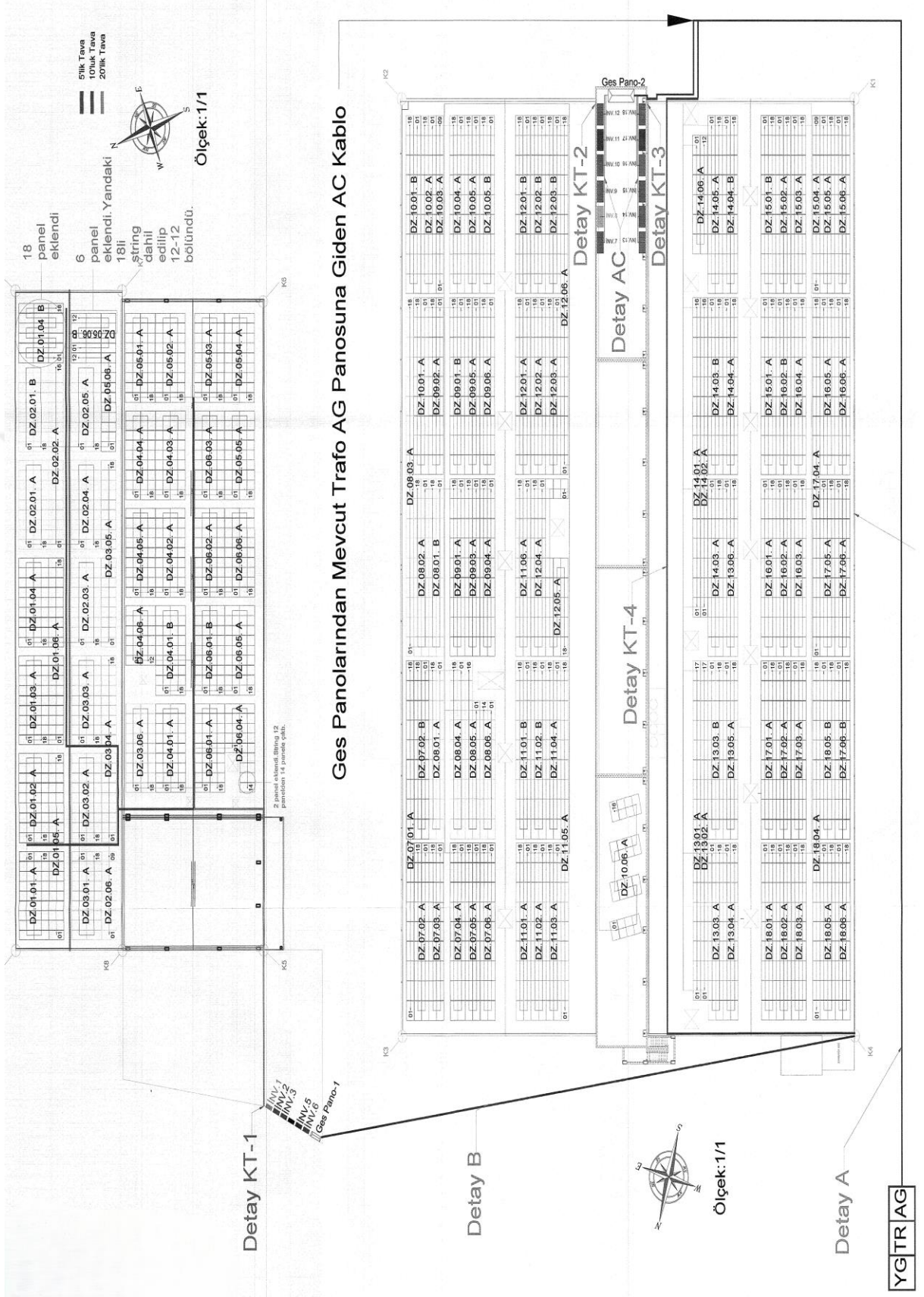
CNG yakıt dolum istasyonunun aylık elektrik tüketim verilerine göre 2023 yılında toplam elektrik tüketimi çizelge 4.2'deki verilerden 4.272.542,90 kWh olmuştur. 2024 yılında ise elektrik tüketimi 4.179.630,15 kWh olmuştur. 2024 yılında tüketilen elektrik

için toplam 18.835.759 TL ödenmiştir. EGO bakım atölyelerinin çatısına kurulacak olan güneş enerji sistemi ile yıllık 1.667.117 kWh elektrik enerjisi üretilerek CNG yakıt dolum tesisinde tüketilen elektriğin ortalama %35 oranındaki kısmı güneş enerji sistemiyle karşılanmış olacaktır.

Aksay Energies şirketi tarafından hazırlanan, güneş enerji santral projelerinin çizimleri şekil 4.11 ve şekil 4.12'de gösterilmiştir. Aşağıda gösterilen projede, güneş panellerinin çatıdaki dizilimleri ve bağlantıları çizilmiştir. Şekil 4.11'in üst kısmındaki çizimde elektrik atölyesinin çatısındaki güneş panelleri gösterilmiştir. Toplamda 6 adet eviriciye bağlı 707 adet güneş paneli yerleştirilmiştir. Şekil 4.11'in alt kısmındaki çizimde ise 2 tane bakım atölyelerinin çatısına yerleştirilen güneş panelleri gösterilmiştir. Birinci atölyenin çatısına 6 adet eviriciye bağlı 811 adet güneş paneli dizilmiştir. İkinci atölyenin çatısına ise 6 adet eviriciye bağlı 753 adet güneş paneli dizilmiştir. Atölye binaları çatılarının her iki bina için de yer düzlemi ile yaptığı açı  $10^{\circ}$  eğimlidir. Çatılar; U ve kare profillerle kurulmuş üçgen kafes sistemi ile çatı ağırlığını taşımaktadır. Statik hesaplamalarla çatıların birim metrekarede taşıyabileceği yük 1.000 Newton olarak hesaplanmıştır.

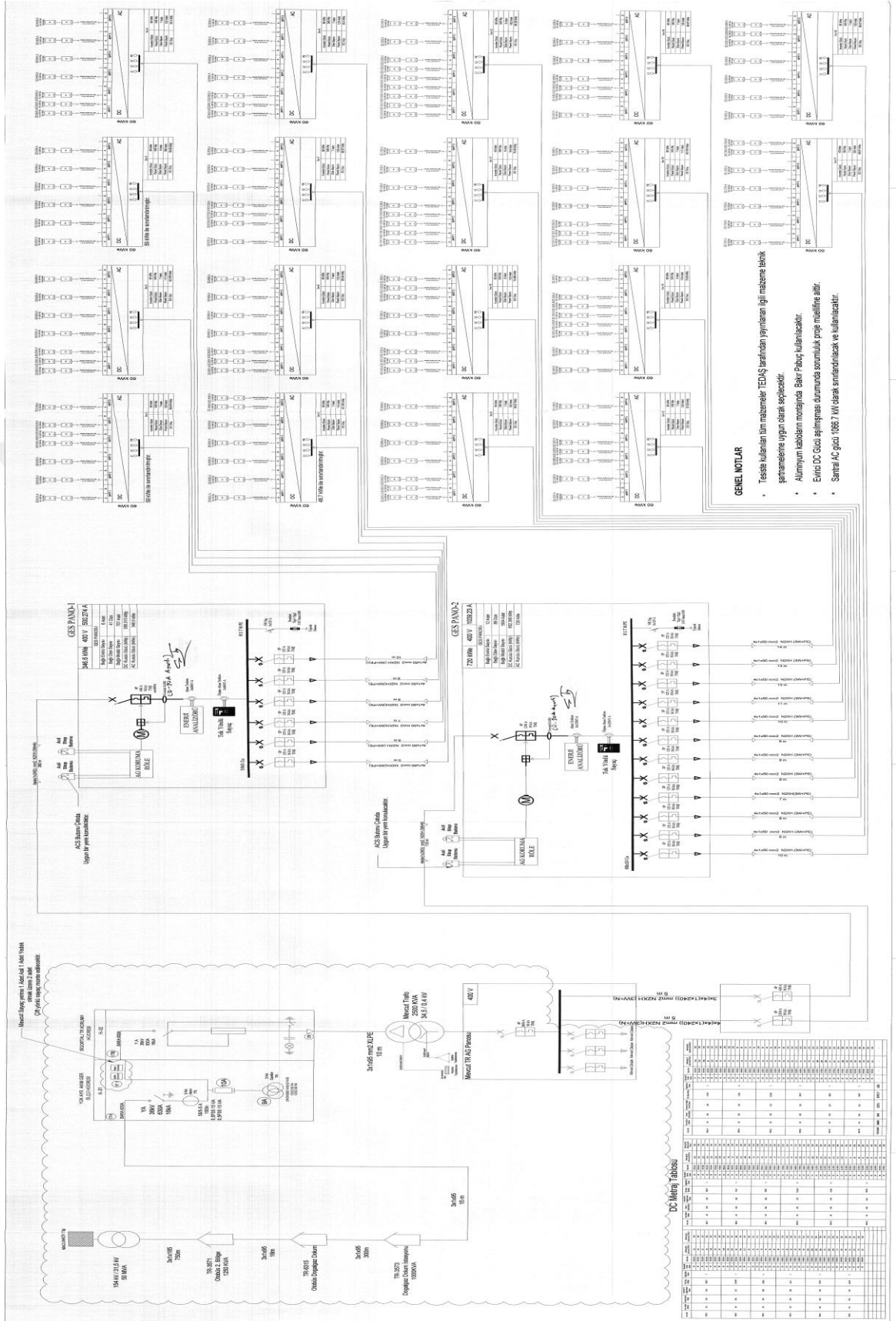
EGO Genel Müdürlüğü bakım merkezine kurulacak olan güneş enerji santralinin elektrik şeması ve kablo bağlantıları yukarıdaki Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Elektrik şemasının büyütülmüş görüntüsü tezin ekler kısmında yer almaktadır. CNG dolum trafosundan çıkan elektrik hattı, bakım onarım merkezinin 1.250 kVA'lık trafosuna oradan da şehir şebekesinin 50 MVA'lık elektrik trafosuna bağlanmıştır.

Elektrik üretimi için çatıya yerleştirilen güneş panellerinin, eviricilere bağlı panel sayılarının ve güneş panelleri ile eviriciler arasındaki kabloların metraj listesi çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.11 Güneş enerji santralinin yerleşim planı

Elektrik şemasının çiziminde, güneş panellerinden şebekeye ve CNG dolum trafosuna kadar olan elektrik planı ve bağlantıları gösterilmiştir. Elektrik şemasında en sağdaki çizimde güneş panellerinin ürettiği doğru akımı alternatif akıma çeviren eviricilerin planı çizilmiştir. Şemanın sağ üst kısmındaki çizimde 6 adet eviricinin elektrik atölyelerindeki güneş panellerinin GES elektrik panosuna kablo bağlantısı gösterilmiştir. GES elektrik panosu 1'e 6 adet evirici bağlanmış olup toplam 41 adet dize ve 707 adet güneş paneli monte edilmiştir. Her bir eviricide 6 adet MPPT bulunmaktadır. Her bir MPPT'nin 2 adet dize bağlantısı bulunmaktadır. Eviricilere toplam 12 adet dizi bağlanabilmektedir. MPTT ile güneş panelinin çalışabileceği maksimum güç noktasını değişen akım ve gerilim oranlarını hesaplayarak güneş panelinden maksimum çıkış gücü elde edilmektedir. Elektrik atölyelerine kurulan güneş panellerinin kurulu gücü 385,31 kW<sub>p</sub> olup eviriciler ile alternatif akıma çevrildiğinde ise 346,6 kW<sub>p</sub> kurulu güç üretmektedir. Elektrik atölyelerinin konumu trofa merkezine uzakta yer aldığı için elektrik atölyelerinde yer alan elektrik panosu 360 m uzaklıktaki trafo odasına yer altına döşenecek olan 3x(4x(1x240)) mm<sup>2</sup> N2XH elektrik kablosu ile bağlantısı yapılacaktır. Şekil 4.12'deki çiziminin sağ alt köşesinde yer alan 12 adet bakım atölyelerinin eviricileri GES elektrik panosuna kablo ile bağlanmıştır. GES PANO-2'ye 12 adet evirici bağlanmış olup toplam 89 adet dize ve 1.564 adet güneş paneli monte edilmiştir. Her bir eviricide 6 adet MPPT bağlantısı yer almaktadır. Her bir MPPT'nin 2 adet dize bağlantısı bulunmaktadır. Bakım ve onarım atölyelerine kurulan güneş panellerinin kurulu gücü 852,38 kW<sub>p</sub> olup eviriciler ile alternatif akıma çevrildiğinde ise 720 kW<sub>p</sub> kurulu güç üretmektedir. Bakım atölyelerinin elektrik panosu yer altına döşenecek olan 110 m uzunluktaki 4x(4x(1x240)) mm<sup>2</sup> N2XH elektrik kablosu ile elektrik trafosuna bağlanmış olacaktır. Akım şemasının orta kısmında gösterilen GES PANO-1 ve GES PANO-2 ise eviricilerin bağlandığı elektrik panosu çizilmiştir. Şemanın soldaki çiziminde ise elektrik ve bakım atölyelerindeki GES elektrik panosundan gelen elektriğin toplandığı CNG dolum trafo odası gösterilmiştir. Elektrik şemasının sol üstteki çiziminde ise şebekeden gelen ve şebekeye verilen elektriği hesaplamak için çift yönlü elektrik sayacının bağlantı odası çizilmiştir. Sayaç odasından çıkan elektrik kabloları, CNG dolum istasyonunu besleyen şebeke trafosuna oradan da trafo merkezine bağlantısı gösterilmiştir. Eviricilerden elde edilen toplam 1.066,7 kW elektrik enerjisi CNG dolum istasyonunun elektrik trafosuna bağlanacaktır.



Şekil 4.12 Güneş enerji santralinin elektrik şeması

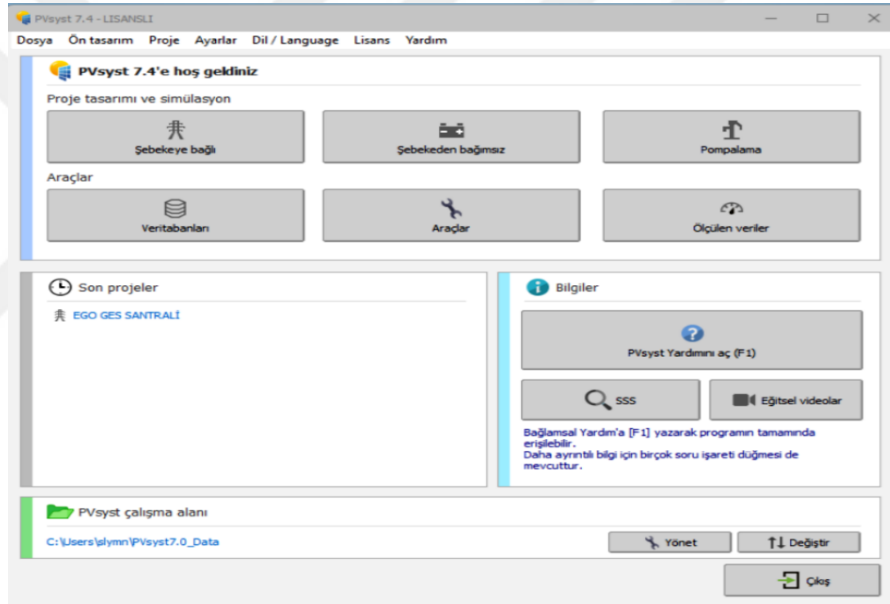
Çizelge 4.3 Güneş enerji santralinin DC metrajı

Evirici Adı	Evirici Gücü (kWe)	Panel Gücü (Wp)	Eviriciye Bağlı Panel Sayısı	DC Gücü (kWp)	Eviriciye Bağlı Dize Sayısı	Metraj (m) 1x6 mm <sup>2</sup> PV1-F	Metraj (m) 2x1x6 mm <sup>2</sup> PV1-F
INV.1	60	545	126	68,67	7	652	1.304
INV.2	60	545	117	63,76	7	735	1.470
INV.3	60	545	108	58,86	6	469	938
INV.4	60	545	120	65,4	7	575	1.150
INV.5	60	545	114	62,13	7	773	1.546
INV.6	60	545	122	66,49	7	519	1.038
INV.7	60	545	126	68,67	7	943	1.886
INV.8	60	545	120	65,4	7	761	1.522
INV.9	60	545	126	68,67	7	568	1.136
INV.10	60	545	133	72,48	8	495	990
INV.11	60	545	144	78,48	8	847	1.694
INV.12	60	545	162	88,29	9	632	1.264
INV.13	60	545	124	67,58	7	688	1.376
INV.14	60	545	134	73,03	8	361	722
INV.15	60	545	117	63,76	7	323	646
INV.16	60	545	126	68,67	7	488	976
INV.17	60	545	126	68,67	7	674	1.348
INV.18	60	545	126	68,67	7	862	1.724
Toplam	1.080	545	2.271	1.237,7	130	11.365	22.720

Elektrik panosunda toplam 18 adet evirici bulunmaktadır. Eviricilerin 1'den 7'ye kadar olanı elektrik atölyelerinin elektrik panosuna bağlanmıştır. Eviricilerin 7'den 18'e kadar olanı bakım onarım atölyelerinin elektrik panosuna bağlanmıştır. 18 adet eviriciye bağlı 545 Wp gücünde toplam 2271 adet güneş paneli bulunmaktadır. Eviricilere bağlı güneş panelleri 130 dize şeklinde paralel bağlanmıştır. Güneş panelleri ile eviriciler arasındaki kablo bağlantılarında toplam 11.365 m uzunluğunda 1x6 mm<sup>2</sup> PV-1 kablosu ile 22.720 m uzunluğunda 2x1x6 mm<sup>2</sup> PV-1 kablosu kullanılmıştır. Eviriciler toplam 1.080 kW AC gücünde elektrik üretmektedir. Güneş panelleri toplam 1.237,7 kW DC gücünde elektrik üretmektedir. Güneş enerji santralinin güneş panellerine ait metraj listesi çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

### 4.3 PVSYST İle Simülasyon Çalışması

PVSYST programı güneş enerji santralinin elektrik ve ekonomik analizini yapan bilgisayar programıdır. PVSYST programı çalıştırıldığında şekil-4.13'deki ekran açılır. Ekrandan güneş enerji santralinin kullanım özelliklerine göre 3 çeşit santral modeli vardır. 1. model şebekeye bağlı, 2. model şebekeden bağımsız ve 3. model su pompasına bağlı çalışandır. Kurulacak santralin şebekeye bağlı mı, şebekeden bağımsız mı olacağı veya şebekeden uzaktaki arazide bir su pompasının elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılması durumunda ise su pompasının çalışma şartlarına uygun olan su pompasının kapasitesi ve elektrik ihtiyacı bu aşamadaki model seçiminden yapılır. Ayrıca santralde kullanılan elektrik malzemeleri ve hava durumu verilerine de bu pencereden seçilebilir.

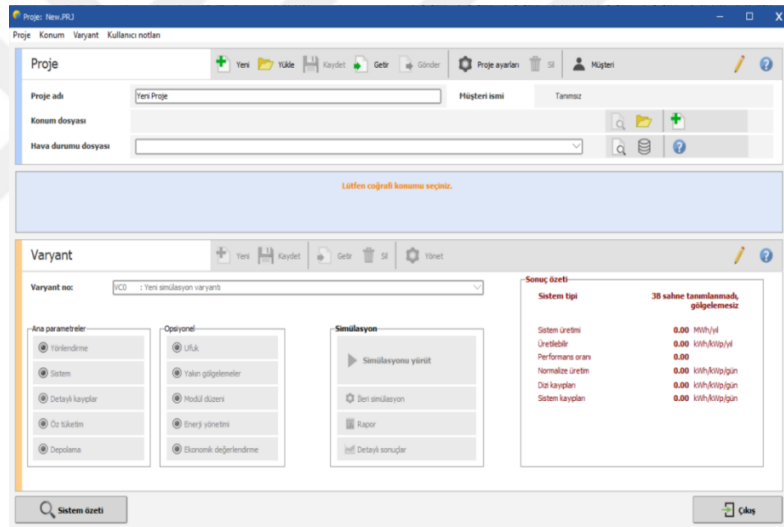


Şekil 4.13 PVSYST ana açılış ekran görüntüsü

EGO Genel Müdürlüğüne bağlı Bakım Onarım Müdürlüğü'nün çatısına kurulacak olan güneş enerji santrali, otobüslerin CNG yakıt dolum tesisindeki elektrik trafosuna bağlanıp üretim fazlası elektrik ise şebekeye verileceğinden şebekeye bağlı seçeneği seçilir. Ana açılış ekranının görüntüsü şekil 4.13'de verilmiştir.

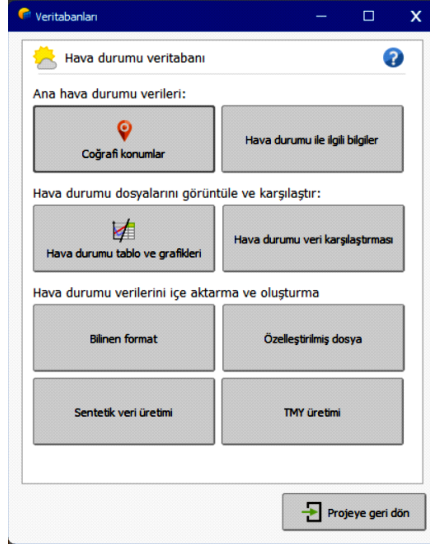
PVSYST programında, şebekeye bağlı santral seçildikten sonra açılan şekil 4.14'deki pencereden yeni bir dosya adı yazılıp yeni proje bilgileri girilir. Pencerenin alt kısmında, güneş enerji santraline ait özelliklerinin bulunduğu 5 adet ana özellikler ve 5 adet ise

isteğe bağlı özelliklerin seçildiği menüler bulunmaktadır. Ana özelliklerde güneş enerji sistemin de kullanılan panellerin, eviricilerin seçimi, bağlantıları ve yerleşimi yapılır. Opsiyonel menüsünde ise an menüde olmayan özellikler seçilmektedir. Opsiyonel menüden, güneşin ufuktaki hareketini ufuk menüsünden seçilir. Güneş panellerinin yanında güneşi kesen bir yapı varsa yakın gölgelemeler menüsünden gölgeleme çizimi yapılır. Modül düzeninden güneş panellerini yerleşim planı yapılır. Enerji yönetim menüsünden güneş enerji santraline ait güç sınırlamalarının seçimi yapılır. Ekonomik değerlendirme menüsünden güneş enerji santralinin kurulum maliyetleri ve elektrik üretim maliyetlerinin analizi yapılır. Menülerden santral özellikleri seçildikten sonra menünün sağ kısmındaki simülasyon menüsünden santralin simülasyonu ile santrale ait üretim verileri ve ekonomik veriler elde edilir. Simülasyon tamamlandıktan sonra rapor olarak elde edilen sonuçlar dosyaya da kaydedilmektedir.



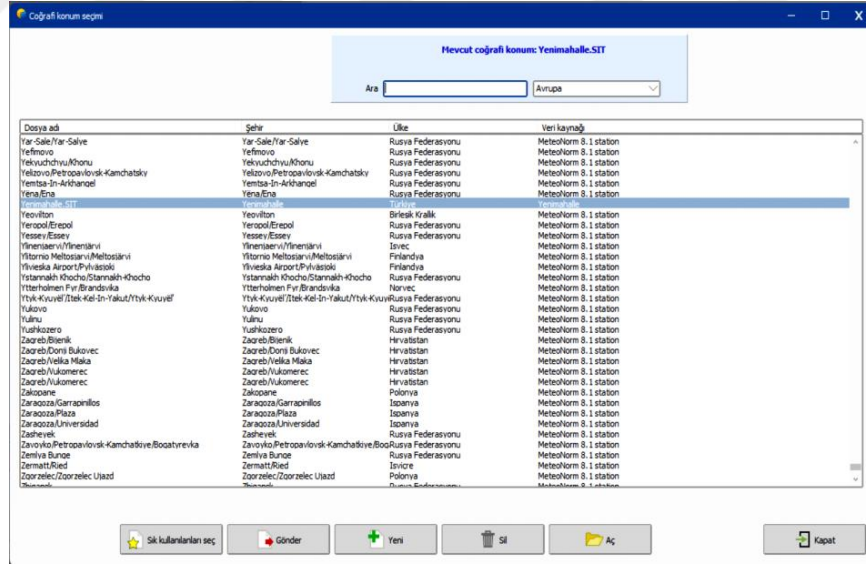
Şekil 4.14 PVSYSYT ana menülerinin görüntüsü

Yukarıdaki pencerede projeye ait bilgiler girilerek, projenin elektrik ve ekonomik analizi elde edilir. Pencerenin en üstünde dosya açma, kaydetme ve proje ayarları menüleri bulunur. Pencerenin sağ üst kısmında ki alanda ise projeye ait hava durumu bilgileri seçilir. Hava durumu veri tabanı menüsü seçilerek, santralin kurulacağı alanın coğrafi konumu ve hava durumu bilgilerini seçmek için aşağıda gösterilen şekil 4.15'deki menü ekranı açılır.



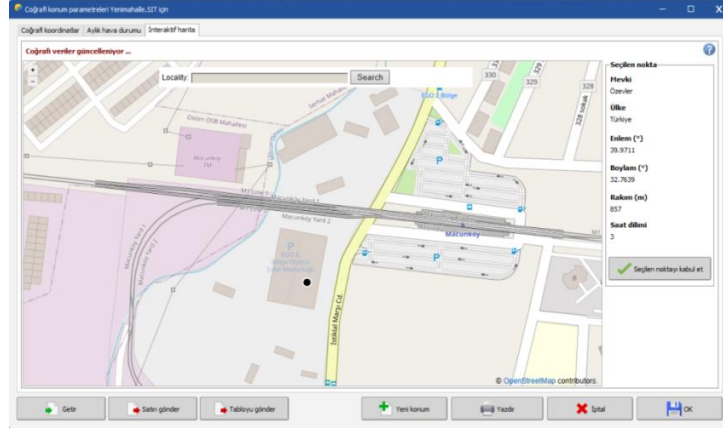
Şekil 4.15 PVSYST coğrafi konum ana ekranı

Hava durumu ve coğrafi konuma ait bilgiler menüdeki coğrafi konumlar butonu tıklanarak santralin kurulacağı yerin konumu seçilir. Menüde istediğimiz alanın coğrafi bilgileri olmadığında kendimiz menünün altında bulunan yeni butonu tıklanarak yeni bir coğrafi konum ve hava durumu bilgileri oluşturmak gerekmektedir ( Şekil 4.16).



Şekil 4.16 PVSYST’de kayıtlı hava durumu bilgileri

Yukarıdaki menüden yeni sekmesi tıklandığında açılan pencere üzerindeki haritadan, güneş enerji santralimizin kurulacağı alan seçilir (Şekil 4.17). Pencerenin üstünde bulunan aylık hava durumu butonu ile de hava durumuna ait bilgiler girilir.



Şekil 4.17 PVSYST’de coğrafi konumun seçimi

Seçtiğimiz coğrafi konuma ait hava sıcaklığı ve güneş ışınımı bilgileri aylık yazılarak coğrafi bilgiler girilmiş olur. Ankara iline ait aylık ışınım bilgileri, PVGIS TMY 5.2 veri tabanından veya MeteoNorm veri tabanından seçilebilir. Hava durumu bilgilerini MeteoNorm 8.1’in güneş ışınım bilgileri kullanılmıştır. Ankara ilinde global yatay ışınlanma miktarı mayıs, haziran, temmuz, ağustos aylarında en yüksek ışınlanmaya ulaşarak temmuz ayında global yatay ışınlanma miktarı  $224,5 \text{ kWh/m}^2/\text{ay}$  olduğu görülmektedir. Yıllık toplam global yatay ışınlanma miktarı  $1.682,8 \text{ kWh/m}^2$  ve yıllık yatay difüz ışınlanma miktarı ise  $592,8 \text{ kWh/m}^2$ ’dir (Şekil 4.18).

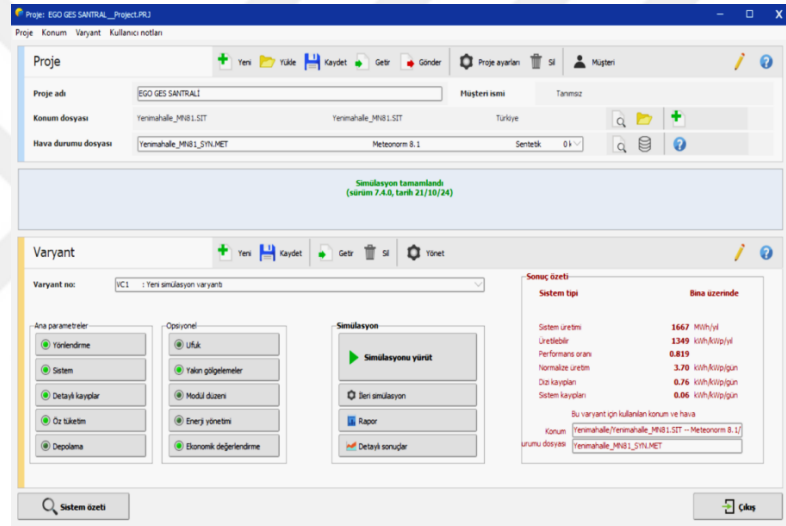
	Global yatay ışınlanma	Yatay difüz ışınlanma	Sıcaklık	Rüzgar hızı	Linke bulanıklığı	Bağıl nem
	kWh/m <sup>2</sup> /ay	kWh/m <sup>2</sup> /ay	°C	m/s	[-]	%
Ocak	62.5	27.2	5.0	1.90	2.781	79.7
Şubat	83.3	33.2	9.0	2.20	3.097	72.8
Mart	127.2	56.4	14.0	2.40	3.640	63.2
Nisan	159.7	72.5	20.0	2.39	4.155	56.1
Mayıs	200.0	75.0	24.0	2.30	3.718	54.8
Haziran	215.8	68.3	28.0	2.59	3.356	53.0
Temmuz	224.5	62.7	34.0	2.80	3.306	40.6
Ağustos	205.9	58.4	35.0	2.70	3.234	40.6
Eylül	162.5	41.3	29.0	2.20	3.078	46.4
Ekim	112.2	41.1	22.0	1.80	3.153	58.9
Kasım	73.4	29.5	15.0	1.60	2.867	70.8
Aralık	55.8	27.2	7.0	1.69	2.770	79.0
<b>Yıl</b>	<b>1682.8</b>	<b>592.8</b>	<b>20.2</b>	<b>2.2</b>	<b>3.263</b>	<b>59.7</b>

Şekil 4.18 PVSYST’de hava durumu bilgilerinin görüntüsü

Projedeki coğrafi konum bilgilerini girdikten sonra projeye ait bilgiler ana parametrelerde bulunan yönlendirme butonundan güneş panellerinin yatay yerleştirilme

açıları yazılır, sistem butonunda güneş panellerinin elektriksel verileri yazılır, detaylı kayıp butonunda güneş panellerinde oluşan kayıplar girilir, öz tüketim menüsünde bakım onarım atölyesinde kullanılan elektrik miktarı yazılır, depolama menüsünde üretilen elektrik batarya sistemi kurulması durumunda batarya seçimi yapılır ve opsiyonel menüleri de doldurularak simülasyon yapılır (Şekil 4.19).

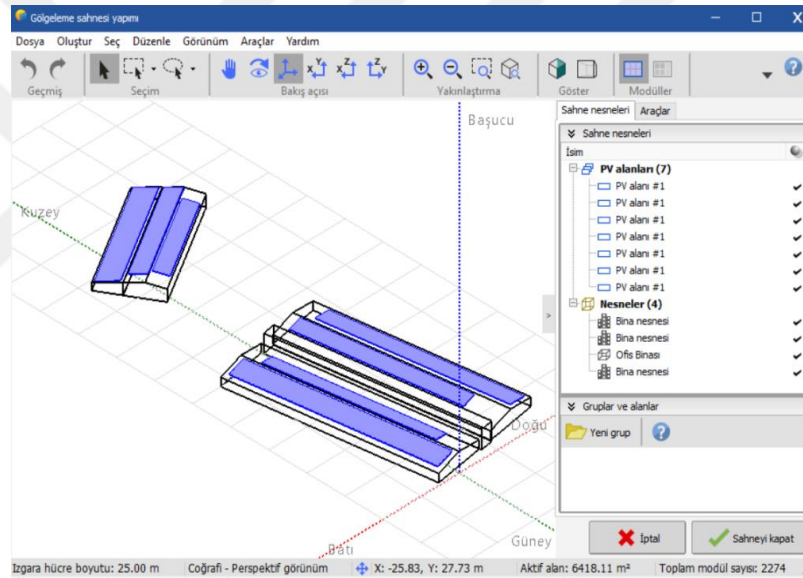
Bakım Onarım Atölyelerinin çatısına yerleştirilecek güneş panellerinin eğim açısı ve azimut açısı yönlendirme menüsünden yapılır. Ana atölyelerin ve elektrik atölyelerinin çatısı yatay ile 10° eğimlidir. Güneş panellerinin eğim açısı da aynı açiya sahip olarak yerleştirilmektedir. Azimut açısı ise güneş panellerinin kuzey ile yaptığı açıdır ve güneş panelinin konumunu hesaplamak için bu açıyı da program da girilmelidir.



Şekil 4.19 PVSYST’de santralin simülasyonunun ana ekran görüntüsü

Atölyelerin çatısı farklı yönlere baktığından azimut açıları da değişmektedir. Ana atölyenin iki adet çatısının yönleri ve açıları aynı olduğundan azimut açıları da aynıdır doğuya bakan panellerin azimut açısı 81° batıya bakan panellerin azimut açısı -99° olmaktadır. Elektrik atölyesinin azimut açısı ise kuzeye bakan çatı da -31° güneye bakan çatıda ise 149° olmaktadır. Güneş panelinin yönü kuzey ile saat açısı yönündeki açı pozitif açı, saat açısının tersi yönündeki açı ise negatif açı olarak hesaplanır. Azimut açısının 0° veya -180° olması durumunda ise güneş panelleri direk güney cepheye yöneldiğinden maksimum elektrik enerjisi elde edilir.

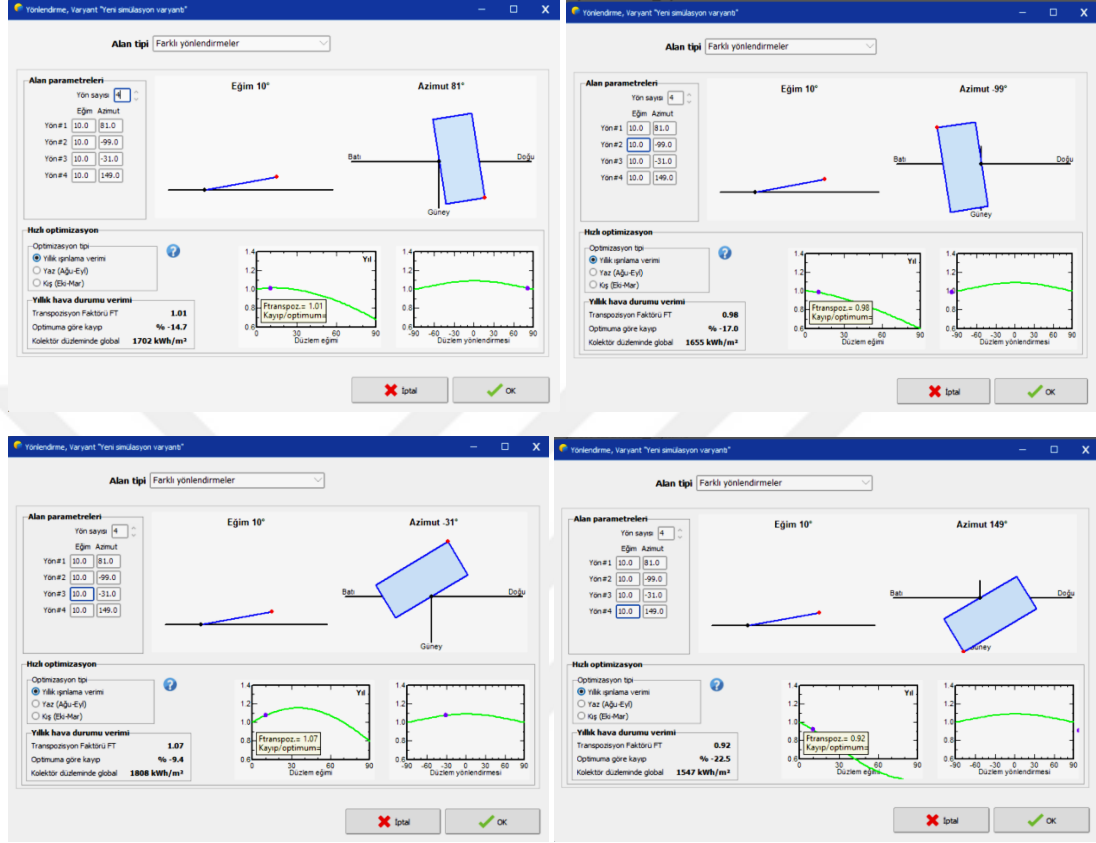
EGO Müdürlüğünün çatısına yerleştirilecek olan güneş enerji santraline ait PVSYST’de binaların çizimi şekil 4.20’de gösterilmiştir. Bakım atölyelerinin çatısı 2 adet olup 32 m genişliğinde ve 110 m uzunluğunda olup 10° eğimlidir. Elektrik atölyelerinin çatısı 2 adet olup birinci atölyenin çatısı 21 m genişliğinde ve 75 m uzunluğunda olup 10° eğimlidir. Bakım atölyelerinin çatı alanı 7.000 m<sup>2</sup>’dir. Elektrik atölyelerinin ikinci çatısı ise 16 m genişliğinde ve 75 m uzunluğunda olup 10° eğimlidir. Elektrik atölyelerinin çatı alanı 2.500 m<sup>2</sup>’dir. Çatılara yerleştirilen güneş panelleri mavi renkle gösterilmiştir. İki bakım atölyesinin arasında Bakım Onarım Müdürlüğünün çalışma yeri ofisler bulunmaktadır. Bakım atölyelerinin çatısına yerleştirilen güneş panelleri doğu batı yönüne bakmaktadır. Elektrik atölyelerinin çatısına yerleştirilen güneş panelleri ise kuzey güney yönüne bakmaktadır (şekil 4.20).



Şekil 4.20 PVSYST’de güneş panellerinin yerleşimi

EGO Müdürlüğü Bakım Onarım Merkezinin çatısına yerleştirilen güneş panellerinin konumu, verilen şekil 4.21’de gösterilmiştir. Çatıya yerleştirilen güneş panellerinin 4 farklı konumu vardır. Bakım atölyelerinin çatısına yerleştirilen birinci konumundaki güneş panellerinin eğimi 10° kuzey yönü ile yaptığı açı olan azimut açısı 81°’dir, güneş panelleri batı yönüne doğru bakmaktadır. Bakım atölyesinin ikinci konumundaki güneş panellerinin eğimi 10° olup azimut açısı ise -99°’dir, güneş panelleri doğu yönüne doğru bakmaktadır. Elektrik atölyelerinin çatısına monte edilen üçüncü konumdaki güneş panellerinin eğimi 10° olup azimut açısı -31°’dir, güneş panellerinin yönü güney-doğu

yönüne bakmaktadır. Elektrik atölyesinin çatısına monte edilen dördüncü konumdaki güneş panellerinin eğimi  $10^\circ$  olup azimut açısı ise  $149^\circ$ 'dir, güneş panellerinin yönü kuzey-batı yönüne bakmaktadır (şekil 4.21).



Şekil 4.21 PVSYS'Te güneş panellerinin yerleşim yönünün görüntüsü

Programın sistem menüsüne tıklanıldığında ekran açılır. Projede kullanılan güneş paneli ve eviricinin seçimi ve boyutlandırılması bu aşamada yapılır. Menü'nün üst kısmından güneş panelimizin bulunduğu alanın ismi yazılır ve konumu seçilir. Bakım Onarım Merkezinde 2 adet bakım atölyesi, 2 adet de elektrik atölyesinin çatısında toplam 7 adet ayrı sistem şeklinde çalışan güneş enerji santrali monte edilmiştir. Çatıya kurulan santralde toplam 18'li serilerden oluşan 130 adet dize monte edilmiştir.

Sonraki aşamada PV modül seçimi alanından projede kullanılan CW545 144PM10 modeli seçilir. Programın kütüphanesinde bulunmadığından kendimizin yeni PV panel oluşturmak gerekir. CW545 144PM10 modelinin standart test koşulları (STC) altında  $1.000 \text{ W/m}^2$  güneş ışınımı ve  $25^\circ \text{C}$  hücre sıcaklığında aşağıda verilen şekil 4.22'deki özelliklere sahiptir. Güneş panelinin kısa devre akımı  $I_{sc}$ :  $13,76 \text{ A}$ 'dir. Maksimum akım

12,92 A'dır. Açık devre gerilimi ise 50 V'dur. Maksimum gerilim 42,2 V'dur. Panelin verimi %21-22'dir. Ekranın üstünde yer alan sekmelerde güneş panelinin fiziksel ve elektriksel özelliklerine dair bilgiler bulunmaktadır. Elektriksel özelliklerinden seri ve paralel direnç değerleri olan  $R_s$ : 0,195 ohm ve  $R_{sh}$ : 500 ohm'dur. Güneş panelinin sızıntı akımı  $I_o$ : 0,017 nA'dır. Diyot idealite faktörü ise 1'dir. Güneş panelinin gücü 545 W'dır. Değişen ışınım ve sıcaklıktaki akım, gerilim ve gücü değerleri grafikler sekmesindeki seçeneklerden yer almaktadır.

**PV modül tanımlaması**

Ana veriler | Boyutlar ve Teknoloji | Model parametreleri | Ek veriler | Ticari | Grafikler

Model: CWT545 144PM10 Üretici: CW ENERJİ  
 Dosya adı: CWT545 144PM10.PAN Veri kaynağı: Manufacturer  
 Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler

Nominal güç (STC'de): 545.0 Wp Tol. +/- N/A N/A %  
 Teknoloji: Si-mono

**Üretici teknik özellikleri veya diğer ölçümler**

Referans koşullar	Gref	1000	W/m²	TRef	25	°C
Kısa devre akımı	Isc	13.760	A	Açık devre Voc	50.00	V
Maks güç noktası	Imp	12.920	A	Vmpp	42.20	V
Sıcaklık katsayısı	muIsc	6.9	mA/°C	Seri mod. say.	72	x 2
	veya muIsc	0.050	%/°C			

**Model özeti**

<b>Ana parametreler</b>	
Rşönt	500 Ω
Rsh (G = 0)	2000 Ω
<b>R seri model</b>	0.20 Ω
R seri maks.	0.20 Ω
Görünür R seri	0.33 Ω

**Model parametreleri**

Gama	0.986
IoRef	0.02 nA
muVoc	-120 mV/°C

**İç model sonuçları**

İşletme koşulları	GOper	1000	W/m²	TOper	25	°C
Maks güç noktası	Pmpp	545.9	W	Sıcaklık katsayısı	-0.28	%/°C
	Akım Imp	13.09	A	Gerilim Vmpp	41.7	V
Kısa devre akımı	Isc	13.76	A	Açık devre Voc	50.0	V
Verim	/ Hücre yüzeyi	22.89	%	/ Panel yüzeyi	21.13	%

Optimizasyonu göster | Kopya | Yazdır | İptal | OK

Şekil 4.22 PVSYS'te güneş panelinin seçimi

Daha sonra güneş panelin üretmiş olduğu doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi için evirici kullanılır. Elektrikli cihazlar, genellikle alternatif akım ile çalıştığından ve ayrıca şebeke elektriğinden alternatif akım geçtiğinden doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. Projede, Growatt marka MAX 60KTL3 LV evirici kullanılmıştır. Eviricinin minimum çalışma gerilimi 200 V, maksimum çalışma gerilimi ise 1.000 V'dur. Eviricide toplam 6 adet MPPT vardır. 1 MPPT'de ise 2 adet girişi olmak üzere toplam da 12 adet dizi bağlanabilmektedir. MPPT başına giriş akımı maximum 26 A akımdır. Eviricinin çıkışındaki maksimum alternatif akımı ise 96,6 A akımdır. Eviricinin çıkışında elde edilen nominal güç ise 60.000 W gücündedir. Menü'nün üst sekmesinde ana parametrelerinden sonra eviricinin fiziksel ve elektriksel

özelliklerine dair bilgiler yer almaktadır. PVSYSY programında eviricinin seçimine dair elektriksel özellikler şekil 4.23’de verilmiştir.

Parametre	Değer
Model	MAX 60KTL3 LV
Üretici	Growatt New Energy
Dosya adı	Growatt_MAX_60KTL3_LV.OND
Veri kaynağı	Manufacturer 2021
Üret. son. tarihi	2019

Parametre	Değer
Minimum MPP gerilimi	200 V
Pnom için min. gerilim	391 V
MPPT başına maksimum akım	26.0 A
Nominal MPP gerilimi	585 V
Maksimum MPP gerilimi	1000 V
Mutlak maks PV gerilimi	1100 V
Güç sınırı	300 W

Parametre	Değer
Şebeke gerilimi	400 V
Nominal AC gücü	60.0 kW
Maksimum AC gücü	60.0 kW
Nominal AC akımı	86.6 A
Maksimum AC akımı	96.6 A

Parametre	Değer
Maksimum verim	% 98.80
EURO verimi	% 98.40

Şekil 4.23 PVSYSY’de alternatif akım eviricisinin seçimi

PVSYSY menüsünün alt kısmında ise güneş panelinin boyutlandırılması yapılır. Güneş panellerinin bağlantılarının seri ve paralel sayıları yazılır. Projede ki diğer güneş panelleri de aynı şekilde sisteme girilmiştir. Projede 2.271 adet güneş paneli kullanılsa da programda 2.268 adet panel seçilmiştir. Bunun sebebi ise kurulan güneş santralının gücü 1.000 kW dan büyük 1.236 kW olduğu için programda eviricilere bağlı güneş panellerin boyutlandırılması ayrı modellenmediğinden, seri ve paralel sayıları tek seferde seçildiğinden 2.271 adet panelden 3 adet panel düşük seçilmiştir. Bunun için programda 18 serili 130 dizeden oluşan güneş paneli ile simülasyon modellenmiştir. Programın güneş paneli, evirici ve dizi boyutlandırılması şekil 4.24’de verilmiştir. Bakım onarım merkezinin 7 adet çatı kanadı olduğundan 7 farklı sistem dizini ile simülasyon yapılmıştır. Bakım atölyelerinde, 4 farklı dizi olarak modellenmiştir. Birinci dizide 4 adet evirici ile 18 seri panelden toplam 28 adet dizi bağlanmıştır. İkinci dizide 2 adet evirici ile 18 seri panelden toplam 14 adet dizi eviriciye bağlanmıştır. Üçüncü dizide 2 adet evirici ile 18 seri panelden toplam 17 adet dizi eviricilere bağlanmıştır. Dördüncü dizide ise 4 adet evirici ile 18 adet seri panelden toplam 28 adet dizi eviriciye

bağlanmıştır. Elektrik atölyelerinde, 3 farklı dizi sistemi olarak modellenmiştir. Birinci dizide 1 adet evirici ile 18 seri panelden toplam 7 adet dizi eviriciye bağlanmıştır. İkinci dizide 2 adet evirici ile 18 adet seri panelden toplam 13 dizi eviricilere bağlanmıştır. Üçüncü dizide ise 3 adet evirici ile 18 adet seri panelden toplam 19 adet dizi eviricilere bağlanmıştır. Modellenen alt sistemlerden elde edilen akım gerilim ve güç miktarları ekranın alt köşesinde görülmektedir.

**Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VCO: "Yeni simülasyon varyantı"**

**Alt alan**

**Alt dizinin ismi ve yönü**  
İsim: Tamir Atölyesi-1 Doğu Sıra: 1  
Yön: Yönlendirme #1 Eğim: 10° Azimut: 81°

**Ön boyutlandırma yardımı**  
Boyutlandırmasız Planlanan gücü giriniz: 0.0 kWp  
... veya mevcut alan(modül): 0 m²

**PV modül seçimi**  
Mevcut Filtre: Tüm PV modüller  
CW ENERJİ 545 Wp 36V Si-mono CWT545 144PM10 Manufacturer  
Optimizör kullan   
Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 37.3 V  
Voc (-10°C) 54.2 V

**İnvertör seçimi**  
Mevcut Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz  
Growatt New Energy 60 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz MAX 60KTL3 LV 2019 yılından beri  
İnvertör sayısı: 4 Çalışma gerilimi: 200-1000 V İnvertör global gücü: 240 kWac  
Multi-MPPT kullanımı  Maksimum giriş gerilimi: 1100 V 6 MPPT ile invertör  
İnvertörde güç paylaşımı

**Dizi boyutlandırması**  
Modül ve zincir sayısı  
Seri mod. sayısı: 18 6 ile 20 arasında  
Zincir sayısı: 28  
Ağır yük kaybı: 0.0 %  
Nom. güç oranı: 1.14  
Panel sayısı: 504 Yüzey: 1302 m²

**İşletme koşulları**  
Vmpp (60°C): 671 V  
Vmpp (20°C): 763 V  
Voc (-10°C): 975 V  
Yüzey ışınlam: 1000 W/m²  
Imp (STC): 362 A  
Isc (STC): 385 A  
Isc (STC'de): 385 A

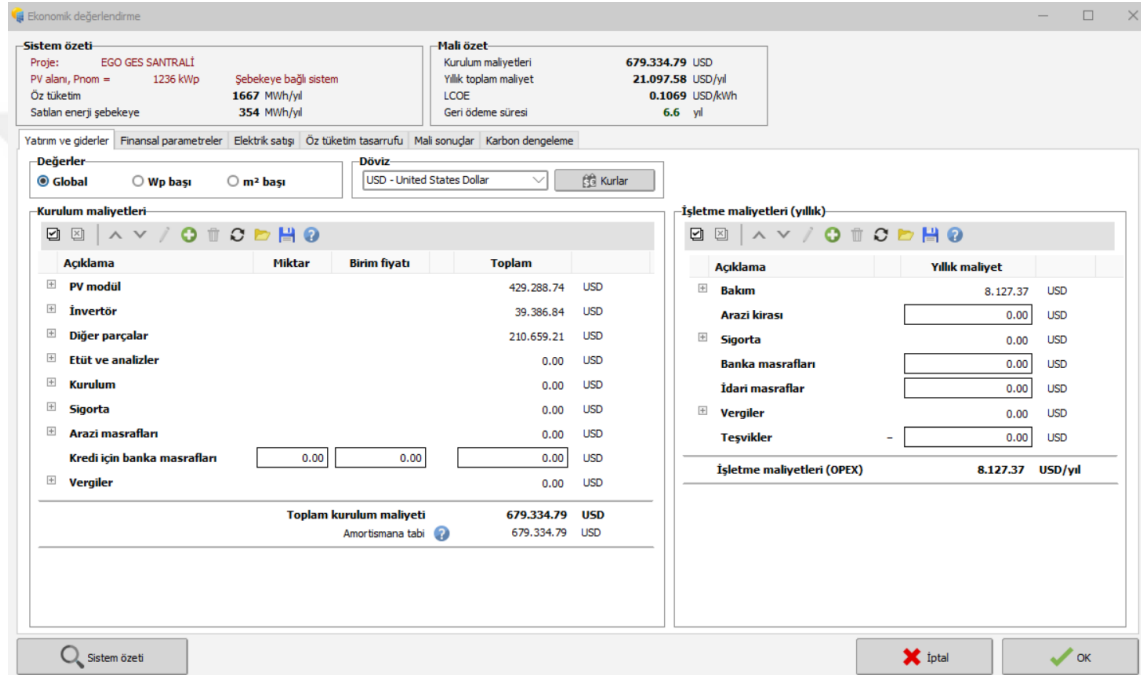
**Alan nominal gücü (STC): 275 kWp**  
Maksimum işletme gücü (1026 W/m² için ve 50°C): 262 kW

**Sistem özeti** **Tek hat şeması**

Şekil 4.24 PVSYSYST’de güneş paneli ve eviricilerin yerleşimi ve seçimi

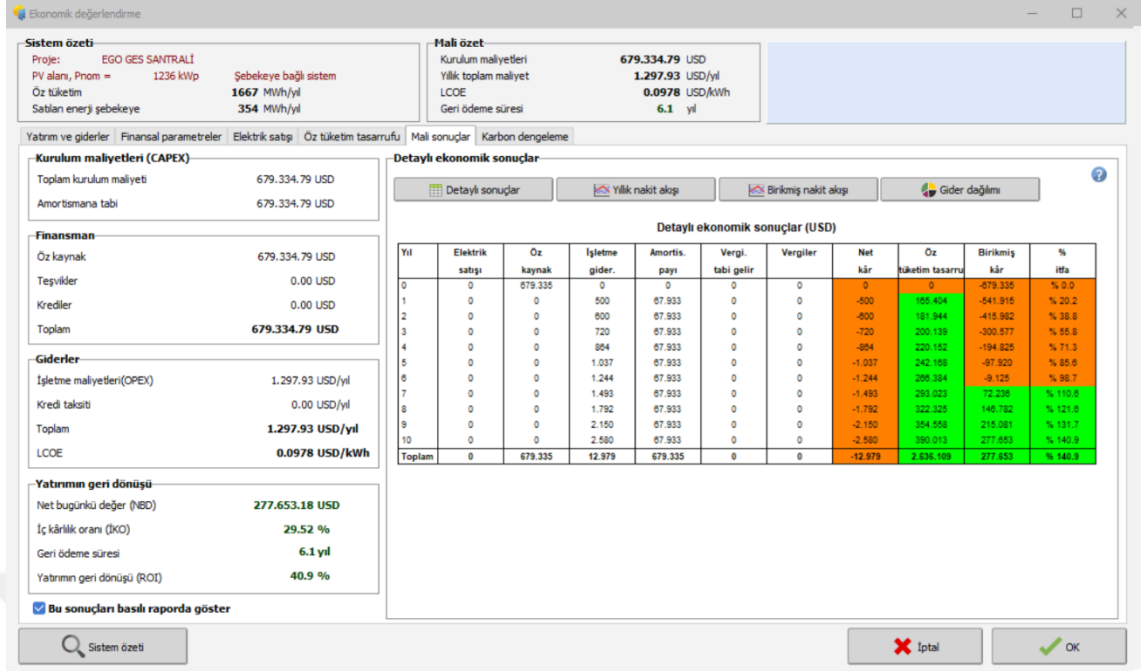
Simülasyonda santralin ekonomik analizi de yapılabilir. Santralin maliyet bilgileri girildiğinde, yıllık elde edilen kar ve geri ödeme süreleri hesaplanmaktadır. Kurulum maliyetini hesaplamak için santralde kullanılan malzemelerin fiyatları yazılmalıdır. Santralde ki güneş panelleri toplam da 429.288,74 \$ mal olmuştur. Santral de kullanılan Growatt MAX 60KTL3 LV eviricilerin toplam fiyatı ise 39.386,84 \$’dır. Santralin kurulumunda kullanılan donatılar, bağlantılar, vidalar toplam fiyatı 27.754,53 \$ gelmiştir. Ekipmanlar arasındaki bağlantı kablolarının maliyeti ise 172.497,68 \$’dır. Birleştirici kutu ekipmanlarının maliyeti 1.475,15 \$ olmuştur. Üretilen elektriğin verilerini ölçen izleme sistemi ve ekranların toplam maliyeti 1.920,80 \$’dır. Hava

durumunu ve güneş ışınımı verilerini ölçmek için kullanılan piranometrenin maliyeti ise 1.056,44 \$'dır. Güneş enerji santralinde üretilen elektrikteki yüksek akım ve gerilim dalgalanmalarından CNG dolun istasyonunda kullanılan ekipmanları korumak için kullanılan parafudurun maliyeti de 5.954,62 \$'dır. Santralin kurulumunda güneş panelleri, eviricileri ve elektrik panolarını monte etmek için kullanılan konstrüksiyonların maliyeti ise 28.037,34 \$'dır. Güneş Enerji santralının toplam maliyeti 679.334,79 \$'dır. PVSYST programında güneş enerji sisteminin kurulumunun toplam maliyetinin hesaplanması şekil 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.25 Ekonomik maliyetlerin fiyatlandırılması

Güneş enerji santralının maliyet analizinde, geri ödeme süresi 6,1 yıl olmaktadır. Şekil 4.26'da güneş enerji santraline ait maliyet analizi verilmiştir. On yılda toplam 2.636.109 \$ enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yatırımdan beklenen iç kârlılık oranı % 29,52 olmaktadır. İç kârlılık oranı, yatırımdan elde edilen nakit girişlerinin şimdiki değerleri toplamını, yatırılan sermayeye eşitleyen faiz oranıdır. İtfa oranı, amortisman oranı ile aynı anlama geldiğinden, borcun geri ödenme oranı demektir. İtfa oranı yatırılan paranın ne kadar sürede geri ödendiğini göstermektedir. İtfa oranında 6. yıldan sonra 7. yılda yatırım borcunu geri ödemiştir.



Şekil 4.26 Ekonomik maliyetlerin analizi

#### 4.4 PVSYST Simülasyon Verileri

Projeye ait veriler simülasyonun çıktı raporunda verilmektedir. Güneş enerji santralının coğrafi konumu, güneş panellerinin yerleştirilme açıları, üretilen ve kullanılan enerji ile toplam panel sayısı ve toplam evirici sayıları aşağıda verile şekil 4.27’de bulunmaktadır. Albedo sayısı ise eğik bir düzlemdeki ışınım hesaplanırken albedo katkısı kurulumun önündeki uzak araziden yansıyan ışık olarak hesaba eklenmektedir. Nominal güç oranı ise güneş panellerinin ürettiği doğru akımın gücü ile eviricinin gücü arasındaki orandır. Performans oranı, güneş enerji santralının ürettiği enerjinin standart test koşullarında üretebileceği enerjiye oranıdır.

Güneş enerji santralının kullanılabilir ürettiği enerji miktarı ise yıllık 1.667.117 kWh olmuştur. Bakım atölyesinin çatısına yansıyan güneş ışınım değeri yıllık 1683 kWh/m<sup>2</sup>’dir. Bu enerjinin %21,13’lük kısmı elektrik enerjisine çevrilmektedir. Güneş ışınımdaki yansıma ve kırılma kayıplardan oluşan kayıplar, malzemeden kaynaklanan kayıplar ve eviricide oluşan kayıplar çıkarıldıktan sonra elde edilen enerji miktarı gösterilmiştir.

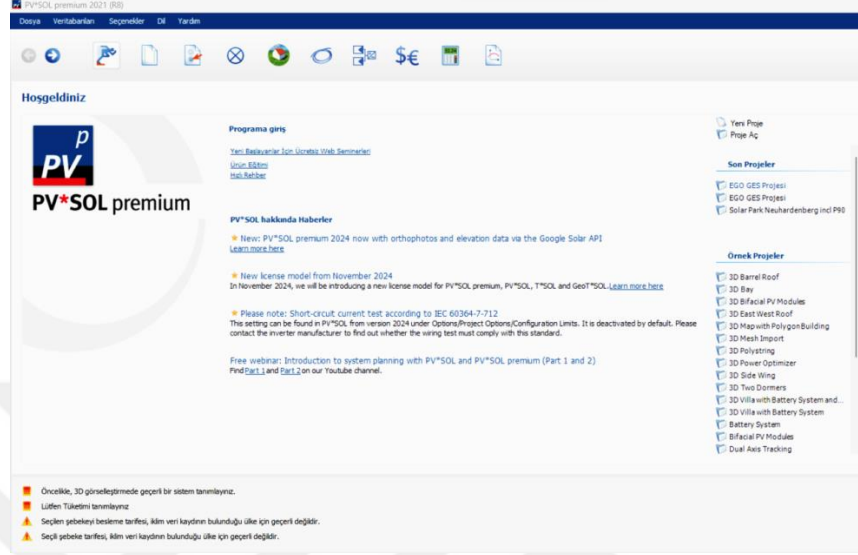
Proje özeti					
<b>Coğrafi konum</b>		<b>Konum</b>		<b>Proje ayarları</b>	
Yenimahalle		Enlem	39.97 °N	Albedo	0.20
Turkey		Boylam	32.76 °E		
		Rakım	859 m		
		Saat dilimi	UTC+3		
<b>Hava durumu verileri</b>					
Yenimahalle					
Meteonorm 8.1 - Sentetik					
Sistem özeti					
<b>Şebekeye bağlı sistem</b>		<b>Bina üzerinde</b>		<b>Kullanıcı ihtiyaçları</b>	
<b>Kolektör düzleminin yönlendirmesi</b>		<b>Yakın gölgelermeler</b>		Sabit yük	
Sabit düzlemler 4 yönlendirme		Lineer gölgelermeler		477 kW	
Eğim/azimut				Global	
10 / 81 °				4180 MWh/Yıl	
10 / -99 °					
10 / -31 °					
10 / 149 °					
<b>Sistem bilgisi</b>					
<b>PV alanı</b>					
Panel sayısı	2268 adet	<b>Invertör</b>		18 adet	
Toplam nom. güç	1236 kWp	Öge sayısı		1080 kWac	
		Toplam nom. güç		1.144	
		Nom. güç oranı			
Sonuçların özeti					
Üretilen enerji	1667117 kWh/yıl	Üretilebilir	1349 kWh/kWp/yıl	Perf. oranı PR	81.85 %
Tüketilen enerji	4179632 kWh/yıl			Güneş enerjisi oranı (SF)	31.41 %

Şekil 4.27 PVSYST’de santralin proje bilgileri ve sonuçları

#### 4.5 PVSOL İle Simülasyon Çalışması

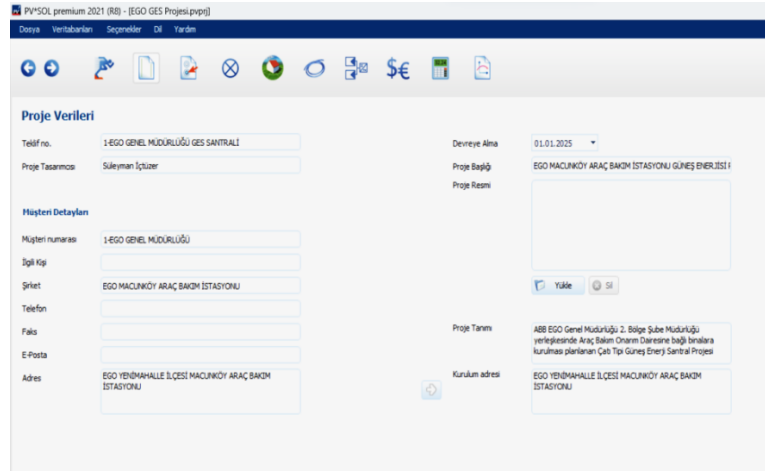
PVSOL programı, güneş enerjisinden elde edilen elektrik güçlerini ve ekonomik maliyetlerini analiz etmek için kullanılan bilgisayar programıdır. EGO Bakım İstasyonunun güneş enerji santralini simülasyonu, PVSOL 2021 programı kullanılarak elektrik üretimi ve ekonomik analizi yapılmıştır. Program çalıştırıldığında, şekil 4.28’deki verilen ekran açılmaktadır. Ekranda yeni proje oluşturma seçeneği tıklanabilir veya daha önceden hazırlanmış proje de seçilebilir. Yeni proje oluşturmak için ekranın üst kısmında yer alan yeni proje seçeneği seçilir. Ana ekranın üstünde yer alan sistem türü, iklim ve şebeke özellikleri menüsünden projeye ait veriler girilir. Ana ekranın üstünde yer alan tüketim seçeneği ile üretilen güneş enerjisinin tüketim miktarları oluşturulur. Ana ekranın üstündeki 3D çizim seçeneği ile güneş panelinin monte edileceği bina veya alan çizilerek güneş panellerinin yerleşimi ve eviricilerin bağlantısı oluşturulur. Ana menüde yer alan kablolama seçeneği ile güneş panellerinin, eviricilerin, sayaçların ve ekipmanların bağlantısı gerçekleştirilir. Ana ekranın üstündeki finansal

analiz ile ekonomik maliyetler oluşturulur. Simülasyon verileri girildikten sonra ana ekranda yer alan sonuçlar menüsüne tıkladığında güneş enerji sisteminin analiz sonuçları elde edilir.



Şekil 4.28 PVSOL programının ana ekran görüntüsü

Yeni proje yapılırken ekrandaki yeni proje seçeneği tıkladığında aşağıda verilen şekil 4.29'deki ekran açılır. Ekranda projeye ait bilgiler istenmektedir.

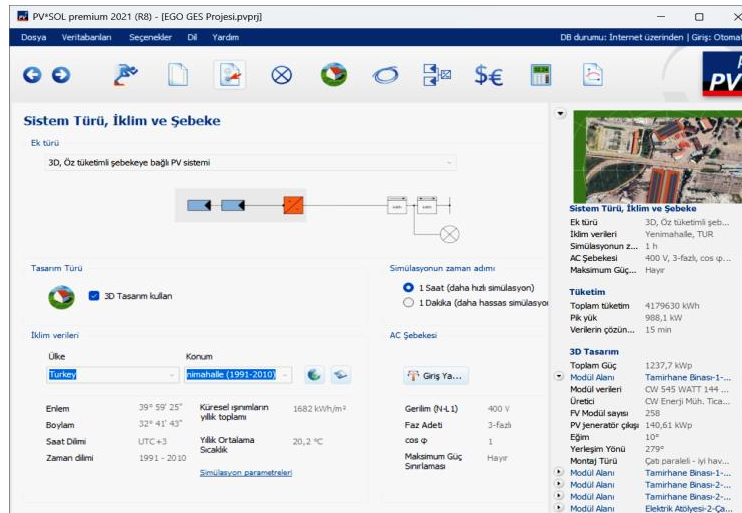


Şekil 4.29 PVSOL'de proje verilerinin görüntüsü

Projeye dair istenen bilgiler içinde, güneş enerjisinin kimin adına yapılacağı, adresi, güneş enerjisinin ne zaman faaliyete geçeceği ve projeyi yapanın adına dair bilgiler bulunur. Proje verilerine ait ekran şekil 4.29'da görülmektedir. Projeyi kaydettikten

sonra tekrar aynı projeyi açmak istediğimizde önceden kaydetmiş olduğumuz projeyi seçerek daha önce çalıştığımız proje üstünde çalışmaya devam edilmektedir.

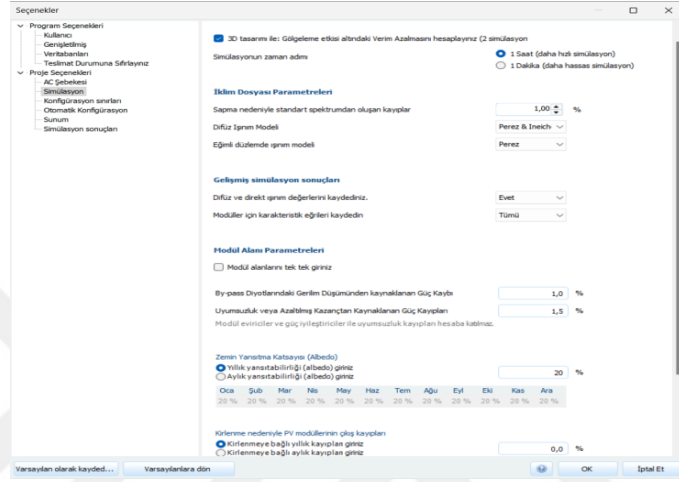
Güneş enerji santrali, EGO Bakım İstasyonunun çatısına kurulacağından, EGO Bakım İstasyonunun bulunduğu Ankara iline ait hava durumu ve coğrafi konumu seçilmelidir. PV SOL programında, güneş enerji santralinin çalışma özelliklerinin de seçilmesi gerekmektedir. Programın üst menüsünde bulunan öz tüketimli ve şebekeye bağlı santral tipi tıklanır. EGO Bakım İstasyonuna kurulan güneş enerji santrali 1.237,7 kWh kurulu güçte olup, üretilen elektrik bakım atölyelerinde kullanılacak ve üretim fazlası elektrik şebekeye verilecektir. Meteororm 8.1 verilerinde, Ankara ilinin yıllık güneş ışınımlarının toplamı 1.682,8 kWh/m<sup>2</sup> ve yıllık sıcaklık ortalaması ise 20,2 °C derece olarak ölçülmüştür. Aylık hava durumu verileri, global yatay ışınım miktarları, yatay difüz ışınım miktarı ve sıcaklık değerleri çizelge 4.4’ de verilmiştir. Coğrafi özelliklerin seçildiği ekran, şekil 4.30’da verilmiştir. Ekranda yer alan üç boyutlu çizim seçeneği ile projenin yapılacağı yerin üç boyutlu planı çizilerek, güneş panellerinin yerleştirileceği düzlem seçilebilmektedir. Çizimde menüsünde güneş panellerinin seçimi ve bağlantıları yapılmaktadır. Çizimin içindeki menüden evirici seçimi ve eviricilere bağlanan güneş panellerinin bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 4.30 PVSOL’de sistem türü, iklim ve şebekenin seçimi

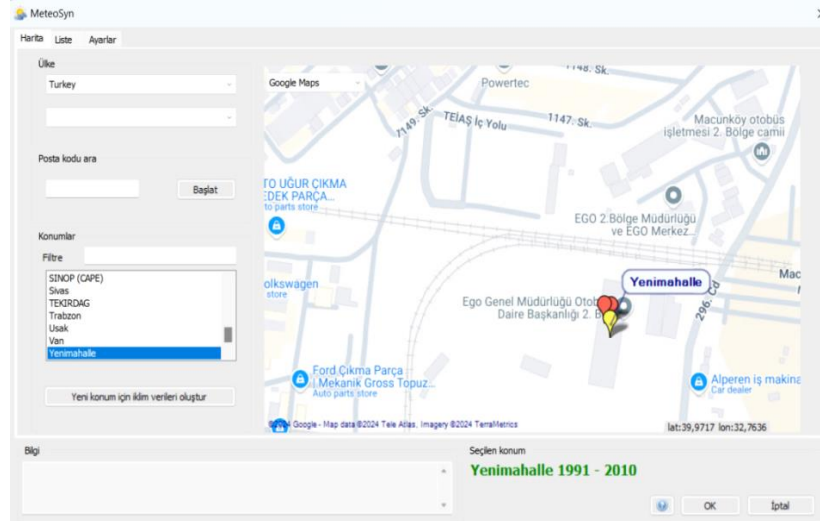
PVSOL ile simülasyona ait kullanılan yöntem ve verilerin girilmesi gerekmektedir. Simülasyonda, ışık gücündeki sapmadan oluşan kayıplar %1 alınmıştır. Güneş paneli yüzeyine gelen güneş ışınımının hesap modelinin seçimi yapılır. Güneş paneline gelen

ışınımlar, dik gelen güneş ışınımı, difüz güneş ışınımı ve zeminden yansıyan güneş ışınımlarıdır. Difüz güneş ışınımı, güneş ışınımlarının, bulutlar ve tozlar tarafından yutulmuş ve daha sonra tekrar atmosfere yayılmasıyla güneş panellerine gelen ışınımıdır. Zeminden yansıyan güneş ışınım miktarı, güneş enerji santralının bulunduğu yerin coğrafi özelliklerine göre değişmektedir. Güneş enerji santrali şehrin içinde kurulduğundan zeminin yansıtma oranı %20 olarak alınmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 PVSOL’de simülasyon verilerinin seçimi

Konum seçeneğine tıkladığında, güneş enerjisi santralının kurulacağı yerin coğrafi konumu harita üzerinden seçilerek hava durumu bilgileri ve coğrafi konuma ait enlem ve boylam bilgileri MeteoSyn veri tabanından alınmaktadır.



Şekil 4.32 PVSOL’de coğrafi yerleşim yerinin seçimi

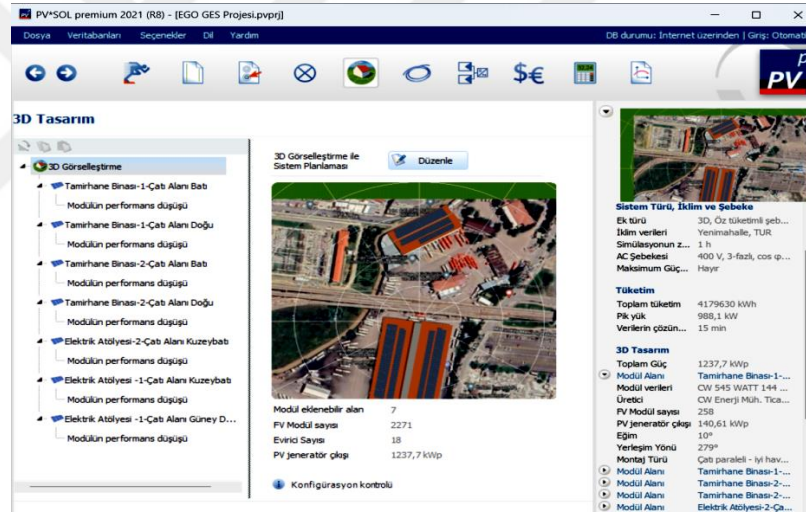
Program, seçilen konumun hava durum bilgilerini kendimizin oluşturmasına da izin vermektedir. Konum bilgilerine ait ekran şekil 4.32’de görülmektedir. Meteonorm 8.1 veri tabanında, EGO Bakım Atölyelerine kurulacak güneş enerji santralının konum bilgileri girildiğinde çizelge 4.3’de hava durumu bilgileri gösterilmektedir. Global yatay ışınlama miktarları, yaz aylarında artarak 224,5 kWh/m<sup>2</sup>/ay olmaktadır. Toplamda yıllık global yatay ışınlama miktarı ise 1.682,8 kWh/m<sup>2</sup>/ay olmuştur. Meteonorm 8.1 veri tabanındaki, aylık güneş ışınlama miktarları ve sıcaklık dereceleri çizelge 4.4’de verilmiştir. PVSOL programında, Meteonorm veri tabanındaki güneş ışınlama 1.664 kWh/m<sup>2</sup>/ay olduğundan PVSYST programındaki güneş ışınlama 1.682,8 kWh/m<sup>2</sup>/ay sayısından düşük çıkmaktadır. Simülasyon programına girilen bilgilerin aynı olması için PVSOL’de yeni hava verileri oluşturularak çizelge 4.4’de verilen güneş ışınlama bilgileri kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 Aylık güneş ışınlama miktarları

Aylar	Global yatay ışınlama (kWh/m <sup>2</sup> /ay )	Yatay difüz ışınlama (kWh/m <sup>2</sup> /ay )	Sıcaklık (°C)
Ocak	62.5	27.2	5.5
Şubat	83.3	33.2	9.9
Mart	127.2	56.4	14.0
Nisan	159.7	72.5	20.0
Mayıs	200.0	75.0	24.0
Haziran	215.8	68.3	28.0
Temmuz	224.5	62.7	34.0
Ağustos	205.9	58.4	35.0
Eylül	162.5	41.3	29.0
Ekim	112.2	41.1	29.0
Kasım	73.4	29.5	15.0
Aralık	55.8	27.2	7
Toplam	1.682,8	592.8	20.2 (Ortalama)

EGO Genel Müdürlüğü Bakım Atölyelerinin çatısına kurulacak olan güneş panellerinin simülasyonunun yapılması için programda güneş panellerinin yerleşim planının hazırlanması gerekmektedir. Bakım atölyelerinin 8.500 m<sup>2</sup> çatı alanı olmak üzere 2 çatısı ve 4 ayrı kanadı vardır. Elektrik bakım atölyelerinin ise 2.800 m<sup>2</sup> çatı alanında 2 adet çatısı ve 3 ayrı kanadı vardır. Güneş panellerinin 7 ayrı kanata monte edilecektir. PVSOL programının içinde 3D çizim seçeneği ile güneş panellerinin yerleştirileceği mimarinin 3 boyutlu resmi çizilebilmektedir.

PVSOL programı ile çizilen bakım atölyelerinin ve elektrik atölyelerinin resimleri şekil 4.33'de verilmektedir. 3D çizimini düzenle seçeneği tıkladığında ilk aşamada güneş enerjisinin kurulacağı binanın 3 boyutlu resmi harita üzerine çizilir. İkinci aşamada güneş panellerinin seçimi ve çatı üstüne yerleştirilmesi yapılır. Üçüncü aşamada evirici seçimi ve bağlantısı yapılır. Son aşamada ise kablo bağlantıları çizilir.



Şekil 4.33 PVSOL'de güneş panellerinin çatıya yerleştirilmesi

3D çizim ile hazırlanan atölyenin çatısına monte edilecek güneş panellerinin seçimi programda ki veri tabanından seçilebilir istediğimiz güneş paneli yoksa kendimizin yeni güneş paneli eklemek gerekir. Güneş paneli CW545 144PM10 modeli kullanıldığından, standart test koşulları (STC) altında CW545 144PM10 güneş paneline gelen 1.000 W/m<sup>2</sup> güneş ışınımı, ve 25 °C hücre sıcaklığında aşağıda verilen şekil 4.34'deki özelliklere sahiptir. Standart test koşullarında elde edilen maksimum gerilim, V<sub>m</sub>: 42,2 V'dur. Panelin açık devre gerilimi ise V<sub>oc</sub>: 50 V'dur. Açık devre geriliminde, panelden akım geçmediği için açık devre gerilimi maksimum gerilimden yüksek çıkmaktadır.

Güneş panelinden elde edilen maksimum akım 12,92 A'dır. Kısa devre akımı ise 13,76 A'dır. Panelin kısa devre akımında, gerilim sıfır olduğundan kısa devre gerilimi maksimum gerilimden daha fazla çıkmaktadır. Güneş panelinin gücü, akım ve gerilim miktarlarına bağlı olduğundan elde edilebilecek en fazla güç ise 545 W'dır.

Elektrik verileri	
Hücre tipi	Monokristalli Si
<input type="checkbox"/> Yarım hücre modülü	
Hücre sayısı	72
By-pass diyotların sayısı	3
By-pass diyot başına V cinsinden kayıp voltajı	1
Entegre güç iyileştiricisi	seçim yok
<input type="checkbox"/> Sadece trafo eviricileri uygundur	
<input checked="" type="checkbox"/> Kısa kenarlara dik hücre dizileri	

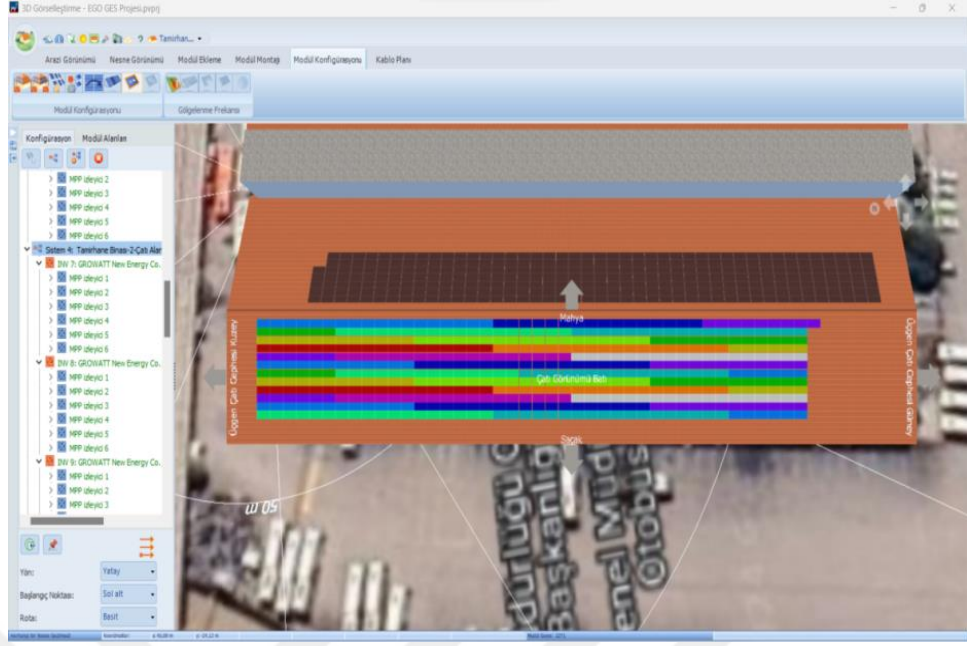
  

STC'da bulunan I/V parametreleri	
MPP Gerilimi [V]	42.2
MPP Akımı [A]	12.92
Açık Devre Gerilimi [V]	50
Kısa Devre Akımı [A]	13.76
Dengelenmeden önce açık devre gerilimindeki artış (%)	0
Nominal Çıkış [kW]	545
Dolum Faktörü (%)	79.25

Şekil 4.34 PVSOL'de güneş panelinin elektriksel özellikleri

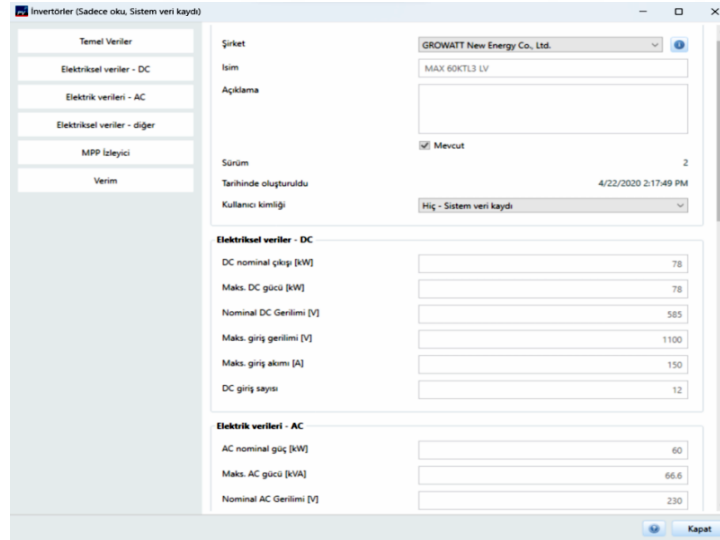
Projede, Growatt marka MAX 60KTL3 LV evirici seçildiğinden PVSOL programının veri tabanından aynı marka evirici seçilerek projede çizilen 2.271 adet güneş panelinin sayısı kadar paneller 18 adet eviriciye bağlantısı yapılır. PVSOL'de evirici seçimi ve bağlantısı şekil 4.35'de verilmiştir.

Projede kullanılan growatt marka MAX 60KTL3 LV eviriciye ait resim şekil 4.36'da gösterilmiştir. Eviriciye ait elektriksel özellikler ise maksimum giriş gücü 90.000 W'dur, eviricinin maksimum giriş doğru akım gerilimi 1100 V'dur, nominal çalışma gerilimi 585 V'dur, eviricinin MPPT maksimum güç izleme sayısı 6 adettir. MPPT giriş akımı 26 A'dır. Eviricinin nominal çıkış gücü 60.000 W'dır. Elde edilecek maksimum güç ise 66.600 W'dır. Nominal alternatif gerilimi ise 220 V / 380 V'dur.



Şekil 4.35 PVSOL’de güneş panellerinin ve eviricilerin bağlantısı

Eviricide elde edilen çıkış geriliminin 220 V veya 380 V olması şebeke gerilimine bağlı olduğundan şebeke gerilimi kaç V ise çıkış gerilimi de şebeke gerilimine ayarlanır. Eviriciden elde edilebilecek maksimum akım 96,6 A’dır.



Şekil 4.36 PVSOL’de eviricilerin elektriksel özellikleri

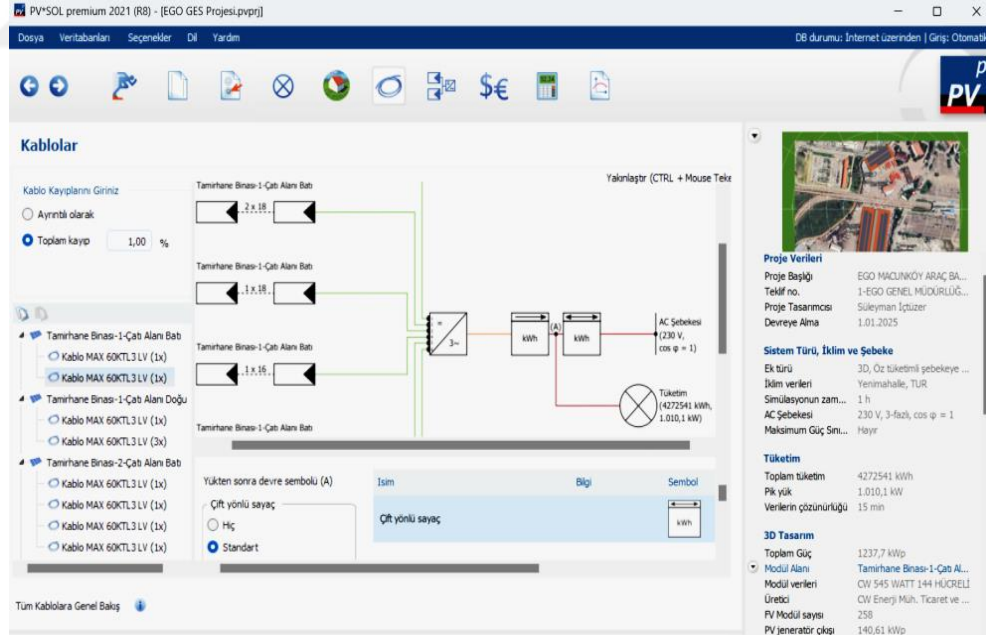
Seçilen evirici modeli Growatt marka MAX 60KTL3 LV eviricinin 6 adet MPPT maksimum güç izleme girişi vardır ve MPPT başına 2 girişi olmak üzere toplam da 12 girişi vardır. MPPT’nin giriş gerilimi 200 V’dan başlayarak 1.000 V’a kadar giriş

gerilimine izin vermektedir. MPPT'nin maksimum giriş akımı ise 26 A'dır. MPPT'nin kısa devre akımı ise 32 A'dır. Growatt marka MAX 60KTL3 LV eviricinin şekli, verilen şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37 Growatt eviricisinin görüntüsü

Ekipmanların seçimi ve yerleşimi programa girildikten sonra PVSOL'de kablolar seçeneği tıklanır ve aşağıda gösterilen şekil 4.38'deki ekranı açılır. Kablolama menüsünde kablo kayıplarına toplam %1 kablo kaybı girilir.



Şekil 4.38 PVSOL'de santralin kablolama şeması

Daha sonraki aşamada ise şekil 4.38'de yanda görülen 7 ayrı çatı kanadına ait güneş panel dizilimleri seçilerek güneş panellerinin eviriciye ve trafo odasına bağlantısı

yapılarak devre ekipmanları olan elektrik sayacı, transformatör, devre kesici, aşırı akım koruması seçilir.

Kablolama bağlantı işleminde, güneş panelleri 18 serili ve 8-9 adet paralel bağlanarak eviricilere girmektedir. Eviricilerden sonra elde edilen alternatif akım elektrik sayacı ile ölçülmektedir. Daha sonra eviriciden çıkan kablolar CNG dolun istasyonunun trafosuna bağlanıyor. Kablolama şemasına ait resim şekil 4.38’de verilmiştir. CNG dolun trafosundan çıkan elektrik kabloları da CNG dolun kompresörlerine elektrik vermektedir, elektriğin fazla olması durumunda ise şebekeye bağlanmak üzere çift yönlü sayaç kullanılarak şebekeye elektrik verilmektedir.

#### 4.6 PVSOL Simülasyon Verileri

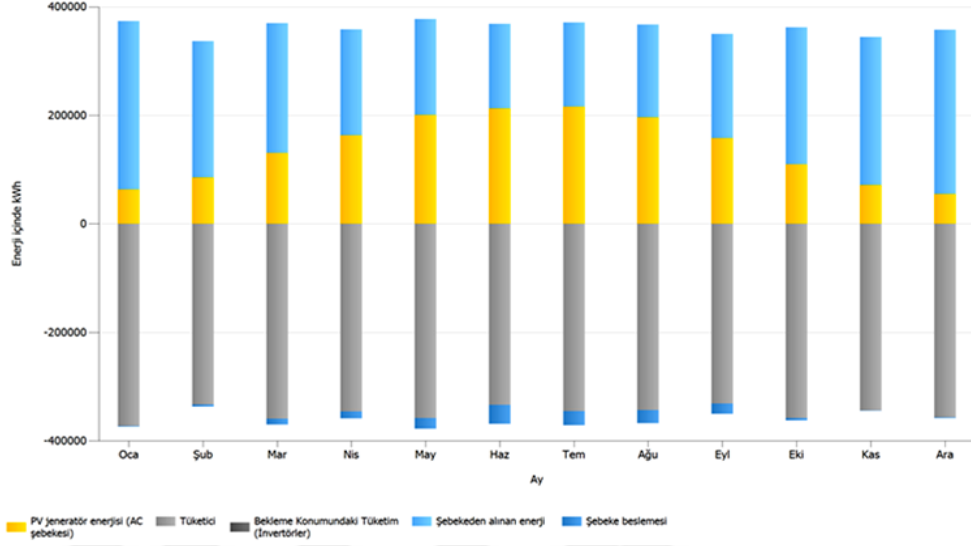
PVSOL ile güneş enerji simülasyonuna ait elde edilen elektrik üretim bilgileri aşağıda verilen şekil 4.39’da gösterilmiştir. PVSOL programının, simülasyon sonuçlarından güneş enerjisinden elde edilen enerji, tüketilen enerji, sistemin kullanım oranı ve CO<sub>2</sub> emisyon verileri bulunmaktadır. PVSOL simülasyonu ile elde edilen enerji miktarı yıllık 1.662.349 kWh olmuştur. Bu üretilen enerji ile CNG dolun istasyonunun yıllık %36’lık enerji ihtiyacı karşılanmıştır.

PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	1.662.349 kWh
Doğrudan öz tüketim	1.504.433 kWh
Şebeke beslemesi	157.914 kWh
Besleme noktasındaki düzenleme	0 kWh
Kişisel Güç Tüketimi	90,5 %
Güneş Enerjisi Oranı	36,0 %
Yıllık Özgül Kazanç	1.342,73 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	82,2 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	0,4 %/Yıl
Önlenen CO <sub>2</sub> emisyonu	781.090 kg/yıl

Şekil 4.39 PVSOL ile elde edilen elektrik verileri

PVSOL ile Güneş enerji santralinin elektrik üretiminin kullanım miktarları aylık olarak şekil 4.40’da grafiği verilmiştir. Aylık 350.000 kWh elektrik tüketilmiştir. Güneş

enerjisinin kullanım miktarları yaz aylarında artmıştır. Kış aylarında ise yaz ayından düşük enerji üretilmiştir.



Şekil 4.40 PVSOL ile elektrik üretim ve kullanım verileri

#### 4.7 PVSYST ve PVSOL Sonuçlarının Karşılaştırması

Güneş enerji santralının simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması şekil 4.41’de verilmiştir. Simülasyondan 10 yıl içindeki enerji üretimi, güneş enerji santralının çalışma performans oranı, bakım onarım atölyelerinde kullanılan elektriğin güneş enerji oranı, geri ödeme süresi ve elektrikten elde edilen kar şekilde görülmektedir.

	PVSYST	PVSOL
Üretilen enerji (kWh/yıl)	1.667.117	1.662.349
Performans oranı (%)	81,85	82,2
Güneş enerjisi oranı (%)	31,41	36
Geri ödeme süresi (yıl)	6,1	6,9
Elektrik geliri (\$)	2.636.104	1.895.010

Şekil 4.41 PVSYST ve PVSOL sonuçlarının karşılaştırması

## 4.8 EGO GES Santralinin Ekonomik Analizi

İşletmeler iş yerlerinin devamlı çalışması ve ekonomik açıdan kâr etmek için üretim aşamalarında yeni yatırımlar yapması gerekmektedir. İşletmeler iş yerlerine yatırım sermayesini öz kaynaklarından, uzun ve kısa vadeli yabancı kaynaklardan (kredi), veya oto finansmandan (dağıtılmayan kâr)'dan temin ederler.

EGO Bakım istasyonunda kurulacak olan güneş enerji santralini finansmanı, EGO Genel Müdürlüğünün bütçesindeki sermayeden karşılanacaktır. Güneş enerji santralini toplam maliyeti 679.334,79 \$'a gelmektedir. Sermaye bütçelemesinde, sermaye üretim sürecinde, şekil değiştirmeden ve bir yıldan uzun süreli kullanılan makine, taşıt, bina gibi sabit varlıkları ifade eder, bütçeleme ise yatırımdan elde edilecek belirli bir dönem boyunca beklenen nakit girişlerini ve çıkışlarını gösteren plandır. Sermaye bütçelemesinde, gelecekte nakit akışı sağlamak için yatırım veya nakit harcaması yapma kararı olup nakit akışlarına bağlı olarak paranın hareketlerinin analizine dayanır.

Sermaye bütçelemesinde kullanılan yöntemlerden statik yöntemler, projelerin analizinde paranın zaman değerini dikkate almayan yöntemlerdir. Bu yöntemler, “Ortalama Yıllık Gelirin Yatırım Tutarına Oranı” ve “Geri Ödeme Süresi Yöntemi”dir. Dinamik yöntemler ise paranın zaman değerini dikkate almaktadır. Bu yöntemler ise “ Net bugünkü Değer Yöntemi”, “İç Kârlılık Oranı Yöntemi”, “Kârlılık Endeksi” ve “Yıllık Eşdeğer Gider Yöntemi”dir (Kaya 2019).

### 4.8.1 Ortalama yıllık gelirin ortalama yatırım tutarına oranı yöntemi

Bu yöntemde, yatırım projesinin tutarı araştırılırken, vergilerden sonraki yıllık ortalama gelir, ortalama yatırım tutarına oranlanmaktadır. Yıllık ortalama gelir, yıllık net nakit giriş ortalamasından amortisman çıkarılarak hesaplanmaktadır. Bu şekilde hesaplanan ortalama gelir, yatırımın ortalama tutarına bölünür. Yıllık gelirin ortalama yatırım tutarına oranı aşağıda verilen 5.1 denklemleri ile bulunur.

$$\dot{I}_a = \frac{A-D}{\left(\frac{C-\text{Hurda Tutarı}}{2}\right)} \quad (5.1)$$

A = Yıllık net nakit giriş ortalaması

C = Yatırım Tutarı

$\dot{I}_a$  = Yatırımın Beklenen Kârlılık Oranı

D = Yıllık amortismanı

EGO Bakım Onarım Atölyelerine yapılan güneş enerji santralının ekonomik analizi, yıllık gelirin ortalama yatırım tutarına oranı yöntemi kullanılarak yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Güneş enerjisinden elde edilen elektriğin EGO Bakım Atölyelerinde kullanımından elde edilen toplam gelir ise 2.636.104 \$'dır. On yıl içinde toplam işletme giderleri ise 12.979 \$ tutmaktadır. Yıllık amortisman miktarı ise 67.933,40 \$'dır. Yıllık ortalama giderlerin toplamı ise 69.230 \$ gelmektedir. Vergiler düşüldükten sonraki gelirlerin toplamı 277.651 \$'dır. Yıllık giderlerden vergiler düşüldükten sonraki giderlerin toplam tutarı olan amortisman ve işletme giderleri ise 55.384 \$'dır. On yıl boyunca yıllık ortalama elde edilen net kâr ise 263.610 \$ gelir elde edilmiştir.

A yıllık net nakit giriş ortalaması, C Yatırım Tutarı, D Yıllık amortisman miktarları bilindiğinde denklem 5.1 yardımıyla yatırımdan beklenen kârlılık oranını bulunmuş olur. EGO Genel Müdürlüğüne kurulan güneş enerji santraline ait nakit akış çizelgesi 5.2'de yer alan bilgiler ile yatırımdan beklenen kârlılık oranını elde edilir.

$$\dot{I}_a = \frac{A-D}{\left(\frac{C-\text{Hurda Tutarı}}{2}\right)}$$

$$\dot{I}_a = \frac{263.610-67.933}{\left(\frac{679.334}{2}\right)} = \frac{195.677 \$}{\left(\frac{679.334,79 \$}{2}\right)} = \%57$$

Ortalama yıllık gelirin ortalama yatırım tutarına oranı yöntemiyle hesaplandığında, elde edilen kârlılık oranı %57 olmaktadır.

#### 4.8.2 Geri ödeme süresi yöntemi

Geri ödeme süresi yöntemi, yatırım projesinin sağladığı yıllık net nakit girişinin, ilk yatırım tutarını karşılamak için gerekli olan yıl sayısı şeklinde ifade edilir. Başlangıçta yatırılan paranın, ileriki yıllarda elde edilecek nakit akışları ile kaç yılda geri alınacağını

hesaplar. Amortizasyon süresi olarak da adlandırılan geri ödeme süresi yöntemi, yatırılan sermayenin tekrar işletmeye kazandırılacağı dönemi araştırmaktadır. Maliyet ve gelirlerin yıllar itibariyle sabit olduğu varsayılırsa, geri ödeme süresi aşağıda verilen formül ile hesaplanır. Geri ödeme süresi, projeden elde edilecek nakit girişleri eşit ise denklem 5.2 ile hesaplanır. Ancak, nakit girişleri farklılık gösterirse, geri ödeme süresi projenin yatırım tutarına ulaşincaya kadar toplanarak hesaplanabilmektedir. Bu yöntem göre, yatırımlar öncelikle kendi kendini finanse etmelidir. Geri ödeme süresi, projeden elde edilecek nakit girişleri eşit ise aşağıda verilen formül ile hesaplanabilir. Şayet, nakit girişleri farklılık göstermesi durumunda geri ödeme süresi projenin yatırım tutarına ulaşincaya kadar toplanarak hesaplanabilmektedir.

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Yatırım Tutarı}}{\text{Yıllık Net Nakit Girişleri}} \quad (5.2)$$

Yıllık gelirler farklı olduğundan ve paranın zaman içindeki değeri değiştiğinden, elde edilen gelirin enflasyon oranı ile bugünkü değeri bulunarak toplam gelirler toplanır. Elde edilen toplam gelir yatırım maliyetine denk olduğunda geri ödeme süresi bulunur. Denklem 5.3'den yıllık elde edilen gelirin bugünkü değerleri toplanır. Yatırımdan elde edilen gelir, yatırım maliyetini 7. yıl içinde geri ödemiştir.

$$\begin{aligned} \text{Yatırım Tutarı} = & \frac{165.403}{(1+0,2)^1} + \frac{181.944}{(1+0,2)^2} + \frac{200.138}{(1+0,2)^3} + \frac{220.152}{(1+0,2)^4} + \frac{242.167}{(1+0,2)^5} + \frac{266.384}{(1+0,2)^6} \\ & + \frac{293.022}{(1+0,2)^7} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yatırım Tutarı} = & 137.836 \$ + 126.350 \$ + 115.821 \$ + 106.169 \$ + 97.321 \$ + \\ & 89.211 \$ + 81.777 \$ \end{aligned}$$

$$\text{Yatırım Tutarı} = 754.485 \$$$

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = 6,1 \text{ yıl}$$

#### 4.8.3 Net bugünkü değer yöntemi

Net bugünkü değer yöntemi, yatırım projesinin ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerinin belli bir iskonto oranı üzerinden bugünkü değerleri ile nakit çıkışları arasındaki farkın belirlenmesi ve farkın sıfırdan büyük olması halinde projenin kabul edilmesi gerektiğini öne süren bir yöntemdir. Nakit girişlerinin iskonto edilmesinde,

yatırımlardan beklenen kârlılık, iskonto oranı olarak hesaplanır. Bu yöntemi bir iskonto oranı üzerinden, yatırım harcamalarını ve yatırımın sağlayacağı nakit girişlerini aynı zaman noktasına indirgeyerek aralarındaki farkın hesaplanması olarak da ifade edebiliriz. Eğer net bugünkü değer sıfırdan büyük pozitif sayı ise proje kabul edilir, net bugünkü değer sıfıra eşit ise projenin işletmeye üstünlük sağlamadığını gösterir, negatif ise avantajlı olmadığından reddedilir. Yatırımın kârlılık oranı, projeden elde edilen nakit girişlerinin şimdiki değerleri toplamını, yatırılan sermayeye eşitleyen kâr oranıdır. Projenin kârlılık oranı, iskonto faiz oranı olarak hesaplanır. Yatırımın kârlılık oranı %29,6 olduğunda, yatırımdan on yıl içinde elde edilen kâr tutarı kendi yatırım maliyetine eşit olmaktadır. Projenin kârlılık oranı denklem 5.3 ile ifade edilirse;

$$\text{Yatırım Tutarı} = \frac{R_1}{(1+i)^1} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n} \quad (5.3)$$

$R_1, R_2, R_n$  = Net nakit girişleri

$i$  = Kârlılık oranı

$n$  = Yatırımın ekonomik süresi

$$\begin{aligned} \text{Yatırım Tutarı} = & \frac{165.403}{(1 + 0,296)^1} + \frac{181.944}{(1 + 0,296)^2} + \frac{200.138}{(1 + 0,296)^3} + \frac{220.152}{(1 + 0,296)^4} + \frac{242.167}{(1 + 0,296)^5} \\ & + \frac{266.384}{(1+0,0,296)^6} + \frac{293.022}{(1+0,0,296)^7} + \frac{322.324}{(1+0,0,296)^8} + \frac{354.557}{(1+0,0,296)^9} + \frac{390.013}{(1+0,0,296)^{10}} \end{aligned}$$

Yatırım Tutarı = 680.151 \$'dır.

Net bugünkü değer yöntemi aşağıda verilen 5.4 denklemi ile hesaplanır. Net bugünkü değer yöntemine göre, yatırımın olması için gerekli koşul, iskonto edilmiş nakit girişlerinin tutarı, yatırılan sermayeden büyük olmasıdır (Kaya 2019). Yatırımdan yıllık %10 kâr edildiğinde;

$$\text{Net Bugünkü Değer} = \frac{R_1}{(1+i)^1} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n} - C \quad (5.4)$$

$R_1, R_2, R_n$  = Net nakit girişleri

$i$  = İskonto faiz oranı

$C$  = Yatırım harcaması (maliyeti)

$n$  = Yatırımın ekonomik süresi

$$\begin{aligned} \text{Net Bugünkü Değer} &= \frac{165.403}{(1+0,1)^1} + \frac{181.944}{(1+0,1)^2} + \frac{200.138}{(1+0,1)^3} + \frac{220.152}{(1+0,1)^4} + \frac{242.167}{(1+0,1)^5} \\ &+ \frac{266.384}{(1+0,1)^6} + \frac{293.022}{(1+0,1)^7} + \frac{322.324}{(1+0,1)^8} + \frac{354.557}{(1+0,1)^9} + \frac{390.013}{(1+0,1)^{10}} - 679.334 \end{aligned}$$

$$\text{Net Bugünkü Değer} = 1.503.660 - 679.334$$

$$\text{Net Bugünkü Değer} = 824.326 \$'dır.$$

Net bugünkü değer ile yapılan hesaplamalarda, 824.326 \$ sıfırdan büyük olduğundan ekonomik olarak kârlı bir yatırım görülmektedir. Net bugünkü değer hesabında, nakit girişlerinin değeri poziftir ve güneş enerji santraline bağlanan sermayenin getiri oranı hesaplamaya temel alınan faiz oranından yüksektir. Net bugünkü değer ile yapılan hesaplamalarda, güneş enerji santral projesinin avantajlı olduğu görülmüştür.

## 5. BULGULAR VE SONUÇLAR

EGO Genel Müdürlüğüne kurulan güneş enerji santralının PVSYST ve PVSOL ile analizi yapılarak güneş enerjisini kullanarak elde edilen elektrik ve gelirler hesaplanmıştır. EGO Genel Müdürlüğünün Bakım Onarım Atölyelerinin çatısı güneş enerji santralının kurulması için uygun yerler olduğundan çatıya yerleştirilen güneş panelleri ile elektrik ihtiyacının ortalama % 35'lik kısmı karşılanmış olmaktadır. PVSYST ve PVSOL simülasyonun da güneş enerji santralının kurulumu için kullanılan ekipmanların seçimi ve bağlantıları yapılarak santralin çalışması ile elde edilebilecek enerji miktarları hesaplanmıştır. Güneş enerji santralinden elde edilen elektrik miktarları yeryüzüne gelen güneş ışınım miktarına ve çevre sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık ve ışınımına bağlı olarak elde edilen elektrik miktarları da grafiklerde gösterilmiştir. Üretilen elektrik miktarlarının artan hücre sıcaklığıyla azaldığı görülmüştür. PVSYST ve PVSOL ile yapılan analizde güneş enerji santralinden elde edilen yıllık elektrik miktarı 1.667.117 kWh/yıl olmuştur. PVSYST ve PVSOL ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçlarda üretilen enerjinin panellerden eviricilere ve kullanım noktalarına iletiminde meydana gelen kayıplar da hesaplanmıştır. Güneş enerji santralının kurulu gücü 1.236 kW doğru akımdır, eviricilerde alternatif akıma çevrildikten sonra elde edilen kurulu güç ise 1.080 kW alternatif akımdır. EGO Genel Müdürlüğü yakıt dolum istasyonlarında aylık ortalama 350.000 kWh elektrik kullanıldığından güneş enerjisinden elde edilen elektrik yakıt dolum istasyonunda kullanılmaktadır. PVSYST analizinde güneş enerjisini kullanarak on yılda içinde 2.636.104 \$ elektrik üretiminden kazanç elde edilmiştir. Santralin kurulum maliyeti 679.335 \$ olduğundan ve on yılda 2.636.104 \$ elektrikten kar edildiğinden yatırımın karlı olduğu görülmüştür. PVSYST ile yapılan analizde, elektrik fiyatlarının yıllık %20 zamlandığında güneş enerji santralının geri ödeme süresi 6,1 yıl, PVSOL ile yapılan simülasyonda ise 6,9 yıl olmaktadır. Geri ödeme süresi hesabında paranın zaman içindeki değeri hesaplanarak paranın bugünkü değerleri toplanıp geri ödeme süresi elde edilmiştir.

## 6. ÖNERİLER

Güneş enerji santralının çalışması güneşli saatlerde olduğunda güneş enerjisini ve şebeke enerjisi kullanarak yakıt dolumu yapılmaktadır. Yakıt dolumu doğalgaz şebekesi kullanılarak yapılmaktadır. Yakıt dolumunun günün her saatinde güneş enerjisi ile yapılabilmesi için yakıt dolum deposu yapılabilir. Güneş enerjisinden elde edilen elektrikle sıvılaştırılmış doğalgazı yakıt deposuna doldurulur. Yakıt deposundan da araçlara yakıt doldurulabilir. EGO Genel Müdürlüğünde kullanılan ekipmanların özellikleri güneş enerjisinden elde edilen elektriğin akım ve gerilim özelliklerine uygun olan ekipmanlar tercih edilmesi durumunda enerji kayıpları da azalacaktır. Güneş enerji santralindeki elektrik kayıplarını önlemek için Güneş enerji santralinde üretilen elektrik yakıt dolum istasyonlarında kullanıldığından, yakıt dolum istasyonlarındaki ekipmanlarının çalışma koşullarının, elektrik tüketiminin ve performanslarının değerlendirilmesi elektrik israfını önleyebilir. Güneş enerji santralinin çalışmasıyla elde edecek elektrik üretim verileri ile PVSYST ve PVSOL analiz verileri karşılaştırılarak, güneş panellerinden elektrik üretim miktarını arttırmak için güneş enerji santraline uygun değişiklikler de yapılabilir. Güneş enerji santrali şebeke bağlantılı çalışacağından, kullanılmayan enerji şebekeye verilerek üretim fazlası elektrikten kar edilmiş olacaktır. Şebekeye verilen ve şebekeden gelen elektrik miktarları karşılaştırılarak kar zarar durumu analiz edilip önlemler alınabilir. EGO Genel Müdürlüğündeki yakıt dolum tesisinde kullanılan elektrik miktarlarını azaltmak için yakıt dolum tesisinin çalışma şekli analiz edilerek doğalgazın sıvılaştırma işlemleri için başka işlemlerden yararlanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Açıkgöz, M. 2019. Otobüs tamir bakım atölyesi için enerji verimliliği çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 97 s., Ankara.
- Adak, S., Cangı, H., Yılmaz, A.S. 2019. Fotovoltaik sistemin çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağlı matematiksel modellenmesi ve simülasyonu. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11(1); s.316-327.
- ACS Enerji. ACS Güneş Enerjisi. Web Sitesi <https://www.acsenerji.com/uploads/datasheets/72-cell-polycrystal-datasheet.pdf> . Erişim Tarihi: 24.11.2024.
- Ajder, E. 2011. Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 68 s., İstanbul.
- Akcan, E., Kuncan, M., Minaz, M. R., PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18); s.248-261.
- Akkaya, S., Oy S. A., 2021. Samsun, Bayburt ve Mersin illerine kurulabilecek güneş enerjisi santrallerinin modellenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (2021); s.759-773.
- Ay, E. ve Pamuk N. 2023. Zonguldak. Bülent Ecevit Üniversitesi farabi yerleşkesindeki elektrik enerjisi ihtiyacının güneş enerjisi santralleri kurularak elde edilmesi ve ekonomik analizi. Black Sea Journal of Engineering and Science, 6(3); s.173-184.
- Ateş, M.B., Demir, H., Üresin, E., Tunç, Ş., Erdi, H. 2009. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 246 s., Ankara.
- Aytaş, E.N. 2012. Doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 17 s., İstanbul.
- Akyazı, Ö., Şahin, E., Kahveci, D.C. 2019. Fotovoltaik panel ve şebeke entegrasyonlu akıllı sokak lambası tasarımı ve uygulaması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı, s.356-360.
- Bayrakçı, H.C. ve Gezer, T. 2019. Bir güneş enerjisi santralının maliyet analizi: Aydın ili örneği. Teknik Bilimleri Dergisi, 9(2); s.46-54.
- Ceylan, O., Taşdelen, K. 2018. Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, (18); s.895-903.
- CW Enerji. CW Güneş Enerjisi. Web Sitesi. <https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-545Wp-144pm-m10-black-series-gunes-paneli-1006.html>. Erişim Tarihi: 14.12.2024.
- Dal, A.R., Yılmaz F. 2022. Marmara bölgesindeki bir konteyner limanı için fotovoltaik enerji sistem kurulumunun tekno-ekonomik ve çevresel analizi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(1); s.416-432.
- Dinçer, F. Ve Karadağ, F. 2022. Tekstil fabrikalarında öz tüketim modeli güneş enerjisi santralinde enerji kalitesi analizi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2); s.704-714.

- F. Ahwidea, A.Spenab and A. El-Kafrawy, 2013. Correlation for the average daily diffuse fraction with clearness index and estimation of beam solar radiation and possible sunshine hours fraction in Sabha, Ghdames and Tripoli – Libya. APCBEE Procedia 5, s.208-220.
- Güneş, M. 2002. Comparison of total horizontal solar radiation measurements with some existing models for Turkey. Energy Sources, (24); s.735–742
- Hansen et al., 2000. Models for a Stand-Alone PV System. Risø National Laboratory, Roskilde.
- Tabet et al. 2014. Optimization of angle of inclination of the hybrid photovoltaic-thermal solar collector using particle swarm optimization algorithm. Journal of Renewable and Sustainable Energy 6.
- Ibrahim, H., Anani, N. 2017. Variations of PV module parameters with irradiance and temperature. 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, 276-285 p.
- İşen, E. ve Koçhan, Ö., 2020. Fotovoltaik panelin tek diyotlu modellenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Araştırma Dergisi, 2(1); s.1-10.
- Kaçan, E. ve Ülgen, 2012. Güneş enerjisi toplayıcılarında eğim ve yönlendirmenin yararlanabilirliğe etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(4); s.837-846
- Kaya, F. 2019. Fianansal Yönetim. Beta yayıncılık, 492 s., İstanbul.
- Koçer, A., Şevik, S. ve Güngör, A. 2016. Ankara ve ilçeleri için güneş kolektörü optimum eğim açısının belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(1); s.63-78.
- Maleki et al. 2016. Estimation of hourly, daily and monthly global solar radiation on inclined surfaces: models re-visited. Energies 2017 (10).
- Mengi, O.Ö. ve Altaş, İ.H. 2007. UMES'07 Ulusal teknik eğitim, mühendislik ve eğitim bilimleri genç araştırmacılar sempozyumu, Kocaeli.
- Moduled Elektronik, Moduled Güneş Enerjili Aydınlatma. Web Sitesi. [www.moduled.com.tr/gunes-pili-nedir-nasil-calisir](http://www.moduled.com.tr/gunes-pili-nedir-nasil-calisir). Erişim Tarihi: 18.11.2024.
- Petrovic, M., Chellappan, V., Ramakrishna, S. 2015. Perovskites: solar cells & engineering applications– materials and device developments. International Solar Energy Society, 122; 678–699. p.
- TEDAŞ. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Web Sitesi. <https://www.tedas.gov.tr/A/1#>. Erişim Tarihi: 16.11.2024.
- TEİAŞ. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Web Sitesi. <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>. Erişim Tarihi: 18.11.2024.
- Toprak, A., Kılıç, H.Ş., Toprak A. ve Kepçeoğlu, A. 2016. Güneş pilinin tek diyot  $R_s$  model parametrelerinin hesaplanması ve I-V ile P-V karakteristiklerinin incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, (12); s.13-22.
- Üçgül, İ., Tüysüzoğlu, E., Yakut, M.Z. 2014. PV çatı uygulaması için enerji hesaplaması ve ekonomik analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2); s.1-6.
- Yalılı, M. 2021. Lisanslı fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van ili örneği. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(3); s.1055-1074.

- Yağlı, H. Ve Koç, Y. 2020. Gaziantep bölgesi için güneş enerjisinden elektrik üretiminde kurulacak panellerin optimum eğim açılarının belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (19); s. 475-483
- Yıldırım, E. ve Aktacir, M.A. 2021. Çatı üstü PV elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi: Şanlıurfa ili örneği. Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 12(1); s.69-77.
- Yılmaz, Ş., Aksu, M., Özer Z. ve Özçalık, H.S. 2012. Matlab ile gerçekleştirilen fotovoltak (PV) güneş pili modeli ile güneş enerjisi üretimindeki önemli etkenlerin tespit edilmesi. ELECO 2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.
- www.enerji.gov.tr. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Web sitesi. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. Erişim Tarihi: 14.11.2024



# EK 1 : Güneş enerji santralının elektrik şeması

