T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL BİR TESİS ÇATISINA FOTOVOLTAİK SİSTEM KURULUMU İÇİN TASARIM VE HESAPLAMALARI; EDİRNE ÖRNEĞİ

ENGİN PERDAHLIYAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: PROF.DR. SEMİHA ÖZTUNA

EDİRNE-2021

Engin PERDAHLIYAN'ın hazırladığı "**Endüstriyel Bir Tesis Çatısına Fotovoltaik Sistem Kurulumu İçin Tasarım ve Hesaplamaları; Edirne Örneği**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri: İmza

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA ……

Prof. Dr. Elif BÜYÜK ÖĞÜT ……

Doç. Dr. Doğan ERYENER ……

Tez Savunma Tarihi: 05/02/2021

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA ……
Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

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

05/02/2021

Engin PERDAHLIYAN

Yüksek Lisans Tezi

Endüstriyel Bir Tesis Çatısına Fotovoltaik Sistem Kurulumu İçin Tasarım ve Hesaplamaları; Edirne Örneği

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Küresel ısınmanın günden güne etkisini göstermesiyle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına talep hızla artmaktadır. Fosil kaynakların sınırlı olması ve karbon salınımının yüksek olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları araştırmaları ve uygulamalarında gelişmeler yaşanmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarında önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda saha kurulumlarına alternatif olarak çatı ve cephe uygulamalarına da yatırımlar vardır. Ayrıca fotovoltaik sistemlerde kullanılan ana elemanların daha verimli olabilmesi için de çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tezin amacı; ticari veya şahsi bir binanın güneş enerjisinden üretebileceği elektriğin kendi tüketimine yetebilecek kapasitesinin araştırılması, ihtiyaç fazlası elektriğin belirlenmesidir. Ülkemizde yasal olarak da kolaylaştırıcı düzenlemelerin yapıldığı çatı ve cephe sistemlerine teknik ve maliyet analizi açısından örnek olması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyada ve ülkemizde potansiyelleri ve üretim payları incelenmiştir. Ayrıca, güneş enerjisinin kullanım alanları ve fotovoltaik sistemler ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Edirne'de bulunan işletme binasının çatısı için PvSyst programında güneş enerji sistemi tasarımları yapılmıştır. Yapılan tasarımlarda binanın mevcut konumu için ve maksimum verimli açı konumlandırılması ile farklı paneller ve panel açıları kullanılarak aralarındaki farklar incelenmiştir. Farklı tasarımlar için yatırım maliyetleri hesaplanarak finansal analizler ile yatırımın değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 231

Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, PvSyst Analiz, Yenilenebilir Enerji, Edirne, Ekonomik Analiz, Çatı ve Cephe Güneş Enerjisi

Master's Thesis

Design and Calculations for Photovoltaic System Installation on an Industrial Plant Roof; Edirne Example

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

With the effect of global warming day by day, the demand for renewable energy sources is increasing rapidly. Due to the limited fossil resources and high carbon emissions, there are developments in renewable energy resources research and applications. Solar energy has an important place in renewable energy sources. In recent years, there have been investments in roof and facade applications as an alternative to field installations. In addition, studies are carried out to make the main elements used in photovoltaic systems more efficient.

The aim of this thesis is; It is the investigation of the electricity that a commercial or private building can produce from solar energy, which can be sufficient for its own consumption, and the determination of excess electricity. It is aimed to be an example in terms of technical and cost analysis for roof and facade systems in which legal arrangements are made in our country.

In this study; potentials and production shares of renewable energy resources in the world and in our country were examined. In addition, the usage areas of solar energy and photovoltaic systems are discussed in detail. Solar energy system designs were made in the PvSyst program for the roof of the business building in Edirne. In the designs, the differences between them were examined for the current location of the building and maximum efficient angle positioning by using different panels and panel angles. By calculating investment costs for different designs, the investment was evaluated with financial analysis.

Year : 2021

Number of Pages : 231

Keywords : Photovoltaic, Solar Energy, PvSyst Analysis, Renewable Energy, Edirne, Economical Analysis, Roof and Facade Solar Energy.

ÖNSÖZ

Güneş enerjisi teknolojisi yeni bir teknoloji olmamakla beraber son yıllarda büyük gelişme sağlamıştır. Küresel ısınmasının etkisini göstermesine paralel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının ne kadar önemli olduğu fark edilmiştir. Fotovoltaik enerji sistemleri de alternatif enerji kaynakları içinde gün geçtikçe payını arttırmaktadır. Kolay uygulama yöntemlerine sahip olan bu teknoloji farklı sistem tasarımlarına da olanak sağlamaktadır. Sistem tasarımları yapılırken programlar üzerinden analizler yapılabilmektedir. PvSyst programı da analiz programları arasında ilk sıralarda tercih edilmektedir. Bu çalışma da PvSyst programı kullanılarak, çatı üstü sistem uygulaması tasarımı yapılmıştır. Ayrıca yapılan maliyet analizleri yatırım yapılabilirlik yönünde değerlendirme açısından kullanılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Semiha Öztuna'ya, öğretim hayatımın her aşamasında her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv

ABSTRACT vi

ÖNSÖZ viii

İÇİNDEKİLER ix

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xiv

ŞEKİLLER DİZİNİ xvii

ÇİZELGELER DİZİNİ xxiv

BÖLÜM 1. GİRİŞ 1

1.1. Literatür Taraması 2

BÖLÜM 2. YENİLENEBİLİR ENERJİ 8

2.1. Yenilenebilir Enerji Kavramı 11

2.2. Türkiye'de Kullanılan Enerji Kaynakları 14

BÖLÜM 3. GÜNEŞ ENERJİSİ 19

3.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli 21

3.1.1. Güneş Modeli 21

3.1.2. Edirne İli İçin Güneş Modeli 25

3.2. Yeryüzüne Ulaşan Güneş Enerjisi ve Temel Güneş Açıları 27

3.2.1. Güneş Açıları 28

3.2.1.1. Enlem Açısı (φ) 29

3.2.1.2. Deklinasyon Açısı (δ) 29

3.2.1.3. Zenit Açısı (ψ, θ_z) 30

3.2.1.4. Eğim Açısı (β) 31

3.2.1.5. Yükseliş Açısı (α) 31

3.2.1.6. Azimut Açısı 32

3.2.1.6.1. Güneş Azimut Açısı (γs) 32
3.2.1.6.2. Yüzey Azimut Açısı 33
3.2.1.7. Güneş Geliş Açısı (θ) 33
3.3. Kollektör Dizileri Arası Bırakılması Gereken Mesafe 34
3.3.1. Edirne İli İçin Kollektörler Arası Mesafe Hesaplaması 34
BÖLÜM 4. GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANIM ALANLARI 36
4.1. Güneş Enerjisi ile Isıtma 36
4.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Elde Edilmesi 37
4.2.1. Fotovoltaik Güneş Panelleri 39
4.3. Fotovoltaik Enerji Dönüşümü 40
4.3.1. Yarı İletken Çeşitleri 40
4.3.1.1. n-Tipi Yarı İletkenler 40
4.3.1.2. p-Tipi Yarı İletkenler 41
4.3.1.3. Fotovoltaik Hücreler 41
4.3.2. Fotovoltaik Sistem 45
BÖLÜM 5. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ 47
5.1. PV Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları 47
5.1.1. PV Kullanımının Avantajları 48
5.1.2. PV Kullanımının Dezavantajları 49
5.2. Fotovoltaik Sistemlerin Çeşitleri 49
5.2.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler 50
5.2.2. Şebekeden Ayrık Sistemler 51
5.2.3. Hibrit Sistemler 52
5.3. Fotovoltaik Sistemin Bileşenleri ve Çalışma Prensipleri 53
5.3.1. Fotovoltaik Panel 54
5.3.1.1. Elektriksel Olarak Fotovoltaik Paneller 54
5.3.1.2. Fiziksel Özellikler 58
5.3.2. Monokristal Yapılı Güneş Hücreleri 59
5.3.3. Polikristal Yapılı Güneş Hücreleri 60
5.3.4. İnce Film Güneş Hücreleri 60
5.3.5. Güneş Hücrelerinin Karşılaştırılması 62
5.3.6. İnvertör 63
5.3.6.1. Mikro İnvertör 64

5.3.6.2. Dizi İnvertör 65
5.3.6.3. Merkezi İnvertör 66
5.3.7. Sistemi Koruyan Elektriksel Ekipmanlar 66
5.3.8. Kablolar ve Elektriksel Bağlantı Elemanları 67
5.3.8.1. Solar Kablolar 67
5.3.8.2. Enerji Kabloları 68
5.3.8.3. Konnektör 68
BÖLÜM 6. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN BİNALARDA KULLANIMI 69
6.1. Çatı ve Cephe Sistemleri Uygulamaları 70
6.1.1. PV'lerin Çatı ve Cephe Kullanımın Avantajları Dezavantajları 72
6.1.1.1. PV'lerin Çatı Kullanımında Avantajları Dezavantajları 72
6.1.1.2. PV'lerin Cephe Kullanımında Avantajları ve Dezavantajları 73
6.2. Çatı Tipleri ve Panel Montaj Uygulamaları 73
6.2.1. Çatı Tipleri 74
6.2.2. Çatılarda Mevcut Yüzey Alanına Bağlı Olarak Panel Seçimi 74
6.2.3. Çatı Tipine Göre Montaj Uygulamaları 75
6.2.3.1. Kiremit Çatılar 75
6.2.3.2. Trapez Çatılar 76
6.2.3.3. Kenet Çatılar 77
6.2.3.4. Düz Çatılar 77
6.2.3.5. Plastik Kiremit Çatı Sistemleri 79
6.2.3.6. PV'lerin Eğrisel Çatıda Kullanımı 81
6.2.3.7. Çatı PV Uygulama Örnekleri 82
6.2.4. Cephelerde Fotovoltaik Panellerin Kullanılması 83
6.2.4.1. Cephe Dış Duvar Sistemi Olarak Fotovoltaik Paneller 83
6.2.4.2. Cephe Kaplama Malzemesi Olarak Fotovoltaik Paneller 87
6.2.4.3. Cephede Ek Eleman Olarak Fotovoltaik Paneller 89
6.2.4.4. Diğer PV Cephe Sistemleri 94
BÖLÜM 7. PVSYST UYGULAMASI İLE ENERJİ ANALİZİ 97
7.1. PvSyst V6.86 Demo Programı Hakkında 102
7.2. PV Sistemin Kurulacağı Çatı Konumu ve Özellikleri 102
7.3. PV Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi 105
7.3.1. PV Panellerin Belirlenmesi 106

7.3.2. İnvertörlerin (Çevirici) Belirlenmesi 109
7.3.3. Seçilen Komponentlerin Uyumluluk Analizi 110
7.4. PV Sistemlerinin Analizi 114
7.4.1. Mevcut Bina Konumu ve Panel Altı 3° Sistem Verileri(Azimut 43°, Tilt 3°) 115
7.4.1.1. Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı ... 117
7.4.1.2. Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı 119
7.4.2. Mevcut Bina Konumu ve Panel Altı 30° Sistem Verileri (Azimut 43°, Tilt 30°) 121
7.4.2.1. Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı ... 122
7.4.2.2. Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı 124
7.4.3. Optimum Bina Konumu ve Panel Altı 30° Sistem Verileri (Azimut 0°, Tilt 30°) 126
7.4.3.1. Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı 127
7.4.3.2. Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı 129
7.4.4. Optimum Bina Konumu ve Panel Altı 3° Sistem Verileri (Azimut 0°, Tilt 3°) 131
7.4.4.1. Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı 132
7.4.4.2. Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı 134
7.5. PvSyst Programı Analiz Sonuçları 136
7.6. İşletmenin Aylara Göre Elektrik Tüketimi 137
7.7. Sistemin Çevresel Etkisi 137
BÖLÜM 8. MALİYET ANALİZİ 139
8.1. Sistem Yatırım Maliyeti 139
8.2. Finansal Analizde Esas Alınan Kur 140
8.3. Sistemin Yıllık Getirisi 140
8.4. Ekonomik Analiz Yöntemleri 140
8.4.1. Geri Ödeme Süresi 142
8.4.2. İç Verim Oranı 142
8.4.3. Net Bugünkü Değer 143
8.4.4. LCOE (Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti) 144
8.5. Maliyet Analiz Hesaplamaları 144
8.5.1. Sistemlerin 25 Yıllık Getirisi 144
8.5.2. Geri Ödeme Süresi 147
8.5.3. İç Verim ve Net Bugünkü Değer Hesaplaması 148

BÖLÜM 9. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ ALANINDAKİ YASAL SÜREÇ 150
9.1. Lisanslı ve Lisanssız Üretim Tanımları....150
9.1.1. Lisanslı Üretim....150
9.1.2. Lisanssız Üretim....150
9.2. Güncel Elektrik Piyasası Kanunları 151
9.2.1. Lisanssız Enerji Piyasası Teşvik Mekanizması....151
9.2.2. Çatı ve Cephelerde PV Uygulamalar Mevzuatı 152
BÖLÜM 10. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME....155
KAYNAKLAR 158
EKLER....163
EK 1 - CSUN 280 60M Monokristal Panel Katalog Bilgileri....163
EK 2 - CSUN 280 60P Polikristal Panel Katalog Bilgileri 164
EK 3 - AEG AS IC01 40000 İnvertör Katalog Bilgileri 165
....165
EK 4 - Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 3°) 166
....170
EK 5 - Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 3°)....171
EK 6 - Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 30°)....176
EK 7 - Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 30°)....181
EK 8 - Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 30°) 186
EK 9 - Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 30°) 191
EK 10 - Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 3°) 196
EK 11 - Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 3°) 201
ÖZGEÇMİŞ 206

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
AC	:Alternatif Akım
AM	:Air Mass–Hava Kütlesi
ARGE	:Araştırma ve Geliştirme
ASTM	:American Society of Testing Materials
BAPV	:Binaya Ekleme Fotovoltaik
BIPV	:Binaya Entegre Fotovoltaik
CdTe	:Cadmium telluride – Kadmiyum tellür
ÇED	:Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇTFV	:Çatı Tipi Fotovoltaik Sistemler
DC	:Doğru Akım
DMİ	:Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EDAŞ	:Elektrik Dağıtım Şirketi
EİE	:Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EMO	:Elektrik Mühendisleri Odası
EPDK	:T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIA	:European Photovoltaic Industry Association – Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Derneği
ESRA	:European Solar Radiation Atlas – Avrupa Güneş Radyasyonu Atlası
EVA	:Ethylene vinyl acetate – Etilen vinil asetat
FF	:Doluluk Oranı

GEBA	:Küresel Enerji Dengesi Arşiv Verileri
GEPA	:Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	:Güneş Enerji Santrali
GÜNDER	:Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü
HES	:Hidroelektrik Enerji Santrali
IEA	:International Energy Agency – Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	:Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
Isc	:Kısa Devre Akımı
İVO	:İç Verim Oranı
LCOE	:Levelized Cost of Electricity- Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti
LNG	:Liquified Natural Gas-Sıvı Doğal Gaz
MGM	:Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPP	:Maksimum Güç Noktası
MPPT	:Maksimum Güç Noktası Takipçisi
NBD	:Net Bugünkü Değer
NREL	:National Renewable Energy Laboratory – Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
NOCT	:Nominal Koşullardaki Hücre Sıcaklığı
OG	:Orta Gerilim
PV, FV	:Photovoltaic – Fotovoltaik
PVGIS	:Photovoltaic Geographical Information System – Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi
Pmaks	:Maksimum Güç
RES	:Rüzgar Enerji Santrali
STK	:Standart Test Koşulları
TEDAŞ	:Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketi

TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TMMOB	:Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TRNSYS	:Transient System Simulation
UV	:Ultraviyole
Voc	:Açık Devre Gerilimi
YEGM	:Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEKA	:Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEKDEM	:Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
Wp, kWp, MWp	:Watt , Kilowatt, Megawatt

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2018-2020 yılları arası yıllık büyüme oranı.....9
Şekil 2.2. CO_2 emisyonun 1900-2020 yılları arasında değişimi. 11
Şekil 2.3. Dünya yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli. 12
Şekil 2.4. Dünyada alternatif enerji kaynaklarının kurulu gücü. 13
Şekil 2.5. Dünyada toplam kurulu PV gücün 2020 yılı 13
Şekil 2.6. Ülkemizin yıllara göre elektrik gücü değişimi.....14
Şekil 2.7. Kaynakların 1970-2020 yılları arasındaki kurulu güç değişimi. 15
Şekil 3.1. Dünya üzerine düşen güneş ışınlarının dağılımı. 20
Şekil 3.2. Güneş ışınlarının yansıma şekilleri. 21
Şekil 3.3. Türkiye toplam güneş radyasyonu. 22
Şekil 3.4. Türkiye aylara göre radyasyon değerleri. 22
Şekil 3.5. Türkiye aylara göre güneşlenme süreleri 23
Şekil 3.6. Türkiye PV tipine göre alanda üretilebilecek enerji. 23
Şekil 3.7. Edirne toplam güneş radyasyonu. 25
Şekil 3.8. Edirne-Merkez aylara göre global radyasyon değerleri. 26
Şekil 3.9. Edirne-Merkez aylara göre güneşlenme süreleri. 26
Şekil 3.10. Edirne-Merkez PV tipine göre m² alanda üretilebilecek enerji değerleri. 27
Şekil 3.11. Güneş radyasyonu güç yoğunluğundaki azalma. 28
Şekil 3.12. Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi ve deklinasyonu. 29
Şekil 3.13. Yazın ve kışın öğle saatinde θz , δ ve Ø açısı arasındaki ilişki (a, b) 30
Şekil 3.14. Güneşle ilgili açılar. 31

Şekil 3.15. Zenit ve yükseliş açıları. 31
Şekil 3.16. Güneş azimut. 32
Şekil 3.17. Güneş geliş açısı. 33
Şekil 3.18. Kollektör dizileri arası mesafe ölçü birimleri. 34
Şekil 4.1. a)Vakum borulu güneş sistemi. b)Sistem çalışma prensibi. 37
Şekil 4.2. a) Parabolik kollektör yapısı. b) Parabolik çanaklı-stirling motorlu güneş güç santrali. 38
Şekil 4.3. Parabolik kolektör vasıtasıyla ısı ve elektrik eldesi. 38
Şekil 4.4. Merkezi alıcılı güneş enerjisi sistemleri. 39
Şekil 4.5. Güneş paneli sembolü. 39
Şekil 4.6. Arsenik atomunun Si ile yaptığı bağ ve serbest elektronun yörüngedeki hareketi. 41
Şekil 4.7. (a) Bor atomunun bağdaki bir atomu yutması sonucu oluşan boşluk. 41
(b) Boşluğun Bor atomu çevresindeki yörüngesi ve serbest hale geçişi. 41
Şekil 4.8. Fotovoltaik hücre katmanları ve enerji dönüşümü. 42
Şekil 4.9. Hücre tipleri sınıflandırması. 43
Şekil 4.10. Fotovoltaik hücre teknolojileri ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi. 44
Şekil 4.11. PV panel üretim aşamaları. 44
Şekil 4.12. a) Polikristal bir hücre görünümü. b) Monokristal bir hücrenin görünümü. 45
Şekil 4.13. Şebeke bağlantılı ve bağlantısız sistem elemanları. 46
Şekil 5.1. Şebekeye bağlı PV sistem şeması. 50
Şekil 5.2. Şebekeden ayrık sistem tek hat şeması. 51
Şekil 5.3. Şebekeden ayrık sistem tek hat şeması. 52
Şekil 5.4. a) Şebekeden ayrı sistem şeması. b) Şebekeye bağlı sistem şeması. 53
Şekil 5.5. Fotovoltaik sistem elemanları. 53
Şekil 5.6. Fotovoltaik panel çeşitleri. 54

Şekil 5.7. Kristal bir panelin sıcaklığa bağlı değişen I-V grafiği. 56
Şekil 5.8. Kristal bir panelin ışınıma bağlı değişen I-V grafiği. 58
Şekil 5.9. PV panel anatomisi. 58
Şekil 5.10. Monokristal silisyum güneş hücresi. 59
Şekil 5.11. Polikristal silisyum güneş hücresi. 60
Şekil 5.12. İnce film güneş hücresi yapısı. 61
Şekil 5.13. PV güneş hücreleri ve pazar payı oranları. 63
Şekil 5.14. Mikro inverter uygulaması. 65
Şekil 5.15. Dizi invertörlerin tesiste bağlantı konumları. 65
Şekil 5.16. Merkezi invertör ve şebeke bağlantısı. 66
Şekil 5.17. Güneş enerji sistemi kablo altyapısı. 67
Şekil 5.18. Solar kablo. 68
Şekil 5.19. Solar konektör. 68
Şekil 6.1. Bina çatı ve cephesine entegre fotovoltaik panellerin şematik gösterimi. 70
Şekil 6.2. Kiremit çatı montaj uygulaması. 75
Şekil 6.3. Kiremit içi montaj uygulaması. 75
Şekil 6.4. Trapez çatı montaj uygulaması. 76
Şekil 6.5. Düz ve eğimli montaj için bağlantı elemanları. 76
Şekil 6.6. Kenet çatı montaj parçası ve uygulamaları. 77
Şekil 6.7. Düz çatı PV montaj konstrüksiyonu. 78
Şekil 6.8. a) Çoklu panel montajı için sehpa. b) Paneller için tekli sehpa tasarımı. 78
Şekil 6.9. Düz çatıda ağırlık kullanım uygulaması. 79
Şekil 6.10. Amorf PV kiremit uygulaması. 79
Şekil 6.11. Polikristal solar ürün. 80
Şekil 6.12. SED ürünü. 80
Şekil 6.13. Solar halı uygulaması. 80

Şekil 6.14. Serbest stil PV uygulama. 81

Şekil 6.15. Eğimli çatı entegrasyonu. 81

Şekil 6.16. Houten itfaiye binası. 82

Şekil 6.17. Bartholoma, Almanya. 82

Şekil 6.18. Herne, Almanya. 83

Şekil 6.19. Tokyo, Japonya. 83

Şekil 6.20. Dış duvar sistemleri olarak fotovoltaik panel çeşitlerinin kurgulanması; (a) düzlemsel giydirme cepheler, (b) düşeyde kırıklı giydirme cepheler, (c) yatayda kırıklı giydirme cepheler. 84

Şekil 6.21. Dış duvar sistemleri olarak fotovoltaik panel çeşitlerinin kurgulanması; (a) akordiyon giydirme cepheler, (b) eğimli düzlemsel giydirme cepheler, (c) eğimli kırıklı giydirme cepheler. 85

Şekil 6.22. Akordiyon cepheye entegre PV sistemi. 85

Şekil 6.23. Schapfenmühle Silo Kulesi Ulm, Almanya. 86

Şekil 6.24. Bayern, Almanya. 86

Şekil 6.25. Freiburg, Almanya. 87

Şekil 6.26. Green Dot Animo Leadership High School binasında kullanılan panel sistemi. 87

Şekil 6.27. Edirne Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü binası cephe PV uygulaması. 88

Şekil 6.28. Tübigen, Almanya 88

Şekil 6.29. Barselona, İspanya. 89

Şekil 6.30. a) Concordia Üniversitesi b)Sistem kesiti. 90

Şekil 6.31. Ales-Fransa turist ofisi cephe PV uygulaması. 91

Şekil 6.32. Solar-Fabrik; Freiburg, Almanya. 91

Şekil 6.33. Büro Binası – Aachen, Almanya. 92

Şekil 6.34. Köln, Almanya. 92

Şekil 6.35. Bursa, Türkiye 93

Şekil 6.36. Zara şubesi, Almanya. 93
Şekil 6.37. Freiburg, Almanya. 94
Şekil 6.38. Baden, Almanya. 94
Şekil 6.39. Hameln, Almanya 95
Şekil 6.40. Freiburg, Almanya. 95
Şekil 6.41. Malaga, İspanya. 96
Şekil 6.42. Hareketli PV cephe uygulaması ve ayarlanabilir gölgeleme elemanları, Erlangen Üniversitesi, Almanya. 96
Şekil 7.1. PvSyst V6.86 ara yüzü. 97
Şekil 7.2. Suneye gölge ölçüm cihazı. 98
Şekil 7.3. PvSyst, Suneye ve Meteonorm arasındaki ilişki. 99
Şekil 7.4. Edirne için aylık Meteonorm verileri. 100
Şekil 7.5. Project design sistem seçim ekranı. 101
Şekil 7.6. Project Design içerik görünümü. 102
Şekil 7.7. PV sisteminin kurulacak işletme çatısının Google Earth Pro görüntüsü. 103
Şekil 7.8. Analiz yapılacak çatının PvSyst programında koordinat seçimi. 103
Şekil 7.9. PvSyst programında bina azimut açısı. 104
Şekil 7.10. PvSyst programında binanın üç boyutlu çizimi. 105
Şekil 7.11. Genel sistem akış şeması. 105
Şekil 7.12. Çatı alanı ve PV alanı. 106
Şekil 7.13. PV modül karakteristik eğrisi. 108
Şekil 7.14. PV modül karakteristik eğrisi. 109
Şekil 7.15. İnvertör verimlilik eğrisi. 110
Şekil 7.16. PV panellerin modül düzeni 111
Şekil 7.17. Ufuk çizgi diyagramı. 115
Şekil 7.18. PV paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu.7.4.1. 116

Şekil 7.19. Sıralı panel diziliminin görünüşü.7.4.1. 116

Şekil 7.20. Monokristal panel seçimli mevcut bina çatısı sıralı sehpa tasarımlı sistem bilgileri. 117

Şekil 7.21. Aylara göre üretim değerleri 7.4.1.1. 118

Şekil 7.22. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.1.1. 118

Şekil 7.23. Polikristal panel seçimli mevcut bina çatısında sıralı sehpa tasarımlı sistem özellikleri..... 119

Şekil 7.24. Aylara göre üretim değerleri .7.4.1.2. 120

Şekil 7.25. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.1.2. 120

Şekil 7.26. Eğim ve azimut açısı seçimi. 7.4.2. 121

Şekil 7.27. Tek panel altı sehpa tasarımı.7.4.2. 122

Şekil 7.28. Monokristal panel seçimli mevcut bina çatısında tek sehpa tasarımlı sistem özellikleri..... 122

Şekil 7.29. Aylara göre üretim değerleri.7.4.2.1. 123

Şekil 7.30. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.2.1. 123

Şekil 7.31. Polikristal panel seçimli mevcut bina çatısında tek sehpa tasarımlı sistem özellikleri..... 124

Şekil 7.32.Aylara göre üretim değerleri 7.4.2.2. 125

Şekil 7.33. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.2.2. 125

Şekil 7.34. PV Paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu. 126

Şekil 7.35. Bina yönlendirmesi ve PV alanının üç boyutlu gösterimi. 127

Şekil 7.36. Sistem görünümü.7.4.3.1. 127

Şekil 7.37. Aylara göre üretim değerleri .7.4.3.1. 128

Şekil 7.38. Normal üretim ve kayıp faktörler. 7.4.3.1. 128

Şekil 7.39. Sistem görünümü.7.4.3.2. 129

Şekil 7.40. Aylara göre üretim değerleri .7.4.3.2. 130

Şekil 7.41. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.3.2. 130

Şekil 7.42. PV paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu.7.4.4. 131
Şekil 7.43. Bina yönlendirmesi ve PV alanının üç boyutlu gösterimi.7.4.4. 132
Şekil 7.44. Sistem görünümü.7.4.4.1. 132
Şekil 7.45. Aylara göre üretim değerleri . 7.4.4.1. 133
Şekil 7.46. Normal üretim ve kayıp faktörler. 7.4.4.1. 133
Şekil 7.47. Sistem görünümü. 7.4.4.2. 134
Şekil 7.48. Aylara göre üretim değerleri 7.4.4.2. 135
Şekil 7.49. Normal üretim ve kayıp faktörler. 7.4.4.2. 135
Şekil 7.50. 2019 yılı aylara göre işletmenin elektrik tüketimi. 137

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı ülkelerin 2019 yılı kaynak bazında elektrik üretim oranı. 10

Çizelge 2.2. Ülkelerin elektrik üretiminde rüzgar ve güneşin yüzdelik payı. 10

Çizelge 2.3. Eylül 2020 verilerinde kaynaklara göre kurulu güç dağılımı. 15

Çizelge 2.4. Lisanssız elektrik güç dağılımı.. 16

Çizelge 2.5. Ülkemizde aylara göre elektrik üretimi. 16

Çizelge 2.6. Ülkemizde aylara göre güneş enerjisinden elektrik üretimi. 17

Çizelge 2.7. Aylara göre üretim ve tüketim karşılaştırması. 18

Çizelge 3.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli. 24

Çizelge 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı. 24

Çizelge 5.1. Hücre ve panel verimleri karşılaştırma tablosu. 55

Çizelge 5.2. PV panel arkasında oluşan ortalama sıcaklık ile havalandırma durumu karşılaştırması. 57

Çizelge 5.3. PV hücrelerin verimlilikleri ve 1 kWp için gerektirdiği alan. 62

Çizelge 5.4. PV güneş hücrelerinin oluşum enerjileri. 63

Çizelge 5.5. İnvertörlerin türüne göre pazar payı ver verimlilik karşılaştırması. 64

Çizelge 6.1. Yapı türlerine göre çatılar. 71

Çizelge 6.2. Yapı türlerine göre kullanılabilir çatı alanları. 72

Çizelge 6.3. Yapı türüne göre güneş enerjisi kurulabilme potansiyeli. 72

Çizelge 7.1. Seçilen PV panel özellikleri. 107

Çizelge 7.2. Monokristal panel teknik özellikleri. 107

Çizelge 7.3. Polikristal panel özellikleri 108

Çizelge 7.4. İnvertör özellikleri 110
Çizelge 7.5. Seçilen konfigürasyon detayları. 111
Çizelge 7.6. Edirne için sıcaklık değerleri. 112
Çizelge 7.7. Analiz yapılan sistemler. 114
Çizelge 7.8. PvSyst analiz sonuçları. 136
Çizelge 8.1. PV sistem elemanlarının adet fiyatları. 139
Çizelge 8.2. PV sistem elemanlarının adete göre maliyeti. 140
Çizelge 8.3. Analizlerin 25 yıllık verim düşümü ve yıllara göre gelir hesaplama sonuçları. 146
Çizelge 8.4. Analizler için NBD ve iç verim oranı hesaplamaları. 149
Çizelge 9.1. Yenilenebilir enerji kaynakları alım garantisi tutarları. 152
Çizelge 10.1. Analiz sonuçları özeti. 156

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde küresel ısınmanın artması ve olumsuz etkisini göstermesi sebebiyle çevre dostu ve karbon salınımı az alternatif enerji kaynaklarına yönelim de artmış bulunmaktadır. Fosil yakıtlara kıyasla daha temiz ve dünya geleceği için daha az riskli olan alternatif enerji kaynaklarının birçok türü bulunmaktadır. Örneğin, nehirlerde suyun akış potansiyel enerjisinden, belirli bir rüzgar hızının üzerinde konuma sahip bölgelerde, dalgaların gel git fazla yaptığı yerlerde, güneşlenme süresinin fazla olduğu konumlarda alternatif enerji kaynaklarından yararlanılabilmektedir. Fosil yakıtlara göre daha basit sistemler kullanılarak enerji elde edilebilmektedir. Kompakt olması kullanım yer seçeneklerini de arttırmaktadır.

Güneş dünyamız için çok büyük bir enerji potansiyelidir. Dolayısıyla güneş enerjisi ile ilgili araştırmalar da artmaktadır. Araştırma içerikleri olarak başlıca güneş açısı tespiti, güneş ışınımı, fotovoltaik sistemler, fotovoltaik sisteminin performansının arttırılması, konuma ve enerji potansiyeline göre sistem tasarımları konu başlıkları incelenmektedir. Fotovoltaik sistemleri kullanım amacına ve yerine göre değişiklik göstermektedir. Bu sistemler, ileri seviyede olarak, uzay araçlarına enerji sağlamak için de herhangi bir konuta veya güneş tarlası olarak şebekeye enerji sağlamak için de kullanılmaktadır. Sistem özellikleri amacına göre farklılık gösterse de enerji kaynağı güneş olmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin gelişen teknolojiyle daha kompakt tasarımlara dönüşmesi neticesinde daha az potansiyelli sistemler de kurulabilmektedir. Her konut ve iş yerinin temel ihtiyacı olan enerjiyi üretip kullanmak, araştırmaları ve kurulumları da

bu konuya yönlendirmiştir. Konum ve enerji potansiyeline göre sistem tasarımında bina çatı ve cephe üzerine veya arazi üzerine tasarlanan sistemler için makalelere ve tezlere ulaşmak mümkündür.

Yapılan çalışmaların genel özetinden fotovoltaik (PV) paneller tam güneye doğru ve güneş geliş açısına göre mevsimsel olarak doğru eğim açısı ile konumlandırılması maksimum verim sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca batı doğrultusunda konumlandırılan panellerin doğu doğrultusunda konumlandırılan panellere göre daha fazla enerji elde edileceğine ulaşılmaktadır.

Araştırmalar belirli simülasyon programları yardımları ile konumlandırmanın ne şekilde olması gerektiği, kullanılabilecek sistem elemanları ve elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli bulunabilmektedir. Farklı simülasyon programlarından yararlanmak mümkündür. Yapılacak araştırma amacına göre arazi konum ve ölçülerine göre veya bina için özelliklerine ve ölçülerine göre hesaplatmalar yapılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında PvSyst simülasyon programı kullanılarak yapılacak şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı ve performans analizi için; ilk olarak güneş enerjisi ve fotovoltaik sistemler üzerine yazılmış tez çalışmaları, makaleler, araştırma yazıları, bildiriler ve duyurular incelenmiştir. Bu tez çalışmasının konusuyla ilgili daha önce yapılan çalışmaların neler olduğu tayini için incelemeler ikincil olarak daha da özele indirilerek PvSyst simülasyon aracı ile yapılan sistem tasarımları, kurulu sistemlerin simülasyon aracı ile karşılaştırılması çalışmaları ve performans değerlendirmelerini kapsayan literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada tasarlanan fotovoltaik sistem yapısına benzer başka bölgelerde gerçekleştirilen çalışmalar da incelenmiştir.

1.1. Literatür Taraması

Morner ve Ulleberg (1997) güneş hidrojen sistemleri için TRNSYS simülasyon programını kullanarak değişik konfigürasyonlarda modellemeler yapmışlardır.

Berger (1998) İrlanda'nın Lusk kasabası için enerji ihtiyacının konutlara kurulacak güneş enerjisi sistemi ile ne kadarının karşılayabileceğini araştırmıştır. Seçilen bölgenin teorik olarak 948.546 kWh/yıl kapasiteye sahip olduğu bulunmuştur.

Araştırmanın yapıldığı yılda üretim kapasitesi tüketimin %45'ini karşılayabileceği öngörülmüştür.

Amrouche, Belhamel, Malek ve Maafi (2000) güneş uygulamaları için DC/AC güneş inverterleri konusunu araştırmışlar ve evsel uygulamalar için tek fazlı bir inverter prototipi yaparak laboratuarda test etmişlerdir. Geliştirme çalışmaları sonunda tam yükte %86 verime ulaşmışlardır.

Çıtıroğlu (2000) dünyada kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında değerlendirme yapılıp geleceğe yönelik enerji kaynağı olarak fotovoltaik enerji sistemlerinin en önemli seçenek olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca fotovoltaik sistem teknolojisi ve tasarım koşulları incelemiştir.

Durisch, Tille, Wörz ve Plapp (2000) güneş enerjisi sistemlerinde seçilen fotovoltaik modüllerin değişik hava sıcaklıklarında, sağladığı verimin çeşitliliğini araştırmışlar ve bu konuda deneysel olarak çalışmışlardır.

Çelebi (2002) bina cephesinde PV panellerin kullanım ilkeleri üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada farklı cephe şekil ve özelliklerine göre tasarım örneklerine ve karşılaştırılmalarına yer vermiştir.

Coventry ve Lovegrove (2003) bileşik ısı ve fotovoltaik sistem konusunda çalışmışlardır. Evsel sistemler için verimi artırmak ve enerji kaybını en aza indirmek için elektrik ve ısı çıktı oranlarını geliştirecek metodlar araştırmışlar ve bu metodları örneklendirmişlerdir.

Acar, Şenol ve Üçgül (2006) ülkemiz ve dünya genelinde fotovoltaik panellerin mevcut durumunu incelenmişler ve panellerin üretimini firmaların üretim teknikleri, ürün verimlilikleri ve pazar payları karşılaştırmışlardır.

Aktacir, Mutlu ve Yeşilata (2006) temiz enerjili uygulamaların öneminden bahsetmiş ve özellikle fotovoltaik güç ünitelerinin üniversite kampüslerinde kullanımını anlatmışlardır. Bu makaleye göre Türkiye'de bu konuda öncülük Muğla Üniversitesi'nde olup, Harran Üniversitesi'nde de yeni kampüsün ileri güneş enerjisi teknolojileri ile entegrasyonu söz konusudur.

Güçlü (2009) Kütahya şehrindeki Dumlupınar Üniversitesi'nin dış aydınlatmasının elektrik ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanması araştırmıştır. Bu

tüketim için gerekli olan kurulu güç kapasitesi belirlenmiştir. Planlanan kurulu güç için gerekli panel sayısı ve invertör seçimi yapılmıştır. Tasarlanan projenin maliyet analiz hesaplanmıştır.

Chow (2010) 1970'lerden beri fotovoltaik/ısıl (PVT) teknolojisiyle ilgili araştırmaların önemli miktarda gelişme gösterdiğinden bahsetmiştir. PVT sistemlerin teknik içeriğini anlatan bu makalede ayrıca market potansiyeli ve ticari uygulamalara da değinilmiştir.

Boyle, Reynolds ve Li (2011) İrlanda'da evsel fotovoltaik sistemlerle ilgili çalışma yapmışlardır. Eğer teşvik verilmezse bu sistemlerin henüz ekonomik olmadığını çalışmalarında belirtilmiştir.

Karataş (2012) Trakya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için güneş enerji sistem tasarımı ve maliyet analizi yapmıştır. Güneş enerjisi sistem analizi, TRNSYS; "Transient System Simulation" programında yapmıştır. Şebekeye bağlı sistem tasarımı yapılmış ve maliyet analizinde 10 yıl geri ödeme süresi bulmuştur.

Demircan ve Eke (2014) yaptıkları çalışmada Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Fakültesi'ne ait bir binanın güney cephesine kurulmuş olan 40kWp gücündeki binaya entegre fotovoltaik sistemin 6 aylık performansı hesaplanmıştır. Ayrıca güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin binada tüketilen enerjiyi karşılama oranları belirlenmiştir. Altı aylık tüketimin 91,2 MWh, güneş enerji sisteminin ise üretimi 17,6 MWh olarak bulunmuştur. İhtiyacı karşılama oranı %20 ile PV sistemden karşılanabilmektedir, %80'lik kısmı da şebekeden karşılanabilmektedir.

Banerjee ve Singh (2015) Hindistan Mumbai şehrinin bina çatıları için çalışma yapmışlardır. Şehirde bulunan binaların güneş enerjisi kurulumu yapılabilecek çatı alanları belirlenmiştir. PvSyst programı ile yapılan analizde çatılara güneş enerjisi kurulması durumunda 2190 MW'lık bir kapasitesi olduğunu öngörmüştür. Bu rakamın oldukça yüksek olduğunu, bölge şartları da incelendiğinde çatılarının güneş enerjisi için kullanımının oldukça uygun olduğunu belirtilmiştir.

Irwanto ve Yusoff (2015) PvSyst 6.3.4 programı ile bir güneş enerji santral simülasyonu yapılırken nelere dikkat edilmeli, olası kayıplar, performans eğrileri, bölge seçimi, panel ve invetör gibi ekipman seçimlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar gibi konulara değinerek bir simülasyonun oluşturulması aşamalarını incelemişlerdir.

Attari, Asselman ve Yaakoubi (2016) Fas'ın Morocco ilinde şebekeye bağlı bir güneş enerjisi sistemini incelemişlerdir. İl ortalama 2600 kWh/m^2 gibi ülkemize göre yüksek ışınım değerine sahiptir. Bu bölgede kurulan sistem 20 adet 250 Wp'lik fotovoltaik panel ve 5 kW kapasiteli 1 adet invertörden oluşmaktadır. Yapılan inceleme neticesinde 2015 yılında şebekeye 6411,3 kWh'lik enerji sağlandığı, sistemin % 58 ile % 98 arasında değişen performans değeri olduğu ve yıllık kapasite faktörünün %14,84 olarak bulunduğunu belirtmişlerdir.

Attari, Asselman, Baghdadi, Leemrani ve Yaakoubi (2017) yapmış oldukları çalışmada 3 farklı teknolojideki fotovoltaik panelleri analiz etmişlerdir. Burada 2,04 kWp gücünde Monokristal, 2,04 kWp gücünde Polikristal, 1,86 kWp gücünde ince film panellerin incelemesini yapılmıştır. Tetoun-Morocco'da bulunan üniversite binasının çatısına kurulu olan sistem incelenmiştir. Yapılan çalışma Monokristal hücrelerden oluşan fotovoltaik güneş panelinin diğerlerinden daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

Baş, Yılmaz ve Zıba (2017) yaptıkları çalışmada bir fabrikanın şebekeye bağlı güneş enerji sistemi ve kojenerasyon sistemi tasarımını yapılmışlardır. 2 MW kapasiteli kojenerasyon ve kayıpsız kurulu gücü 0,8 MW olan güneş enerji sistemi uygulamasının maliyet analizi yapılmıştır. PV sistemi fabrika çatısına uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan ekonomik analizde 9,3 yıllık geri ödeme süresi bulunmuştur. Bu sürenin fabrika için uzun süre olduğu kanaatiyle yatırımın uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tekkale (2018) yüksek lisans çalışmasında Ankara, Antalya, Aydın, Balıkesir, Edirne, Malatya, Şanlıurfa ve Van illeri için arazi tipi güneş enerji sistemleri üzerine analizler yapmıştır. PvSyst programı üzerinden sistem teknik analizlerini yapıp her il için ayrı değerlendirme yapmıştır. Lisanssız sistem tasarımları yaparak, maliyet analizlerini de kredi kullanılması durumu için de yapmıştır. Seçmiş olduğu iller içerisinde Şanlıurfa yatırım yapmak için en uygun şehir olduğu sonucuna varmıştır.

Aktaş ve Eremkere (2019) PvSyst ve RETScreen programlarını kullanarak altı farklı tasarım hesaplaması yapmışlardır. Panel açısını 20˚, azimut açısını 0˚ kabul ederek, üç farklı panel çeşidi için de üretim değerleri bulunmuştur. Sağlanabilecek sera gazı azaltımı da panellere göre bulunmuştur. Yapılan karşılaştırmalarda amorf-silisyum panel yıllık üretimde en fazla üretimi sağlamıştır. Fakat uygulama yapılacak çatı için

uygun olmayacağı için mono-si ve poli-si panellerin tercih edilebileceği, maliyet ve verim açısından yaklaşık oldukları sonucuna varılmıştır.

Akyüz ve Bilgili (2019) çalışmalarında Çukurova koşullarında modern tarım işletmelerinde elektrik enerjisinin PV sistem ile karşılanması ve karbondioksit azaltımı için PV-çatı sistemleri tasarımı geliştirilmiş ve 5 farklı panel konumlandırma ile 8 farklı eğim açısına göre 40 ayrı modül oluşturulmuştur. 330 kW kapasiteli sistem için tekno-ekonomik analiz yapılmıştır. Sistemin geri ödeme süresi 6 yıl olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma tarım işletmeleri için örnek teşkil etmek adına kaynak olabilecektir.

Gupta, Jayakumar, Kumar, Mathew ve Singh (2019) çatı üzeri 200 kWp gücünde bir güneş enerji sistemi performans analizi yapmışlardır. Yapılan analiz sonucundan, Hindistan'ın kuzey bölgesi için 200 kWp santral gücünden 292.954 kWh bir üretim değeri bulunmuştur. Bu gözlem neticesinde söz konusu yatırım için 5 yıl bir geri dönüş süresi öngörmektedirler.

Gündüz (2019) Kütahya ili için arazide kurulu güneş enerji santralinin üretim verileri ile PvSyst programı üretim verileri karşılaştırmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda PvSyst programından elde edilen veriler ile gerçek üretim verileri karşılaştırıldığında %10.58 oranında bir fark vardır. Bu oran ile diğer yenilenebilir enerji çeşitlerine göre güneş enerjisinin teorik hesaplamalarının gerçeğe en yakın oranda belirlenebildiğini göstermektedir.

Güneş (2019) yaptığı yüksek lisans çalışmasında Manisa ilinde toplam kullanılabilir alanı 412 m^2 olan konut çatıları için PvSyst programı üzerinden hesaplama yapmıştır. Maliyet analizleri ile aylık ve yıllık mahsuplaşma gelirlerini hesaplamıştır. Tüketim üretim karşılaştırması yapıldığında, Mart-Ekim ayları arası üretimin tüketim değerleri çıkması durumda da fazlası mevcut olduğu ve şebekeye basılabileceği, diğer aylarda üretimin tüketime yetmediği sonucuna varmıştır. Yapılan sistem seçimi ile 29,9 kWp kurulu güç tasarlanmıştır.

İzgi ve Özcan (2020) Bursa'nın Osmangazi ilçesinde monokristal, polikristal ve ince film panelleri ile oluşturulan 1 MW şebekeye bağlı fotovoltaik çatı kurulumunun aylık ve yıllık performans analizini hesaplamışlardır. Analizlerin değerlendirmesi ve tasarımı PvSyst ve PVSOL programları ile yapılmıştır. Sonuç olarak; yıllık üretimde

sırasıyla monokristal, polikristal son olarak inci film panel olmuştur, yıllık performans oranında da monokristal en verimli panel olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sarı ve Özyiğit (2020) yaptıkları çalışmada Sivas'ın beş ilçesi için monokristal ve polikristal panel kullanılacak şekilde tasarım ve analizini yapmışlardır. Panellerin eğim açısı 35˚ ve azimut açısı olarak 0˚ olacak şekilde konumlandırılmıştır. Sistemlerin analizi ve hesaplatılması PvSyst programı üzerinden yapılmıştır. Banka kredisi kullanılarak ve kullanılmadan yatırım yapılması durumundaki geri ödeme süreleri hesaplatılmıştır. Yapılan hesaplamalar polikristal panel kullanımında iki ilçe için 4.5 yıl geri ödeme süresi olduğu bulunmuştur. En uzun geri ödeme süresi monokristal panel kullanımda bir ilçe için 6,3 yıldır. Yapılan ekonomik analizler sonucunda en karlı yatırım monokristal panel için Divriği ilçesinde, polikristal panel için Yıldızeli ilçesinde olmaktadır.

BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ

Dünya'da enerji kaynaklarının tüketiminin artmasının ana etkenlerin başında nüfus artışı vardır. Temel olarak; sanayinin gelişmesi ve teknolojik ürünlerin fazlalaşması nedeniyle enerji talebinde artış olacağı öngörülmektedir.

Ayrıca yirmi birinci yüzyılın teknolojik gelişimleri bize daha konforlu bir geleceğin kapılarını açmaktadır. Yaşam standartlarının artmasına paralel olarak tüketim ihtiyaçlarımızda değişmektedir. Evlerde kullanılan elektronik cihazların artması, ailelerde birden fazla araba kullanımı bunlara örnek gösterilebilir.

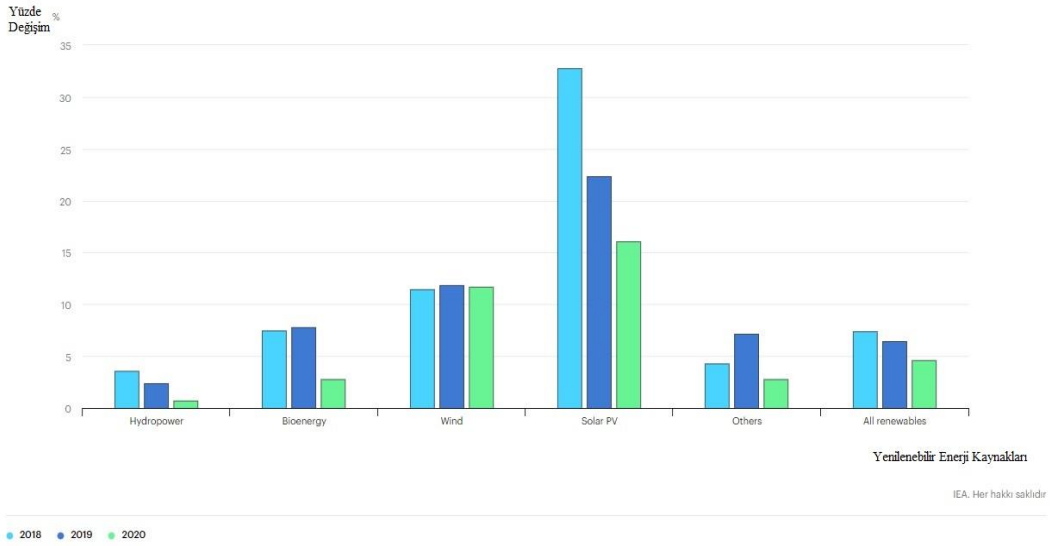
Tüketimin bu denli artmasına paralel olarak fosil yakıtların sebep olduğu çevre kirliliği ve küresel iklim değişikliği olmaktadır. Dünyanın temel ihtiyaçlarından biridir enerjidir ve güncel durumda enerji ihtiyacı petrol, doğalgaz ve kömür gibi karbon içerikli yakıtlar ile karşılanmaktadır. Karbon salınımının yüksek olduğu fosil yakıtların yerine alternatif enerji kaynaklarının kullanılması bu konuda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Çevre dostu olan alternatif enerji kaynaklarından sağlanan enerji kullanımı da artmaktadır.

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) tarafından yapılan senaryolara göstermektedir ki, 2040 yılına kadar fosil yakıtların üretimdeki payı azalmasına rağmen yine de hakim enerji kaynakları olacaktır. Birincil enerji kaynakları içinde nükleer enerjinin payının artacağı öngörülmekte, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılındaki payının %16,1 olması beklenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, yıllık ortalama %9,8 büyüme payı ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynaklarıdır. Ayrıca nükleer enerji yıllık ortalama %2,3

ve hidroelektrik yıllık ortalama %1,8 büyüme oranına sahip olacaktır. Görüldüğü gibi üç kaynağın büyüme oranı, toplam birincil enerjinin büyüme oranından daha fazladır.

IEA, yenilebilir enerji kaynaklarının 2018-2020 yıllara göre büyüme oranlarını değerlendirmiştir. Oluşan grafik Şekil 2.1'de görüldüğü gibi yıllık büyüme yüzdesi en fazla güneş enerjisinde gerçekleşmiştir. Güneş enerjisinde; 2018 yılı için %33, 2019 yılında %22 ve 2020 yılında %16 büyüme oranı vardır.



Şekil 2.1. 2018-2020 yılları arası yıllık büyüme oranı. (IEA, 2020).

Ülkelerin fosil kaynaklarının payına ve devlet politikalarına göre elektrik üretiminde tercih edilen kaynaklar değişiklik göstermektedir. Dünyada elektrik üretimi kaynaklara göre değerlendirildiğinde kömür ilk tercih edilen kaynaktır, hidroelektrik dahil yenilenebilir enerji ikinci sırada bulunmaktadır. Yüzdelik olarak elektrik enerjisini en fazla kömür ile karşılayan ülkeler sırasıyla Hindistan ve Çin'dir. Yüzdelik değerlendirmede en fazla yüzdeliğe Kanada sahiptir. (Çizelge 2.1)

Çizelge 2.1. Bazı ülkelerin 2019 yılı kaynak bazında elektrik üretim oranı. (BP Statistical Review of World Energy, 2020).

Yüzde	**Petrol**	**Doğal Gaz**	**Kömür**	**Nükleer**	**Hidroelektrik**	**Yenilenebilir Enerji**	**Diğer**
Almanya	0,8	14,8	27,9	12,2	3,2	36,5	4,1
ABD	0,4	38,6	23,9	19,3	6,1	11,1	0,3
Kanada	0,6	10,4	8,2	16,7	57,8	7,4	0,1
Çin	0,07	3,1	64,6	4,6	16,9	9,7	0,7
Hindistan	0,5	4,5	72,9	2,8	10,3	8,6	0,01
Rusya	0,6	46,4	16,2	18,6	17,3	0,1	0,3
Türkiye	0,06	18,8	37,1	-	28,9	14,6	0,3
Dünya	3,05	23,3	35,6	10,3	15,6	10,3	0,8

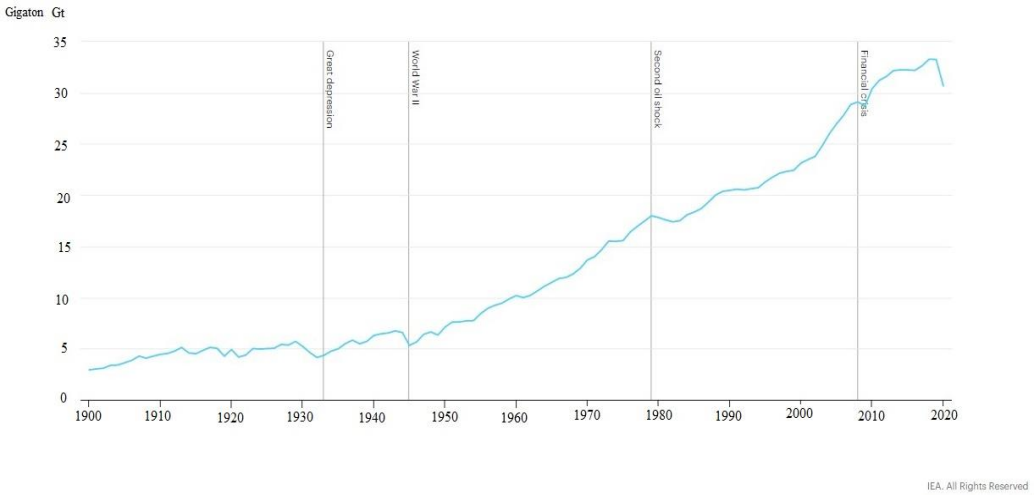
Enerdata 2019 Global Enerji İstatistikleri'ne göre rüzgar ve güneş enerjisinin payı 2018'de yüzde 0,8 puan artarak yüzde 7,5'e ulaşmıştır. Ülkelerin karşılaştırması yapıldığında en fazla yüzde 25 ile Almanya olmaktadır. Ülkemiz yüzde 12 ile dünyada 9'uncu sırada yer almaktadır. (Çizelge 2.2)

Çizelge 2.2. Ülkelerin elektrik üretiminde rüzgar ve güneşin yüzdelik payı. (Enerdata, 2019).

Ülkelerin Elektrik Üretiminde Rüzgar ve Güneşin Payı (%)	
Ülke	**Yüzde**
Almanya	25
Portekiz	23,4
İspanya	23,3
Yeni Zelanda	21,9
Birleşik Krallık	21
İtalya	16,3
Belçika	14,8
Romanya	12,5
Türkiye	12
Hollanda	11,7
Şili	11,1
İsveç	10,4

1900-2020 yılları arasında CO_2 emisyon değerleri incelendiğinde elektrik üretim ve tüketiminin artışına paralel olarak emisyon değeri de artış göstermektedir. 2020

yılında yaşanan Covid-19 krizinin bir sonucu olarak, küresel CO_2 emisyonlarının % 8 ve yaklaşık 2,6 gigaton düşüşle 10 yıl önceki seviyelere düşmesi beklenmektedir. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. CO_2 emisyonun 1900-2020 yılları arasında değişimi. (IEA, 2020).

2.1. Yenilenebilir Enerji Kavramı

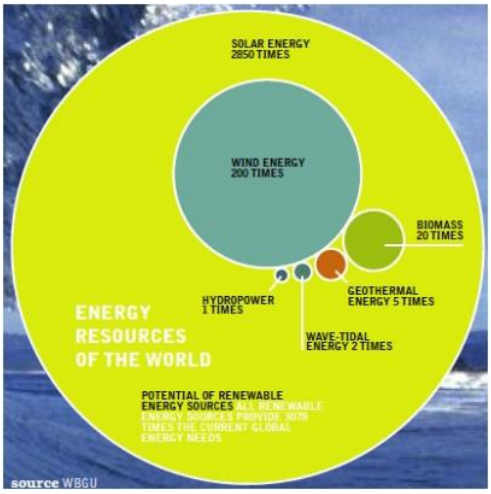
Yenilenebilir enerji, temelinde doğadaki kaynaklardan elde edilebilen ve doğa kendi içinde bir döngü olarak bulunan denir.

Çeşitlerine göre yenilenebilir enerji kaynakları;

- Güneş enerjisi
- Rüzgâr enerjisi
- Biyokütle
- Jeotermal
- Dalga-gelgit
- Hidroelektrik
- Hidrojen

olarak sıralanabilir. Potansiyelleri bakımından alternatif enerji kaynakları karşılaştırılırsa güneş enerjisi 2850 kat enerji potansiyelle en büyük enerji kaynağıdır. Güneş enerjisini en fazla ikinci potansiyele sahip olan rüzgar enerjisi takip etmektedir. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli, teorik olarak mevcut küresel enerji

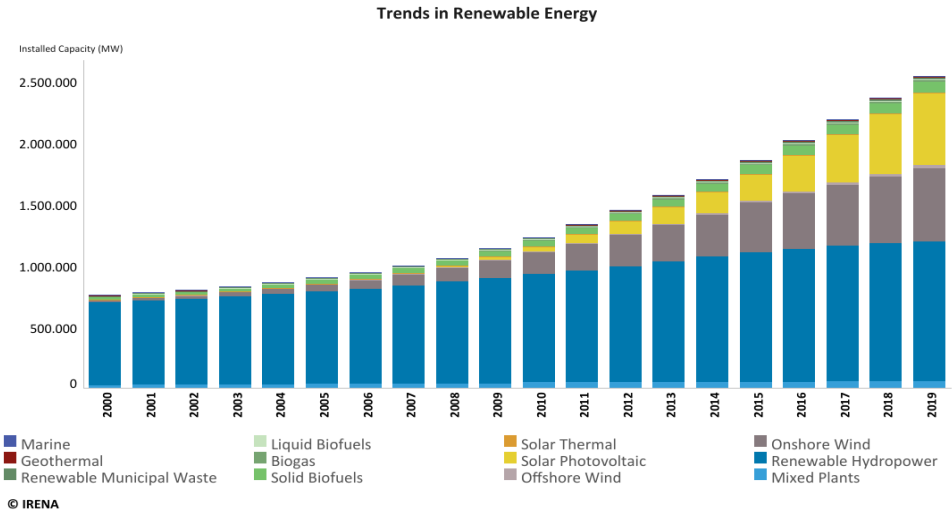
ihtiyacının 3078 katını karşılayabilmektedir. Şekil 2.3'te enerji kaynakları potansiyellerinin büyüklükleri şematik olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.3. Dünya yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli. (GREENPEACE, 2017).

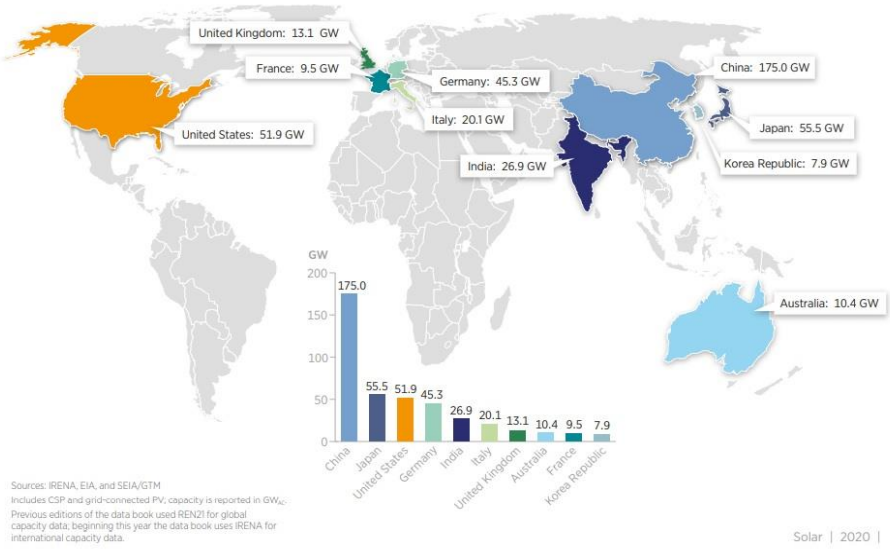
Enerji politikalarının temel öğretilerinden biri de enerji çeşitliliğinin sağlanması gerekliliğidir. Çoğu ülke enerji çeşitliliği anlamında yenilenebilir enerjilerin çeşitliliğini de sağlamışlardır. Ülkeler bulunduğu coğrafyaya göre doğal enerji kaynaklarının potansiyellerini değerlendirerek santraller kurmaktadır. Gelişen teknoloji ile potansiyeli düşük olan enerji kaynaklarından da yararlanılmaya çalışılmaktadır.

Sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç kapasiteleri araştırması IRENA (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı) tarafından yapılmıştır. Yapılan istatistikte hidroelektrik en fazla paya sahipken rüzgar enerjisi onu takip etmektedir, üçüncü enerji kaynağı ise güneş enerjisidir. Araştırmada 2000-2019 yılları arası kurulu güçteki değişim de gösterilmektedir. Şekil 2.4'teki grafikte görüldüğü gibi güneş enerjisi yıllar içinde dünya genelinde büyük bir gelişim göstermiştir.



Şekil 2.4. Dünyada alternatif enerji kaynaklarının kurulu gücü. (IRENA,2020).

Şekil 2.5'de verilen harita gösterimine göre, IRENA 2020 verilerinde Dünya'da güneş enerjisi kurulu gücü ülkelere göre karşılaştırılırsa, Çin 175 GW ile birinci sırada yer almaktadır. Kurulu güçte Japonya 55,5 GW güç ile ikinci sırada, Amerika 51,9 GW kurulu güç ile üçüncü sırada bulunmaktadır.



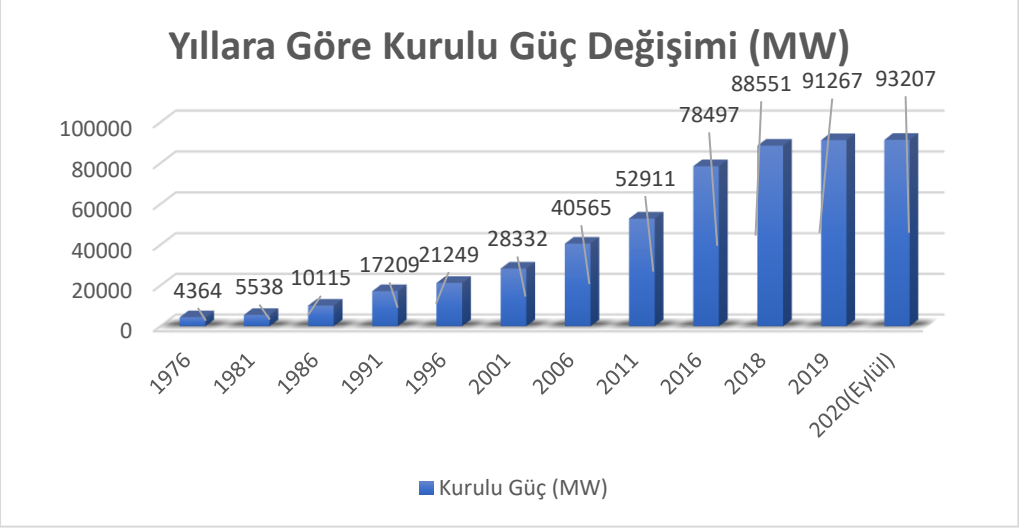
Şekil 2.5. Dünyada toplam kurulu PV gücün 2020 yılı. (IRENA, 2020).

2.2. Türkiye'de Kullanılan Enerji Kaynakları

Dünyada alternatif enerji kaynaklarının kullanımına paralel olarak ülkemizde de enerji üretiminde çeşitlilik vardır. Devlet enerji politikasının da alternatif enerjiye ağırlık vermesi sayesinde kurulu güçte rüzgar ve güneş enerjisinin payı yıllar içerisinde artmıştır.

Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) elektrik enerjisi istatistikleri sunumundan yola çıkılarak yıllara göre kurulu güç, kaynaklara göre kurulu güç, lisanslı ve lisanssız kurulu güç, aylara göre elektrik üretimi, güneş enerjisinin aylara göre elektrik üretimi ve aylara göre üretim tüketim karşılaştırılması yapılmıştır.

Ülkemizin 1976 yılından 2020 yılı Eylül ayına kadar kurulu güç değişimi Şekil 2.6'dan incelendiğinde 1976 da 4.364 MW olan kapasite 2020 Şubat ayı itibari ile 93.207,1 MW olmuştur. Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi teknolojilerinin artmasının, dünyada ve ülkemizde çevre dostu enerjinin yasal olarak da desteklenmesinin kurulu güçteki artışa olumlu etkisi olmuştur. 2019 ve 2020 yıllarındaki kurulu güç kapasitesi karşılaştırılacak olursa; yüzde 0,148 lik bir artış olduğunu hesaplanmaktadır.



Şekil 2.6. Ülkemizin yıllara göre elektrik gücü değişimi.(TEİAŞ,2020).

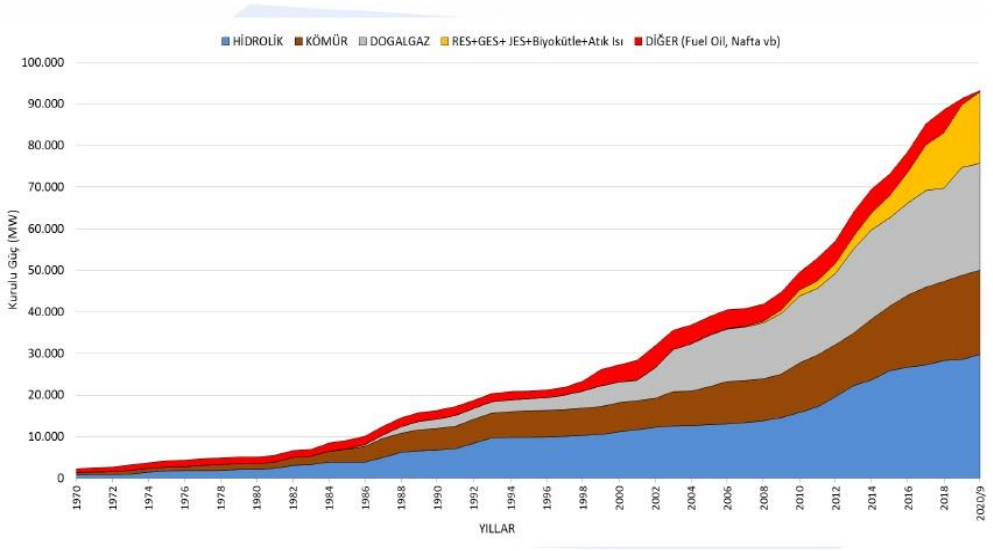
Çizelge 2.3'de kurulu gücü kaynaklarına göre değerlendirirsek; Eylül 2020'de yüzde 27,5 ile Doğalgaz-LNG en büyük pay sahibidir. Güneş enerjisi ise toplam kurulu

gücün yüzde 6,8 lük payı ile diğer enerji kaynakları arasında yedinci sırada bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Eylül 2020 verilerinde kaynaklara göre kurulu güç dağılımı.(TEİAŞ,2020).

Eylül 2020 Kaynaklara Göre Kurulu Güç (MW)		
Kaynak Türü	**Kurulu Güç (MW)**	**Yüzde**
Akarsu – HES	7.912,7	8,50
Rüzgar	8.077	8,7
Güneş	6.361,1	6,8
Fuel Oil-Nafta-Motorin	311,6	0,3
Taş Kömürü-Linyit-Asfaltit	11.313,1	12,3
İthal Kömür	8.966,9	9,6
Doğal Gaz - LNG	25.634,3	27,5
Jeotermal	1.514,7	1,6
Biyokütle-Atık Isı	1.238,4	1,3
Barajlı-HES	21.877,1	23,5
Toplam	93.207,1	100,00

Kaynaklara göre kurulu güç değişimi incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının artışı görülmektedir. Şekil 2.7'de 1970-2020 yılları arası toplam gücün kaynaklara göre değişim grafiği yer almaktadır.



Şekil 2.7. Kaynakların 1970-2020 yılları arasındaki kurulu güç değişimi.(TEİAŞ, 2020).

Lisanslı ve lisanssız olmak üzeri kurulu gücü değerlendirebiliriz. Lisanssız kurulu güç, belirli prosedürleri karşılayan ve kanunda belirlenen kapasiteler altında olan

tesisler ile elde edilir. Lisanssız güçte 6.102,3 MW ile en büyük pay güneş enerjisindedir. Toplam lisanssız güç 6.636,3 MW dır. (Çizelge 2.4)

Çizelge 2.4. Lisanssız elektrik güç dağılımı.(TEİAŞ,2020).

Lisanssız Kurulu Güç 2020 Eylül (MW)	
Kaynak Türü	**Kurulu Güç (MW)**
Termik	454,5
Rüzgar	70,8
Akarsu	8,7
Güneş	6.102,3
Toplam	6.636,3

Ülkemizin kurulu elektrik gücünden elde edilen elektrik enerjisi aydan aya kaynak potansiyeli ve verimine göre değişiklik göstermektedir. Buradan yola çıkarak 2019 yılı için aylık olarak üretilen enerji Çizelge 2.5'de yer almaktadır. Tabloyu incelediğimizde elektrik üretimi en fazla 27.397.353,22 MWh ile Temmuz ayında, en düşük üretim 22.776.199,93 MWh ile Şubat ayında olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.5. Ülkemizde aylara göre elektrik üretimi.(TEİAŞ, 2020).

2019 Yılı Aylara Göre Elektrik Üretimi (31 Aralık 2019 İtibariyle) (MWh)	
Elektrik Üretimi	**Toplam (MWh)**
Ocak	25.478.142,59
Şubat	22.776.199,93
Mart	23.798.925,73
Nisan	22.784.046,49
Mayıs	23.777.225,32
Haziran	23.035.758,94
Temmuz	27.397.353,22
Ağustos	26.404.251,10
Eylül	24.164.700,96
Ekim	23.023.447,36
Kasım	22.976.386,75
Aralık	25.406.177,18
Toplam	291.022.615,57

Lisanslı elektrik üretimi toplam 291.022.615,57 MWh olduğu görülmektedir. Lisanssız elektrik üretimi; hidrolik, rüzgar, güneş ve termik enerji kaynaklarının toplamı için 2019 yılında toplam 13.228.972,61 MWh dır. Lisanslı ve lisanssız elektrik üretimi toplam üretimi 304.251.588,18 MWh olarak hesaplanmıştır.

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kaynak olarak güneş kullanıldığı için aylara göre üretimde farklılık gözlenmektedir. Güneşlenme süresinin ülkemizde daha az olması sebebiyle en az üretim Ocak ayında 7.007,02 MWh dır. Yazın güneşlenme sürelerindeki artışı ile enerji üretiminde de artma gözlenmektedir. 2019 yılı için en çok üretim yapılan ay 21.684,96 MWh ile Ekim ayıdır. (Çizelge 2.6)

Çizelge 2.6. Ülkemizde aylara göre güneş enerjisinden elektrik üretimi. (TEİAŞ, 2020).

Aylara Göre Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi 2019 (MWh)	
Ay	**Güneş Enerjisi**
Ocak	7.007,02
Şubat	9.807,58
Mart	12.998,51
Nisan	13.652,17
Mayıs	17.241,10
Haziran	16.421,43
Temmuz	18.064,54
Ağustos	19.190,24
Eylül	17.018,85
Ekim	21.684,96
Kasım	21.225,33
Aralık	13.576,34
Toplam	187.888,07

Üretim ve tüketim karşılaştırılırsa; 2019 yılı için toplam üretim 291.022.615,57 MWh, tüketim 290.445.454,68 MWh dır. Aylara göre üretim ve tüketim verileri Çizelge 2.7'de bulunmaktadır.

Çizelge 2.7. Aylara göre üretim ve tüketim karşılaştırması. (TEİAŞ, 2020).

2019 Yılı Üretim ve Tüketimin Aylara Göre Karşılaştırılması (MWh)		
Ay	**Elektrik Üretimi**	**Elektrik Tüketimi**
Ocak	25.478.142,59	25.368.790
Şubat	22.776.199,93	22.630.356
Mart	23.798.925,73	23.793.919
Nisan	22.784.046,49	22.611.101
Mayıs	23.777.225,32	23.586.549
Haziran	23.035.758,94	23.034.664
Temmuz	27.397.353,22	27.380.775
Ağustos	26.404.251,10	26.421.503
Eylül	24.164.700,96	24.125.766
Ekim	23.023.447,36	22.890.236
Kasım	22.976.386,75	23.085.315
Aralık	25.406.177,18	25.516.483
Toplam	291.022.615,57	290.445.454,68

BÖLÜM 3

GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünya için Güneş ve güneş sistemi temel enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi sayesinde dünyanın doğal yaşam döngüsü kendini tamamlayabilmektedir. Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının çoğu, güneşin neden olduğu doğal olaylar ile ortaya çıkmıştır. Ayrıca enerji üretiminde de güneş sınırsız bir kaynaktır.

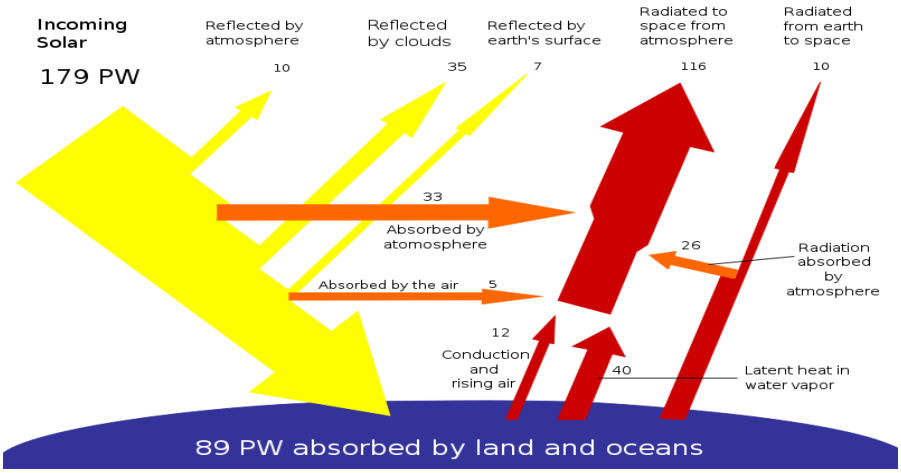
Güneş, dünya çapının 109 katı (1,5 milyon km), kütlesinin 333 bin katı ve hacminin 1,3 milyon katıdır. Güneşin kütlesel yaklaşık % 73,46'sının hidrojenden oluştuğu belirtilmektedir. Hidrojeni helyuma dönüştüren nükleer füzyon reaksiyonları güneşin çekirdeğinde oluşmaktadır. Saniyede 4 milyon ton madde enerjiye çevrilir, ortaya nötrinolarla radyasyon çıkmaktadır.

Güneşin ışınım gücü $3{,}846\times10^{26}$ W'dır ve güneşte saniyede yaklaşık 600 milyon ton proton, yani hidrojen tüketilmektedir. Bu tüketime karşın yaklaşık 5 milyar yıllık ömrü olduğu tahmin edilmektedir. Buradan yola çıkarak güneşin insanlık için tükenmez bir enerji kaynağı olduğunu anlayabiliriz.

Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin bir saatlik kısmı bile yıllık küresel enerji talebini karşılayabilecek kapasitededir. Ancak, bulutlu günlerin etkisi ve günümüz teknolojisindeki verimlilik gibi etkenler nedeniyle bu enerji henüz yeterli oranda kullanılamamaktadır.

Dünyaya gelen güneş enerjisinin tamamı kullanılabilir enerjiye dönüştürülememektedir. Güneşten gelen ışınların bir kısmı atmosferden soğurulurken bir kısmı da bulutlar tarafından geri yansımaktadır. Dünya üzerine gelen güneş ışınlarının dağılımı ve yansıma yöntemleri Şekil 3.1'de görülmektedir.

Çıkan enerjinin %30'u yansıtılan enerjidir. Yansıtılan enerjinin yüzde dağılımı şu şekildedir; %6 atmosferden, %20 bulutlardan, %4 yerden yansıtılmaktadır. Kalan %70'lik enerji ise emilir. Emilimin yüzde dağılımını incelenirse; %51'lik kısmı karalar ve sular tarafından, %19'u bulutlar ve atmosfer tarafındandır.



Şekil 3.1. Dünya üzerine düşen güneş ışınlarının dağılımı. (NASA, 2018) (PetaWatt=1015 watt).

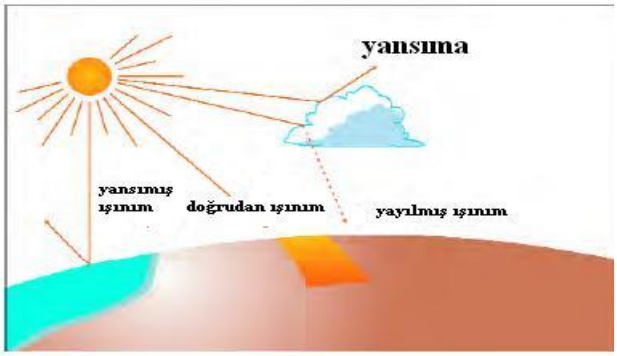
Güneş ışınları dünyaya düşme şekline göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar;

Doğrudan Işınım: Güneş'ten atmosfer tarafından dağılmadan alınan güneş radyasyonudur. Özellikle yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ve güneş enerjisinden ısı eldesi hesaplarında kullanılmaktadır.

Yayılmış Işınım: Atmosfer tarafından dağıtılarak yönü değiştirildikten sonra güneşten alınan ışınımdır.

Küresel Işınım: Doğrudan ve yayılmış ışınımın toplamını oluşturmaktadır. Fotovoltaik sistem hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş ışınlarının dünyaya gelişine göre şekilde üzerinde gösterimi Şekil 3.2'dedir.



Şekil 3.2. Güneş ışınlarının yansıma şekilleri.

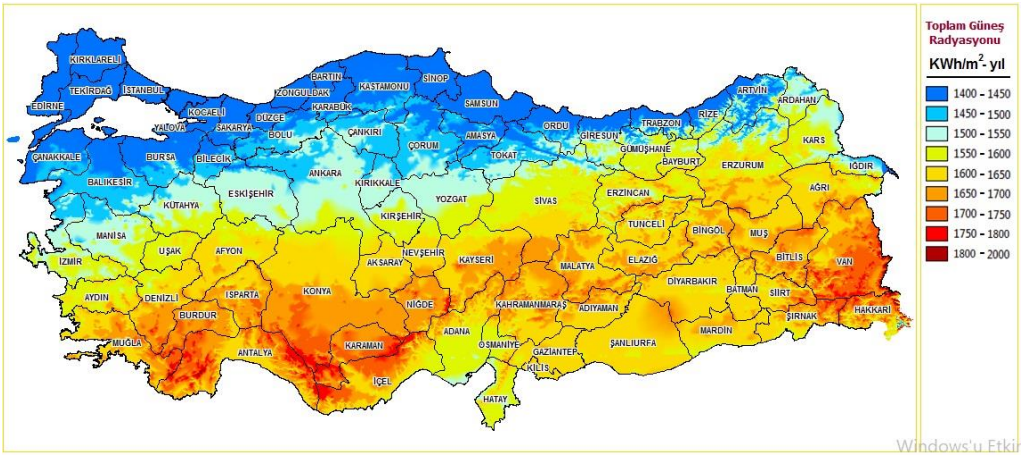
3.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

3.1.1. Güneş Modeli

Ülkemiz coğrafi konumu sayesinde güneş enerji potansiyeli açısından çok verimlidir. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü bu potansiyel güneş enerjisini harita üzerinde il il ayrıntılı bir şekilde sunmuştur. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) üzerinden genel Türkiye ve her il için yıllık güneş radyasyona, günlük ortalama radyasyona, güneşlenme sürelerine ve PV tipine göre m² üretilebilecek enerjiye ulaşılabilmektedir.

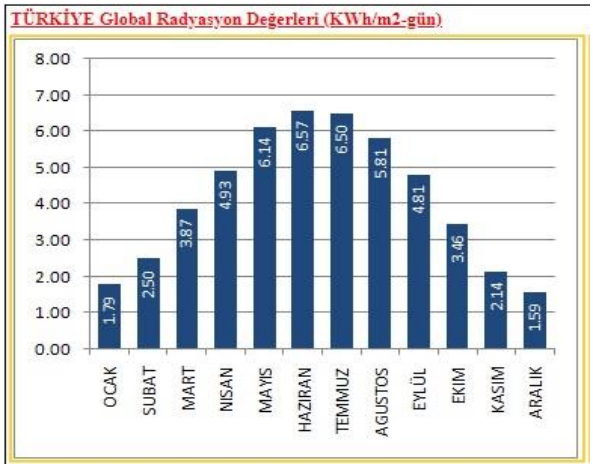
GEPA oluşturulurken birçok temel parametre kullanılmıştır. Türkiye'nin konumuna göre 1985-2006 yılları arası güneş ölçüm değerleri ve gökyüzü açıklık indeksi, gökyüzü açıklığı belirli parametrelerdendir.

GEPA'ya göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.640 saat (günlük 7,2 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.311 kWh/m² (günlük 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Haritadan yola çıkarak, güneşlenme potansiyelinin kuzeye doğru gidildikçe azaldığını görmekteyiz. Bölgesel olarak değerlendirdiğimizde; Karadeniz Bölgesi ülkenin kuzeyinde bulunması ve yağmurlu gün sayısının fazla olması nedeniyle en az ışınım alan bölgedir. Marmara ve Ege bölgeleri orta değerde ışınım alırken, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri yüksek değerde ışınım almaktadır. Şekil 3.3'de güneş radyasyon aralıkları renkler ile belirtilerek bölgeler bazında gösterilmektedir.



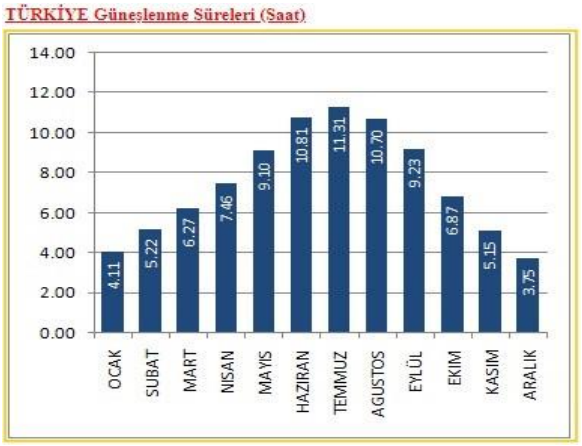
Şekil 3.3. Türkiye toplam güneş radyasyonu. (YEGM,2020).

Şekil 3.4'de ülkemiz için aylara göre radyasyon değerleri m²'de günlük ortalama olarak karşılaştırılmıştır. Çıkarılan sonuçta 6,57 kWh/m² ile Haziran ayında en fazla radyasyon değeri bulunmaktadır, en az değer ise Aralık ayında olmaktadır.



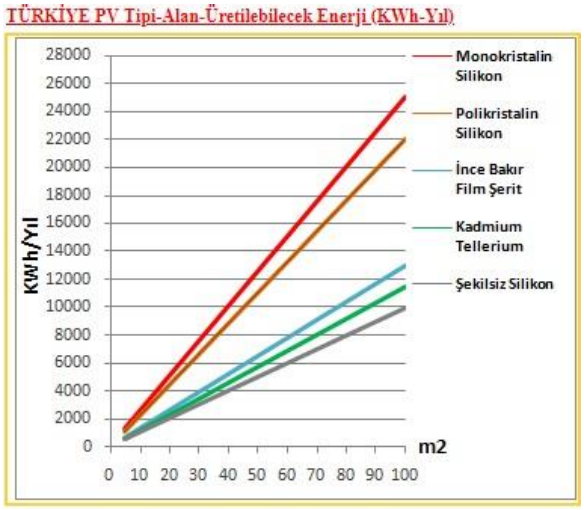
Şekil 3.4. Türkiye aylara göre radyasyon değerleri. (KWh/m²-gün) (YEGM,2020).

Şekil 3.5'de ülkemizin aylara göre güneşlenme süreleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde 11,31 saat ile Temmuz ayında en fazla, 3,75 saat ile Aralık ayında en az güneşlenme süresi görülmektedir.



Şekil 3.5. Türkiye aylara göre güneşlenme süreleri (saat) (YEGM,2020).

Ülkemizde PV tipine göre m² alanda üretilebilecek yıllık enerji grafiği Şekil 3.6'da bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde Monokristal silikona sahip paneller 100 m^2 alan için 25000 kWh/yıl ile en verimli panel tipi olmaktadır.



Şekil 3.6. Türkiye PV tipine göre alanda üretilebilecek enerji (KWh-yıl) (YEGM,2020).

Türkiye, 110 gün ile güneş enerjisi potansiyeli yüksektir. Ayrıca ülkemizde birim metre kareden yılda ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretilebilmektedir. Çizelge 3.1.'de Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi verilmiştir. Aylara göre değerlendirme yaptığımızda; en çok güneş enerjisi üretilebilecek ay Temmuz, en az potansiyeli olan ay ise Aralık ayıdır.

Çizelge 3.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli. (YEGM,2020).

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (Kcal/cm2-ay)	(kWh/m2-ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm2-gün	3,6 kWh/m2-gün	7,2 saat/gün

Ülkemizin bölgelerinin potansiyelinin karşılaştırılması durumunda, kuzeye gidildikçe güneşlenme süresinin ve güneş enerjisinin düştüğünü görebiliriz. Sayısal olarak da değerlendirdiğimizde; Karadeniz Bölgesi 1971 saat/yıl ve 1120 kWh/m² güneş enerjisi potansiyelleri ile en az verimli bölgedir. En verimli bölge ise, 2993 saat/yıl ve 1460 kWh/m² ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Fotovoltaik sistem yatırımları için Doğu Karadeniz Bölgesi harici diğer bölgeler uygundur. Ülkemizin bölgelerine göre güneş enerji potansiyeli Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.(YEGM,2020).

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m2-yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli yüksek olduğunu sayısal olarak da değerlendirdik. Bu potansiyelin doğru kullanılması için doğru yatırımların yapılması

gerekmektedir. Son yıllarda devlet teşviğinin artması sayesinde güneş enerji sistemlerinde yaygınlaşma vardır.

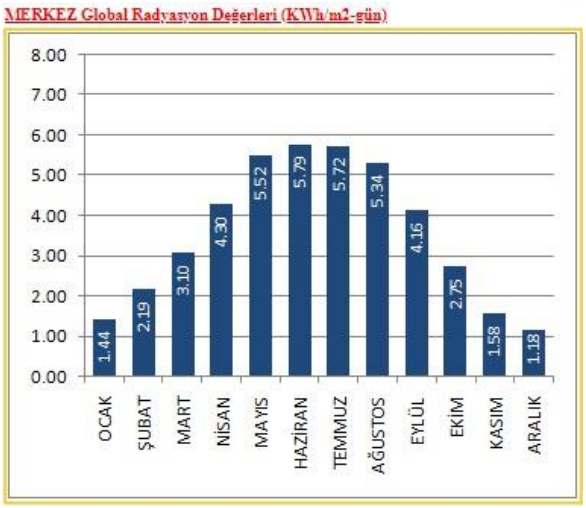
3.1.2. Edirne İli İçin Güneş Modeli

Türkiye'nin kuzey-batısında kalan Edirne ili, güneş radyasyonu açısından konumu nedeniyle ülkenin verimi düşük illerindendir biridir. Edirne ili için aylık global radyasyon değerlerinden yola çıkarak yıllık ortalama değer 3,589 KWh/m²-gün olmaktadır. Şekil 3.7'de Edirne il haritası ve global radyasyon değerinin renk ile değerlendirilmesi görülmektedir. Ülkemizin yıllık ortalama değeri 4,175 KWh/m²-gün' dür, bu veriden yola çıkarak global radyasyon ortalama değerinin Edirne ili için ülke ortalaması altında olduğu ortaya çıkmaktadır. Güneşlenme süresi, Türkiye geneli için ortalama 7,498 saattir. Bu süre Edirne için 7,071 saat ile ülke ortalamasının altındadır.



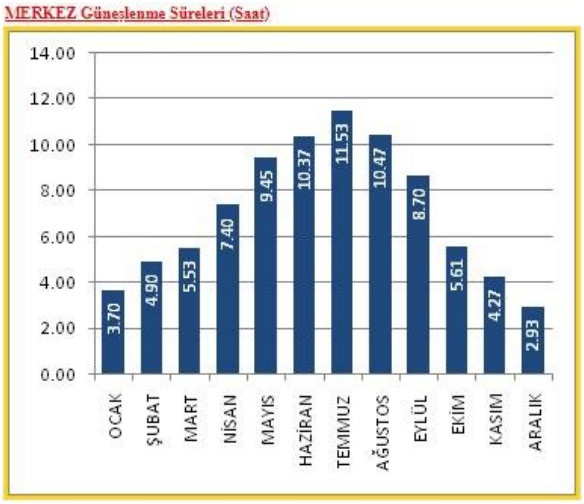
Şekil 3.7. Edirne toplam güneş radyasyonu. (YEGM,2020).

Şekil 3.8'den yola çıkarak aylara göre radyasyon değerlerinin günlük ortalama değeri karşılaştırırsa; 5,79 kWh/m² ile Haziran ayında, 1,18 kWh/m² ile Aralık ayında olduğu bulunmaktadır.



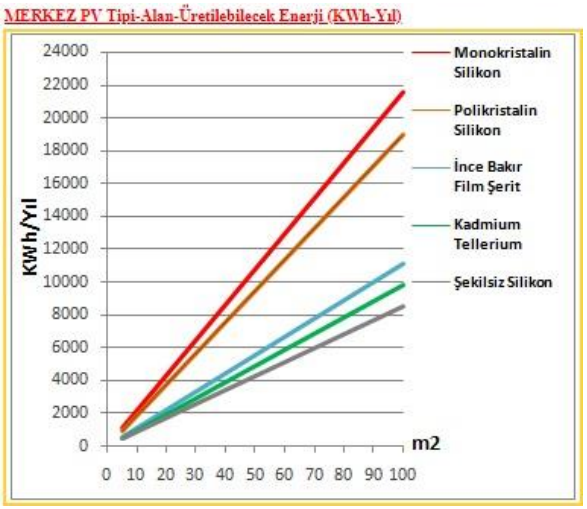
Şekil 3.8. Edirne-Merkez aylara göre global radyasyon değerleri. (KWh/m²-gün) (YEGM,2020).

Güneşlenme süresinde ülke ortalamasının altında kalan Edirne ili için aylık değerlendirme Şekil 3.9'de yer almaktadır. Güneşlenme süresi 11,53 saat ile Temmuz ayında, 2,93 saat ile Aralık ayında olmaktadır.



Şekil 3.9. Edirne-Merkez aylara göre güneşlenme süreleri. (saat) (YEGM,2020).

Şekil 3.10'da PV tiplerine göre alanda üretilebilecek enerji Edirne için grafikte değerlendirilmiş. Sonuç olarak; en verimli panel tipi monokristal silikon panel yapısı ile 100 m²'de 22000 kWh/yıl bulunmaktadır.



Şekil 3.10. Edirne-Merkez PV tipine göre m² alanda üretilebilecek enerji değerleri. (KWh/m²-yıl) (YEGM,2020).

3.2. Yeryüzüne Ulaşan Güneş Enerjisi ve Temel Güneş Açıları

Mühendisler için önemli olan noktalardan biri, güneşten gelen enerjinin yararlı enerjiye dönüştürülme oranıdır. Güneşten uzay boşluğuna yayılan bütün elektro manyetik dalgaların toplam radyasyon gücü Stefan- Boltzmann Kanunu (Denklem 3.1) ile bulunabilir.(Stefan 1879, Boltzmann 1884)

$$H=\sigma T^4 \qquad (3.1)$$

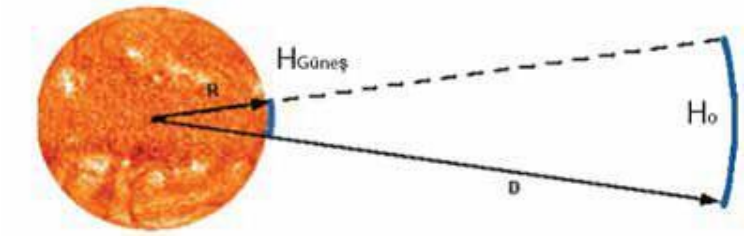
σ (Stefan-Boltzmann sabiti) = $5{,}67 \times 10^{-8}$ $Wm^{-2}K^{-4}$

T (Sıcaklık Kelvin) = 5762 ± 50 K

Birim yüzeyinden uzay boşluğuna yayılan güç yoğunluğu olan H değeri;

$H_{güneş}$= 62,499,432.6 W/m² olarak bulunur.

Güneşin güneş sistemine toplam enerji ise 9.5×10^{25} W yaymaktadır. Yayılan bu enerji dünya yüzeyine gelene kadar mesafeden dolayı yoğunluğu azalmaktadır. Şekil 3.11'de güneşin yarıçap ve güç yoğunluğunun dünyaya olan mesafesi ve oluşturduğu güç yoğunluğu gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Güneş radyasyonu güç yoğunluğundaki azalma.

R= Güneş yarıçapı; 6.955×10^{8} m

D= Güneşten olan uzaklık

H_o= Güneşten D birim uzakta bulunan bir cisim üzerindeki radyasyonu yoğunluğu

Güneşten yayılan bu radyasyonun dünya üzerindeki etkisini hesaplamak için;

$$H_{dünya}= \frac{(Rg)^2}{D^2} \times H_{güneş} \qquad (3.2)$$

Dünya ile güneş arasındaki mesafe yaklaşık 150×10^{9} m'dir. Buradan;

$H_{dünya}$= 1341 W/m²

Dünya ve güneş arasındaki mesafe değişiklik gösterdiği için bulunan bu değer ortalama bir değerdir. Güneş sabiti olarak tanımlanan değer Thekaekara tarafından 1976 yılında 1353 W/m² olarak bulunmuştur ve ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir.

3.2.1. Güneş Açıları

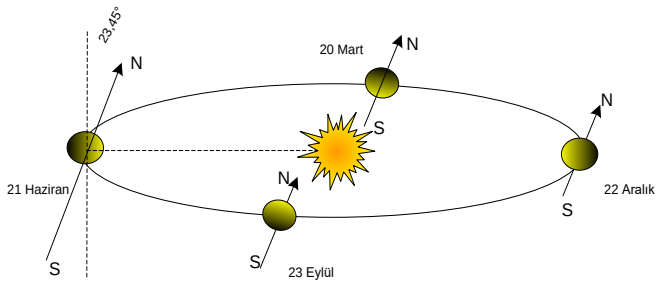
Güneş ışınımının değeri, düştüğü düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin coğrafik konumuyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik gösterir. Güneş enerjisinden maksimum verim ile yararlanabilmek için enerji santralleri tasarlanırken güneş açıları en önemli parametrelerdir.

3.2.1.1. Enlem Açısı (φ)

Herhangi bir konumu dünya merkezine birleştiren doğrunun, ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Kuzey yarım kürede pozitif, güney yarım kürede negatif kabul edilir. Enlem açısı, $-90° \leq \varphi \leq 90°$ arasında değişmektedir.

3.2.1.2. Deklinasyon Açısı (δ)

Güneş ışınları aylara ve mevsimlere göre dünyaya geliş açısı değişmektedir, deklinasyon açısı güneş ışınları ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Ayrıca sapma açısı olarak da tanımlanmaktadır. Bu açı, dünyanın kendi eksen açısı ve yörünge düzlemi ile yaptığı 23,45 derecelik açıdan kaynaklanmaktadır. Dünyanın etrafında döndüğü kutupsal eksen, uzayda kendi yörünge düzleminde 66,55 derecelik açıyla sabit olduğu için deklinasyon açısı, $-23,45° \leq \boldsymbol{\delta} \leq 23,45°$ arasında değişmektedir. Açı; en yüksek değerini 21 Haziran'da 23,45° , en düşük değerini 22 Aralık -23,45° değerleri ile almaktadır, 20 Mart ile 23 Eylül tarihlerinde ise açının değeri sıfırdır. Deklinasyon açısının değişimi yılın farklı günleri için Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi ve deklinasyonu. (Özkan, 2015).

Deklinasyon açısı, aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$\delta = 23,45.\sin\left(\frac{(360.(284+n))}{365}\right)(°) \qquad (3.3)$$

burada n, yılın gününü temsil eder ve 1 Ocak başlangıç olarak n = 1 kabul edilir.

3.2.1.3. Zenit Açısı (ψ, θ_z)

Güneşin ışını ile dikey arasındaki açıdır. Zenit açısı, yükseklik açısına benzer fakat yataydan ziyade dikeyden ölçülmektedir. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90° ve öğle saatinde (12:00) Güneş en yüksek noktasında bulunduğu için zenit açısı 0°'dir. Enlem açısı, deklinasyon açısı ve zenit açısı arasındaki değişim Şekil 3.13'de görülmektedir. Zenit açısı şöyle hesaplanır:

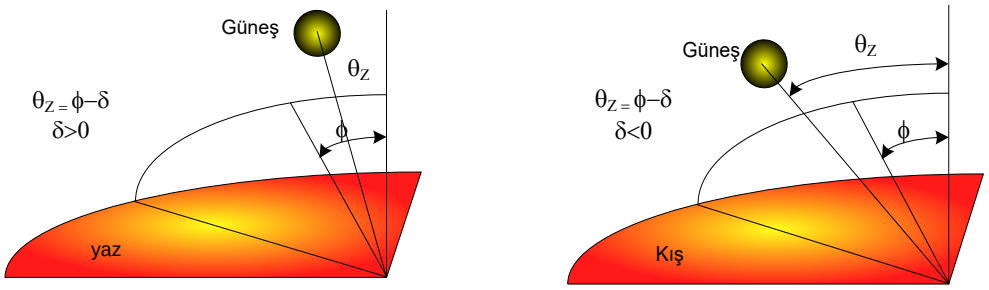
$$\text{Cos}(\psi) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\delta)\cos(\omega) \qquad (3.4)$$

φ = Enlem açısı δ = Deklinasyon açısı

ω = Saat açısı

ψ = 90-α

α= Güneş yükseklik açısı



Şekil 3.13. Yazın ve kışın öğle saatinde θz , δ ve Ø açısı arasındaki ilişki (a, b) (Özkan, 2015).

Hava Kütlesi (A.M.) : Güneş ışınımının atmosferden en kısa yol uzunluğunu normalize ettiği yol uzunluğudur. Hava kütlesi, atmosferden geçerken hava ve toz tarafından emilirken ışığın gücündeki azalmayı ölçer. Denklem 3.5 ile tanımlanır.

$$\text{A.M.} = \frac{1}{\cos(\theta z)} \qquad (3.5)$$

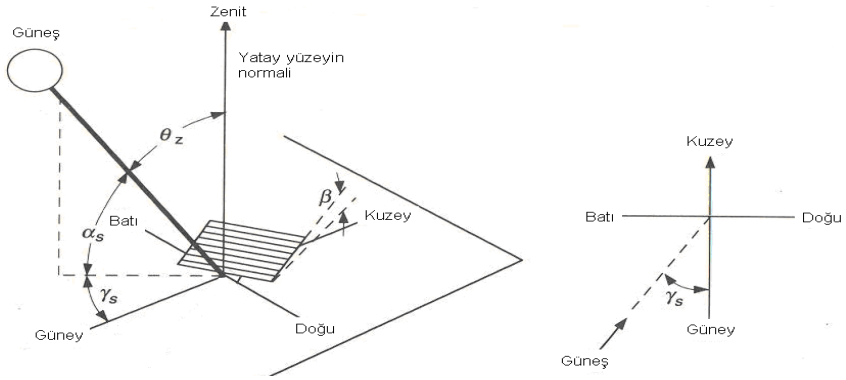
Güneş doğrudan tepede olduğunda A.M. 1'dir.

3.2.1.4. Eğim Açısı (β)

Panel yüzeyinin yatay ile yaptığı. Eğim açısı, 0°≤ β ≤180° arasında değişmektedir. Açının değeri:

$$\tan\beta = \tan\theta_z \, |\cos \gamma_s| \quad (3.6)$$

Şekil 3.14'de eğim açısı ve bazı güneş açıları görülmektedir.

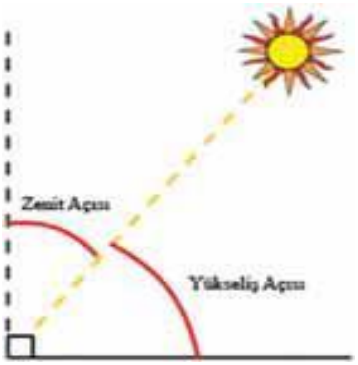


Şekil 3.14. Güneşle ilgili açılar. (Özkan, 2015).

3.2.1.5. Yükseliş Açısı (α)

Güneş ışınlarının dünyanın yüzeyi ile yatayda yaptığı açıdır. Güneş yükseklik açısı, zenit açısını 90°'ye tamamlar. Zenit ve yükseliş açılarının gösterimi Şekil 3.15'de bulunmaktadır.

$$\alpha = 90 - \psi \quad (3.7)$$



Şekil 3.15. Zenit ve yükseliş açıları. (Abuşka, 2014).

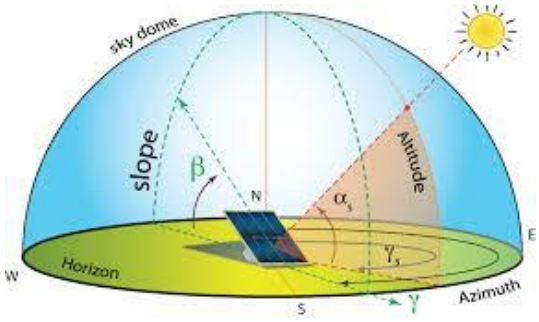
Güneş enerji sistemi tasarımı yapılırken en önemli parametre panellerin yer ile yaptığı açıdır. Panellere güneş ışınları dik gelmesi maksimum verimle enerji üretimini sağlamaktadır. Yükseliş açısı dünyanın eksen hareketlerinden dolayı yıl içerisinde değişmektedir. Panellerden maksimum verim elde edebilmek için yaz ve kış aylarında farklı açılarda montaj sağlanmalıdır. Türkiye için bu açı değeri sahip olduğu enleminden dolayı 25° ile 35° arasında değişmektedir. Fakat panel montajı arazi veya çatı, cephe eğimleri de göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

3.2.1.6. Azimut Açısı

Azimut açısı kendi içerisinde güneş azimut açısı ve yüzey azimut açı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.2.1.6.1. Güneş Azimut Açısı (γs)

Güneş azimut açısı, güneş ışınlarının yataydaki izdüşümünün, pusula yönü ile arasındaki açıdır. Şekil 3.16'da panel ile güneş azimut açısının gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3.16. Güneş azimut. (Brownson, 2018).

Gün içerisinde güneş azimut açısı değişmektedir. Gün doğumunda 90° olan açı gün batımında 270° olmaktadır. Tam olarak hesaplanması için denklem 3.8 kullanılmaktadır.

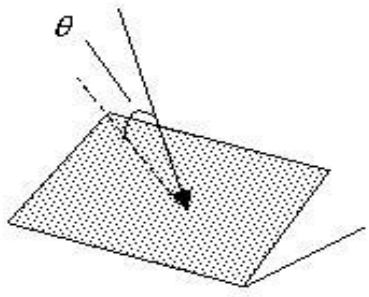
$$\text{Sin } \gamma = - \text{Cos } \delta \text{ Sin } \omega / \text{Sin } \psi \qquad (3.8)$$

3.2.1.6.2. Yüzey Azimut Açısı

Panel yüzey dikinin düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultudaki açıdır. Yüzey azimut açısı güneyde sıfır, doğuya doğru pozitif (+), batıya doğru negatif (-) derecedir. Bu açı -180° ≤ Y ≤ 180° arasında değişiklik göstermektedir.

3.2.1.7. Güneş Geliş Açısı (θ)

Güneş ışınlarının panel yüzey diki ile arasında bulunan açıdır. λ veya β sembolü ile gösterilmektedir. Güneş geliş açısının panel yüzeyi üzerinde gösterimi Şekil 3.17'de bulunmaktadır. Bu açı PV sistemlerin panel açı hesaplamalarında kullanılmaktadır. Güneş ışınları dik gelmesi durumunda θ = 0, paralel gelmesi durumunda ise θ = 90° olmaktadır.



Şekil 3.17. Güneş geliş açısı. (Abuşka, 2014).

Geliş açısı: $\cos(\theta) = [\sin(\delta)\sin(\varphi)\cos(\lambda) - \sin(\delta)\cos(\varphi)\sin(\lambda)\cos(\gamma) + \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(\lambda)\cos(\omega) + \cos(\delta)\sin(\varphi)\sin(\lambda)\cos(\gamma)\cos(\omega) + \cos(\delta)\sin(\lambda)\sin(\gamma)\sin(\omega)]$ (3.9)

β = Dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı eğim açısı

δ = Deklinasyon açısı γ = Azimut açısı

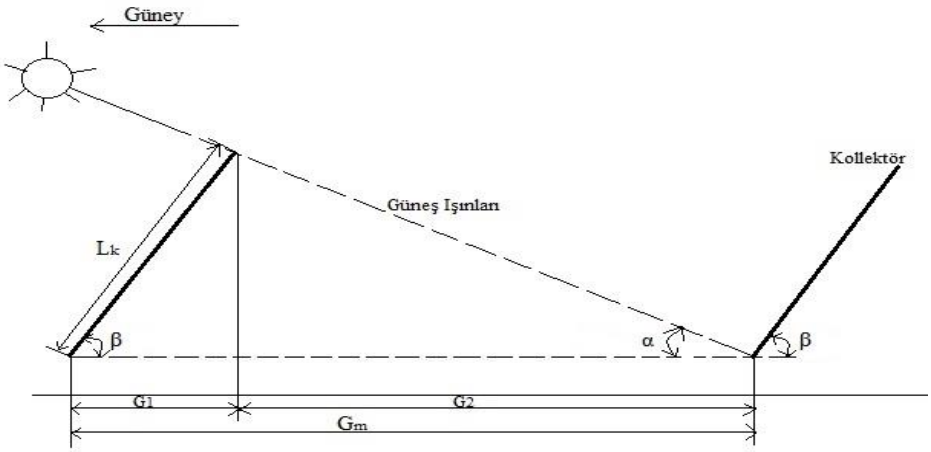
ω = Saat açısı φ = Enlem açısı

Eğim açısı β (slope): PV panellerin yatay düzlemle yaptığı açıya denir. (tilt angle). Panellerin yerleşimi bu açıya göre yapılmaktadır. Sistemin tanımlanmasında kullanılan önemli parametrelerden biridir.

$0 \leq \beta \leq 180°$

3.3. Kollektör Dizileri Arası Bırakılması Gereken Mesafe

Art arda konumlanan kollektör dizileri arasındaki (G_M) genişlik mesafesi yaklaşık olarak kollektör eğim doğrultusu ölçüsünün (L_k) üç katı olur. Bu kural 40° kuzey enleminde bulunan ve kollektör eğim açısının enlem derecesinden 15° fazla alındığı kış uygulamaları içindir. Kollektörlerin yerleştirilmesi ve ölçü birimlerinin gösterimi Şekil 3.18'de bulunmaktadır. (Abuşka, 2014)



Şekil 3.18. Kollektör dizileri arası mesafe ölçü birimleri. (Abuşka, 2014)

$$G_M = L_k [\text{Sin}(\beta) / \tan(\alpha) + \text{Cos}(\beta)] \quad (3.10)$$

Formülde;

G_M: Kollektör dizileri arasında bırakılması gereken mesafe

L_k: Kollektör eğim doğrultusu ölçüsü

β: Kollektörlerin yatay düzlemle yaptıkları açı (eğim açısı)

α: Dizi halindeki kollektörlerin güneşi direkt görmeye başladıkları güneş yükseklik açısı.

3.3.1. Edirne İli İçin Kollektörler Arası Mesafe Hesaplaması

41° enleminde 22 Aralık'ta, dizi halindeki yerleştirilmiş kollektörlerin günde en az 4 saat direkt güneş alabilmeleri için aralarındaki gölgeleme mesafesi hesaplaması aşağıda yer almaktadır. (kollektör eğim doğrultusu ölçüsü L_k=1,3m)

Kollektörler güneş yüksekliğinin en fazla olduğu dört saat olan 10:00 – 14:00 arasında güneş görebilmelidir. 22 Aralık'ta saat 10:00 ve 14:00'da güneş yükseklik açısı yaklaşık 23°'dir (deklinasyon açısının yaklaşık -23° olduğu yerde ve saat 10:00'daki güneş yüksekliği). Kollektör eğim açısının 41+15=56° olduğu kabul edilirse (kış uygulaması) G_M mesafesi denklem 3.10'dan yola çıkarak;

$$G_M = L_k [\text{Sin}(\beta) / \tan(\alpha) + \text{Cos}(\beta)]$$

G_M=1,3[Sin(56)/tan(23)+cos(56)]= 3,26 m olarak bulunur.

BÖLÜM 4

GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANIM ALANLARI

Güneş enerjisi uygulamaları alanlarına göre çeşitlilik gösterse de iki ana grupta incelenebilir. Bunlardan birincisi, güneş enerjisini yardımı ile ısı eldesi, ikincisi, güneş enerjisi ile elektrik üretilmesi olarak belirtilmektedir. İki üretim şekli için de teknolojinin gelişmesine bağlı olarak farklı tasarımlar gelişmektedir.

4.1. Güneş Enerjisi ile Isıtma

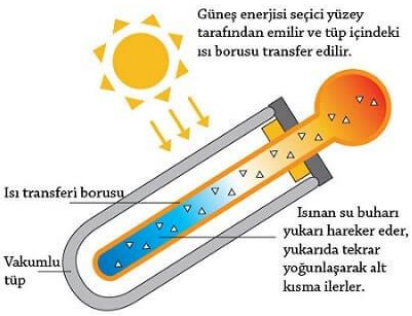
Bu sistemlerde ısı elde edilmesi öncelikli amaçtır. Isı enerjisi direkt olarak kullanabileceği gibi elektrik elde edilmesinde de kullanılabilmektedir. Kullanılan sistemler ihtiyaç duyulan ısıya göre değişiklik göstermektedir. Farklı sistem yapılarına rağmen kollektör ile ısı eldesi en yaygın kullanımdır.

Düzlemsel veya vakumlu tip güneş kollektörleri yüksek sıcaklığa ihtiyaç duymayan sistemler için kullanılabilir. Ayrıca, pasif ısıtma teknolojileri gibi farklı uygulamalarda mevcuttur.

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri; kollektörler kapalı sistem olarak çalışmaktadır ve içerisindeki akışkan güneş ile ısınır. Pompa ve otomasyon cihazı vasıtasıyla bir sirkülasyona maruz kalır. Sistemde ısınan akışkan, suyu ısıtır ve kendisi soğur, güneş akışkanı ısıtır bu şekilde sirkülasyon sağlanır.

Vakumlu borulu kollektör, güneşten gelen ışınımı ısı enerjisine çevirirerek bu ısı enerjisini en yüksek seviyede koruyan sistemlerdir. Kollektörler, iç içe geçmiş iki silindirik tüp şeklinde borosilikat camdan oluşur. Şekil 4.1'de vakum borulu güneş sistemi (Şekil 4.1.a) ve sistemin çalışma prensibi (Şekil 4.1.b) yer almaktadır.





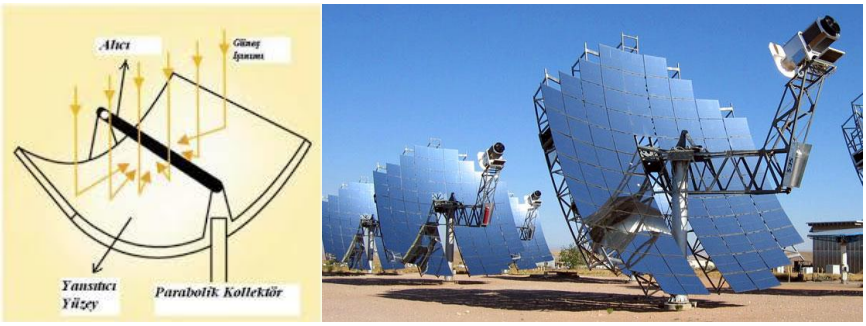
Şekil 4.1. a)Vakum borulu güneş sistemi. b)Sistem çalışma prensibi. (tesisat.org, 2020).

Düz kollektörler, bu kollektörler ile yaklaşık olarak 80 °C ye kadar sıcaklık elde edilebilmektedir. Bu sistemler konutlarda sıcak su temin etme amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca iç mekanların ve seraların kalorifer yoluyla ısıtılması, tarım ürünlerinin kurutulması, yüzme havuzlarının ısıtılması gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır.

4.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Elde Edilmesi

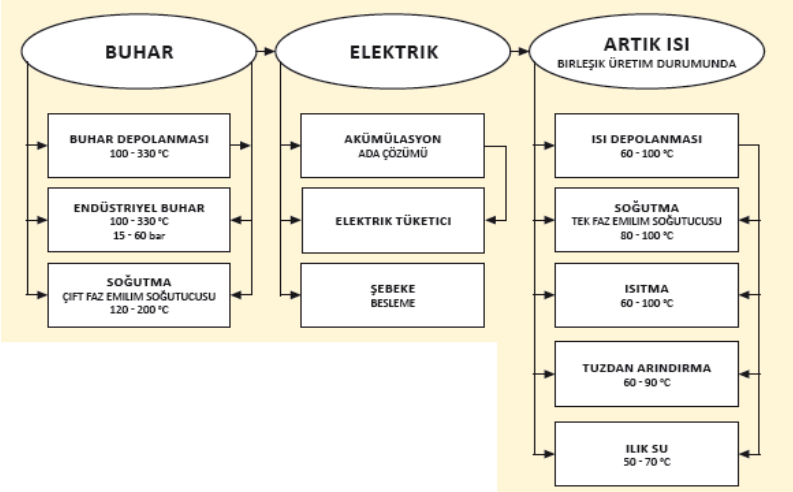
Güneş enerjisinden elektrik eldesi için iki farklı teknoloji vardır. Birincisi, güneş ışığının direkt elektrik enerjisine çevirme prensibiyle çalışan fotovoltaik sistemler, ikincisi ise yüksek sıcaklık prensibiyle çalışan yoğunlaştırıcı sistemlerdir.

Yoğunlaştırıcı sistemler, güneşten ısı elde edilen sistemler ile aynı mantıkla çalışmaktadır. Fakat güneş enerjisini toplama yöntemleri, kullanılan kollektörlerin yapısı farklılık göstermektedirler. Güneş enerjisini yoğunlaştırmak için parabolik oluk kolektörler kullanılmaktadır. Kollektörün odak çizgisinde konumlandırılan boru içerisinde çalışma akışkanı dolaşmaktadır, ısınan bu akışkan sıvıdan eşanjörler yardımı ile kızgın buhar elde edilmektedir. Diğer sistemlerden olan parabolik çanak kollektörler kullanılanlarda da aynı yöntem kullanılmaktadır veya merkeze yerleştirilen bir Stirling motoru yardımı ile direkt elektrik üretilmektedir. Şekil 4.2'de parabolik kollektör (Şekil 4.2.a) ve parabolik çanaklı-Stirling motorlu sistem yapısı (Şekil 4.2.b) görülmektedir.



Şekil 4.2. a) Parabolik kollektör yapısı. b) Parabolik çanaklı-stirling motorlu güneş güç santrali. (Kayfeci, 2020).

Parabolik kollektör sistemler ile buhar eldesi ve artık ısı sağlanabilmektedir. Farklı sıcaklıklardaki buharın kullanılabilecek endüstriyel alanları Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 4.3 parabolik kollektörler ile üretilen yüksek sıcaklık sayesinde sistemdeki akışkanın buhar fazına geçebildiği görülmektedir. Buhar sayesinde bu sistemlerden elde edilen farklı sıcaklık aralıklarındaki buhar veya artık ısı, değişik sistemlerde kullanılabilmektedir.



Şekil 4.3. Parabolik kolektör vasıtasıyla ısı ve elektrik eldesi. (Solarlite, 2010).

Merkezi alıcılı sistemlerde, ayrı ayrı odaklama yapan ve heliostat adı verilen çok sayıda düzlemsel aynalar güneş ışınlarını merkezde konumlandırılmış kule üzerinde bulunan ısı eşanjörüne yansıtmaktadır. Güneş kulesi ile sıcaklık 350 °C'den 6000 °C'ye kadar ulaşabilir. Merkezi alıcılı güneş enerjisi sistemi Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Merkezi alıcılı güneş enerjisi sistemleri. (yesilodak.com, 2020).

4.2.1. Fotovoltaik Güneş Panelleri

Güneş enerjisinden elektrik üretim çalışmaları, uzaya gönderilen uydular için enerji kaynağı araştırmalarında 1950'li yıllarda başlamıştır. 1970'li yıllardan sonrasındaki teknolojik gelişimler ve maliyetlerin düşmesi ile güneş enerjisinin yenilenebilir enerji sistemleri içinde yerini kabul ettirmesini sağlamıştır.

PV panelleri, içerdiği yarıiletkenler ile yüzeyine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren ürünlerdir. PV güneş hücrelerinin yüzeyleri kare, daire ve dikdörtgen şeklinde olabilmektedir. Hücrelerin boyutları 125 x 125 mm veya 156 x 156 mm olabilmektedir. PV hücrelerinin kalınlıkları ise teknolojinin gelişmesine paralel olarak gittikçe azalmaya başlamıştır.

Güneş panelleri, fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışmaktadır. Fotovoltaik ilke, hücrelerin üzerlerine güneş ışını düştüğü zaman yarı iletken metal hücrelerin hareketleri ve yaptıkları bağ sonucunda elektrik gerilimi oluşması olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca PV panellerin çıkışından doğru akım elde edilir.

PV panel hücreleri paralel veya seri bağlanarak güç arttırılabilir. Oluşturulan bu dizinler fotovoltaik panelleri oluşturmaktadır. Seri veya paralel bağlanarak istenilen güç elde edilebilmektedir. Bu sayede birkaç Watt'lık küçük enerji sistemleri ya da MW'lık kapasiteli dev enerji santralleri oluşturulabilir. Güneş panelleri Şekil 4.5'teki sembol ile tanımlanmaktadır.



Şekil 4.5. Güneş paneli sembolü.

4.3. Fotovoltaik Enerji Dönüşümü

Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını direkt elektrik enerjisine çeviren yarı iletkenlerden üretilmiş PV panel elemanlarıdır. Güneş ışınımındaki fotonlar, yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak, elektronlar serbest kalır. 1839 yılında Becquerel tarafından ilk kez fotovoltaik hücreler araştırılmıştır. En yaygın olarak bulunan fotovoltaik hücre çeşidi kristal yapıdaki yarı iletkenlerden oluşturulmuş hücrelerdir.

Fotovoltaik enerji dönüşü oluşabilmesi için yarı iletkenlerde birleşim bölgesine güneş ışını düşmesi gereklidir. Düşen güneş ışını ile yarı iletkende elektron hol çifti oluşturur. Ortamda oluşan manyetik alan etkisi ile elektron hol çifti birbirinden ayrılır. Sonuç olarak güneş ışığı yarı iletkenlerde elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.

4.3.1. Yarı İletken Çeşitleri

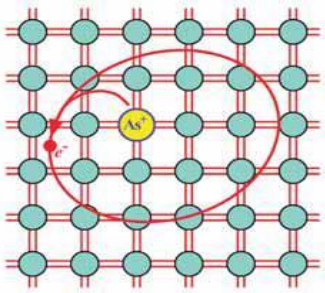
Yarı iletkenler periyodik tablonun farklı gruplarından gelmesine karşın benzerliklere sahiptirler. Atomik özellikleri belirleyici temel nitelikleridir. Araştırmacılar PV hücre için uygun malzeme seçiminde bu özelliklerinden yararlanmaktadır.

Yarı iletkenlik açıklanacak olursa, dış etkenlere maruz kalan malzemenin valans elektronlarının serbest kalması ile iletkenlik kazanmasıdır. Bu malzemeler dış etken olmadığı durumlarda yalıtkan özelliktedir.

N ve P tipi olmak üzere ikiye ayrılan yarı iletkenlerin tipini elektron veya boşluk fazlalığı belirlemektedir.

4.3.1.1. n-Tipi Yarı İletkenler

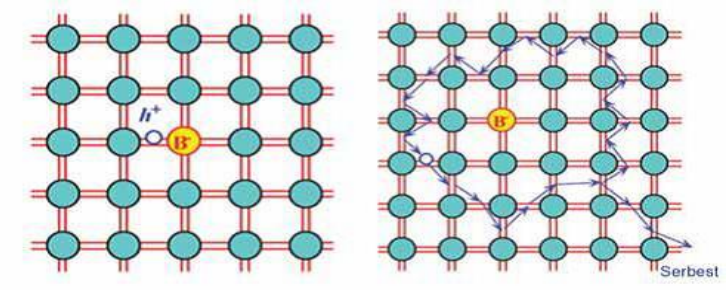
5 valans elektrona sahip arsenik ile 4 valans elektronlu silisyumun bağ yapması sonucunda 1 valans elektronu açıkta kalır. Bağ dışında kalan bu elektron arsenik etrafında yörüngede dolaşarak gerekli dış enerjinin verilmesi ile iletkenlik yapısına geçiş sağlar. N tipi yarı iletkenler bu fazlalık elektron sebebiyle tanımlanırlar.



Şekil 4.6. Arsenik atomunun Si ile yaptığı bağ ve serbest elektronun yörüngedeki hareketi. (Özgün, 2015).

4.3.1.2. p-Tipi Yarı İletkenler

3 valans elektronuna sahip elementlerin silisyum yapıya eklenmesi ile oluşurlar. Örneğin bor elementi ile yapılan bağda, 3 valans elektronu bulunan bor ile 4 valans elektronu bulunan silisyum kurdukları bağda, elektronlardan biri yutulur geriye boşluk kalır.



(a) (b)

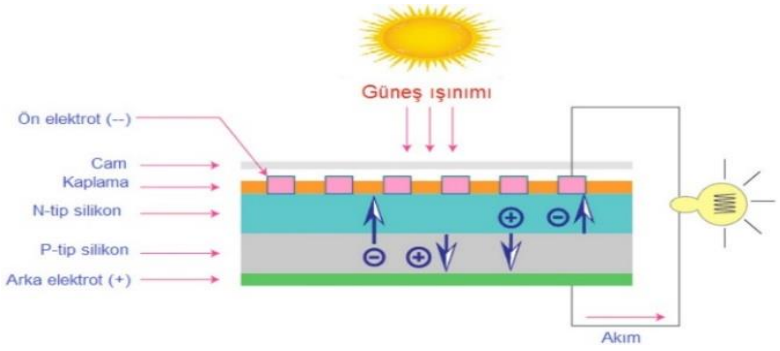
Şekil 4.7. (a) Bor atomunun bağdaki bir atomu yutması sonucu oluşan boşluk.
(b) Boşluğun Bor atomu çevresindeki yörüngesi ve serbest hale geçişi. (Özgün, 2015).

4.3.1.3. Fotovoltaik Hücreler

Güneş pilleri, p-n bağlantısı oluşturmak için P tipi yarıiletken ve N tipi yarıiletken yapıların bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Fotovoltaik hücreler güneş ışını gelmediği zaman yalıtkan olan, ışığa maruz kaldığında farklı tipteki yarıiletkenler sayesinde elektron akışı sağlayarak elektrik üretebilen hücrelerdir.

Güneş ışınları, küçük çapta elektromanyetik radyasyon veya enerji parçacıkları olan fotonlardan oluşmaktadır. PV panellerin hücreleri ile bu fotonlar absorbe edilmektedir. Uygun düzeyde dalga boyuna sahip ışın geldiğinde, fotonlardan gelen enerji p-n yarıiletkenlerinin atomuna aktarılmaktadır.

P-n yarıiletken bloğunun oluşması fazlalık elektronlar ile hareket sağlanması yardımıyla oluşmaktadır. N yarıiletken kısmındaki fazlalık elektronlar, p yarıiletkende bulunan boşluk kısımlara hareket etmektedir. Bu negatif yük taşıyan elektronların difüzyonu ve bu iyonların iyonların açığa çıkması sonucunda bağlantı bölgesinde elektrik alanı oluşmaktadır. Oluşan bu alan negatif yüklü parçacıkların bir yöne hareket etmesine ve pozitif yüklü parçacıkların da hareket etmesine sebep olmaktadır. Ayrıca bu alan elektrik alanı olmasından voltaj değerine de sahiptir. Şekil 4.8'de p-n bağlantısı ve elektron akışı şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Fotovoltaik hücre katmanları ve enerji dönüşümü. (Öztürk,2018).

Üretmenin tam tersi sürecine rekombinasyon denir. Yarıiletken kafes yapılarının bozulduğu PV hücrelerinin rekombinasyonu yüksektir. Rekombinasyon oranını düşük tutmak hücre verimlerini de arttırmaktadır. Ayrıca güneş ışığının dalga radyasyon aralığı da hücre verimliliğini etkileyen faktörlerdendir.

Aşağıda fotovoltaik hücrede oluşabilecek kayıplar yüzdelik olarak verilmiştir. (Özgün, 2015)

Güneş enerjisi %100

%3 kayıp yansıma ve gölgeleme etkisi

%23 düşük enerjiye sahip uzun dalga radyasyonu

%32 yüksek enerjiye sahip kısa dalga radyasyonu

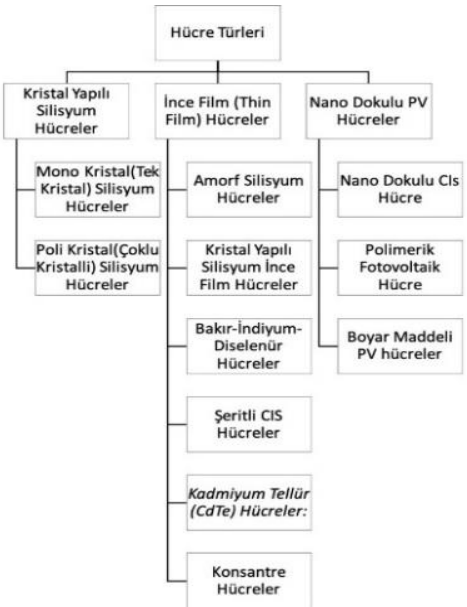
%8.5 rekombinasyon kayıpları

%19 özellikle geçiş bölgesinde oluşan potansiyel fark

%0.5 ohmik kayıplar

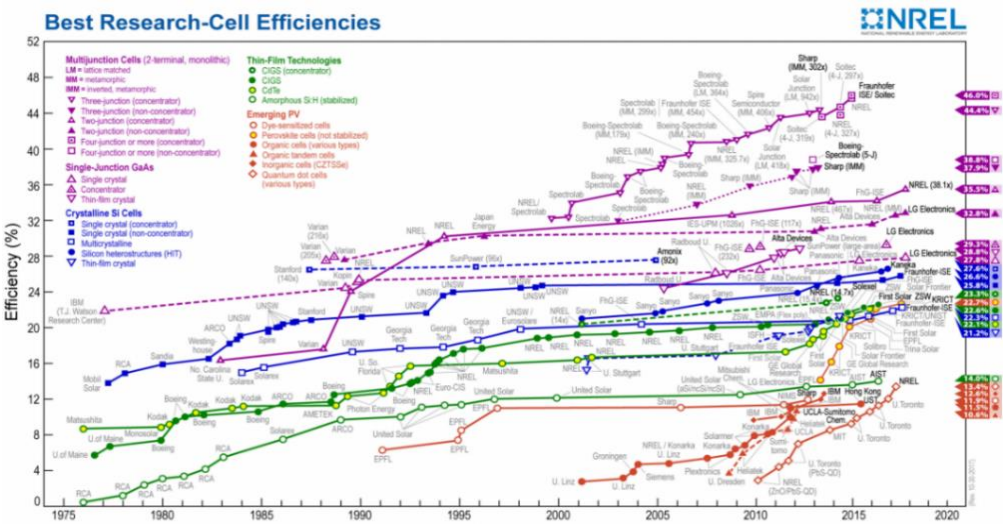
= % 14 elde edilebilir elektrik enerjisi.

PV paneller, fotovoltaik hücrelerin birleşiminden meydana gelmektedir. Farklı hücre çeşitleri bulunan PV paneller, kullanılan hücre çeşidine göre sınıflandırılmaktadır. Panellerin verimi kullanılan fotovoltaik hücre cinsine göre değişmektedir. Teknolojiye paralel olarak da hücre yapısında da gelişim olmaktadır. Hücre tiplerine göre sınıflandırma Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.9. Hücre tipleri sınıflandırması. (Solartiz, 2020).

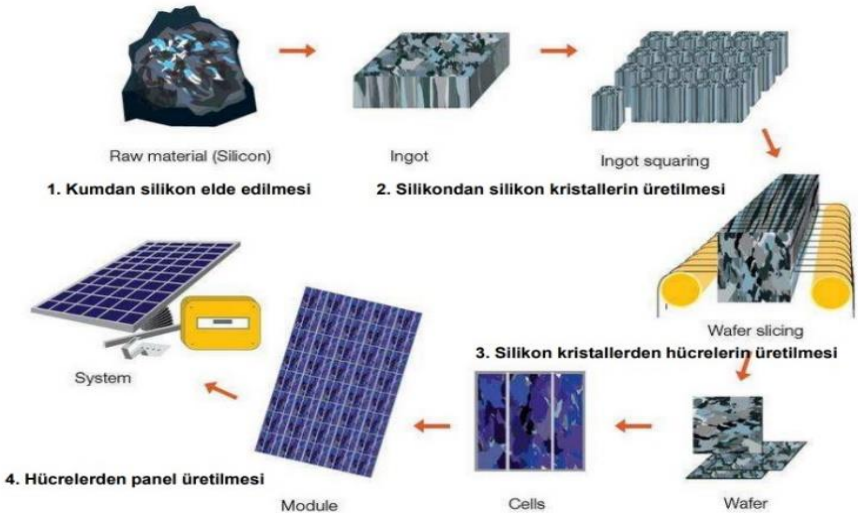
PV hücre çeşitlerinin verim değerleri araştırması NREL tarafından yapılmış olup Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Fotovoltaik hücre teknolojileri ve verim değerlerinin yıllara göre değişimi. (NREL, 2020)

NREL tarafından oluşturulan grafikte hücre verimlerinin %44 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Bu verim seviyelerindeki hücreler üretim maliyeti yüksek olduğu için genel kullanımda değil daha çok uzay araçlarında kullanılmaktadır. Spesifik uygulamalar harici yaygın olarak kullanılan hücreler %18 ve daha düşük verime sahiptir.

PV panel üretimi, yüksek saflığa sahip silikondan fotovoltaik panellere toplam 4 adımda ulaşılmaktadır. Şekil 4.11'de üretim aşamaları adım adım görülmektedir.



Şekil 4.11. PV panel üretim aşamaları. (Kocakaya, 2012).

Yeryüzünde en fazla bulunan elementlerden olan silisyum PV hücrelerde kullanılabilmesi için yüksek saflıkta olmalıdır. Bu özellikteki silikon, potalarda eritilerek akışkan hale getirilir. Silikonun erime noktası 1415 °C'dir. Eritilip soğutulan silikondan ingot oluşturulmaktadır. Silikon külçeler dilimlenerek levhalar elde edilir. Testereler 15×15 cm² alanında ve 300 mikron kalınlığında levhalar kesmektedir. Kesme işlemi sırasında yüzey şekli bozulmuş ve 10 mikron zarar görmüş levhalar sıcak hidroksit solüsyon ile temizlenir. Bu işlemden sonra hücre yüzeylerine fosfor içeren bir kaplama uygulanmaktadır. Kenarlarda fosfor difüzyonu oluşmaması için kenar izolasyonu yapılmaktadır. Yüzey işlemleri biten hücreler 0,5 volt civarında kapasitededir. Hücre bittikten sonra eklenen tel şeritler ile panelin toplam kapasitesine göre seri olarak hücreler birbirine bağlanmaktadır.

Daha iyi malzeme parametrelerine sahip olan monokristal hücreler koyu renkli ve daha homojen yapıdadır. Kırçıllı bir görünüme sahip olan polikristal hücreler tane sınırlarının varlığından dolayı malzeme kalitesi daha düşüktür. Şekil 4.12'de polikristal ve monokristal hücre yapıları görülmektedir.



Şekil 4.12. a) Polikristal bir hücre görünümü. b) Monokristal bir hücrenin görünümü. (Özgün, 2015).

4.3.2. Fotovoltaik Sistem

Fotovoltaik hücreler sayesinde elektrik üreten paneller sistemin temel elemanıdır. Sistemin şebeke bağlantılı veya şebekeden ayrı olması durumuna göre sistem elemanlarında değişiklik olmaktadır. Üretilen enerjinin iletilmesi için solar kablolar, istenilen akım değerine dönüştürülmesi için evirici kullanılmaktadır. Şebekeden ayrı sistemlerde enerjiyi depolamak için aküler kullanılmaktadır. Şebeke

bağlantılı sistem de ise farklı olarak çift yönlü sayaçlar kullanılmaktadır. Sistemlerin genel görünümü Şekil 4.13'de bulunmaktadır.



Şekil 4.13. Şebeke bağlantılı ve bağlantısız sistem elemanları. (mühendistan.com, 2020)

BÖLÜM 5

FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ

Fotovoltaik enerji sistemleri üretim, iletim, koruma ve enerjiyi saklama kısımlarında farklı elemanlar kullanılmaktadır. Temel olarak güneşten gelen farklı dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgaların, fotovoltaik malzemeler sayesinde elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere fotovoltaik enerji sistemleri denir. PV panel tarafından üretilen elektrik enerjisi DC akıma sahiptir, invertörler sayesinde bu akım AC akıma çevirerek şebeke koşullarını kontrol eden merkezdir. Güneş enerji sistemden üretilen enerji, şebekeye bağlı veya şebekeden ayrık sistemler için kullanılabilmektedir. Şebeke koşulları ülkelere göre değişmektedir. Voltaj ve frekans ülke standartlarına göre istenilen limitler içinde olmalıdır. Ülkemiz için 50 Hz şebeke frekansı, tek fazlı sistemler için 230 V, üç fazlı sistemler için 400 V ve orta gerilim şebekesi için 33 kV – 34,5 kV voltaj seviyesidir.

Sistemler, uygulama alanına göre farklılık göstermektedir. Bunlara örnek olarak, binaya entegre sistemlere karşın binaya ek olan sistemler, şebekeye bağlı olan sistemlere karşın şebekeden ayrık olan sistemler, dağıtılmış olan sistemlere karşın merkezileştirilmiş olan sistemler, çatı ve cephe sistemlerine karşın tarla sistemleri, hareketli sistemlere karşın sabitlenmiş eğik sistemler yer almaktadırlar.

5.1. PV Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

Fotovoltaik sistemlerin her üretim sistemlerinin olduğu gibi avantajları ve dejavantajları mevcuttur. Avantajları özetlenecek olursa; uygulama kolaylığının olması

ve karbon salınımı yapmamalarıdır. Dezavantajları da genel olarak, güneşlenme süresi ve tasarımda hatalı yapılacak eğim analizi üzerine olmaktadır.

5.1.1. PV Kullanımının Avantajları

PV kullanımının avantajları aşağıda verilmiştir. (Keleş, 2008) (Koç, Sayın ,2011)

- Güneş radyasyonunu elektrik enerjisine çevirebilen tüm doğrudan enerji dönüştürücüleri içinde en yüksek verime sahip olandır.
- İletim hattına gerek yoktur. Gücün tüketileceği yere kurulabilir.
- Uzun ömürlüdür. (Üretici teminatlarına göre 25 yıldır.)
- Güvenlidir ve bakım gerektirmez.
- Ek bir yakıta ihtiyaç yoktur.
- Karbon salınımı yapmazlar.
- Ham maddesi silisyum doğada en bol bulunan malzemedir. Yenilenmeyen petrol, kömür vb. yakıtları kullanmaz.
- 1W'tan MW 'lara kadar enerji üretebilir.
- Modüler ve çok yönlü kullanılır. İstenildiğinde güç ve gerilim seviyesi kolaylıkla artırılabilir veya azaltılabilir. Modüllerden bir grup devre dışı kalsa bile güç üretimi devam eder.
- İstenilen voltaj üretilebilir.
- Seri ya da paralel bağlanabilir.
- Bina tasarımını sınırlandırmaz.
- PV elemanları ekstra alan veya yüzey gerektirmez.
- Yeni tasarlanan bir binaya entegrasyonu söz konusuysa ekstra bir altyapıya gerek duyulmaz. Çatı örtüsü, cephe elemanı vb olarak kullanılır
- Elektrik şebekesine yoğun saatlerde destek sağlamış olur.
- Gerektiğinde şebekeden elektrik desteği almayı engellemez.
- Fazla üretilen enerji akümülatörlerde depolanabilir.
- Fazla üretilen enerji elektrik şebekesine satılarak ilk yatırım maliyetleri düşürülmüş olur.

- PV ürünleri transparan ve renkli üretilebilir. PV hücre renkleri siyah monoristal silisyum, mavi polikristal silisyum, kırmızımsı kahverengi amorf silisyum olarak üretilebilir.
- Sessizdirler.
- Tarıma elverişsiz arazilere kurulabileceği için verimsiz alanlar kullanılabilir.
- Çalıştırmak için özel bir eğitime ihtiyaç yoktur.
- Güneş ışınımı olan her alanda kullanılabilirler.

5.1.2. PV Kullanımının Dezavantajları

PV kullanımının dezavantajları aşağıda açıklanmıştır. (Keleş, 2008) (Koç, Sayın ,2011)

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Üretilen akım doğru akım olduğundan, doğru akımla çalışan cihazlar veya çevirici kullanmak gerekir.
- Enerji sürekli olmadığı için enerjinin batarya grubu ile depolanması gerekir.
- Güneşlenme yönünden zengin bölgelere ihtiyaç vardır.
- Çok fazla güneş ışığı alan bölgelerde sıcaklık nedeniyle verim azalmaktadır. Bu yüzden PV'ler havalandırılarak soğutulmalıdır.
- Verimi gölge ile düşer. Bu yüzden PV panellerinin yüzeyi devamlı temiz tutulmalı ve sadece su ile temizlenmelidir. Diğer taraftan gölge yapabilecek elemanlardan kaçınılmalıdır.
- Güneş enerjisinden optimum yararlanmak için PV'ler eğimli yüzeylerde kullanılmalıdır. Maksimum enerji verimi için kuzey yarımkürede güneye doğru yönlendirilmelidir.
- PV'leri yönlendirmek ve eğim açısı tasarım esnasında bazı zorluklara sebebiyet verebilir.

5.2. Fotovoltaik Sistemlerin Çeşitleri

Fotovoltaik sistemler temel olarak ikiye ayrılmaktadır; bunlar şebeke bağlantılı sistemler ve şebekeden ayrık sistemlerdir. Enerji depolama elemanları olmaması nedeniyle şebeke bağlantılı sistemler az maliyetli ve sistem elemanlarının ömrü

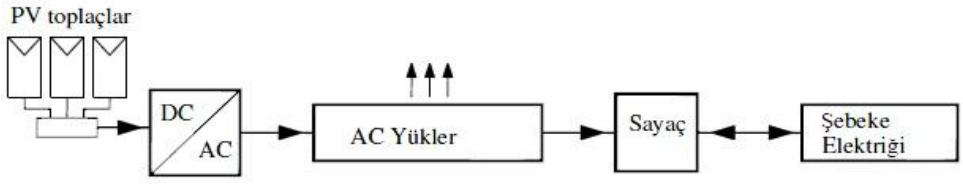
açısından uzun ömürlüdür. Şebekeden ayrık sistemler ise sınırlı kapasitede ihtiyacı karşılamak üzere dizayn edilip, elektriğin olmadığı bölgelerde hibrit sistem tasarımlarında kullanılabilirler. Ayrıca şebekeden ayrık sistemlerde elektrik depolama elemanı olarak akü kullanımı mecburdur, ve sistem maliyetini arttırmaktadır.

5.2.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler

Bu sistemlerde güneşlenme süresince şebekeye ihtiyaç duyulmaması süresince elektrik PV sisteminden karşılanır, güneş enerjisinin yeterli olmadığı saatlerde şebekeden elektrik sağlanır. PV sistemin aktif olduğu saatlerde ihtiyaç fazlası elektrik şebekeye basılarak gelir elde edilebilir. Şebeke bağlantılı sistemlerde elektrik depo elemanı aküler kullanılmamaktadır.

Bu sistemlerde en önemli konu, şebeke ile PV sistemi arasındaki uyumdur. Üretilen enerji direkt olarak şebekeye verileceği için sistem ile şebeke arasında güç dengesi kurulmalıdır. Sistemin tasarım yapılırken seçilen PV sistem elemanlarının özellikleri yanlış seçilmesi durumunda şebeke ile uyumsuzluk oluşmaktadır.

Şekil 5.1'de şebekeye bağlı sisteme ait akış şeması görülmektedir.



Şekil 5.1. Şebekeye bağlı PV sistem şeması. (Keleş, 2008)

Şebekeye bağlı sistem tasarımında öncelik olarak sistemin kapasitesi belirlenmelidir. Kapasite belirlenirken üretilen elektriğin ihtiyaç fazlası şebekeye satılacağı için sistemin kapasitesi en fazla olabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kurulacak alan belirlendikten sonra konuma göre açı hesaplamaları yapılmalıdır. En verimli açılar belirlendikten sonra PV panel teknolojisi seçilmelidir. Seçim, panel verimlerine, sıcaklık kayıpları ve düşük ışınım şartında verim değerlerine göre belirlenmelidir. Sistemin montaj yapılacağı zemine uygun konstrüksiyon ve montaj elemanları seçimi yapılmalıdır. Sistemin kapasitesi ve panel çeşidi belirlendiği için uygun invertör seçimi

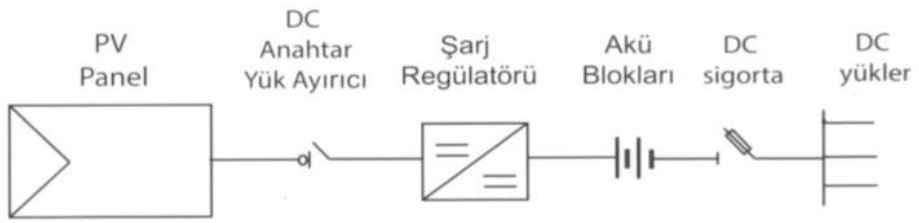
yapılmalıdır. İnvertörün sisteme ve panellere uyumluluk analizleri sağlanmalıdır. En son adım olarak kablolama altyapı hesaplamaları yapılarak PV sistemin maliyet analizine geçilebilir.

5.2.2. Şebekeden Ayrık Sistemler

Bu sistemler elektrik şebekesinin bulunmadığı konumlarda elektrik enerjisi üretimi, depolanması ve kullanımı için tasarlanan sistemlerdir. Kurulacak sistemler, uygulama yerinin ihtiyacına veya panel alanına göre farklılık göstermektedir ve şebeke bağlantılı sistemlerden karmaşık sistemlerdir. Genellikle ışıklandırma, yalnız pompalar, ev aydınlatılması, deniz araçları, güneşe maruz kalan küçük konutlar ve benzeri yerlerde elektrik sağlarlar.

Elektrik üretimi kurulacak yerin enerji talebini karşılamak için gerçekleştirildiğinden, tüketim olmadığı sürede enerji depolanarak elektrik kullanımı olacağı zaman için hazır olmalıdır. Elektrik enerjisinin depolanması aküler ile gerçekleşmektedir. Şebekeden bağımsız sistemlerde akülerin maliyetleri PV panellerinden fazla olabilir. Kurşun-Asit aküler daha ucuz fakat kısa ömürlüdür, nikel kadmiyum aküler uzun ömürlü fakat pahalıdır.

Şebekeden ayrık sistemler enerji ihtiyacının karakteristiğine, büyüklüğüne ve kullanım şekillerine göre değişiklikler göstermektedir.



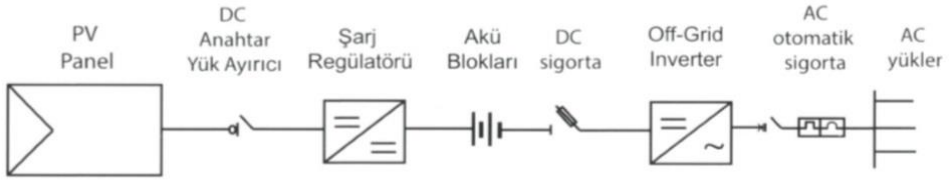
Şekil 5.2. Şebekeden ayrık sistem tek hat şeması. (Özgün, 2015).

Şekil 5.2'de şebekeden ayrık sistem şeması bulunmaktadır. Örnek şemada sadece DC yük üretilip kullanım alanına aktarılmaktadır. Panellerden üretilen DC akıma sahip elektrik şarj regülatörüne iletilir. Şarj regülatörü, üretilen elektrik enerjisinin akü

voltaj durumuna göre regülasyonu yapmaktadır. Örnek şema sistemindeki elektrik tüketimini yapacak elemanlar, DC akım kullanımına uygun olmalıdır.

Şarj regülatörleri genellikle 12 V, 24 V ve 48 V akü gruplarının şarj ve deşarjını yaparak üretilen enerjinin depolanmasını sağlarlar. AC ve DC sistemlerin beslendiği, akülerin ve şarj regülatörlerinin bulunduğu farklı tasarımlarda mevcuttur.

Farklı sistem tasarımlarında üretilen DC akımın AC akıma dönüştürülüp, AC akımın kullanılacağı yerlerde kullanılabilmektedir. Bu sistemler bulutsuz günde güneş varken hem tüketimi karşılamakta ayrıca fazla enerjiyi depolamaktadır. Şekil 5.3'de şebekenin olmadığı AC akımın üretildiği sistem şeması görülmektedir. Ayrıca AC akım çıkışı olması sayesinde elektrik tüketimi yapacak elemanların AC akım ile çalışmaya uygun olması gerekmektedir. AC akım ile çalışan makine ve teçhizatlar piyasada daha yaygın bulunmaktadır.

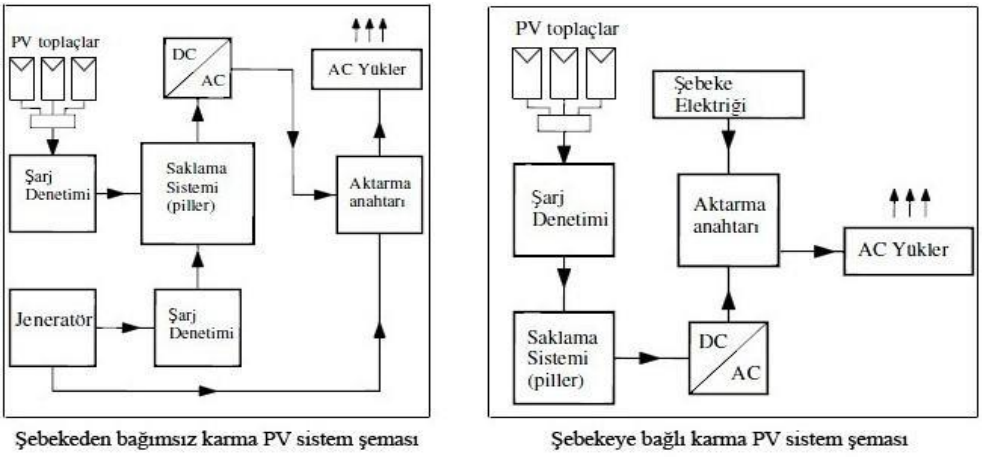


Şekil 5.3. Şebekeden ayrık sistem tek hat şeması.(Özgün, 2015)

5.2.3. Hibrit Sistemler

Farklı teknolojiye sahip elektrik üretim sistemlerinin birlikte kullanıldığı kombine sistemlerdir. Bu sistemler genelde güneş, rüzgar, dizel jeneratör, hidroelektrik ve hidrojen enerji sistemleri kullanılabilmektedir.

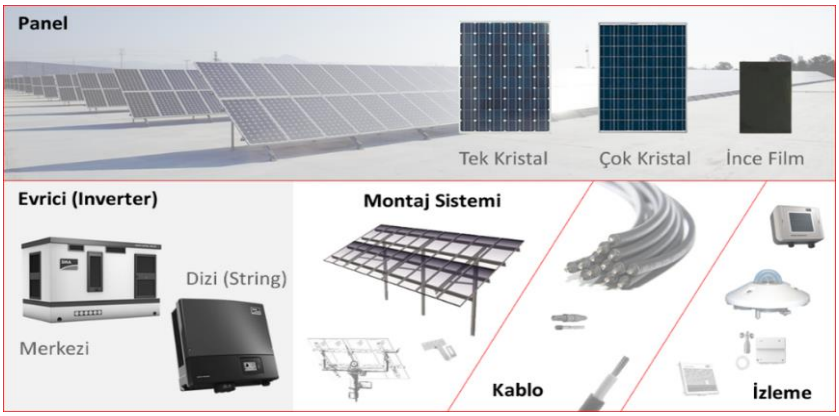
Bu sistemlerde hibrit şekilde elektrik üretimi yapılacağı gibi ihtiyaç fazlası elektrik şebekeye de satılabilmektedir. Sisteme elektrik depolama için aküler de entegre edilebilmektedir. Ayrıca ihtiyaca göre şebekeden de elektrik sağlanabildiği için daha az panel alanı yetebilmektedir. Şebekenin olmadığı konumlarda jeneratör ile de desteklenebilmektedir, böylece kesintisiz enerji sağlanabilmektedir. Şekil 5.4'de şebekeden ayrı (Şekil 5.4.a) ve şebekeye bağlı (Şekil 5.4.b) karma PV sistem şemaları verilmiştir.



Şekil 5.4. a) Şebekeden ayrı sistem şeması. b) Şebekeye bağlı sistem şeması. (Keleş, 2008)

5.3. Fotovoltaik Sistemin Bileşenleri ve Çalışma Prensipleri

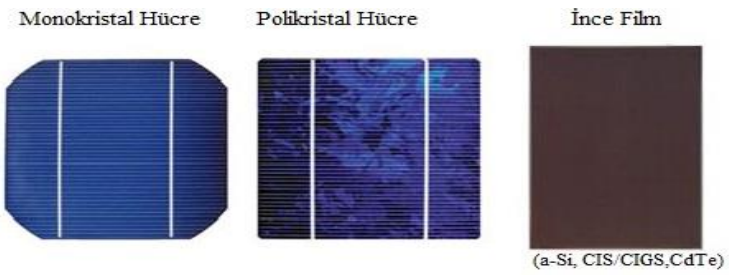
Şebekeye bağlı ve şebekeden ayrık sistemlerde kullanılan ortak ekipmanlar bulunmasına karşın önemli ekipman farkları vardır. Bunlardan en önemlisi şebekeden ayrık sistemlerde elektrik depolama elemanları ve şarj regülatörleri bulunmaktadır. (Şekil 5.5)



Şekil 5.5. Fotovoltaik sistem elemanları. (SMA, 2020)

5.3.1. Fotovoltaik Panel

Paneller farklı verim ve hücre yapılarında olmalarına rağmen temel olarak benzer yapılardadır. Hücreleri seri ve paralel bağlanır, koruma ve yapısal bütünlüğünün bozulmaması adına çerçeve ile kaplanmıştır. Yarıiletken materyaller güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çevirme özelliğine sahiptir. Temel olarak üç panel çeşidi bulunmaktadır. Verimleri, yapıları ve boyutları farklılıklar göstermektedir. Panel çeşitlerinin genel görünümü Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Fotovoltaik panel çeşitleri. (Mühendistan.com, 2018).

5.3.1.1. Elektriksel Olarak Fotovoltaik Paneller

Panel hücrelerinin bir tanesi 25 °C ve AM 1.5 aydınlatma altında ortalama 0,5 V voltaj sağlamaktadır. Standart test koşullarında 21 V açık devre voltajına sahip ve maksimum güçteki panel, yaklaşık 17 V veya 18 V çalışma voltajı verebilmektedir. Paneldeki hücre sayıları 36, 60 ve 72 olabilmektedir. Seri bağlı bu hücreler toplam panel kapasitesini belirlemektedir. Şebekeden ayrık sistem tasarımlarında panel çıkış voltajları akü gruplarına göre tasarlanmalıdır.

PV sistemlerde yaygın olarak kullanılan panellerin verimliliği üzerine çalışmalar olmaktadır, fakat güncel verim ortalamaları bulunmaktadır. Çizelge 5.1'de hücre veriminin ve panel veriminin farklı panel teknolojilerde nasıl değiştiğini göstermektedir. Görüldüğü gibi hücre verimi panel veriminden daha fazladır.

Çizelge 5.1. Hücre ve panel verimleri karşılaştırma tablosu.(Özgün, 2015)

Hücre Tipi	**Hücre Verimi**	**Panel Verimi**
Monokristal	%24	13-17 %
Polikristal	%18	11-15 %
Amorf Silikon	11-12 %	5-8 %

Panellerin verimi; metrekareye düşen güneş ışınım değeri ve ortam sıcaklık değerleri sabit alınarak hesaplanmaktadır. Panelin verimi 1000 W/m^2 ışınım değeri ve 25 °C sıcaklık değeri sabit alınarak hesaplanır. Panel verimi denklem 5.1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Yüzde Verim} = \frac{\text{Çıkış Gücü}}{\text{Giriş Gücü}} \times 100 \qquad (5.1)$$

Çıkan sonuç göstermektedir ki enerjinin çevrimi yapılırken yüzde kaç oranında yapılabildiği sunucu bulunabilmektedir.

Panelin yüzey alanında birimden sağlanan üretimi bularak da panel verimliliği bulunmaktadır. Denklem 5.2 formülü incelenirse, panelin elektrik gücünün panel alanına bölünmesi ile panel verimi bulunabilmektedir.

$$\frac{\text{Güneş panelinin elektrik gücü (kWp)}}{\text{Panel Alanı}} = \text{Panel verimi (\%)} \qquad (5.2)$$

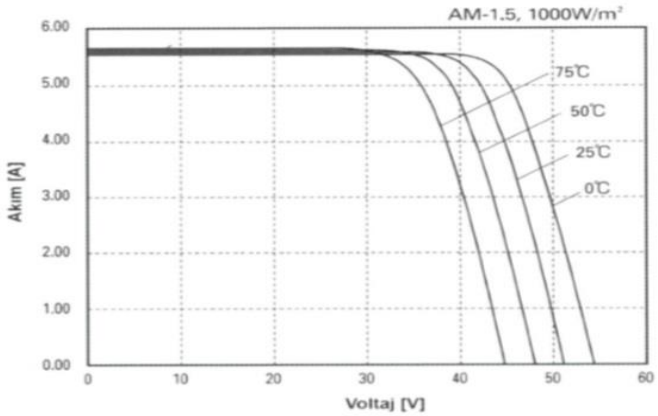
Örnek: 1,6 m²'lik bir alana sahip, 270 Wp'lik bir PV modülünün güneş panelinde verimliliği% 16,8'dir.

$$\left(\frac{270}{1000x1,6}\right) \text{ x } 100 = \text{ \% } 16,8$$

Bu nominal oran standart test koşulları (STC) için verilmiştir.

Panellerin performansını düşüren etkenlerden en önemlisi sıcaklığın etkisidir. PV hücrelerinin sıcaklığı arttıkça, voltaj düşer ve çıkış gücü azalmaktadır. PV paneller üzerine düşen güneş enerjisinin %5-25'ini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Güneş enerjisinin fazlası panel hücrelerinde ısınmaya neden olur. Ayrıca aşırı ısınma ile hücrelerde arıza veya bozulmalar olabilmektedir. Yükselen sıcaklıklar termal genleşme ile ilişkili gerilmeleri arttırmaktadır. Sıcaklığın etkisi panel hücre teknolojisine göre farklılık göstermektedir. Monokristal ve polikristal hücreler, kristal panel teknolojisine sahiptir ve sıcaklık arttıkça verimleri düşmektedir, sıcaklık düştükçe ise verimleri artar.

İnce film panel teknolojileri yüksek sıcaklıklarda çalışmaya daha uygundur ve değişimlerden daha az etkilenirler. Kristal hücreye sahip panelin Şekil 5.7'de sıcaklık etkisiyle akım ve voltaj değişim grafiği bulunmaktadır. Sıcaklık değişimi kristal panellerin voltajını akıma göre daha fazla etkilediği görülmektedir. Şekil 5.7'den yola çıkarak örneğin 0 °C'de 3 A altında 50V üzeri voltaj varken 75 °C, 3 A altında 45V voltaj üretilmektedir.



Şekil 5.7. Kristal bir panelin sıcaklığa bağlı değişen I-V grafiği. (TSE, 2017)

Solar hücrenin 800 W/m² ışınım, 1 m/s rüzgar ve 20 °C ortam sıcaklığı koşullarındaki sıcaklığına 'hücre nominal çalışma sıcaklığı' (NOCT) adı verilir. PV panel kataloglarında NOCT değeri verilmektedir.

PV sistemin kurulduğu ortam sıcaklığı panel altı sıcaklığını direkt olarak etkilemektedir. Yaz aylarında hava sıcaklıklarının yüksek olması sebebiyle panel altı sıcaklıkları 70-75 °C'ye kadar yükselebilmektedir. Modül sıcaklığı 25 °C'den sonra her 1 °C artış %0.4 – 0.5 enerji düşüşüne sebep olur. Bu enerji düşüşünü engellemek için panellerin havalandırılması çok büyük önem arz etmektedir. PV panellerin iyi havalandırması performans düşümünü engeller. Bunun için PV panel montaj tasarımları yapılırken havalandırma boşluklarının bırakılması gerekmektedir. Kristal silikon panellerin çatı veya cephe montajlarında havalandırma durumlarına göre yüzde performans düşümü Çizelge 5.2 gösterilmektedir. Bu karşılaştırma, çevre sıcaklığının 22 °C olduğu PV uygulamaları için yapılmıştır. Çizelgede görüldüğü gibi iyi havalandırmaya sahip çatı uygulamalarında panel arkası 29 °C sıcaklığa sahipken,

havalandırma olmadığı cephe montajında panel arkası sıcaklığı 43 °C'ye kadar yükselmektedir. Sonuç olarak PV montaj tasarımları yapılırken rüzgarlı ve ışınımı yüksek olan iyi havalandırmaya sahip uygulamalar tercih edilmelidir.

Çizelge 5.2. PV panel arkasında oluşan ortalama sıcaklık ile havalandırma durumu karşılaştırması.(Günder, 2018)

Havalandırma Durumu	**Çatı**	**Cephe**
İyi Havalandırma	%2.1 (29 °C)	%3.9 (35 °C)
Zayıf Havalandırma	%2.6 (32 °C)	%4.8 (39 °C)
Havalandırma Olmadan	%5.4 (43 °C)	%8.9 (55 °C)

Sıcaklığın paneldeki enerji dönüşümüne örnek hesaplama yapmak mümkündür. Aşağıdaki hesaplamada 260 Wp'lık bir panelin sıcaklığa bağlı enerji düşüşü sayısal olarak hesaplanmıştır. (Günder, 2018)

Örnek Hesaplama: 260 Wp panel 25 °C ve Ortam sıcaklığı 40 °C. Çatı montajı yapılacaktır. (Günder, 2018)

Panel sıcaklığı : +40 ˚C çevre +35 °C çatı, yani panel 75 °C olduğu bir durum da

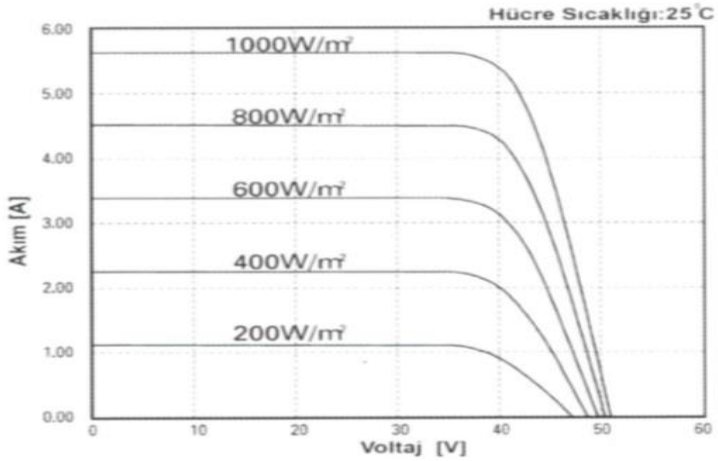
75-25 = 50° fark

Her bir derece için -0,4% güç düşümü olacağı için

50° için x (-0,4%)= -%20 yani

260Wp x (0,80) = 208 W güç çıkışı elde edilebilir.

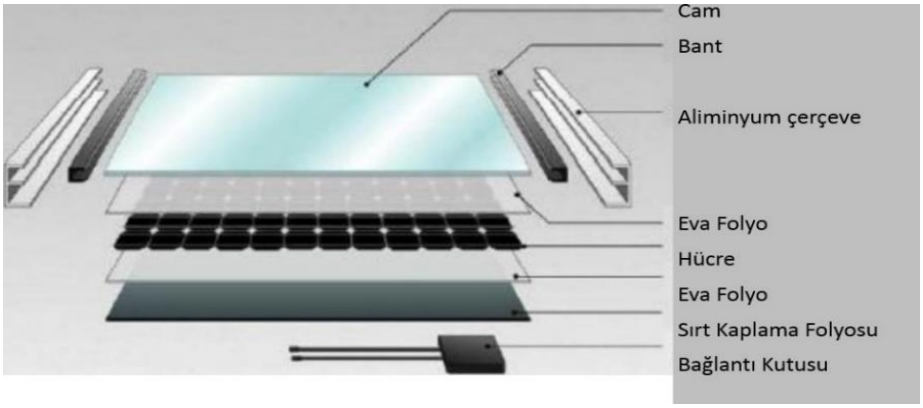
Işınımın değeri düştükçe sistemin akım değeri de düşmektedir. Grafikten yola çıkarak, hücre sıcaklığı 25 °C'de ışına göre değerlendirme yapıldığında, 1000 W/m² ışınım değerinde kristal panel en fazla akımı sağlamaktadır, 200 W/m² ışınım olması durumunda da en az akım değeri oluşur. Kristal panellerin 25 °C'de ışınım değerlerinin değişmesine bağlı olarak akım ve voltaj değişimi Şekil 5.8'de yer almaktadır.



Şekil 5.8. Kristal bir panelin ışınıma bağlı değişen I-V grafiği. (TSE, 2017)

5.3.1.2. Fiziksel Özellikler

PV paneller yıllarca dış ortamda çalıştıklarından dolayı fiziksel dayanımı yüksek, su geçirmez ve korozyona uğramayacak malzemelere sahip olmalıdır. Ayrıca paneller dış ortamlarda kullanılan sistemler olduğu için zor hava şartlarına da uyumlu olmalıdır. Örneğin dolu yağması halinde de hasar görmeyecek standartta olmalıdır. Paneller, çerçevesiz veya ince film panellerde olduğu gibi tamamen kasası olacak şekilde farklı teknolojilerde olabilmektedir. Anca yaygın kullanımdaki panelleri oluşturan yapı malzemeleri Şekil 5.9'da verilmektedir.



Şekil 5.9. PV panel anatomisi. (Özaydın, 2017)

Şekil 5.9'da görüldüğü üzere; panel dışında bütünlüğü sağlayan alüminyum çerçeve bulunur. PV hücreler ile dış ortamı ayıran temperlenmiş ekstra beyaz cam vardır. Fotovoltaik hücreleri EVA (Etil Vinil Asetat) bir arada tutmaktadır. Panelin arkasında Tedlar gibi ince polimer film tabakasından veya cam kaplamadan oluşmaktadır.

Yapı malzemeleri aynı olmasına rağmen panellerin boyutları değişiklik gösterebilmektedir. Kullanılacak sistem tasarımına göre panel boyut seçimi farklı olabilir. Örneğin, bir karayolu aydınlatma direği için kullanılacak panel boyutu ile çatı güneş enerji sisteminde kullanılan panel boyutları farklıdır.

5.3.2. Monokristal Yapılı Güneş Hücreleri

Daha iyi malzeme kalitesine sahip monokristal panel hücreleri daha pahalı fakat verimliliği yüksek hücrelerdir. Atom yapıları düzenli kristal yapıya sahip bu hücreler saf silisyumdan yapılmaktadır. Laboratuvar şartlarında %24,7 verim sağlamaktadır, ticari uygulamalarda kullanılan paneller de ise %18-14 aralığında verimlilikleri vardır. Hücre yapıları polikristale göre homojen yapıdadır. Geometrik olarak yuvarlak veya köşeleri pahlanmış kare hücre seçenekleri olabilir. Kare kesitli monokristal hücre görünümü Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10. Monokristal silisyum güneş hücresi. (Wikipedia, 2020)

5.3.3. Polikristal Yapılı Güneş Hücreleri

Polikristal panellerde silikon saflığı daha düşük olması nedeniyle verimliliği daha düşüktür. Ayrıca tane sınırlarının varlığından dolayı malzeme kalitesi daha düşüktür. Tane sınırlarının olması, yüksek lokal rekombinasyon bölgeleri oluşmasına neden olur. Fakat güneş enerji sistemlerinde kullanımı daha fazladır. Polikristal hücrenin üzerine uygulanan asit ile yüzeyin ışık tutma özelliği arttırılmıştır. Monokristale göre üretimi daha basit olduğu için daha ucuzdur.

Laboratuvar şartlarında polikristal hücreler %19,8 verimlilik sağlamaktadır, yaygın olarak kullanılan hücre verimleri ise %16-13 aralığındadır. Polikristal hücrelerin yapıları çok kristallidir ve ışığın yansımasıyla bu kristaller rahatlıkla görülebilir.



Şekil 5.11. Polikristal silisyum güneş hücresi. (Messenger, 2017)

5.3.4. İnce Film Güneş Hücreleri

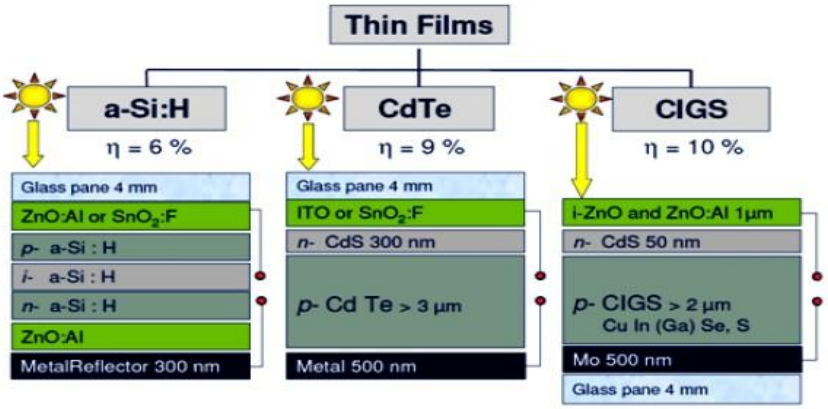
İnce film güneş panelleri; güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren esnek yapıya sahip mikron kalınlığındaki güneş hücrelerinden oluşmaktadır. Ayrıca daha az güneş ışını dalga boyunda kristal hücrelere göre daha fazla enerji üretimi sağlamaktadır. Örneğin ışın dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan az olan bir bölgedeki güneş radyasyonunu emmek için 1000 mikron kalınlığında amorf silisyum gerekli iken, kristal silisyum ile aynı radyasyonu emmek için 5000 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir.

İnce film paneller yarı iletken malzemelerine göre çeşitlilik göstermektedir. Kadmiyum tellürid (CdTe) hücreler en yaygın kullanılan ve ince film hücrelerde en verimli hücre tipidir.

Bakır indiyum diselenid (CIS) diğer ince film hücre türlerinden biridir. Daha maliyetli olan bu hücre tipi, gelecek vaat eden yarı iletken türüdür. Farklı ince film hücre türü galyum arsenit (GaAs)'dir. Bu hücre tipinin kullanım alanları daha çok uzay araçları ve uydulardır.

En eski ince film teknolojisi amorf silikon (a-Si)'dur. Diğer hücre türlerinden farklı olarak kristal olmayan silikondan yapılmıştır. Amorf silikon, kristal silikon ve diğer yarı iletken türlerinden daha ucuzdur. Verimliliği düşük olmasına rağmen ucuz olması nedeniyle daha popülerdir.

İnce film panellerin yapısı hücre tipine göre de farklılık göstermektedir. Panellerde saydamlığı sağlayan cam bölümü ön yüzeyde veya arka yüzeyde de bulunabilmektedir. Ayrıca yarıiletken kısımların kalınlıkları da değişmektedir. Amorf silisyum(a-Si), bakır indiyum diselenid (CIS) ve kadmiyum tellürid (CdTe) hücre yapılı panellerin yapısı Şekil 5.12'de bulunmaktadır.



Şekil 5.12. İnce film güneş hücresi yapısı. (Özçelik, 2019)

Düşük verimli olan ince film panellerin büyük dezavantajı olsa da en büyük avantajları az ışık almaları ve yüksek sıcaklık koşullarında da performansları iyidir. Kristal silisyum panellerle kıyaslandığında, daha az hammadde ve enerjiyle üretilmektedir.

5.3.5. Güneş Hücrelerinin Karşılaştırılması

Güneş hücre seçimi yapılırken PV panellerin uygulanacağı konum ve uygulama şekline göre yapılmalıdır. Örneğin panellerin havalandırma durumuna, güneşlenme süresine ve montaj yapılacak yüzey önemlidir.

Verimi en yüksek hücre tipi kristal yapılı güneş hücreleridir. Laboratuvar koşullarında en verimli hücre tipi %24,7 ile monokristal hücrelerdir, en düşük verimli hücreler ise amorf silisyum ince film hücrelerdir. Hücre ve modül verimleri de laboratuvar verimlerine paralel sıralanmaktadır. 1 kWp güce sahip PV sistemi için gerekli olan yüzey alanları karşılaştırılınca monokristal panel kullanımında 7-9 m² alana ihtiyaç olurken, amorf silisyum ince film panel çeşidi için 16-20 m² alan kullanılmak gerekir. Güneş hücrelerinin verimlilikleri ve 1kWp için gerekli alanlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3'de verilmiştir.

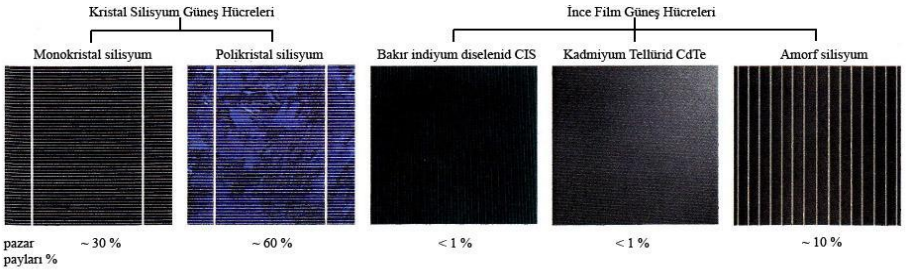
Çizelge 5.3. PV hücrelerin verimlilikleri ve 1 kWp için gerektirdiği alan.(Günder, 2018)

Güneş hücresi malzemesi		Hücre malzemesi (laboratuvarda) %	Hücre verimi (üretimde) %	Modül verimi (üretimde) %	1 kWp için gerekli alan m²
Kristal Silisyum Güneş Hücreleri	Monokristal silisyum (m-Si)	24,7	18	14	7-9 m²
	Polikristal silisyum (p-Si)	19,8	16	13	8-11 m²
İnce Film Güneş Hücreleri	Bakır indiyum diselenid (CIS)	18,8	14	10	11-13 m²
	Kadmiyum tellürid (CdTe)	16,4	10	9	14-18 m²
	Amorf silisyum (a-Si)	13	10,5	7,5	16-20 m²

PV panelleri için 25 yıllık ömür biçilmektedir. Üreticiler panellerde yıldan yıla verim düşümü olduğunu belirtmektedir. Kristal silisyum hücrelerde yılda % 0,25 ile % 0,50 arasında bir verim kaybı bulunmaktadır. Gelişen teknoloji yıllık verim düşümünü en aza indirmek üzerine çalışmalar sağlamaktadır.

PV panel çeşitlerinin pazar payları araştırıldığında, pazarın %60'ını polikristal güneş hücreleri oluştururken, monokristal güneş hücreleri %30'unu, amorf silisyum

güneş hücreleri ise %10'unu oluşturmaktadır. Kadmiyum tellürid ve bakır indiyum güneş hücrelerinin pazar payı %1'den azdır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. PV güneş hücreleri ve pazar payı oranları.(Günder, 2018)

Farklı teknolojilerdeki hücre teknolojilerinin üretimi yapılırken harcanan enerji ve doğa salınan CO_2 miktarı da değişiklik göstermektedir. Çizelge 5.4'de güneş hücrelerini üretebilmek için gerekli oluşum enerjiler ve CO_2 miktarları karşılaştırılmıştır. Monokristal hücre yapısındaki panellerin üretiminde en fazla enerji sarfiyatı olurken en fazla da CO_2 salınımı olmaktadır. Üretiminde en az enerji ihtiyacı olan hücre çeşidi ince filmdir ve CO_2 salınımı da bu tip hücrede vardır. Sonuç olarak en çevre dostu hücre çeşidi ince film teknolojisidir.

Çizelge 5.4. PV güneş hücrelerinin oluşum enerjileri. (Günder, 2018)

Güneş hücresi	**Enerji MJ/m²**	**Karbon kg CO_2/m²**
Monokristal silisyum	4750	242
Polikristal silisyum	4070	208
İnce Film	1305	67

5.3.6. İnvertör

İnvertörler üretilen veya depolanan doğru akımı alternatif akıma çeviren elektronik cihazlardır. PV paneller tarafından üretilen doğru akım veya aküler de depolanmış olan doğru akım kullanıma göre 220 Volt monofaze veya 380 Volt trifaze alternatif akıma çevrilir.

Temel olarak invertörler iki gruba ayrılırlar;

Birincisi, şebekeden ayrık sistemlerde kullanılan off-grid invertörlerdir. Bu invertörler panellerden üretilen enerjinin direkt kullanıldığı saatlerde DC akımı AC akıma çevirip kullanılmasını veya depolanmış enerjinin dönüştürülerek kullanılmasını sağlarlar.

İkincisi, şebekeye bağlı sistemlerde kullanılan bu invertörler, üretilen DC akımın AC akıma çevrilerek tüketilmesini sağlarlar. Bu invertörler kendi içerisinde de merkezi, dizi (string) ve mikro invertör olmak üzere üçe ayrılırlar.

Kullanım yeri ve amacına uygun invertör seçimi yapılmalıdır. Dizi invertörler konut ve orta ölçekli ticari PV sistemlerinde kullanılmaktadır. Merkezi invertörler ise büyük ölçekli sistemlerde tercih edilmektedir.

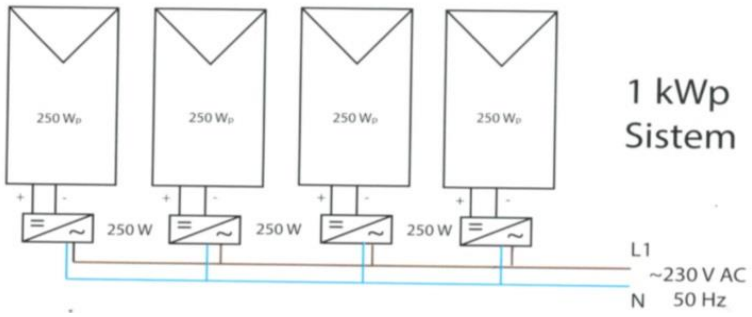
İnvertör verimlilik değerlerine baktığımızda %90 ile %99 arasında değişmektedir. Ayrıca pazar payı incelemelerinde en büyük pay %61,6 ile dizi invertörlerde olmaktadır, merkezi invertörler de %36,7'lik pay ile ikinci sıradadırlar. (Çizelge 5.5)

Çizelge 5.5. İnvertörlerin türüne göre pazar payı ver verimlilik karşılaştırması. (Wikipedia, 2019)

Tür	**Güç**	**Verimlilik (%)**	**Pazar Payı (%)**
Dizi İnvertör	150 kW'a kadar	98	61,6
Merkezi İnvertör	80 kW'ın üzeri	98,5	36,7
Mikro İnvertör	Modül Güç Aralığı	90-97	1,7

5.3.6.1. Mikro İnvertör

200 W ile 400 W arasında güç çıkışı verebilen, bir veya iki panel bağlantısına izin veren invertör tipidir. Paneller ayrı ayrı bağlandığı için gölgelenme durumlarında sistem verimi düşmemektedir. Tasarımı bağımsız ünitelerin paralel bağlanmasına olanak sağlar. Alternatif akım kısmında doğru akıma göre kablolama daha fazla yapılmaktadır. Çatı uygulamaları için sistem kapasitesine göre seçilmesi daha uygun olan invertör çeşitlidir.



Şekil 5.14. Mikro inverter uygulaması. (Özgün, 2015)

5.3.6.2. Dizi İnvertör

Doğru akım giriş gerilimlerinin müsaade ettiği voltaj değerine kadar panellerin seri bağlandığı ve her bir PV panel dizinin doğrudan invertöre bağlanması ile oluşturulan sistemlerde dizi invertörler kullanılmaktadır. Dizideki panellerin seri bağlantısı yapıldıktan sonra en sondaki ve en baştaki panelden doğru akım kablo ile akım dizi invertöre taşınır.

Çatı ve cephe uygulamalarında farklı dizi invertörler tercih edilebilir ve aynı sistemde kullanılabilirler. Temel olarak bu invertörler tek bir santrali parçalara ayırarak birbirinden bağımsız elektrik üretilmesini sağlamaktadır. Seçilen invertörün gücüne göre bağlanabilecek panel sayısı ve kapasitesi belirlenmelidir.

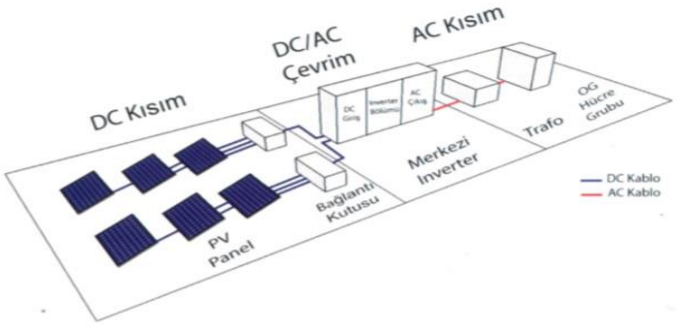
Şekil 5.15'de dizi invertörlerin panel dizilerinin başındaki montaj yerlerini göstermektedir.



Şekil 5.15. Dizi invertörlerin tesiste bağlantı konumları. (enerjiportali.com, 2016)

5.3.6.3. Merkezi İnvertör

Büyük ölçekli santraller ve büyük endüstriyel tesis uygulamaları için geliştirilmiş invertör teknolojisidir. Tek merkezden yönetilen bu sistemlerde invertör gücü kW'lardan MW'lara kadar seçenek sunmaktadır. Merkezi invertöre sahip sistemin kısımları Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.16. Merkezi invertör ve şebeke bağlantısı.(Özgün, 2015)

5.3.7. Sistemi Koruyan Elektriksel Ekipmanlar

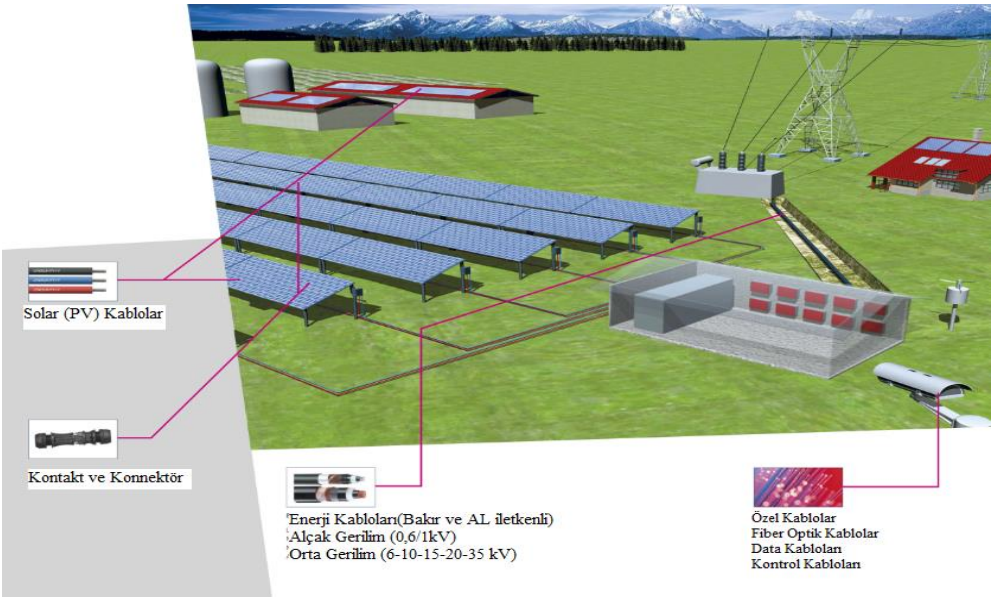
Fotovoltaik sistemlerin uzun süre güvenli çalışabilmesi, can kayıplarının önlenebilmesi için koruma ekipmanlarının kullanılması gerekmektedir. Bu ekipmanlar; DC sigortaları, DC otomatik sigorta, DC anahtarlı ayırıcılar, DC parafudr, AC parafudr, AC otomatik sigorta, AC bıçaklı tip sigorta artık akım anahtarı, şebeke besleme izleme rölesidir.

Diğer temel koruma elemanı yıldırımdan ve aşırı gerilimden koruma sistemleridir. PV sistemleri, elektriksel sistem güvenliği açısından korunmalıdır. Yapılacak analizlere göre yıldırım çarpma riski göz önünde bulundurularak yakalama ucu sistemi tasarlanmalıdır.

Çatı ve cephe PV sistemleri direkt yıldırım çarpmasına karşı düşük risklilerdir. Fakat PV sisteminin büyük kapasiteli olması, yüksek bir bina çatısı için kurulum olması veya açık alanda bulunan bir bina için kurulum yapılması durumunda yıldırım çarpma riski bulunmaktadır.

5.3.8. Kablolar ve Elektriksel Bağlantı Elemanları

PV sistemlerinde seçilen kablolar ve bağlantı elemanları sistemin kurulacağı şartlar için değişiklik göstermektedir. Örneğin; hayvan ahırı çatısı kurulumu ile konut çatısı kurulumunda seçilecek sistem elemanları arasında farklılıklar olmaktadır. Fakat temel olarak DC tarafta solar kablolar ve konnektörler vardır. AC tarafta ise PV sistemde üretilen enerji büyüklüğüne ve aktarılacak enerjiye göre enerji kabloları bulunmaktadır. Sistemin kablo altyapı görünümü Şekil 5.17'dedir.

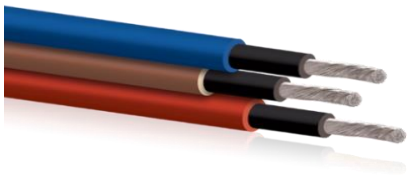


Şekil 5.17. Güneş enerji sistemi kablo altyapısı. (Günder, 2018)

5.3.8.1. Solar Kablolar

Güneş enerjisi için geliştirilen kablolar değişen hava koşulları, bazen zorlu mekanik koşullara ve kimyasal çevreye dayanacak tipte üretilir. Güneş enerjisi sistemlerinde değişen hava koşulları; yüksek sıcaklık değişimleri, UV ışınlar, rüzgar, yağmur ve kar olarak değerlendirebiliriz. Ayrıca üretici tarafından PV paneller için 25 yıl ömür biçildiği için solar kablolar da uzun ömürlü olmalıdır. Bu süre içerisinde kablo yıpranmalarının da en az olması gerekmektedir. Kablo yıpranmasını yüksek sıcaklık, güneş ışınları ve dış ortamda bulunmaları etkilemektedir. Solar kablolar genel olarak –40 °C ile +120 °C arasındaki sıcaklık koşullarında çalışmaktadır. Bu etkenlere ek olarak PV sistemin uygulanacağı özel durumlar olması halinde sistemin çevresel

etkilerine de dayanıklı olmalıdır. Örneğin, çiftliklerde ahır üzerine kurulacak bir güneş enerji sisteminde hayvanlardan çıkan gaz ve gübrelerin oluşturduğu asidik gazlar göz önünde bulundurularak sisteme uygun kablo seçimi yapılmalıdır. Şekil 5.18'de solar kablolar gösterilmektedir.



Şekil 5.18. Solar kablo. (bahra-electric.com, 2020)

5.3.8.2. Enerji Kabloları

Enerji kabloları invertörden sonra alternatif enerjiye çevrilen elektriği taşımaktadır. Kablolar aktarılacak sisteme veya şebekeye göre uygun seçilmelidir. Genel olarak NYY veya NYM kablolar güneş enerjisi sistemlerinde tercih edilmektedir.

Bu tip kabloların izin verilen işletme sıcaklığı genel olarak 70 ˚C'dir ve gerilim değerlerinin 300 V ile 1000 V aralığındadır.

5.3.8.3. Konnektör

Konnektörler fotovoltaik sistemin bağlantılarının uzun yıllar güvenli ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Uygun konnektör seçimi ve montajı sistemin doğru ve güvenli çalışması için önemlidir. Diğer kullanılan sistem elemanlarında olduğu gibi konnektörler de yüksek sıcaklık, güneş ışınımı ve dış ortam koşullarına dayanıklı olmalıdır. Ayrıca bağlantı elemanı olduklarından su geçirmez özellikleri de bulunmalıdır. Solar konnektörler Şekil 5.19'da gösterilmektedir.



Şekil 5.19. Solar konektör. (rsdelivers.com, 2020)

BÖLÜM 6

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN BİNALARDA KULLANIMI

Küresel ısınma ile mücadele ve yenilenebilir enerjinin etkin kullanılabilmesi adına güneş enerji sistemlerinin mimaride kullanımı büyük önem arz etmektedir. Büyük bir kapasiteye sahip olan bina çatı ve cepheleri, tarla kurulum güneş enerji sistemlerine önemli alternatif oluşturmaktadır. Teknolojisi gelişmekte olan güneş enerji sistemleri, binalara entegre edilebilmesi kolay tasarımlardır. Bina tasarımları yapılırken PV sistemler dahil edilmesi maliyet ve tasarım açısından da kolaylık sağlamaktadır. Çevre dostu olan bu enerji üretim sistemi, kapasitesi yeterli olması durumunda binalar için dışarıdan enerji talebi bulunmadan kendisine yetebilmektedir.

Mimaride kullanılan PV enerji sistemlerinin çevreye, binaya ve kullanıcılara birçok faydası vardır. Elektrik üretiminin binada yapılması sayesinde elektrik iletimi ve dağıtımından oluşacak enerji kayıplarını ortadan kaldırmaktadır. Kurulan sistemler çatı ve cephe potansiyeline göre tasarlanabilir, montaj çatı ve cephe türüne göre yapılabilmektedir. Ayrıca sessiz bir üretim sistemi olması, binada bulunan şahısları da rahatsız etmemektedir.

Binalarda kullanılacak PV sisteminin tasarımında öncelikli olarak PV panellerinin maksimum enerji üretimi sağlayacak şekilde planlandırılması gerekmektedir. PV sistemin enerji üretimi; coğrafi konum, bina konumu, yön ve yüzey eğim açısı, gölgelenme ve sıcaklık etkenlerine göre farklılık göstermektedir. Bina için yapılacak tasarımda en önemli parametre gölgelenmedir. Bina etrafında, çatının veya cephenin PV sistem kurulacak bölümünü etkileyen ağaç, bina veya başka bir engel bulunması durumunda sistem tasarımı buna göre yapılmalıdır.

6.1. Çatı ve Cephe Sistemleri Uygulamaları

PV enerji sistemleri binalarda çatı ve cephe montaj uygulamaları olarak tasarlanabilmektedir. PV paneller dış yapı elemanı olarak cephede kullanımdan ayrı aktif sistem elemanı olarak çatıda da kullanılabilmektedir. Çatılarda uygun eğim açısının verilmesi daha kolaydır ve verimlilikleri daha yüksek olmaktadır. Ayrıca çatı kurulumlarının binaya entegre ve monte edilmesi daha kolaydır. PV panellerin çatı ve cephe uygulamaları;

- Bina Monte PV Sistemler
- Bina Entegre PV Sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 6.1. Bina çatı ve cephesine entegre fotovoltaik panellerin şematik gösterimi. (Türe, 2008)

Binaya monte PV sistemler (BAPV) çatı ve cephe kaplamasının üzerine uygulanmaktadır. Havalandırmanın önemli olduğu bu uygulamalarda panel ile uygulama yüzeyi arasında havalandırma boşluğu bırakılmalıdır.

Binaya entegre fotovoltaik sistemler (BIPV), çatılarda ve cephelerde binanın geleneksel yapı malzemelerinin yerine kullanılan fotovoltaik sistemlerdir. Mevcut binalara entegresi sağlanabilse de yeni yapılan mimari tasarımlarda daha fazla yer verilmektedir. Binaya monte (BAPV) sistemlere göre avantajı, montajının bina işçiliği ve inşaat malzemelerine göre daha ucuz olmasıdır.

Güneş enerji sistemlerinin çatı uygulamaları birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajları aşağıda verilmiştir; (Günder, 2018)

- Ges için arazi kullanılmamış olur
- Kaynağında tüketim gerçekleşir
- Şebeke üzerindeki tüketim azalır
- İletim ve dağıtım kayıplarını önlemiş oluruz
- Boş olan çatılar değerlendirilmiş olur

Ülkemizde çatı ve cephe uygulamaları yeni bir alan olmasına karşın Avrupa ve Dünya'da bu uygulamalar yaygınlaşmaktadır. (Günder, 2018)

Ortalama bir çatı kurulumu için gerekli alan 6,2-8,7-10 m²/watt'dır.

Ülkemizde çatı sistem potansiyelini hesaplarsak;

Toplam bina sayısı = 9.248.00 adet

Toplam temel alan = 2.237.000.000 m²

Kullanılabilir çatı alanı = 1.137.000.000 m²'dir.

Çatıların uygulanabilir alanlarını yapısı belirlemektedir. Ülkemizdeki yapı türlerine göre çatı tipleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Yapı türlerine göre çatılar.(Günder, 2018)

	Teras (%)	**Çatı (%)**
Konut	25,3	74,7
Ticari Binalar	60,2	39,8
Kamu Binaları	31,9	68,1

Ülkemizdeki yapı türlerine göre kullanılabilir çatı alanları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Yapı türlerine göre kullanılabilir çatı alanları.(Günder, 2018)

	Toplam Alan (m²)	**GE için Kullanılabilir Alan (m²)**
Konut	596.000.000	232.400.000
Ticari Binalar	499.000.000	212.600.000
Kamu Binaları	42.000.000	20.600.000
Toplam	1.137.000.000	467.600.000

Ülkemizde yapı türüne göre güneş enerjisi kurulabilme potansiyeli Çizelge 6.3 verilmiştir.

Çizelge 6.3. Yapı türüne göre güneş enerjisi kurulabilme potansiyeli.(Günder, 2018)

	Bina Adedi	**Kullanılabilir Alan (m^2)**	**Güneş Enerjisi Potansiyeli (GW)**
Konut	8.230.000	596.000.000	23,24
Ticari Binalar	950.000	499.000.000	21,46
Kamu Binaları	69.000	42.000.000	2,06
Toplam	9.248.000	1.137.000.000	46,76

6.1.1. PV'lerin Çatı ve Cephe Kullanımın Avantajları Dezavantajları

6.1.1.1. PV'lerin Çatı Kullanımında Avantajları Dezavantajları

Bina çatılarına kurulacak PV sistemlerinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. (Keleş, 2008)

AVANTAJLAR

- Gerekli olan eğim ve yönelme çatıda daha kolay sağlanabilmektedir.
- Yapılarda PV modüllerini yerleştirmek için en uygun yerlerden biri çatılardır.
- Uygulama esnasında gerekli olan konstrüksiyon cepheden daha ucuzdur.
- Çatı sistemlerinde istenilmeyen ısının havalandırması cepheye oranla daha kolaydır.
- Genelde gölgelenmeyen, istenilen eğimin kolay verilmesi açısından entegrasyonu kolaydır.

DEZAVANTAJLAR

Her zaman estetik görüntü sağlamayabilir.

6.1.1.2. PV'lerin Cephe Kullanımında Avantajları ve Dezavantajları

Bina cepheleri için tasarlanacak PV sistemlerinin çatılar için tasarlanan sistemlere göre avantaj ve dezavantaj farkları bulunmaktadır. Genel olarak cephe kullanımında avantaj ve dezavantaj karşılaştırılması yapılmıştır. (Keleş, 2008)

AVANTAJLARI

- Gün ışığı, pasif solar kazanım ve gölgelemeden uzak, güneye yönlenmiş bir bina, PV entegrasyonu için uygundur.
- Pencere ve çatı aydınlıklarından kazanılan solar kazanımda faydalıdır.
- Doğu-batı aksında uzunlamasına bir bina, güney cephesinin uzunluğu ve çatının uzunluğu PV kullanımı açısından avantaj sağlar.

DEZAVANTAJLARI

- Cepheler gölgelenmeye eğilimli olduklarından yerleşim planında dikkatli olunmalıdır.
- Doğu-batı arasındaki cephenin dikey kullanılması sabah ve öğleden sonra güneşten korunma gerektirir.
- Havalandırma yapılamayan cephelerde verim düşüklüğü görülür.
- Güney cephesinin %100 cam kaplanması fazla ısı kazanımı ve yaz ayları için soğutma yükünün artması demektir.

6.2. Çatı Tipleri ve Panel Montaj Uygulamaları

Etkin enerji tasarımı ile doğal kaynaklardan optimum yarar sağlayan, aktif ve pasif sistemlerle desteklenen yapı konstrüksiyonu, iç mekan konfor koşullarının sağlanması ve enerji tüketiminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır.

Çatı uygulamalarında çatının tipi ve optimum kurulum açısı panel altı konstrüksiyon tasarımının belirlenebilmesi için önemlidir. Çatı tipine uygun konstrüksiyon ve montaj elemanları kullanılması gerekmektedir.

6.2.1. Çatı Tipleri

1-Geometrisi Açısından;

Düz çatılar

Açılı çatılar

2-Kaplama Metodu Açısından;

Kiremit çatılar (İspanyol,Osmanlı vb.)

Trapez çatılar

Kenet çatılar

Düz Çatılar

6.2.2. Çatılarda Mevcut Yüzey Alanına Bağlı Olarak Panel Seçimi

Çatı ve cephe uygulamalarında kısıtlı alanda maksimum verim elde edebilmek adına panel seçimi en temel kararların başında gelmektedir. Çatı tipine göre kW başına kurulması gereken m² paneller karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir;

Eğimli çatılarda kurulum için gerekli yüzey; (Günder, 2018)

Kristal modül için yaklaşık 9 m²/kWp

İnce film modül için yaklaşık 18 m²/kWp

Düz çatılar için gerekli yüzey (yaklaşık 30° eğim açılı bir kurulum için) ;

Kristal modül için yaklaşık 18 m²/kWp

İnce film modül için yaklaşık 40 m²/kWp

6.2.3. Çatı Tipine Göre Montaj Uygulamaları

6.2.3.1. Kiremit Çatılar

Kiremit çatı sistemlerinde konstrüksiyonun çatıya montajı yapılabilmesi için profilin çatı tahtalarına montajı yapılacak kiremitler kaldırılır ve profil ile çatı bağlantı elemanı montajı yapılır. Bağlantı montajı yapıldıktan sonra ilgili kiremitlerin nizami bir şekilde yerlerine koyulması önemlidir. Çünkü, çatı kiremitlerinde herhangi bir boşluk bırakılması kış aylarında çatıdan yağmur ve kar suyunun akmasına sebep olur.



Şekil 6.2. Kiremit çatı montaj uygulaması.(Günder, 2018)

Gelişen montaj uygulamaları ve teknoloji neticesinde kiremit içi uygulama şekli de mevcuttur. Çatı karkası üzerine yapılan uygulama sayesinde PV sistemin bulunduğu kısma kiremit montajı yapılmaz. Bu montaj şeklinin ayrıca çatıya entegre olması nedeniyle çatıda akma olma ihtimali de en aza indirilmiştir.



Şekil 6.3. Kiremit içi montaj uygulaması.(Solimpeks, 2020)

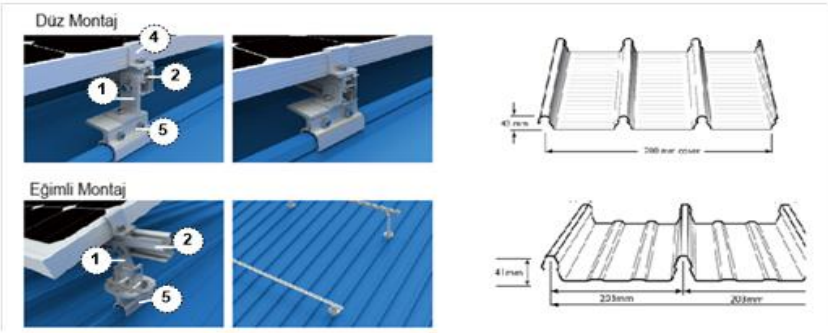
6.2.3.2. Trapez Çatılar

Trapez çatılarda profil montajı çatı sacına yapılır. Bu çatı sisteminde, çatı sacına bağlantı elemanları montajı yapılırken delik kalmaması adına su sızdırmaz conta kullanımı yapılmalıdır. Ayrıca çatı kaplama uygulaması yapılan yerler, malzeme ömrünü uzatmak ve iyi verim alabilmek için izolasyon yapılmalı, uygun aksesuar ve bağlantı elemanı tercih edilmelidir.



Şekil 6.4. Trapez çatı montaj uygulaması. (Günder, 2018)

Çatının eğimli veya düz olmasına göre montajda kullanılan bağlantı parçaları değişiklik göstermektedir. Montaj yapılacak çatı sacının ilgili kısımları genişlik açısından uyumlu ise sac delinmeden sıkıştırmalı montaj elemanları ile de montaj yapılması mümkündür. Delik açılmaması nedeniyle su sızma riski de ortadan kaldırılmış olur.



Şekil 6.5. Düz ve eğimli montaj için bağlantı elemanları. (brsolarbracket.com, 2020)

6.2.3.3. Kenet Çatılar

Kenet çatı sisteminde, bir tarafı çatı sacını diğer tarafı panel çerçevesini tutan bağlantı elemanları kullanılmalıdır. Kaplama ürünü üzerine herhangi bir delme ve izolasyon işlemi uygulanmayacağı için solar çatı panellerinin montajı için oldukça uygun bir kaplama sistemidir. Diğer fabrikasyon sandviç panel ve trapez çatı kaplama ürününe nazaran kenet çatı plakalarının dar genişliği güneş panellerine ekstra bir mukavemet sağlamaktadır.



Şekil 6.6. Kenet çatı montaj parçası ve uygulamaları.(terasusyapi.com.tr, 2020)

6.2.3.4. Düz Çatılar

Düz çatı PV sistemlerinin verimli olması için gerekli olan optimal açının verilebilmesi kolaylıkla sağlanabilir. Çatıya montaj sistemleri; çatıya mekanik olarak sabitlenmiş veya konstrüksiyon ayaklarına ağırlık konularak kurulmuş olmak üzere farklı seçeneklerdir. Ayrıca çatıyla bütünleşik olacak şekilde montaj da yapılabilmektedir.

Çatı yapısına mekanik olarak sabitlenmiş PV'lerin montaj alanları doğru seçilmeli ve uygun montaj elemanları kullanılmalıdır. Konstrüksiyon sayesinde 10˚ 'den 60˚ 'ye kadar panel derece ayarı yapılabilir ve 200 km/h rüzgar yüküne dayanabilir. Montajın çatı sistemine yapılabileceği durumlarda kullanılan bu sistemde panel konstrüksiyonun tasarımı büyük önem taşımaktadır. (Şekil 6.7)



Şekil 6.7. Düz çatı PV montaj konstrüksiyonu.(alensi.com.tr, 2020)

Konstrüksiyon ve bağlantı elemanları açısından farklı seçenekler de mevcuttur. Şekil 6.8.a'da açı derecesi ayarlanabilir, çatıya bağlantı yüzeyi fazla bir sistem bulunmaktadır. Şekil 6.8.b'de ise PV paneller tek bir sehpa üzerine birden fazla panel montajı yerine her panel için ayrı panel altı sehpası tasarımı vardır.



Şekil 6.8. a) Çoklu panel montajı için sehpa. b) Paneller için tekli sehpa tasarımı. (solar.inventoturkiye.com, 2020).

Düz çatının mekanik montaja uygun olmaması durumunda ağırlık kullanılarak çatı üzerinde montaj yapılacak zemin oluşturulmalıdır. Seçilen ağırlık hesaplamaları doğru yapılmalıdır ki fazlası çatıya ekstra yük bindirir, az olması durumunda da PV sistemi rüzgarın etkisiyle zarar görebilir. Bu sistemler daha ucuz ve yüzlerce kilowatt elde edilmek istendiğinde tercih edilmektedir. Ağırlık kaynaklı tasarım çatı yüzey mukavemetinin yeterli olduğu her yere konabilir ve modüler şekilde genişleme sağlayabilir. (Şekil 6.9)



Şekil 6.9. Düz çatıda ağırlık kullanım uygulaması.(Günder, 2018)

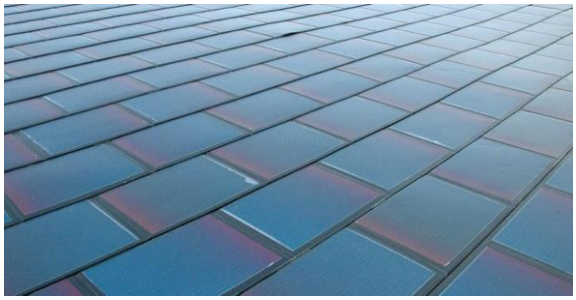
6.2.3.5. Plastik Kiremit Çatı Sistemleri

Mevcut çatı kiremitleri yerine doğrudan kullanılan plastik kiremitler ile elektrik üretilebilmektedir. Bu güneş enerjili amorf PV kiremit sistemleri standart çatı kiremitleri ile görsel anlamda aynı özellikleri taşımaktadır. Montajı alt tabakaya sabitlenerek yapılabilmektedir. Her modül 64Wp'lik enerji üretebilmektedir. 9 adet kiremit ağırlığındaki her modül 1m² alana sahiptir. Modüller 3 katmanlı amorf silisyumdan yapılmıştır. Ürünler esnek yapıda olduğundan farklı çatı yapılarına entegre edilebilir.



Şekil 6.10. Amorf PV kiremit uygulaması.(enerjibes.com, 2020)

Çatı kaplaması olarak kullanılan şıngıl yerine kullanılabilen ürün ile elektrik üretilebilir. Şekil 6.11'de verilen plastik şıngıl ürününün her modülü 17 Wp'lik enerji üretir. Şıngıl çatı kiremitlerinin yaklaşık verimliliği %13 kadardır. Amorf silisyum PV modülü 5mm kalınlığındaki paslanmaz çelik altlığa uygulanır. Modüller direkt olarak ahşap çatı konstrüksiyona çakılır.



Şekil 6.11. Polikristal solar ürün.(enerjibes.com, 2020)

Şekil 6.12'de bulunan modüller çatı kiremitinin içine gizli fotovoltaik panel olarak uygulanmaktadır. Her modül 5 Wp'lik enerji üretir. 5 m² alan için 3 kW enerji üretimi gerçekleştirir.



Şekil 6.12. SED ürünü. (powerenerji.com, 2020)

Solar halı teknolojisi, halı gibi sererek montajını yapabileceğimiz elektrik üretmek mümkün olan yeni teknoloji malzemeleridir. Bu ürünün herhangi bir ağırlığı olmayıp, her türlü koşula da dayanabilmektedir. Ancak solar halının dezavantajı verimliliği baya bir düşüktür. (Şekil 6.13)

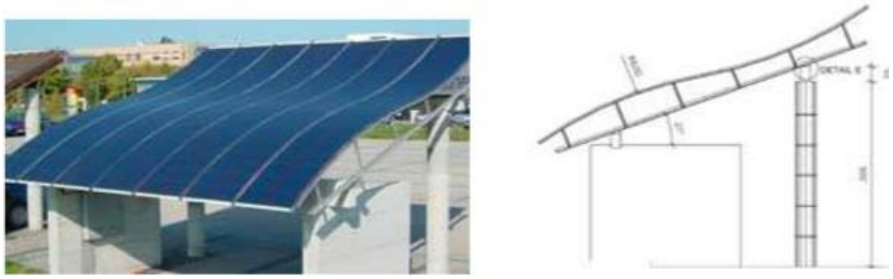


Şekil 6.13. Solar halı uygulaması.(enerjibes.com, 2020)

6.2.3.6. PV'lerin Eğrisel Çatıda Kullanımı

PV sistemlerin eğrisel çatı kullanımları da olabilmektedir. Eğrisel tasarlanan konstrüksiyon metal veya sentetik esnek malzeme ile sağlanmaktadır, PV montaj alanına amorf silisyum, ince film ya da eğrisel düzenlenmiş opak, yarı saydam güneş hücreli paneller uygulanabilmektedir.

Şekil 6.14'de amorf silisyum esaslı PV'lerin serbest stilde uygulanmasına örnek verilmişti. Bu şekilde yapılan tasarımlar görsellik açısından da avantajlıdır. Otopark veya bina çatılarında kullanılabilen tasarımlar, hem gölge sağlar hem de elektrik üretimi yapabilmesiyle önemlidir.



Şekil 6.14. Serbest stil PV uygulama.(Süzer, 2015)

Gelsenkirchen'de bulunan Shell-Solar'a ait binanın cephe kısmı eğrisel olarak tasarlanmış PV montaj uygulaması yapılmıştır. Ayrıca bina çatısı da panel eğim açısına uygun olacak şekilde inşa edilmiştir ve çatıda da PV uygulaması bulunmaktadır. (Şekil 6.15)



Şekil 6.15. Eğimli çatı entegrasyonu. (Blossey, 2009)

Şekil 6.16'da bulunan bina, itfaiye binası olarak Hollanda Houten'da inşa edilmiştir. Bina cephe ve çatısı eğrisel olarak tasarlanmıştır ve tamamına PV sistem

uygulanmıştır. Eğimli bina tasarımı sayesinde panellerin eğim açısı maksimum olacak şekilde en verimli elektrik üretimi sağlamaktadır.



Şekil 6.16. Houten itfaiye binası. (archdaily.com, 2020)

6.2.3.7. Çatı PV Uygulama Örnekleri

Bartholoma, Almanya'da bulunan konut yapısı çatı ve cephe bütün olacak şekilde eğimli tasarlanmıştır. Monokristal panel kullanılan binada 24 kWp güç kapasitelidir. (Şekil 6.17)



Şekil 6.17. Bartholoma, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Mont-Cenis-Akademi, birçok farklı işlevi olan bir kamu kurumu binasıdır. Konstrüksiyon, alüminyum çerçeveye yerleştirilmiş camla kaplı ahşap bir çerçeve konstrüksiyonundan oluşur. Şeffaf panel kullanımı olan binada, 1000 kWp güç kapasitesi vardır. (Şekil 6.18)



Şekil 6.18. Herne, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Japonya, Tokyo'nın iki bölgesinde binaların PV sistemler kurulması ile ilgili proje gerçekleşmiştir. Proje kapsamında 41 konut çatısına PV sistemleri entegre edilmiştir. Her bina çatısında 3 kWp kurulu güç olmak üzere toplamda 123 kWp kurulu güç bulunmaktadır. (Şekil 6.19)



Şekil 6.19. Tokyo, Japonya. (pvdatabase.org, 2020)

6.2.4. Cephelerde Fotovoltaik Panellerin Kullanılması

6.2.4.1. Cephe Dış Duvar Sistemi Olarak Fotovoltaik Paneller

Binalarda dış duvar sistemi olarak fotovoltaik panellerin kullanılması günümüzde pek çok yapı türünde oldukça yaygındır. Giydirme cam cephe sistemi olarak binaya entegrasyonu sağlanabildiği gibi binanın bazı saydam bölümlerinde de kullanılmaktadır. Fotovoltaik paneller, modüler metal ızgaralara takılarak buradan da binanın strüktürel sistemine yük aktararak taşıtılırlar.

Ayrıca fotovoltaik elemanlar doğrudan bina taşıyıcı sistemine takılıp, taşıttırılabilmektedir. Panellerin cephelerde bu şekilde kullanılmasında çeşitli varyasyonlar oluşmuştur. Düzlemsel giydirme cephe sistemleri, düşeyde kırıklı yapıda giydirme cephe sistemleri, yatayda kırıklı yapıda giydirme cephe sistemleri, akordiyon giydirme cephe sistemleri, eğimli düzlemsel yapıda giydirme cephe sistemleri, eğimli kırıklı yapıda giydirme cephe sistemleri ve taşıyıcılı cam cephe sistemleri (panel) olarak varyasyonları bulunmaktadır. Kullanılan sistem olarak varyasyonlarının yanı sıra kullanılan malzemeler, katmanlaşma, eğimler ve ölçüler oranında da büyük çeşitlilikler ortaya çıkmaktadır.

Bina cephelerinde fotovoltaik panellerin dış duvar elemanı olarak kullanılmasında geçirimlilik - geçirimsizlik oranları önemli olmaktadır. Bu durumun temel belirleyicisi bina fonksiyonudur. Mekan içi istenilen aydınlanma oranı (ışık etkisi) ve ısı oranı, zararlı ışınların emilmesi durumu, ışık ve gölgelenme seviyeleri, mahremiyet algısı bu konuda temel belirleyicilerdir. Bu bağlamda, panel üretim sektöründe saydamlık oranlarına göre malzemelerde değişkenlik ortaya çıkmaktadır. Geçirgen, yarı geçirgen ve geçirgen olmayan panel üretimleri bulunmaktadır.



a **b** **c**

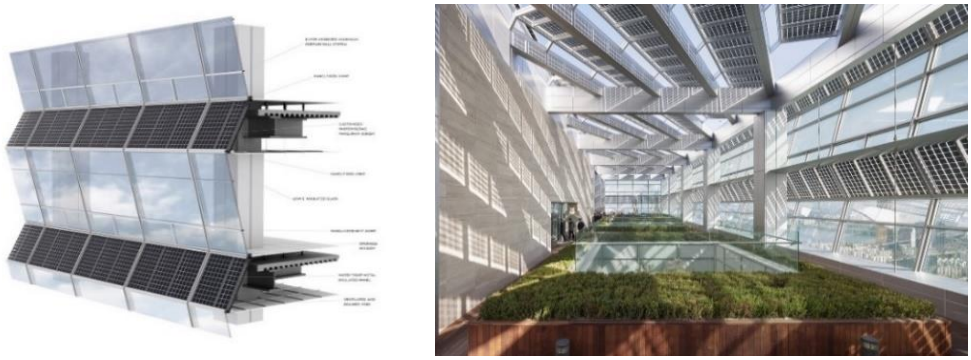
Şekil 6.20. Dış duvar sistemleri olarak fotovoltaik panel çeşitlerinin kurgulanması; (a) düzlemsel giydirme cepheler, (b) düşeyde kırıklı giydirme cepheler, (c) yatayda kırıklı giydirme cepheler. (Roberts, Guariento, 2009)



a **b** **c**

Şekil 6.21. Dış duvar sistemleri olarak fotovoltaik panel çeşitlerinin kurgulanması; (a) akordiyon giydirme cepheler, (b) eğimli düzlemsel giydirme cepheler, (c) eğimli kırıklı giydirme cepheler. (Roberts, Guariento, 2009)

Akordiyon cephe tasarımına PV sisteminin entegre edilmesine örnek tasarım Şekil 6.22'da görülmektedir.



Şekil 6.22. Akordiyon cepheye entegre PV sistemi.(solar.inventoturkiye.com, 2020)

Şekil 6.23'de bulunan 115 metre yüksekliğindeki Schapfenmühle Silo Kulesi Ulm, Almanya'dadır. Bavyera Güneş Enerjisi Geliştirme Derneği'nin entegre fotovoltaik sistemleri inşa etme yarışmasında kazanan bir başka projedir. Cephe duvar sistemi olarak kullanılan PV sistemin toplam 97 kWp güçtedir.



Şekil 6.23. Schapfenmühle Silo Kulesi Ulm, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Almanya Bayern'de bulunan spor salonunun cephesi şeffaf PV sistemi ile oluşturulmuştur. Toplam kapasitesi 10 kWp olan sistem binanın dış cephesini oluşturmaktadır. (Şekil 6.24)



Şekil 6.24. Bayern, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Solar Bilgi Merkezi, Almanya'da bulunan bir ofis binasıdır. Solar Bilgi Merkezi'nin enerji konseptli, son zamanlardaki kaynak dostu, düşük emisyonlu ve uygun maliyetli enerji tedariki standartlarını karşılar. Enerji tüketimi o yenilenebilir kaynaklardan % 100 karşılanmaktadır. Güneş enerjisi kullanımı, yıllık ısıtma talebini m^2 başına 30 kWh'ye düşürür. Cephe PV sisteminin yanı sıra, binanın düz çatısına yerleştirilmiş, toplam tepe gücü 50 kW olan ikinci bir PV sistemi bulunmaktadır. 80 metre derinliğe sahip yer tipi ısı pompası ve 42 m^2 güneş enerjisi sistemi (DHWC) gibi diğer özellikler de entegre edilmiştir. (Şekil 6.25)



Şekil 6.25. Freiburg, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

6.2.4.2. Cephe Kaplama Malzemesi Olarak Fotovoltaik Paneller

Duvar önü giydirme cepheler, duvarın dış yüzeyinde çeşitli yalıtım malzemeleri kullanarak ve hava boşluğu bırakarak son bitiş malzemesi olarak yer almaktadır. Fotovoltaik panellerin de bu tipte kullanımları oldukça yaygındır. Işık geçirgenliği düşünülmeden, sağır bir yüzeyde kullanılabilmesi tasarım açısından kolaylık sunmaktadır. Belirli aydınlatma ve havalandırma koşulları için cephe genelinde şeffaflıkların açılması gerekli olmaktadır. Panellerin alüminyum çerçevelerinin belirli noktalardan binanın strüktürel sistemine taşıtılması sonucu yük aktarımı gerçekleşmektedir.

Green Dot Animo Leadership High School, Amerika Birleşik Devletleri'nin Inglewood şehrinde bulunmaktadır. Binanın güney cephesinde, kaplama malzemesi olarak fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Cephede belirli şeffaflıklar dışında cephe bitiş malzemesi olarak tamamen fotovoltaik panel kullanılmış. Cephe yakınında güneş ışınlarını engelleyecek herhangi bir donatı yoktur. 650 adet fotovoltaik panel kullanılmıştır. (Şekil 6.26)



Şekil 6.26. Green Dot Animo Leadership High School binasında kullanılan panel sistemi. (archdaily.com, 2020)

Türkiye'nin ilk güneş enerjili cephesine sahip kamu binası olma özelliğini taşıyan Edirne Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü binasıdır. Bina, güneş enerjisinin veriminin yüksek olacağı şekilde konumlandırılmıştır. PV sistemi bina cephesine entegre bir şekilde yapılmıştır ve 265 W'lık polikristal panel kullanılmıştır, kurulu güç ise 35 kWp dır. (Şekil 6.27)



Şekil 6.27. Edirne Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü binası cephe PV uygulaması. (ankarasolar.com.tr, 2020)

Binanın güney batı cephesi, kaplama malzemesi olarak PV sistemi kullanılmaktadır. 520 m^2 alanda 970 PV panel binanın cephe yüzey alanını kaplamak için kullanılmıştır. Toplam 43,7 kWp PV sistem kapasitesi bulunmaktadır. Bina Almanya Tübigen'de bulunmaktadır. (Şekil 6.28)



Şekil 6.28. Tübigen, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

İspanya Barselona'da bulunan ofis binasının merdiven cephesinde güneş kırıcısı bulunmaması nedeniyle ısınma sorunun bulunması nedeniyle renkli şeffaf PV sistemi tasarımı yapılarak cephenin verimli kullanılması hedeflenmiştir. PV sistemi, her biri 50

Wp olan renkli şeffaf panellerden oluşur ve 1,35 kWp toplam kurulu güç kapasitelidir. Modüller, şeffaf bir çerçeve alanı ve % 10 şeffaflığa sahip bir hücre alanına sahiptir. Cephe yönü 45º güneybatıdır. (Şekil 6.29)



Şekil 6.29. Barselona, İspanya. (pvdatabase.org, 2020)

6.2.4.3. Cephede Ek Eleman Olarak Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik paneller cephede ek bir konstrüksiyon kurularak, ara eleman olarak kullanılabilmektedir. Güneş kırıcı paneller (yatay ve dikey), saçaklar, balkon parapetleri, pencere panjurları gibi elemanların fotovoltaik panellerle desteklenmesi bu duruma örnek verilebilmektedir. Aktif veya pasif bir düzenek ile sistemin çalıştırılması uygun enerji üretim koşullarını sağlayacaktır.

Genellikle geniş cephe alanlarında kullanılan PV paneller dikey olarak montaj yapılırlar. Geniş cephe, bulunan enleme bağlı olarak PV sistemlerin kullanımında fayda sağlamaktadır. Ayrıca montaj yapılacak binanın doğu–batı doğrultusunda cephenin dikey olarak kullanılması avantaj sağlayacaktır, fakat sabah ve öğleden sonra güneşin ışınlarının geliş açısının ve süresinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Cepheler gölgelenmeye eğilimlidir ve bu sebeple gölgelenme analizleri iyi yapılmalıdır.

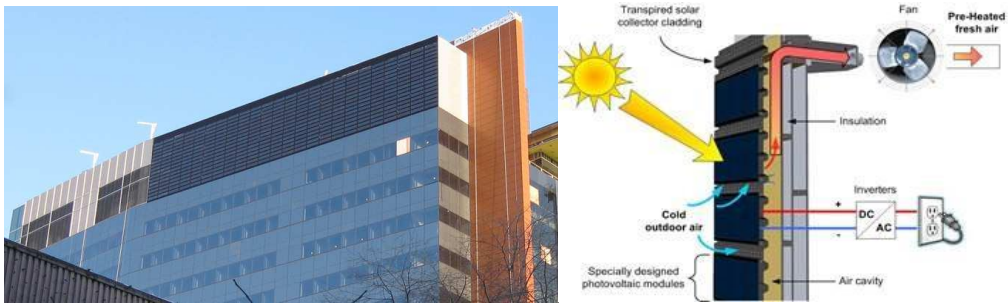
Cephe uygulamalarını havalandırma yapılan ve havalandırılmayan olarak ikiye ayırmak mümkündür. Panellerin arkasında oluşacak sıcaklık nedeniyle montaj alanının

havalandırılıp havalandırılmaması önemlidir. Havalandırılan cephelerde, verim etkinlikleri ısıya duyarlı olan kristal silisyum panellerin kullanımı uygundur. Havalandırılmayan cephelerin ihtiyaç duyduğu teknoloji, ılıman çevre koşullarını tolere edebilecek ve panel altı sıcaklığa verim açısından dayanıklı amorf silisyum panellerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Gün ışığı alma süresi uzun, gölgelenmesi bulunmayan ve güneye yönlenmiş bir bina cephesi PV uygulamaları için idealdir. Ayrıca doğu-batı yönünde uzunlamasına konumlanan bir binanın, güney cephesinin uzunluğu ve çatının uzunluğu PV kullanımı için avantajlıdır.

PV panel hücrelerinin ideal çalışma sıcaklığı 25 °C ve altı olarak hesaplanmaktadır. Dış ortam sıcaklığı 25 °C olan bir uygulamada bulunan panelin sıcaklığı 45 °C'ye çıkmaktadır. Oluşan bu panel altı sıcaklığından yararlanmak ve PV sistemi soğutmak adına hibrit sistemler geliştirilmiştir.

Bu sistemlere örnek olarak Şekil 6.30'da uygulaması yapılmış hibrit sistem görülmektedir. Üniversite cephesindeki kollektör sisteminin ve PV sisteminin entegre edildiği bir sistem örneğidir. Güneş ışığını PV paneller %10-20'sini elektriğe çevirmektedir, geriye kalan %80-90 güneş ışığı ısı enerjisine çevirerek kullanılmaktadır. Neticede hem elektrik, hem de sıcak su veya hava sağlanmış olmaktadır. Bir yandan PV panelinin soğutulması ile verim artışı sağlanırken, diğer yandan ısı enerjisi kullanılabilir. Üniversitenin binasının cephesinde 384 polikristal PV panel bulunmaktadır.



Şekil 6.30. a) Concordia Üniversitesi b)Sistem kesiti. (concordia.ca, 2020)

Şekil 6.31'de 11.yüzyılda inşa edilen eski kilise Fransa Ales şehrindeki turizm ofisi olarak restore edilmiştir. Yapının cephesinde her biri 6 m genişlikte, yaklaşık 5 m

yüksekliğinde olan 3 kemerli taşıyıcı sistem bulunmaktadır, bu alanlar PV uygulaması için kullanılmıştır.



Şekil 6.31. Ales-Fransa turist ofisi cephe PV uygulaması. (Kanan, 2012)

Orta Avrupa ülkelerinde güneye yönlendirilmiş ve 40°-60° açılarda uygulanan eğimli yüzeyler; elektrik üretimi açısından en yüksek performansı sağlamaktadırlar. Şekil 6.32'deki Freiburg'da bulunan Solar-Fabrik binası, 56,5 kWp'lik PV sistem kapasiteli bir tesistir. Binanın cephede 275 m^2, çatıda 300 m^2 PV alanı mevcuttur. Güneye yönelecek şekilde eğimli montajı yapılan PV sistemde Monokristal silikon panel türü kullanılmıştır.



Şekil 6.32. Solar-Fabrik; Freiburg, Almanya. (solar-fabrik.de, 2020)

PV paneller cephede cam kısımlara ek olarak uygulama yapılabilmektedir. Bu uygulamalar için yarı şeffaf paneller tercih edilmektedir. Şeffaf PV paneller sayesinde bina içi aydınlığı açısından bir kayıp olmamaktadır. Şekil 6.33'deki bina cephesinde 37 m^2'lik alan kullanılmıştır ve 4,2 kWp kurulu güç elde edilmiştir.



Şekil 6.33. Büro Binası – Aachen, Almanya. (Kılıç, 2011)

Geniş kapsamlı proje içeriği olarak Almanya Köln'de 92 konut cephesi PV sistem eklemesi yapılmıştır. Program çerçevesinde ilk enerji verimli konut sitelerinden biri haline gelmiştir. Ek yalıtım gibi uygulanan önlemler nedeniyle, ısıtma talebi yüzde 50'den fazla azaltılabildi. Ayrıca binanın çatısına yerleştirilen güneş enerjisi sistemi, evsel sıcak su talebinin % 30'unu karşılamaktadır. Cepheye entegre edilmiş renkli PV paneller bina başına 0,1 kWp, toplam PV sistemi 9,3 kWp güç kapasitesine sahiptir. (Şekil 6.34)



Şekil 6.34. Köln, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Bursa'da bir firma genel müdürlüğü olarak inşa edilen binanın çatısı ve cephesi verimli kullanılması amacıyla PV sistemler eklenmiştir. Çatıda 42,64 kWp, cephede

3,528 kWp kapasiteli PV sistem kurulumu vardır. Ayrıca binada 4 kW kapasiteli rüzgar türbini mevcuttur. Toplamda yıllık 5200 kWh elektrik üretimi olacağı öngörülmektedir. Bina tasarımı tamamen çevreci bir yapı olması üzerine yoğunlaştırılmıştır. Yapılan çevreci bina çözümleri sayesinde tasarım bu kapsamda LEED Uluslararası ödüle layık görülmüştür. (Şekil 6.35)



Şekil 6.35. Bursa, Türkiye. (Bursagaz, 2020)

Almanya'da bulunan bir mağaza cephesine PV sistemlerinin uygulanabilirliğine dikkat çekmek için yapılmıştır. 12 kWp kapasiteli sistemde polikristal panel seçimi yapılmıştır. (Şekil 6.36)



Şekil 6.36. Zara şubesi, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Çok aileli 10 katlı iki binanın tamamen yenilenmesi sırasında cepheler, her biri 230 metrekarelik PV panelleri ile kaplanmıştır. Ayrıca binalar ısı yalıtımlı olup, düz

çatılara kullanım sıcak su kollektörleri eklenmiştir. Monokristal panellerin kullanıldığı PV sistemi toplamda 51 kWp kapasitelidir. (Şekil 6.37)



Şekil 6.37. Freiburg, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

6.2.4.4. Diğer PV Cephe Sistemleri

Şekil 6.38'de bulunan bina cephesinde pencere üstlerine hem gölgelenme sağlayacak hem de elektrik üretimi sağlayacak şekilde PV panelleri montajı yapılmıştır. Polikristal şeffaf paneller kullanılan sistem toplam gücü 4 kWp'dır.



Şekil 6.38. Baden, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Bina tasarımı, ‘Pasif Ev’ enerji standardını karşılayan yenilikçi bir enerji konseptine sahiptir. Kullanılan özellikler arasında, güneye bakan cephenin sabit bir PV sistemi ve camlı atriyum çatıda PV sistemi de bulunmaktadır. Güneye bakan cephenin önünde 54 PV paneller sabit monte edilmiştir. Cephede 5,076 kWp kapasite ile toplam 61.66 m²’de PV sistemi vardır. Çatı PV sistemi 80,3 m²'lik bir alanı kaplar ve toplam 4,36 kWp PV kapasitesine sahiptir. Bina toplamda 9 kWp enerji kapasitelidir. (Şekil 6.39)



Şekil 6.39. Hameln, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

Şekil 6.37‘de cepheye açılı bir şekilde monte edilmiş PV uygulaması görülmektedir. Monokristal PV paneller kullanılan cephede toplam 23 kWp güç kapasitelidir. Panellerin cepheye montaj çizimi Şekil 6.40’da görülmektedir.



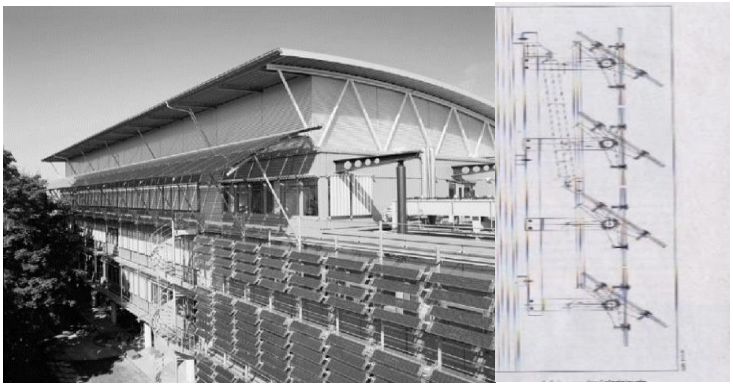
Şekil 6.40. Freiburg, Almanya. (pvdatabase.org, 2020)

İspanya’da bulunan hotelin cephesine güneş kırıcı olarak PV sistem entegre edilmiştir. Sistemde monokristal panel kullanılmıştır ve 54 kWp kapasitelidir. (Şekil 6.41)



Şekil 6.41. Malaga, İspanya. (pvdatabase.org, 2020)

PV panellerin sabit veya hareketli güneş kırıcı olarak cephe ve saçaklara uygulanması da mümkündür. Erlangen Üniversitesi cephesinde düzenlenen çerçevesiz hareketli modüllerin mekanizması de Şekil 6.42'de yer almaktadır. Cephede toplam 30 kW'lık kurulu güç mevuttur.



Şekil 6.42. Hareketli PV cephe uygulaması ve ayarlanabilir gölgeleme elemanları, Erlangen Üniversitesi, Almanya. (Murr, 2020)

BÖLÜM 7

PVSYST UYGULAMASI İLE ENERJİ ANALİZİ

PvSyst programı İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. PV sistemler için boyutlandırma, simülasyon ve veri analizi yapılabilir. PvSyst programı ile şebekeye bağlı, şebekeden ayrı sistemler ve pompalama sistemi için modellemeler yapılabilmektedir.

PvSyst yazılımı analizleri gerçekleştirirken birçok parametreyi barındırmaktadır. Bu parametreler; meteorolojik veriler, güneş ışınım değerleri, gölgelenme analizleri, yerleşim planları, konum özellikleri ve sistem elemanları özellikleri gibi detayları içermektedir.

PvSyst programının ara yüzü Şekil 7.1'de gösterilmektedir. Tasarlanacak sistem için geçerli olan seçenek seçilerek analize başlanabilir. Ayrıca veritabanı kullanılarak sistem elemanlarının detaylarına ulaşılabilmektedir.



Şekil 7.1. PvSyst V6.86 ara yüzü.(PvSyst)

Programın kütüphanesinde konumlara göre veriler yer almasına rağmen her konum tanımlı değildir. Analiz yapılacak konumu belirlenmiş yer için programın kütüphanesine tanımlama yapılabilmektedir. Kütüphaneye eklenebilen en önemli özellikler; gölgelenme analizi, belirlenen konumun tanıtılması olarak kabul edilebilir.

Gölgelenme etkisi ile büyük oranda güç düşümü olmaktadır. Bu nedenle, güneş enerji sisteminin kurulacağı bölgenin yıl boyunca minimum gölgeye maruz kalması istenmektedir. Örneğin, PV sistemin kurulacağı çatı etrafına göre yüksek olmasına rağmen güneş açısının daha yatay açıyla geldiği zamanlarda gölgelenmeye maruz kalabilir ve üretim gücü düşmektedir. Sonuç olarak güneş enerjisi santrali için yer seçiminin çok büyük önemi olmaktadır. PvSyst programı gölgelenme analizlerinden ayrıca cihaz ile ölçüm yapılması gerekirse bu alanda en önemli aletlerden bir tanesi olan Solmetric firmasına ait SunEye gölge ölçüm cihazı kullanılabilmektedir.

Suneye, PV sistemin kurulacağı konum seçilirken güneşlenme açısından en uygun alanın belirlenmesini sağlamaktadır. Konum seçildikten sonra, seçilen sahanın gölgelenme analizini yaparak, güneşlenme sürelerini daha hassas ölçülebilmesini ve güneş panellerinin güneşten maksimum faydalanacak şekilde konumlanmasını sağlayan cihazdır. Balık gözü mantığı ile çalışan bu cihaz, GPS bağlantısı ile bulunduğu noktada güneş yörüngesini belirlemekte ve çektiği fotoğraf üzerinde gölgelenme analizi yapabilmektedir. Suneye cihazının görüntüsü Şekil 7.2'de bulunmaktadır.



Şekil 7.2. Suneye gölge ölçüm cihazı.(solmetric, 2020)

Meteonorm, Küresel Enerji Dengesi Arşiv Verilerine (GEBA) benzersiz erişim sunmaktadır. GEBA verileri, ulusal hava durumu hizmetlerinden gelir ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) kalite gereksinimlerini karşılar niteliktedir. Ayrıca Baseline Yüzey Radyasyon Ağı BSRN veya MeteoSwiss ve Alman Hava Durumu

Servisi gibi yüksek kaliteli ölçüm ağlarını da içerir. 1981-1990 ve 1996-2015 referans dönemleri küresel ölçekte küresel radyasyon için, diğer meteorolojik parametreler için 1961-1990 ve 2000-2019 dönemleri mevcuttur. Meteonorm, radyasyon ve sıcaklık verilerinden fazlasını sağlar ve dünya çapında her konum için 30'dan fazla farklı meteorolojik parametreye erişim sağlar.

PvSyst, Suneye ve Meteonorm yazılımlarının hangi özellikte analizlere sahip olduları ve arasındaki ilişki Şekil 7.3'de gösterilmektedir.



Şekil 7.3. PvSyst, Suneye ve Meteonorm arasındaki ilişki. (Girgin, 2011)

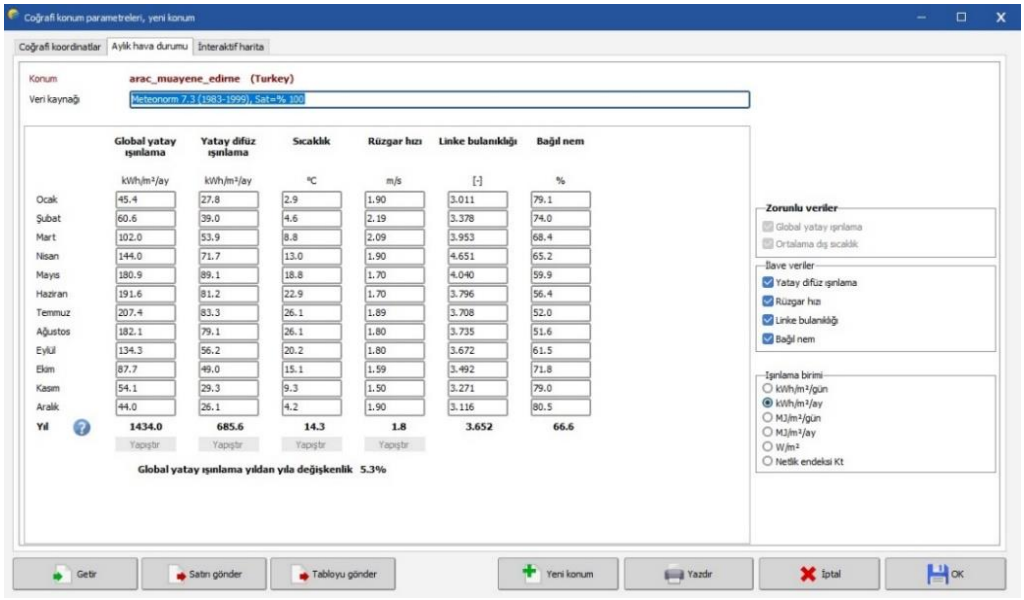
Meteonorm ve Suneye programlarından sağlanacak verilerin PvSyst programı üzerinde işlenmesi neticesinde güneş enerji santralinin günlük, aylık ve yıllık performans analizi ve üretilecek enerji miktarı hesaplanabilmektedir. PvSyst, güneş enerji sistem tasarımları için dünya üzerinde en yaygın olarak kullanılan ve en çok güvenilen analiz programıdır. PvSyst program sonuçları ile sahada elde edilen sonuçların yapılan araştırmalar çoğu zaman eşleştiğini göstermektedir. Yüzde olarak değerlendirilirse, PvSyst'den elde edilen sonuçlarda ± % 5'lik bir hata payı belirtilmektedir.

Bir konum için analiz yapılacaksa bölgeye ait coğrafi ve iklimsel özelliklerden;

- Denizden yüksekliği (rakım),
- Direkt güneş ışınımı kazancı açısından panellerin optimum eğim açısı,
- Aylık ortalama güneş ışınımı,
- Aylık ortalama hava sıcaklığı

değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

PvSyst programı üzerinden PV sistemin kurulacağı Edirne ili için Meteonorm verileri Şekil 7.4'de yer almaktadır. Elde edilen veriler neticesinde yıllık ortalama 14,3° sıcaklık ve 1,8 m/s rüzgar hızı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.4. Edirne için aylık Meteonorm verileri. (PvSyst)

Aylara göre global yatay ışınlama, difüz ışınlama, sıcaklık, rüzgar hızı ve bağıl nem değerlerine ulaşılabilmektedir. Bu değerler PV sistem kurulumunda kullanılmaktadır.

PVsyst V.6.86 programı açıldığında gelen ekran Şekil 7.5'de görüldüğü gibidir. Burada programın ön tasarım, proje tasarımı ve veritabanları seçenekleri görülebilir. Proje tasarımı için 'Project design' butonu seçilmiştir.

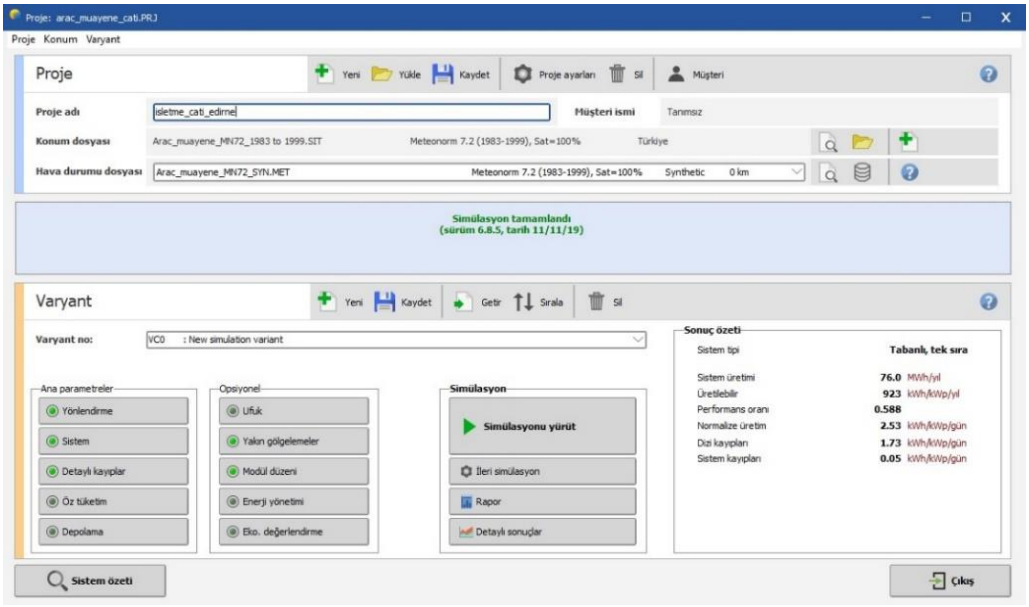


Şekil 7.5. Project design sistem seçim ekranı.(PvSyst)

Yapılacak projenin özelliğinin seçildiği ekran Şekil 7.5'de bulunduğu gibidir. Proje tasarımı başlığı altında; şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, pompalama ve DC şebeke seçenekleri vardır. Tasarlanacak proje amacına uygun olan sistem seçimi yapılabilir. Bu projede şebeke bağlantılı 'Grid-Connected' butonu seçilerek bir sonraki aşamaya geçilir.

Programda şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompalama seçenekleri üzerinde tasarım ve hesaplama yapılabilmektedir. Şebekeye bağlı tasarım da diğer tasarımlara ek olarak ana parametrelerde; öz tüketim, opsiyonel seçeneklerde; modül düzeni ve enerji yönetimi bulunmaktadır.

'Project Design' içeriğinde bulunan adımlar Şekil 7.6'da yer almaktadır. Verilerin tanımlaması yapılmadan önce konumun seçilmesi gerekmektedir. Daha sonra azimut ve tilt açıları seçimi, sistem parçalarının seçimi, binanın çizimi, PV alan çizimi, panellerin dizlimi, gölgelendirme analizi ve simülasyonun çalıştırılması yapılmıştır.



Şekil 7.6. Project Design içerik görünümü. (PvSyst)

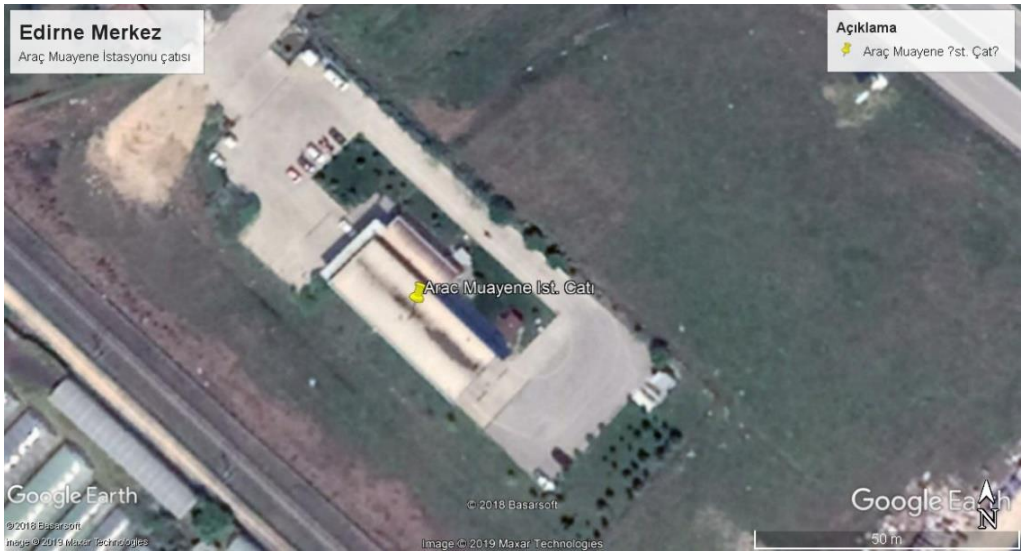
7.1. PvSyst V6.86 Demo Programı Hakkında

PvSyst programı gerçek verilere yakın sonuçlar verebilmesi ve kayıp faktörlerinin verimli kullanılabilmesi nedeniyle PV sistemleri üzerine çalışan mühendisler için tercih edilebilir bir programdır. Program içerikleri sayesinde maliyet analizleri de yapılabilmektedir.

Firmaların ve mühendislerin ücretli olarak tam sürümünü kullanabileceği programın deneme sürümü de mevcuttur. Ayrıca analiz yapmak isteyen öğrenciler için kolaylık sağlanmaktadır. Tezde yapılan hesaplamalar PvSyst programının demo sürümü kullanılarak yapılmıştır.

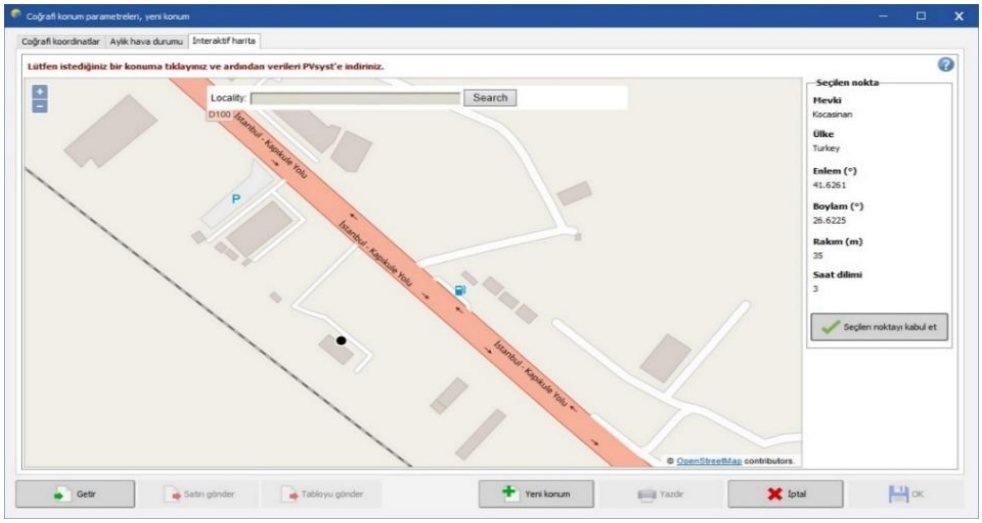
7.2. PV Sistemin Kurulacağı Çatı Konumu ve Özellikleri

Öncelikle sistemin kurulacağı bina çatısının Google Earth Pro programı ile haritadaki konumu belirlenmiştir. Belirlenen konumun 41˚37'34" kuzey paraleli, 26˚37'21" doğu meridyeni üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Edirne ilinde iklim olarak karasal iklim hakimdir. Bu durumda panel verimi ve güneş ışınım süresi direkt olarak üretimi etkilemektedir. (Şekil 7.7)



Şekil 7.7. PV sisteminin kurulacak işletme çatısının Google Earth Pro görüntüsü. (GoogleEarth Pro– 2020)

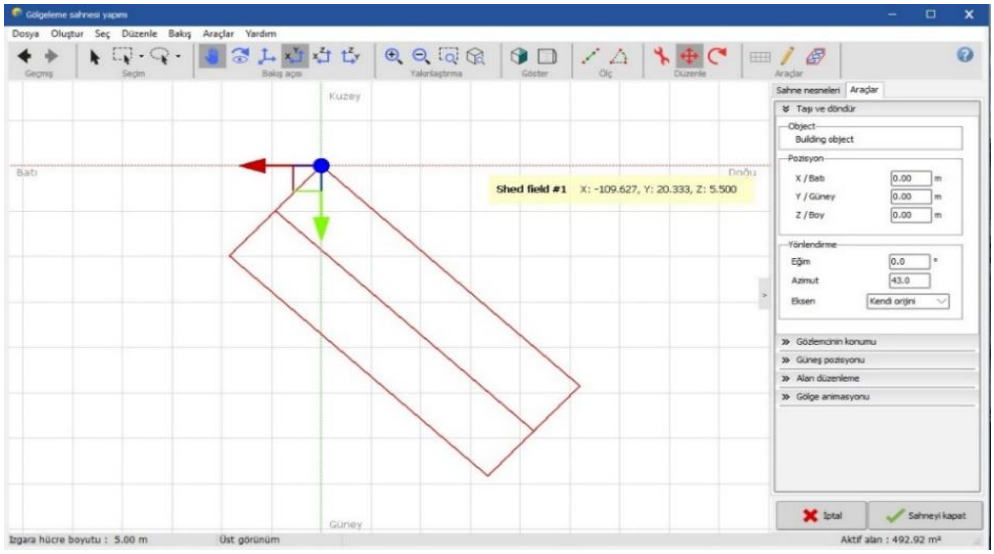
Program altyapısında Edirne ili olmadığı için, programın haritasından tam konumu seçerek altyapısına eklenebilmektedir. Analiz yapacağımız çatının konum seçimi Şekil 7.8'de yer almaktadır. Hesaplama koordinatları Google Earth programı ile belirlendiği gibi seçilmiştir.



Şekil 7.8. Analiz yapılacak çatının PvSyst programında koordinat seçimi. (PvSyst)

Proje dizaynı yapabilmemiz için Project Design verileri girilirken ilk önce konumu seçmemiz gerekmektedir. Analiz yapacağımız yerin konum tanımını yaptığımız için geçerli konumun seçimini yapılabilir.

Binanın haritadaki konumundan yola çıkarak tezin 3.2 başlıklı bölümündeki bilgiler kullanılarak güneye ile yaptığı azimut açısı belirlendiğinde 43˚ olduğu bulunmaktadır. Bina azimut değeri, PvSyst programında bina çiziminin yapıldıktan sonra güneşe göre doğru konumlandırılması için kullanılacaktır. Şekil 7.9'da PvSyst programında bina çatısının iki boyutlu çizimi ve azimut değeri ile haritadaki konumu yer almaktadır.

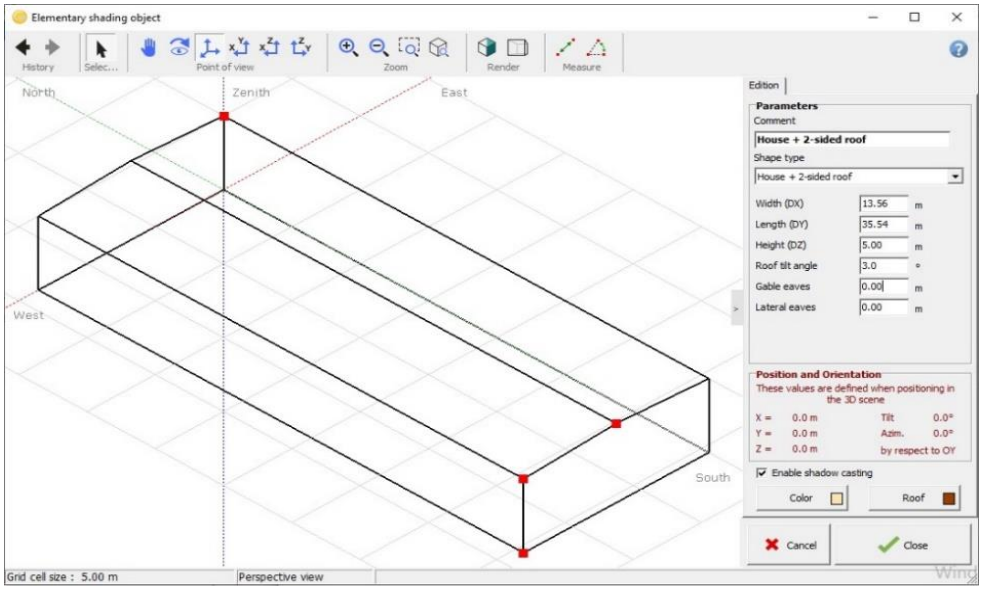


Şekil 7.9. PvSyst programında bina azimut açısı. (PvSyst)

Azimut açısı belirlenmiş çatının ölçüleri ve çatı eğim açısı programa girilmektedir. Bina ölçüleri aşağıda yer almaktadır.

En:	13,56 metre
Boy:	35,54 metre
Yükseklik :	5 metre
Çatı Açısı:	3°

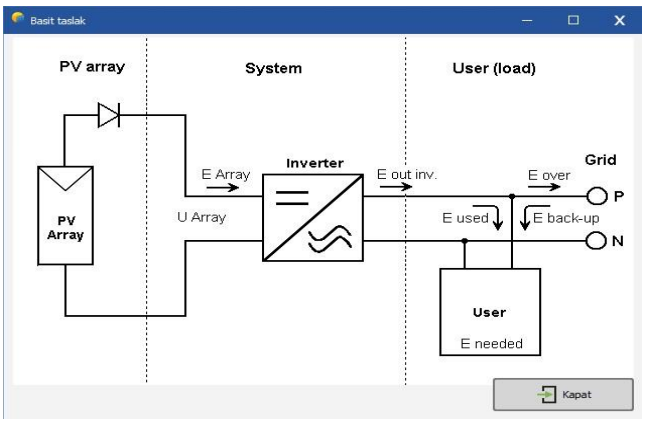
Şekil 7.10'da binanın program üzerinde üç boyutlu çizimi yer almaktadır.



Şekil 7.10. PvSyst programında binanın üç boyutlu çizimi. (PvSyst)

7.3. PV Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi

Sistemin genel akış şeması, programın sistem özelliklerinin belirleneceği kısmında Şekil 7.11'de görüldüğü gibi temel olarak şekillendirilmiştir. Şemadan yola çıkarak PV dizininden elde edilen doğru akım, invertör sistemine giriş sağlar ve invertör alternatif akıma çevrilmesini sağlar. İnvertör çıkışından akım, kullanıcıya ve ihtiyaç fazlası şebekeye aktarılır. Bu döngü sistem çalıştığı süre boyunca kendini tekrar eder.

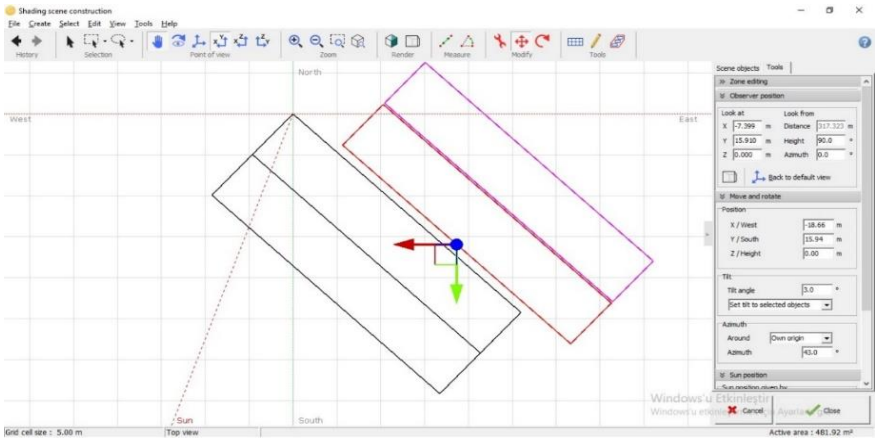


Şekil 7.11. Genel sistem akış şeması. (PvSyst)

PV sistemlerinde kullanılacak panellerin ve invertörlerin program üzerinden seçilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada monokristal ve polikristal panel seçimi

yapılmıştır. Bu sayede panel seçiminin performans ve maliyete etkisini karşılaştırılmıştır. Ayrıca, mevcut bina konumunun azimut açısı ve maksimum verim elde edilebilecek bina azimut açısı programa işlenerek, çıkan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

Özelliklerin belirlenebilmesi için PvSyst programı üzerinden PV alanının belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen alan üzerinden panellerin azimut açısı ve tilt açısı belirlenmelidir. PV alanı ile çatı alanı eşit ve aynı yöne doğru konumlandırılmıştır. Bu şekilde maksimum alan ile analiz yapılmıştır. Analizde mevcut bina konumuna göre ve maksimum verim sağlanabilecek konumlandırmaya göre hesaplamalar yapılmıştır. Örnek olarak; mevcut durumdaki konuma göre bina ve panellerin azimut açısı 43˚ ile yönlendirilmiştir. (Şekil 7.12)



Şekil 7.12. Çatı alanı ve PV alanı.(PvSyst)

7.3.1. PV Panellerin Belirlenmesi

PV panellerinin ayrıntılı incelemesi Bölüm 6'da yapılmıştır. Paneller, kristal yapılı güneş hücreleri ve ince film güneş hücreleri olmak üzere ikiye ayrılır. Analizlerde kullanılan güneş hücreleri kristal yapılı güneş hücrelerinde monokristal ve polikristal yapılı panellerdir. Aynı panel gücüne sahip PV paneller seçilmiştir. Yapılan analizler paneller arasındaki üretim ve maliyet farkına varılması amaçlamaktadır.

Analizlerde kullanılacak olan PV panellerin bilgileri aşağıda bulunmaktadır;

Monokristal (m-Si): CSUN Solar 280 60M.PAN

Polikristal (p-Si): CSUN Solar 280 60P.PAN

Panellerin fiziksel özellikleri Çizelge 7.1'de görülmektedir. Panellerin teknik özelliklerini içeren üretici tabloları monokristal için Çizelge 7.2'de, polikristal için Çizelge 7.3'de yer almaktadır.

Çizelge 7.1. Seçilen PV panel özellikleri. (CSun)

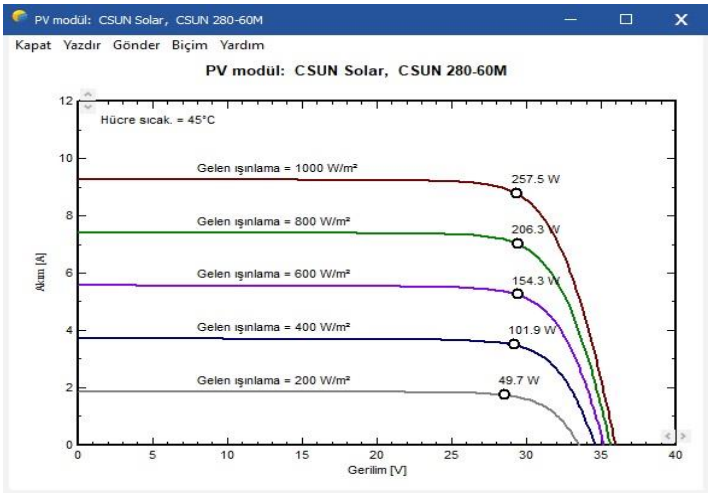
PV Panel		
Kristal Yapısı	**Mono Kristal**	**Poli Kristal**
Panel Gücü (Wp)	280	280
Modül Verimi (%)	17,24	17,25
Panel Boyutu LxHxW (mm)	1640-990-35	1640-990-35
Panel Alanı (m^2)	1,624	1,624
Hücre Sayısı	60	60

Monokristal panelin ayrıntılı özellikleri Çizelge 7.2'de yer almaktadır. Panelin katalog bilgileri *Ek-1*'de bulunmaktadır.

Çizelge 7.2. Monokristal panel teknik özellikleri.(CSun, 280 60M)

Standart Test Şartları (1000W/m^2, Spectrum AM 1.5G, 25 °C) tolerans ±%3	
Model	**CSUN 280 60M**
Çıkış Gücü (P_{mpp})	280 Wp
Çalışma Gerilimi (V_{mpp})	31,45 V
Çalışma Akımı (I_{mpp})	8,91 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	39,01 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9,35 A
Modül Verimi %	% 17,25
Maksimum Sistem Gerilimi (V_{sys})	1000 V
Sınırlayıcı Ters Akım (I_R)	20 A
NOCT şartlarında 45°C hücre sıcaklığı (800W/m², 20°C hava sıcaklığı, spectrum AM 1.5 G, tolerans ±%5)	
Çıkış Gücü (P_{mpp})	202 Wp
Çalışma Gerilimi (V_{mpp})	29,32 V
Çalışma Akımı (I_{mpp})	7,07 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	36,48 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	7,51 A
Sıcaklık Özellikleri	
Modül çalışma sıcaklık aralığı (°C)	-40 ile +85 arası
V_{oc} sıcaklık katsayısı (K_{Voc})	-0.307%/K
P_{mpp} sıcaklık katsayısı (K_{Pmpp})	-0.423%/K
I_{sc} sıcaklık katsayısı (K_{Isc})	+0.039%/K

Şekil 7.13'de 280 Watt'lık yük için Monokristal panelin karakteristik eğrisi gösterilmektedir. Eğrilerde gelen ışıma değerleri için akım-gerilim grafiği görülmektedir.



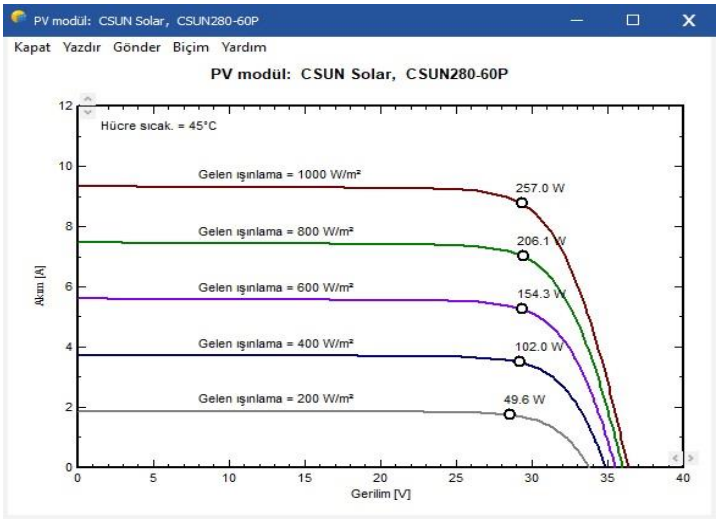
Şekil 7.13. PV modül karakteristik eğrisi.(PvSyst)

Polikristal panelin ayrıntılı özellikleri Çizelge 7.3'de yer almaktadır. Panelin katalog bilgileri *Ek-2*'de bulunmaktadır.

Çizelge 7.3. Polikristal panel özellikleri. (CSun, 280 60P)

Standart Test Şartları (1000W/m², Spectrum AM 1.5G, 25 °C) tolerans ±%3	
Model	**CSUN 280 60P**
Çıkış Gücü (P_{mpp})	280 Wp
Çalışma Gerilimi (V_{mpp})	31,49 V
Çalışma Akımı (I_{mpp})	8,89 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	38,74 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9,34 A
Modül Verimi %	% 17,25
Maksimum Sistem Gerilimi (V_{sys})	1000 V
Sınırlayıcı Ters Akım (I_R)	20 A
NOCT şartlarında 45°C hücre sıcaklığı (800W/m², 20°C hava sıcaklığı, spectrum AM 1.5 G, tolerans ±%5)	
Çıkış Gücü (P_{mpp})	206 Wp
Çalışma Gerilimi (V_{mpp})	29,65 V
Çalışma Akımı (I_{mpp})	7,05 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	36,48 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8,75 A
Sıcaklık Özellikleri	
Modül çalışma sıcaklık aralığı (°C)	-40 ile +85 arası
V_{oc} sıcaklık katsayısı (K_{Voc})	-0.292%/K
P_{mpp} sıcaklık katsayısı (K_{Pmpp})	-0.408%/K
I_{sc} sıcaklık katsayısı (K_{Isc})	+0.045%/K

Şekil 7.14'de 280 Watt'lık yük için Polikristal panelin karakteristik eğrisi gösterilmektedir. Eğrilerde gelen ışıma değerleri için akım-gerilim grafiği görülmektedir.



Şekil 7.14. PV modül karakteristik eğrisi.(PvSyst)

Panellerin karakteristik eğrileri karşılaştırılır ise aynı akım-gerilim değerleri ve gelen ışıma 1000 W/m²'de monokristal panelde 257,5 W elde edilirken polikristal panelde 257 W elde edilir.

7.3.2. İnvertörlerin (Çevirici) Belirlenmesi

Panellerin ürettiği doğru akımı alternatif akıma çeviren invertörlerin seçimi, sistem verimliliği açısından önemlidir. Seçilen invertörün gücü sistem için yeterli olmalıdır ve sisteme uyumlu seçim yapılmalıdır. Uygulamada AEG AS IC01 40000 modeli kullanılmıştır. Sistemin kapasitesine göre invertör sayısı PvSyst 6.86 programı tarafından belirlenmektedir. Bizim sistem tasarımımız için iki adet 40kW kapasiteli invertör yeterli olacaktır. Yapılan seçim neticesinde P_{nom} değişen panel seçimlerine göre 1,01 ve 1,03 olduğu bulunmaktadır. P_{nom} değerinin 1,20'nin altında olması sistemin verimi açısından önemlidir.

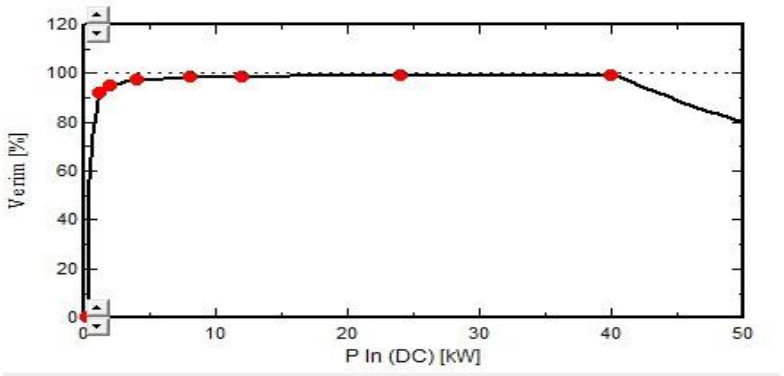
Seçilen invertörün özellikleri; istendiğinde invertör eklemesi yapılarak sistemin genişletilebilmesi, yüksek verimliliğe sahip olmaları ve kompakt olmalarıdır. Ayrıca seçilen invertörün veri kaydetmeve izleme özelliği bulunmaktadır.

İnvertörün teknik özellikleri Çizelge 7.4'te yer almaktadır. Cihazın katalog bilgileri de *Ek-3*'de bulunmaktadır.

Çizelge 7.4. İnvertör özellikleri. (AEG, AS-40kW)

Marka	**AEG**
Model	AS-IC01-40000
Maksimum Giriş Gücü (P_(PV,max))	55 kW
DC Gerilim Aralığı, (mpp)	570/950 V
Maksimum DC Gerilimi	1100 V
Maksimum DC Akımı	74 A
Nominal Çıkış (AC) Akımı	63,5 A
Maksimum Çıkış Gücü	40 kW
Çıkış Frekansı	50/60 Hz
Verim (Euro-eta)	98,50
Öz tüketim	<0,5 W
En/Yükseklik/Derinlik (mm)	645×810×235
Ağırlık	53 kg
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-25 ile +60 arası

Seçilen invertörün verimlilik eğrisi Şekil 7.15'de bulunmaktadır.



Şekil 7.15. İnvertör verimlilik eğrisi. (PvSyst)

7.3.3. Seçilen Komponentlerin Uyumluluk Analizi

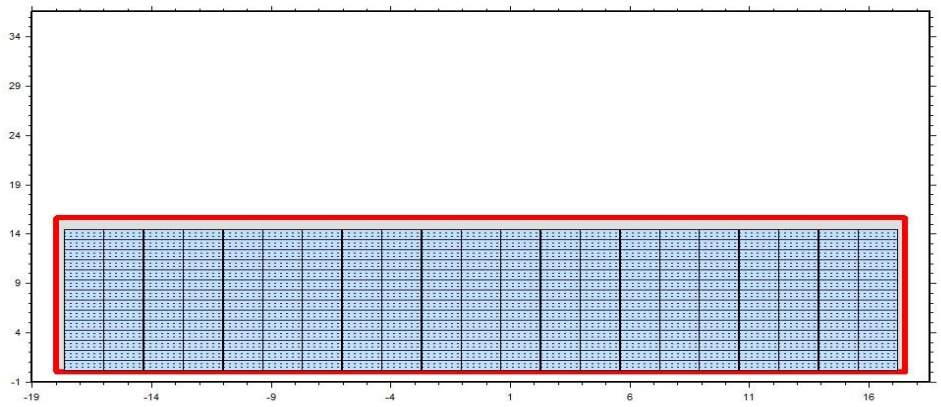
Seçilen panellerin ve invertörün teknik detayları ile belirlenen il için elde edilmiş sıcaklık verileri kullanılarak uyumluluk analizi yapılmalıdır. Seçilen sistem elemanları ve adetleri Çizelge 7.5'de belirtilmiştir. Sistemin belirlenen PV alanı için 82,9 kWp

kurulu gücü bulunmaktadır. Sistemde 2 adet 40 kW kapasiteli evirici ve 14 dizide toplam 294 panel kullanılmaktadır.

Çizelge 7.5. Seçilen konfigürasyon detayları.

Kurulu Güç (kWp)	Evirici Gücü (Kw) ve Adedi	Panel Güç (Wp) ve Adedi	Dizide Panel Sayısı
82,9	AEG AS IC01 40000 – 40 kWAC 2 Adet	CSUN Solar 60P ve 60M - 280 Wp 294 Adet	21

PV panellerin dikey veya yatay olarak PV alanına dizilimi program üzerinden belirlenebilmektedir. Yapılan tasarımlarda PV panellerin yatay olarak dizilim yapılacağı şekilde tasarlanmıştır. Şekil 7.16'da panellerin PV alanına yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 7.16. PV panellerin modül düzeni. (PvSyst)

NOCT koşullarına göre en yüksek panel hücre sıcaklığı denklem 7.1'e göre bulunmuştur. T_c = Hücre sıcaklığı, T_{amb} = En yüksek ortam sıcaklığı, G=NOCT koşulu için ışınım değeri (800W/m²). (Köse, 2018)

$$T_c = T_{amb} + (0{,}0256 \times G) \quad (7.1)$$

T_c= 44,1+(0,0256×800)= 64,5 °C

Maksimum gerilim noktası önemli parametrelerin başında gelmektedir. Panel dizilerin için maksimum gerilim, denklem 7.2 ile hesaplanmıştır. Kullanılan en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) veritabanı ile edinilen 50-70 yıllık veriler esas alınmıştır. En yüksek panel sıcaklığı, bölge

sıcaklıklarına göre kavramsal olarak belirlenmiştir. Çizelge 7.6'da Edirne için en yüksek, en düşük ve panel altı sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sıcaklık değerleri hesaplamaların ana bileşenini oluşturmaktadır.

Çizelge 7.6. Edirne için sıcaklık değerleri. (MGM)

İl	**Sıcaklık (°C)**		**Panel Sıcaklıkları (°C)**
	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek
Edirne	44,1	-19,5	64,5

Denklem 7.2 kullanılarak Edirne için hesaplamalar yapılmıştır.

$$\Delta V_{OC} = \frac{V_{OC}(\Delta T\, K_{VOC})}{100} \quad (7.2)$$

Monokristal panel için;

ΔV_{OC} = [39,01 × (-19,5 -20) × (-0,307)] / 100 = 4,73 V

-19,5 °C modül gerilimi = $V_{oc} + \Delta V_{oc}$ = 39,01 + 4,73 = 43,74 V

21'li panel dizisi için maksimum gerilim= 43,74 × 21 = 918,55 V

Polikristal panel için;

ΔV_{OC}= [38,74 × (-19,5 -20) × (-0,292)] / 100 = 4,46 V

-19,5 °C modül gerilimi = $V_{oc} + \Delta V_{oc}$ = 38,74 + 4,46 = 43,20 V

21'li panel dizisi için maksimum gerilim= 43,20 × 21 = 907,37 V

Doğru akım tarafında maksimum sistem gerilimi panel üreticisinin beyanı ile 1500 V ve invertör üreticisinin beyanı ile 1100 V olarak belirlenmiştir. 21 seriden oluşan iki panel çeşidi için de modül dizileri 1100 V 'un altında olduğu için tasarım uygundur.

Ortam sıcaklığı arttıkça fotovoltaik hücrelerin gerilimi düşer. Gerilim, invertör verim sınırlarının dışına çıkması durumunda üretilen enerjinin bir kısmının kaybolması söz konusu olur. Bu nedenle PV panel serilerinin çalışma koşullarındaki en düşük sistem geriliminin evirici maksimum verim sınırları içinde kalması önemlidir. Panel serilerinin en düşük sistem gerilimini bulmak için denklem 7.3'den faydalanılmıştır.

$$\Delta V_{mpp} = \frac{V_{mpp}(\Delta T\ K_{Pmpp})}{100} \quad (7.3)$$

Edirne için en yüksek sıcaklık değeri 44,1 °C'dir. Bu ortam sıcaklığından yola çıkarak tahmini hücre sıcaklığı 64,5 °C kabul edilmiştir.

Monokristal panel için;

ΔV_{mpp} = [29,32 × (64,5-20) × (-0,423)] / 100 = -5,51 V

64,5 °C'de modül gerilimi = $V_{mpp} + \Delta V_{mpp}$ = 29,32 – 5,51 = 23,80 V

21'li panel dizisi için minimum voltaj = 21 × 23,80 = 499,81 V

Polikristal panel için;

ΔV_{mpp} = [29,65 × (64,5-20) × (-0,408)] / 100 = -5,38 V

64,5 °C'de modül gerilimi = $V_{mpp} + \Delta V_{mpp}$ = 29,65 – 5,38 = 24,26 V

21'li panel dizisi için minimum voltaj = 21 × 24,26 = 509,60 V

İnvertör üreticisinin beyanında maksimum verim için 570-950 V gerilim aralığı verilmiştir. Bu açıdan gerilim değerleri uygundur.

Panel serilerinin en yüksek kısa devre akımını bulmak için denklem 7.4'den faydalanılmıştır.

$$\Delta I_{ısc} = \frac{I_{ısc}\ (\Delta T\ K_t)}{100} \quad (7.4)$$

Monokristal panel için;

$\Delta I_{ısc}$ = [9,35 × (64,5-20) × 0,039] / 100 = 0,1622 A

64,5 °C modül akımı = $I_{ısc} + \Delta I_{ısc}$ = 9,35 + 0,1622 = 9,512 A

4 paralel bağlantıda Mppt giriş akımı = 9,512 × 4 = 38,049 A

Polikristal panel için;

$\Delta I_{ısc}$ = [9,34 × (64,5-20) × 0,045] / 100 = 0,1870 A

64,5 °C modül akımı = $I_{ısc} + \Delta I_{ısc}$ = 9,34 + 0,1870 = 9,527 A

4 paralel bağlantıda Mppt giriş akımı = 9,527 × 4 = 38,108 A

Üretici tarafından beyan edilen 4 MPPT girişi için toplam maksimum giriş akımı 74 A olduğu için sistem çalışma akımı açısından uygundur. Yapılan hesaplamalar ve incelemelerden de görüleceği üzere seçilen konfigürasyon uygundur.

7.4. PV Sistemlerinin Analizi

Sistemin kurulacağı çatı alanı (480 m²) referans alınarak program hesaplatmalar yapılmıştır. 480 m^2 olan çatı alanımız programa girilince, panel boyutları, panel serileri arasındaki mesafe ve panel açıları hesaplamaya katılarak 477 m² verimli alan ortaya çıkmıştır. Seçilen PV panele göre çatı üzerinde kullanılacak maksimum panel sayısı 294 olmaktadır. Paneller 14 dizin olarak dizilecek ve her dizinde 21 panel konumlandırılmıştır. Panel sayısından yola çıkarak sistemin kapasitesine göre 2 adet invertör kullanılması gerekmektedir.

PvSyst programında kullanılan parametreler belirlendiği gibi program girişleri yapılmıştır. Yapacağımız analizlerde 4 farklı bina çatısı için hesaplatma ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Her durum için farklı panel yapıları da kullanılarak analizler hesaplatılmıştır. Çizelge 7.7'de analiz yapılan sistemlerin ayrıntılı görünüm tablosu oluşturulmuştur.

Çizelge 7.7. Analiz yapılan sistemler.

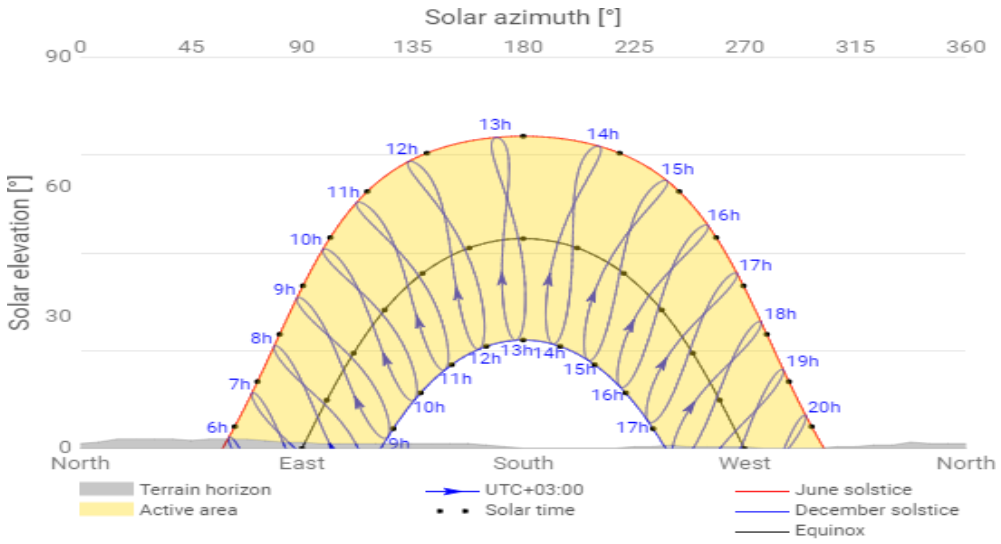
Analiz Başlığı	**Panel Tilt Açısı (°)**	**Bina Azimut Açısı (°)**	**Sehpa Tasarımı**	**Panel Türü**
7.4.1.1.	3	43	Sıralı	Monokristal
7.4.1.2.	3	43	Sıralı	Polikristal
7.4.2.1.	30	43	Tek	Monokristal
7.4.2.2.	30	43	Tek	Polikristal
7.4.3.1.	30	0	Tek	Monokristal
7.4.3.2.	30	0	Tek	Polikristal
7.4.4.1.	3	0	Tek	Monokristal
7.4.4.2.	3	0	Tek	Polikristal

Güneş azimut açısı, bir bölgede ve zamanda, güneşe doğru varsayılan doğrunun, yataydaki izdüşümünün güney doğrultusu ile arasındaki açıdır. Bu açı değeri iki ana

başlıkta farklılık göstermektedir. Farklılıklar iki analizde mevcut bina konumunun güneş azimut açı değeri kullanılarak, diğer iki analizde ise maksimum verim sağlayacak şekilde bina konumlandırılması durumda hesaplamalarda kullanılacak olan güneş azimut değeri kullanılarak olmuştur.

Yapılan analizlerin sonuçları verilirken, analizin yapıldığı geçerli konum için o tarihe kadar programın altyapısından ortalama aylık üretim değerleri bulunmaktadır.

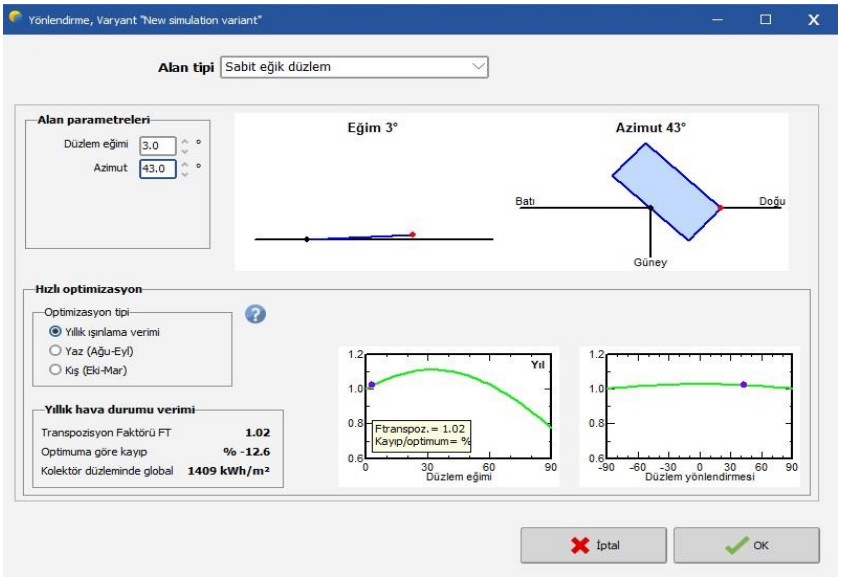
PV paneller, Edirne ili için maksimum güneş ışınımı elde etmek için Şekil 7.17'deki güneş yoluna göre en iyi yönlendirme için optimize edilmiş ve gösterildiği gibi eğim açısının 33° ve azimut açısının 0° olması gerektiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 7.17. Ufuk çizgi diyagramı. (PvSyst)

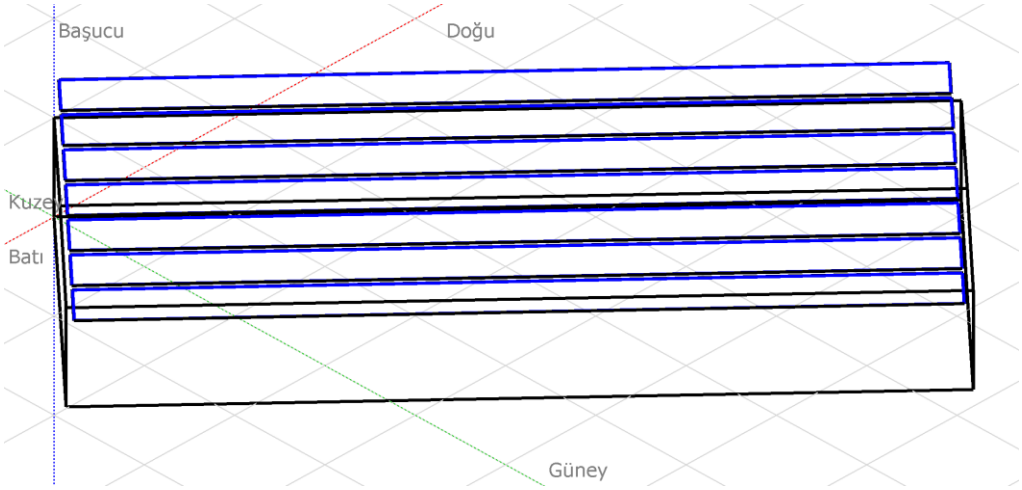
7.4.1. Mevcut Bina Konumu ve Panel Altı 3° Sistem Verileri (Azimut 43°, Tilt 3°)

İşletmenin güneş azimut açısı 43°, düzlem eğim açısı da 3° olarak analiz yapılmıştır. Panel eğim açısı bina çatı açısı ile aynı seçilmiştir. Mevcut konumunda yapılan iki analizde de yönlendirme ve bina yapısı aynı kullanılmıştır. Kullanılan panel tipleri farklı seçilmiştir. (Şekil 7.18)



Şekil 7.18. PV paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu.7.4.1.(PvSyst)

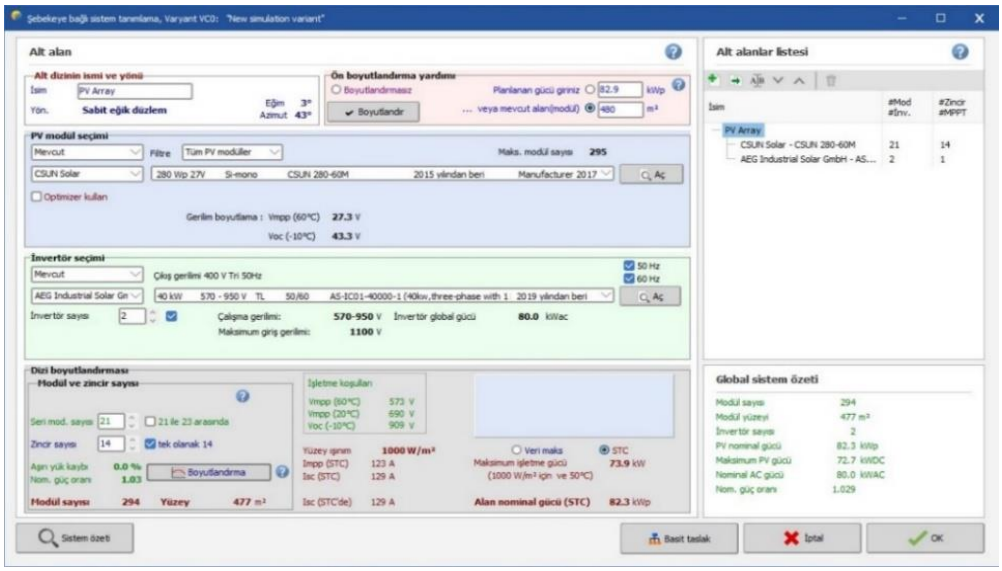
Mevcut konumda sadece panel tiplerinin değiştirilip yapılan analizlerde kullanılan PV dizinlerinin görüntüsü Şekil 7.19'da gösterilmektedir. Çizimden görüleceği üzere 7 panel serileri bulunmaktadır ve seriler bir biri ile paralel yer almıştır. Panel arkasında oluşacak gölgelenme kaybı en az olacak şekilde çatı alanı göz önünde bulundurularak paneller arası mesafe bırakılmıştır.



Şekil 7.19. Sıralı panel diziliminin görünüşü.7.4.1.(PvSyst)

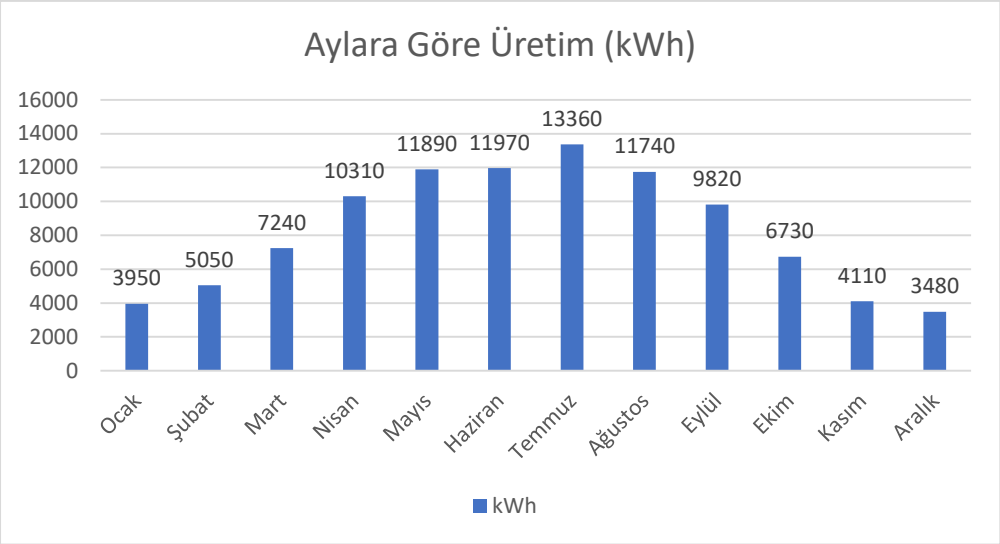
7.4.1.1. Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı

İşletmenin haritadaki azimut açısı belirlendiğinde 43° olduğu tespit edilmişti. Bina azimut değeri, PvSyst programında bina çiziminin yapıldıktan sonra güneşe göre doğru konumlandırılması için kullanılmıştır. Panellerin bakış yönü göz önünde bulundurularak azimut açısı 43° olarak belirlenmektedir. Bu uygulama için CSUN 280-60M panel seçimi yapılmıştır. Panel tilt açısı çatı açısıyla aynı olması nedeniyle 3° belirlenmiştir. Program üzerindeki sistem seçimi bilgileri Şekil 7.20'da yer almaktadır. Çatı üzeri PV alanı tasarımı yapılırken 7 sıra panel sehpası bulunmaktadır.

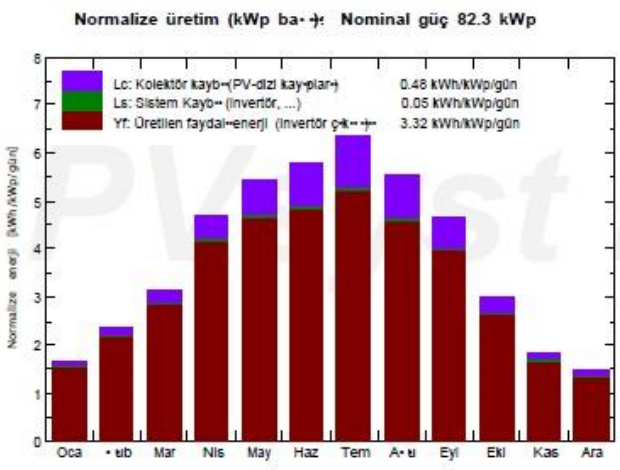


Şekil 7.20. Monokristal panel seçimli mevcut bina çatısı sıralı sehpa tasarımlı sistem bilgileri. (PvSyst)

Aylık üretim değerlerini Şekil 7.21'de görebiliriz. Üretim en fazla 13360 kWh ile temmuz ayında, en az ise 3480 kWh ile aralık ayında gerçekleşmektedir.



Şekil 7.21. Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay).7.4.1.1.(PvSyst)



Şekil 7.22. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.1.1. (PvSyst)

Şekil 7.22'de bulunan üretim ve kayıp faktörü grafiğinde mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Ortalama 0,48 kWp/gün kollektör kaybı ve 0,05 kWp/gün sistem kaybı olduğu grafikten görülmektedir.

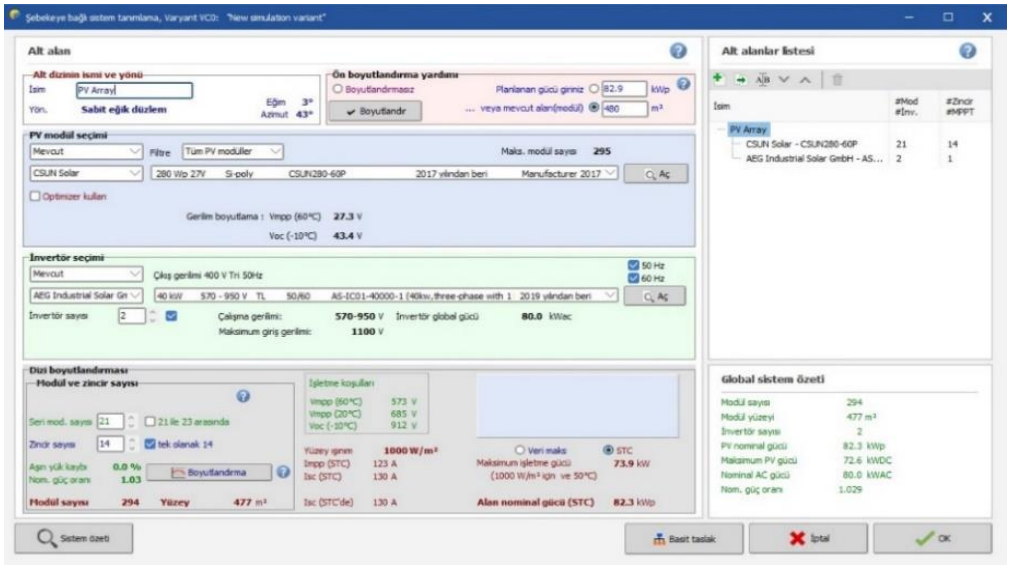
Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -6,67 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -4,17 ile globale göre IAM faktörü,% -1,53 ile invertör kayıbı ve % - 1,19 ile güneş ışınım kayıpları bulunmaktadır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-4*'te bulunmaktadır.

PvSyst programı ile yapılan 7.4.1.1. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **99,64 MWh**, sistem performans oranı **%86,20** olmaktadır.

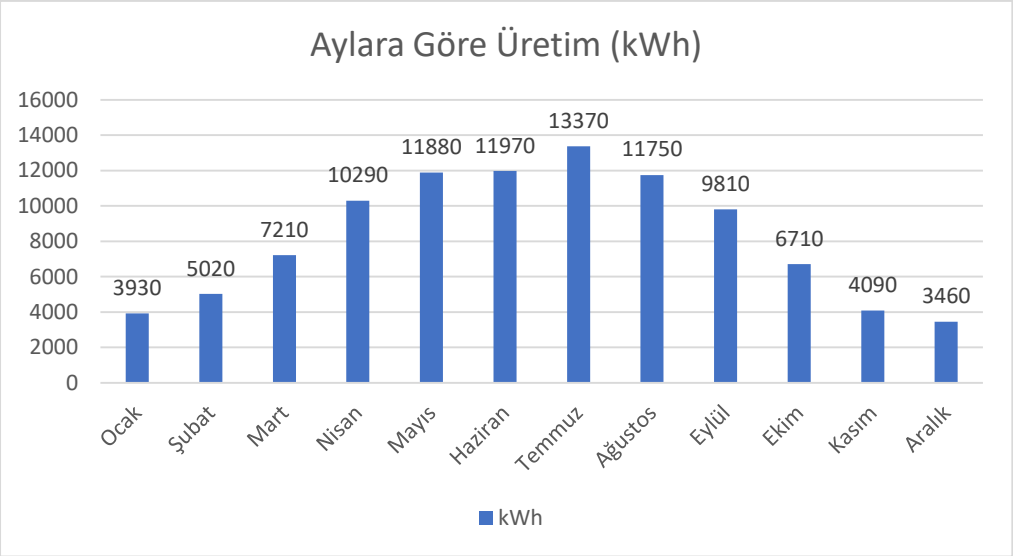
7.4.1.2. Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı

Bina açısı 43° olarak işleme koyulmuştur.7.4.1.1.'de yapılan incelemede olduğu gibi panel azimut açısı olarak 43°, panel tilt açısı da 3° olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamada panel seçiminde CSUN 280 60P tercih edilmiştir. Hesaplatılan sistemin program görüntüsü Şekil 7.23'de yer almaktadır. PV sistem sehpa tasarımı sıralı olarak tasarlanmıştır.

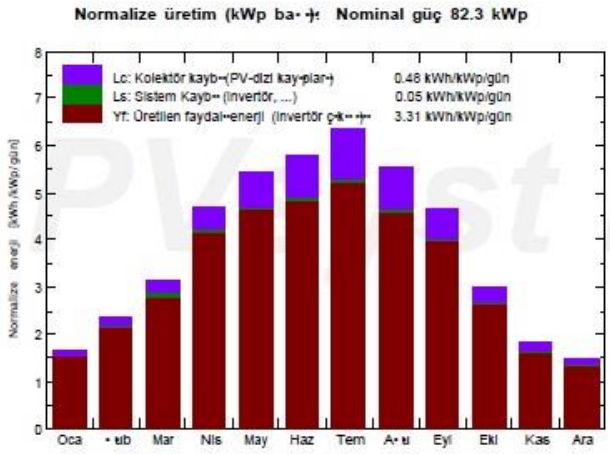


Şekil 7.23. Polikristal panel seçimli mevcut bina çatısında sıralı sehpa tasarımlı sistem özellikleri. (PvSyst)

Üretimin aylara göre değişimi değerleri ile Şekil 7.24'de verilmiştir. Üretim temmuz ayında en fazla 13370 kWh ile sağlanmaktadır, en az üretim ise aralık ayında 3460 kWh ile gerçekleşmektedir.



Şekil 7.24. Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay) .7.4.1.2. (PvSyst)



Şekil 7.25. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.1.2. (PvSyst)

Şekil 7.25'de bulunan grafikte mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Kollektör kayıpları ortalama 0,48 kWp/gün ve sistem kayıpları ortalama 0,05 kWp/gün olmaktadır.

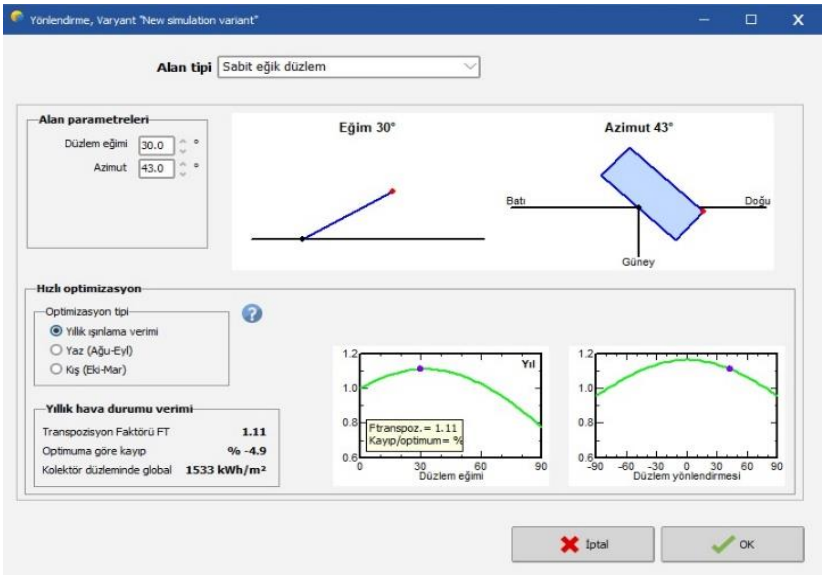
Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -6,43 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -4,17 ile globale göre IAM faktörü, % -1,53 ile invertör kaybı ve % -1,10 ile uyumsuzluk kayıpları ve güneş ışınım kayıpları bulunmaktadır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-5*'te bulunmaktadır.

PVsyst programı ile yapılan 7.4.1.2. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **99,49 MWh**, sistem performans oranı **%86,07** olmaktadır.

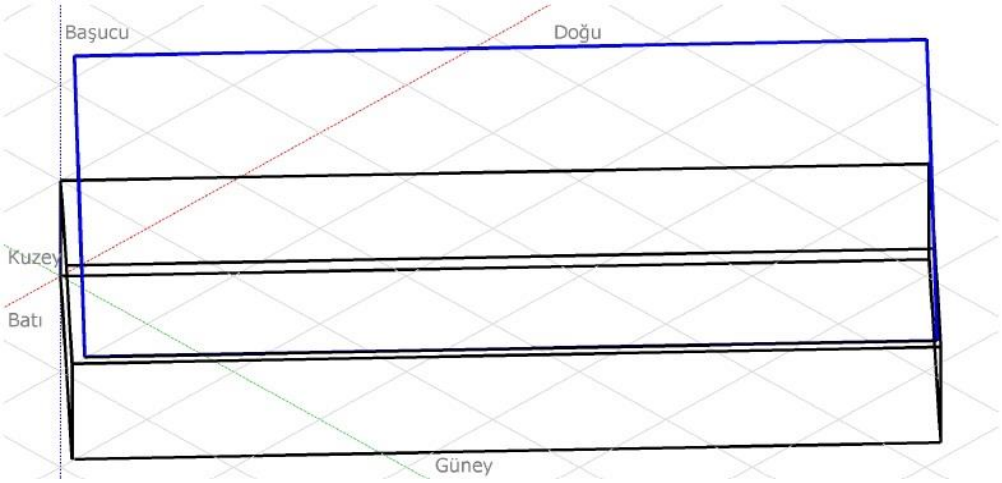
7.4.2. Mevcut Bina Konumu ve Panel Altı 30° Sistem Verileri (Azimut 43°, Tilt 30°)

İşletme binasının mevcut güneş azimut açısı olan 43°, düzlem eğim açısı verimli açı değeri 30° olarak analiz yapılmıştır. Mevcut konumunda yapılan iki analizde de yönlendirme ve bina yapısı aynı kullanılmıştır. Kullanılan panel tipleri farklıdır. (Şekil 7.26)



Şekil 7.26. Eğim ve azimut açısı seçimi. 7.4.2. (PvSyst)

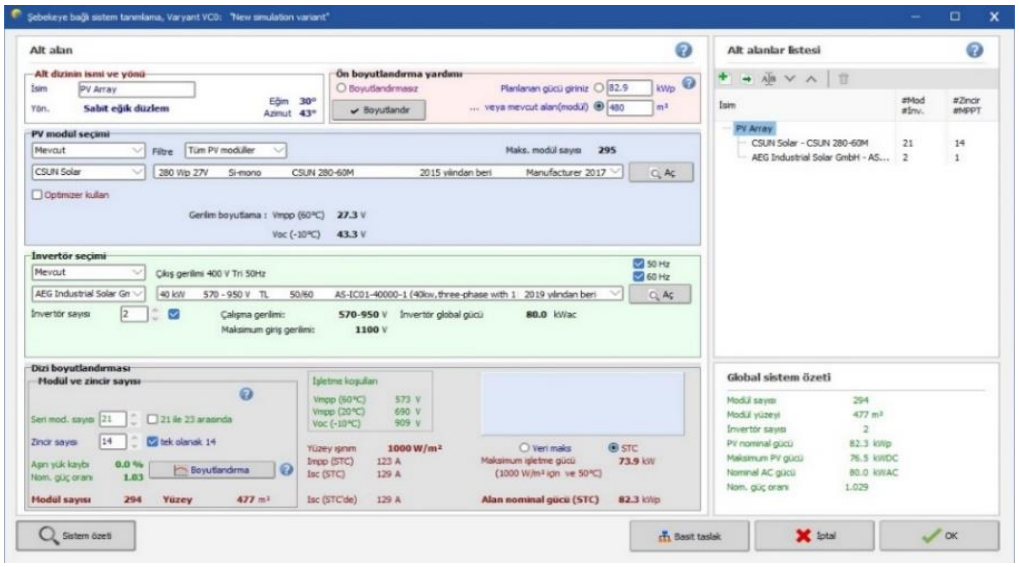
Bina çatı eğimi 3°'dir. Panel montaj sehpası tek sehpa olarak tasarlanmış ve en verimli panel açısı olması nedeniyle 30° olarak belirlenmiştir. (Şekil 7.27)



Şekil 7.27. Tek panel altı sehpa tasarımı.7.4.2.(PvSyst)

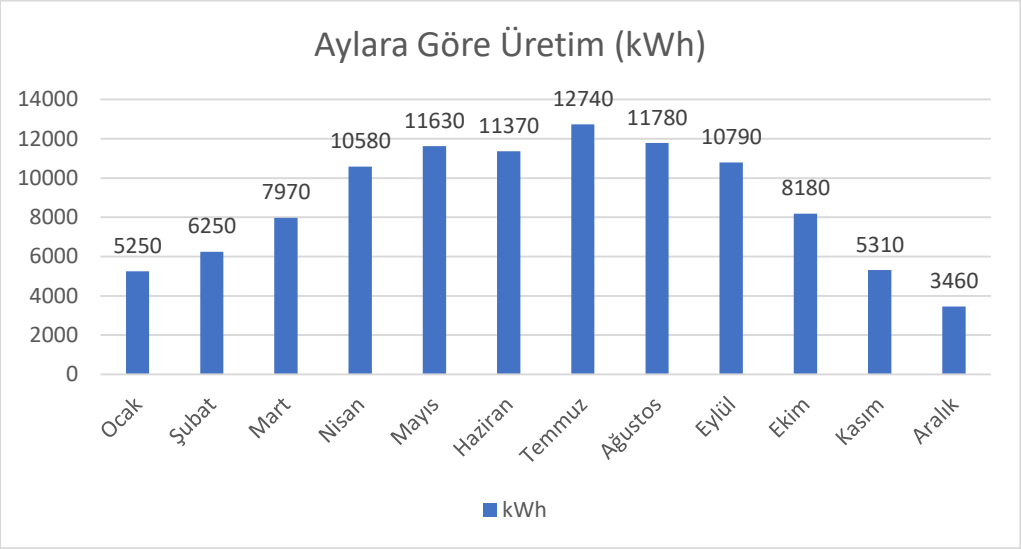
7.4.2.1. Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı

Bina azimut açısı 43° olarak işleme koyulmuştur. 7.4.1.'de yapılan incelemede olduğu gibi panel azimut açısı olarak 43°, fakat panel tilt açısı verimli açı olan 30° olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamada panel seçiminde CSUN 280 60M tercih edilmiştir. Hesaplatılan sistemin program görüntüsü Şekil 7.28'de yer almaktadır. PV sistem sehpa tasarımı tekli sehpa olarak tasarlanmıştır.

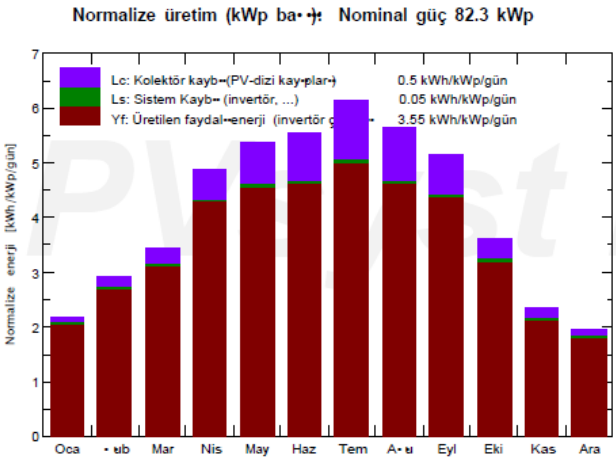


Şekil 7.28. Monokristal panel seçimli mevcut bina çatısında tek sehpa tasarımlı sistem özellikleri. (PvSyst)

Sistemin aylara göre üretim değerleri Şekil 7.29'da bulunmaktadır. Üretim en fazla 12740 kWh ile temmuz ayında, 3460 kWh ile en az üretim aralık ayında gerçekleşmektedir.



Şekil 7.29. Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay).7.4.2.1.(PvSyst)



Şekil 7.30. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.2.1.(PvSyst)

Şekil 7.30'da bulunan grafikte mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Sistemin ortalama 0,5 kWp/gün kollektör kaybı ve ortalama 0,05 kWp/gün sistem kaybı vardır.

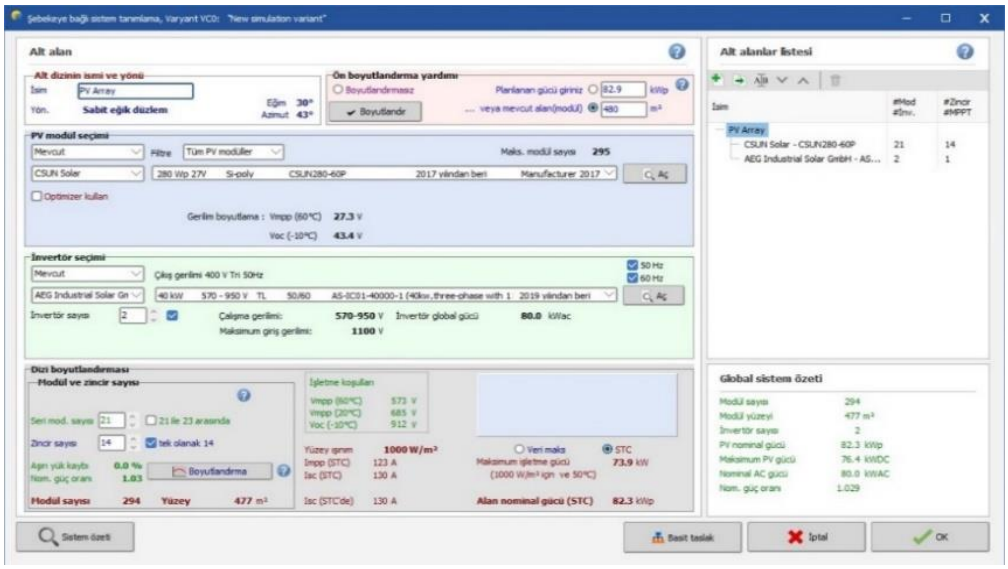
Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -7,63 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -3,13 ile globale göre IAM faktörü, % -1,48 invertör kaybı, % -1,1 uyumsuzluk kaybı ve % -1 güneş ışınım kaybı vardır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-6'*da bulunmaktadır.

PVsyst programı ile yapılan 7.4.2.1. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **106,5 MWh**, sistem performans oranı **%86,45** olmaktadır.

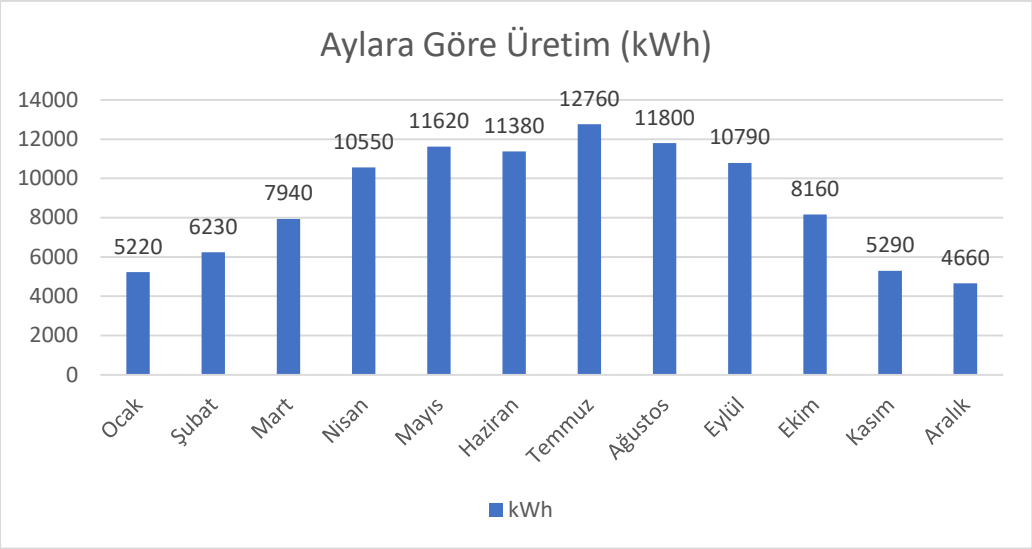
7.4.2.2. Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı

Bina azimut açısı 43° olarak işleme koyulmuştur.7.4.1.'de yapılan incelemede olduğu gibi panel azimut açısı olarak 43°, fakat panel tilt açısı verimli açı olan 30° olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamada panel seçiminde CSUN 280 60P tercih edilmiştir. Hesaplatılan sistemin program görüntüsü Şekil 7.31'de yer almaktadır. PV sistem sehpa tasarımı tekli sehpa olarak tasarlanmıştır.

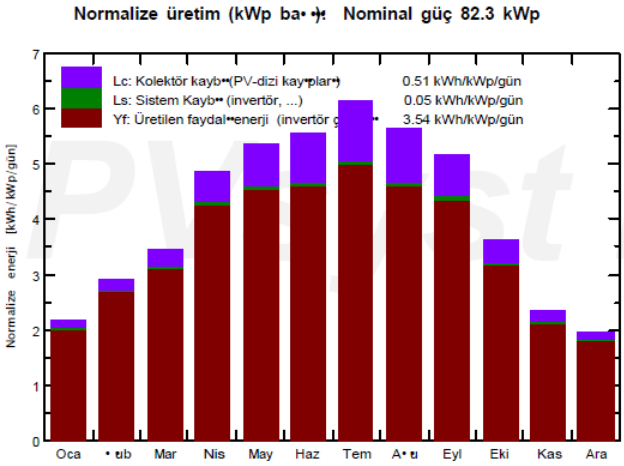


Şekil 7.31. Polikristal panel seçimli mevcut bina çatısında tek sehpa tasarımlı sistem özellikleri. (PvSyst)

Aylara göre üretim değerleri Şekil 7.32'de yer almaktadır. Sistem en fazla üretimini 12760 kWh iler temmuz ayında, en az üretimini 4660 kWh ile aralık ayında yapmaktadır.



Şekil 7.32.Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay)7.4.2.2.(PvSyst)



Şekil 7.33. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.2.2.(PvSyst)

Şekil 7.33'de bulunan grafikte mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Sistemin ortalama 0,51 kWp/gün kollektör kaybı ve 0,05 kWp/gün sistem kaybı vardır

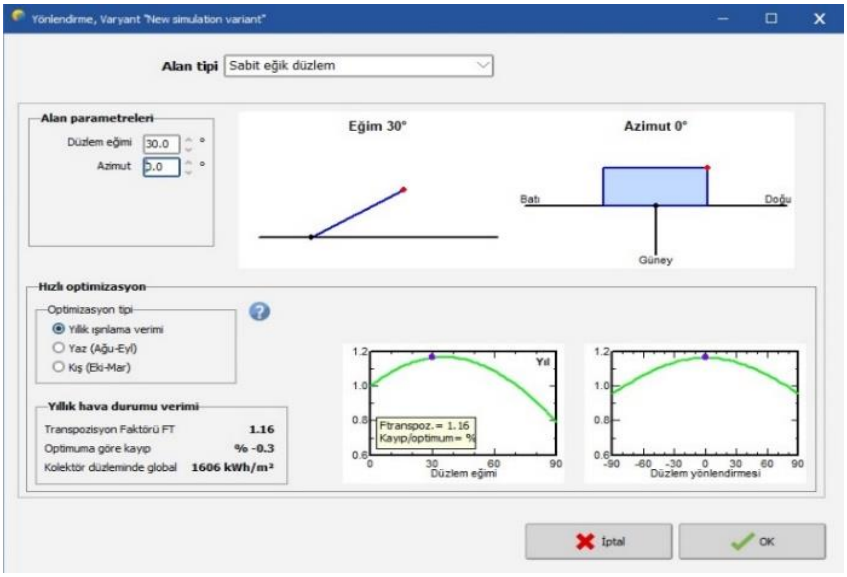
Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -7,35 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -3,13 ile globale göre IAM, % -1,48 invertör kaybı, % -1,1 uyumsuzluk kaybı ve % -0,92 güneş ışınım kaybı bulunmaktadır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-7'*de bulunmaktadır.

PVsyst programı ile yapılan 7.4.2.2. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **106,4 MWh**, sistem performans oranı **%86,36** olmaktadır.

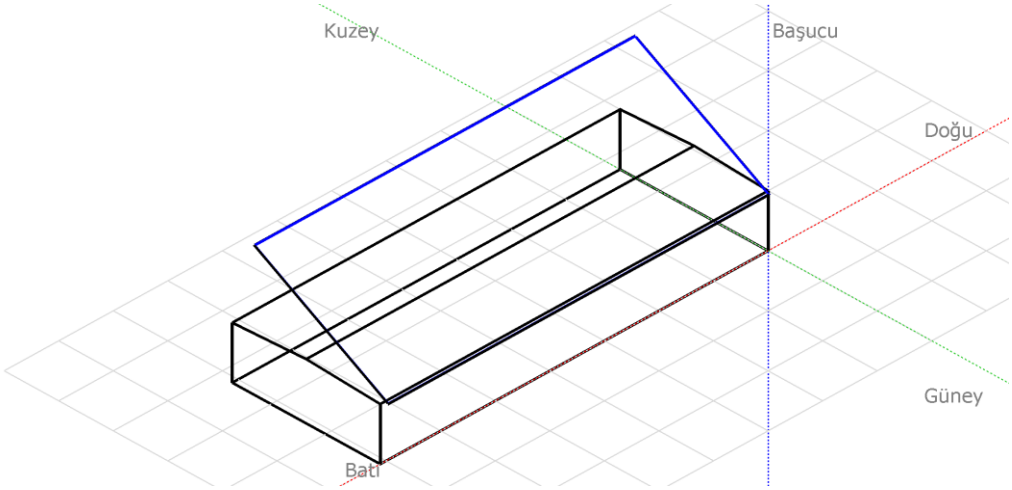
7.4.3. Optimum Bina Konumu ve Panel Altı 30° Sistem Verileri (Azimut 0°, Tilt 30°)

İşletmenin PV sistemi maksimum verim sağlayabilmesi adına tam güneye doğru konumlandırılması gerekmektedir. Bu durumda güneş azimut açısı 0° olması gerekir. PV sistemi de azimut 0° tam güneye bakacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan analizlerde düzlem eğim açısı optimum verim sağlayan 30° olarak seçilmiştir. İki analizde de yönlendirme, bina yapısı aynı kullanılmış, sadece kullanılan panel tipleri farklı olmuştur.



Şekil 7.34. PV Paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu. (PvSyst)

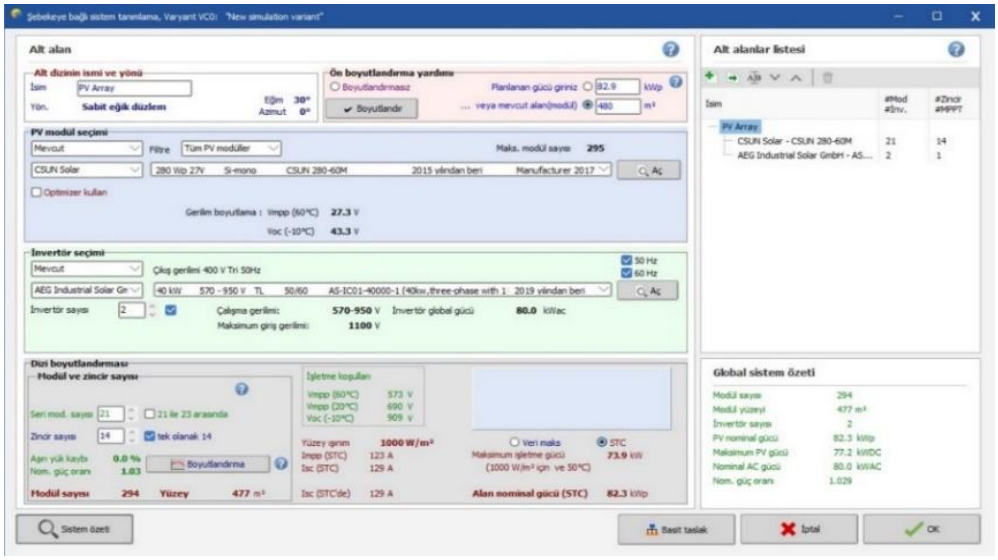
Bina tam güneye doğru konumlandırılıp PV dizini de tek sehpa kullanılmıştır. Tek sehpa kullanılması panel arkası gölgelenmeden oluşan kaybın engellenmesi adına önemlidir. Bina yönlendirmesi ve PV sehpa tasarımı Şekil 7.35'de gösterilmektedir. Çizimden görüleceği üzere bina çatı eğimi maksimum verim sağlayacak 30° olacak şekilde tasarlanmıştır. Hava akışı sağlamak ve kabloların yolu olabilmesi adına PV sisteminin montajının yapılacağı sehpa ile çatı arasında mesafe bırakılmıştır.



Şekil 7.35. Bina yönlendirmesi ve PV alanının üç boyutlu gösterimi. (PvSyst)

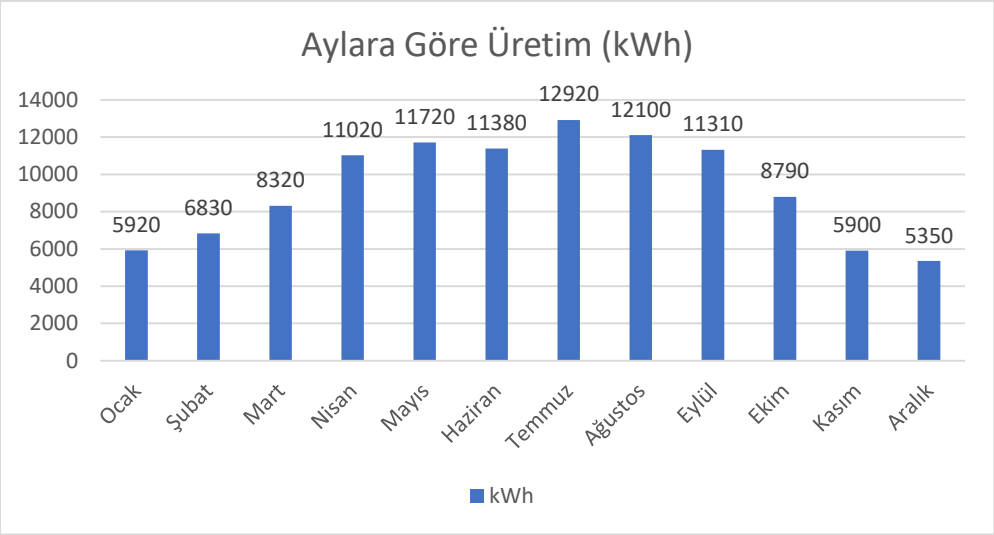
7.4.3.1. Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı

Maksimum verim elde edebilmek için bina azimut açısı 0° ile tam güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Panel azimut açısı olarak 0°, tilt açısı 30° belirlenmiştir. Bu hesaplamada panel seçiminde CSUN 280 60M tercih edilmiştir. Hesaplatılan sistemin program görüntüsü Şekil 7.36'da yer almaktadır.

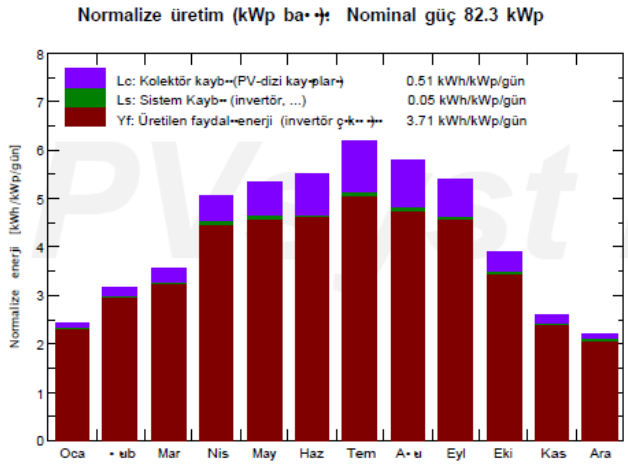


Şekil 7.36. Sistem görünümü.7.4.3.1. (PvSyst)

Aylara göre üretim değerleri Şekil 7.37'de görülmektedir. En fazla üretim 12920 kWh ile temmuz ayında, en az üretim 5350 kWh ile aralık ayında olmaktadır.



Şekil 7.37. Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay).7.4.3.1. (PvSyst)



Şekil 7.38. Normal üretim ve kayıp faktörler. 7.4.3.1.(PvSyst)

Şekil 7.38'de görülen grafikte mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Sistemin 0,51 kWp/gün kollektör kaybı ve 0,05 invertör kaybı bulunmaktadır.

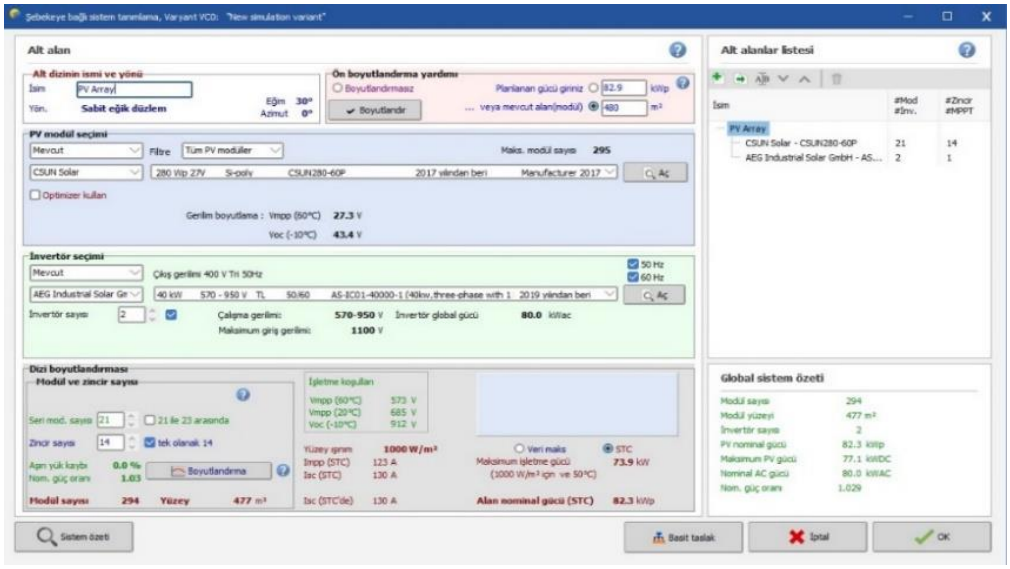
Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -7,50 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -3,04 ile globale göre IAM faktörü % -1,1 uyumsuzluk kaybı, % -0,95 kablolama kaybı ve % -0,93 güneş ışınım kaybı vardır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-8'*de bulunmaktadır.

PVsyst programı ile yapılan 7.4.3.1. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **111,6 MWh**, sistem performans oranı **%86,72** olmaktadır.

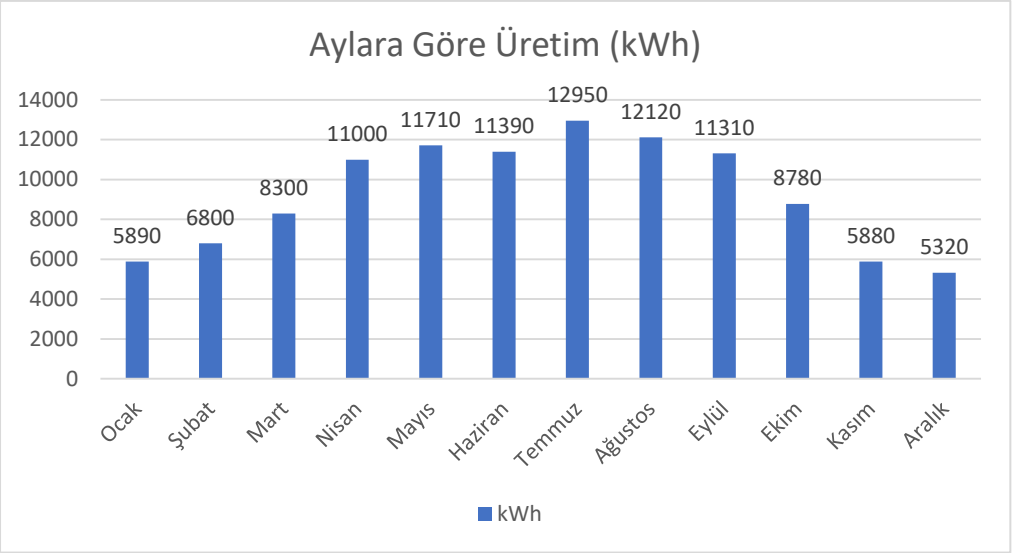
7.4.3.2. Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı

Maksimum verim elde edebilmek için bina azimut açısı 0° ile tam güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Panel azimut açısı olarak 0°, tilt açısı 30° belirlenmiştir. Bu hesaplamada panel seçiminde CSUN 280 60P tercih edilmiştir. Hesaplatılan sistemin program görüntüsü Şekil 7.39'da yer almaktadır.

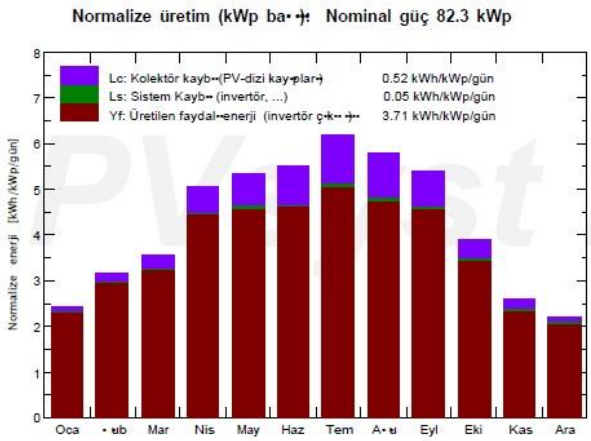


Şekil 7.39. Sistem görünümü.7.4.3.2.(PvSyst)

Sistemin aylara göre üretim değerleri Şekil 7.40'da yer almaktadır. En fazla üretim 12950 kWh ile temmuz ayında, en az üretim 5320 kWh ile aralık ayında olmaktadır.



Şekil 7.40. Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay).7.4.3.2.(PvSyst)



Şekil 7.41. Normal üretim ve kayıp faktörler.7.4.3.2.(PvSyst)

Şekil 7.41'de bulunan grafikte mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Kollektör kaybı 0,52 kWp/gün ve 0,05 kWp/gün sistem kaybı vardır.

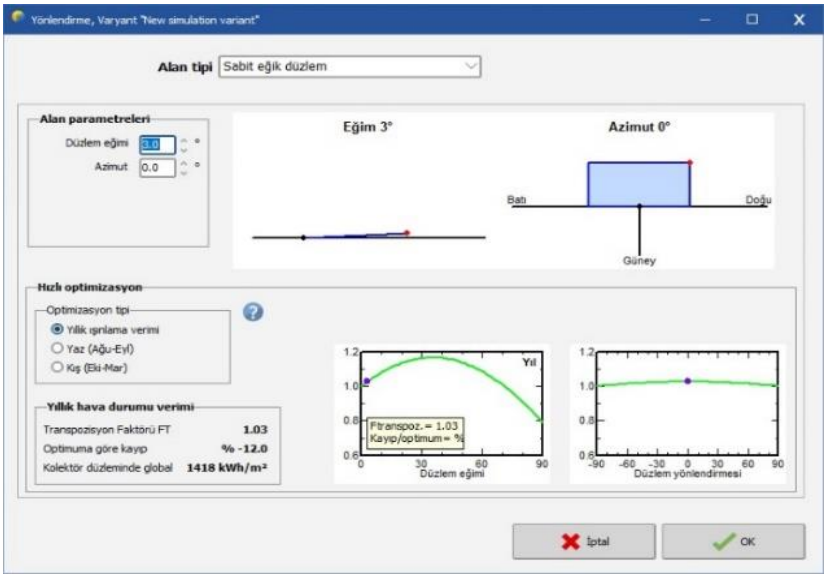
Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -7,23 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -3,04 ile globale göre IAM, % -1,45 invertör kaybı, % -1,1 uyumsuzluk kaybı ve % -0,85 güneş ışınım kaybı bulunmaktadır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-9'*da bulunmaktadır.

PVsyst programı ile yapılan 7.4.3.2. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **111,4 MWh**, sistem performans oranı **%86,62** olmaktadır.

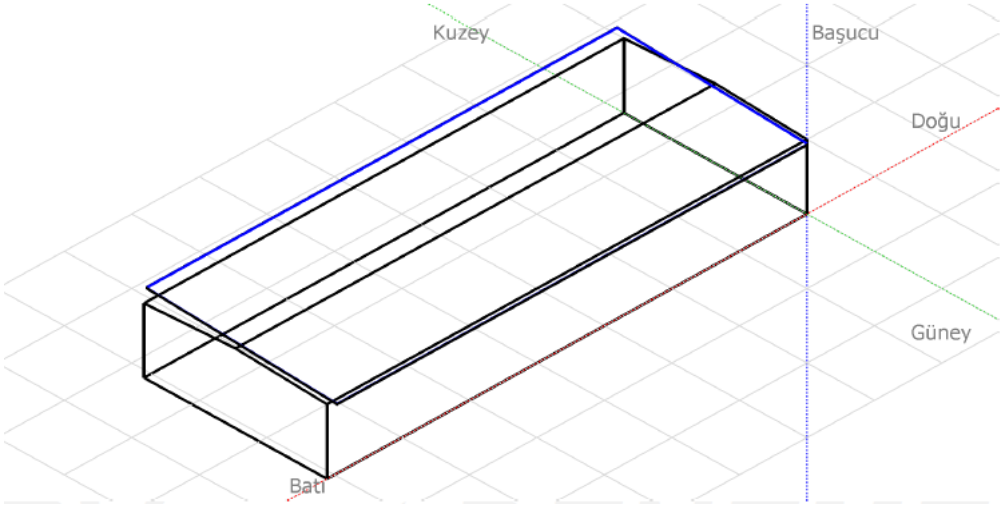
7.4.4. Optimum Bina Konumu ve Panel Altı 3° Sistem Verileri (Azimut 0°, Tilt 3°)

İşletmenin PV sistemi maksimum verim sağlayabilmesi adına tam güneye doğru konumlandırılması gerekmektedir. Bu durumda güneş azimut açısı 0° olması gerekmektedir. Yapılan analizlerde düzlem eğim açısı bina çatı açısı olan 3° kullanılmıştır. İki analizde de yönlendirme, bina yapısı aynı kullanılmış, sadece kullanılan panel tipleri farklı olmuştur.



Şekil 7.42. PV paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu.7.4.4.(PvSyst)

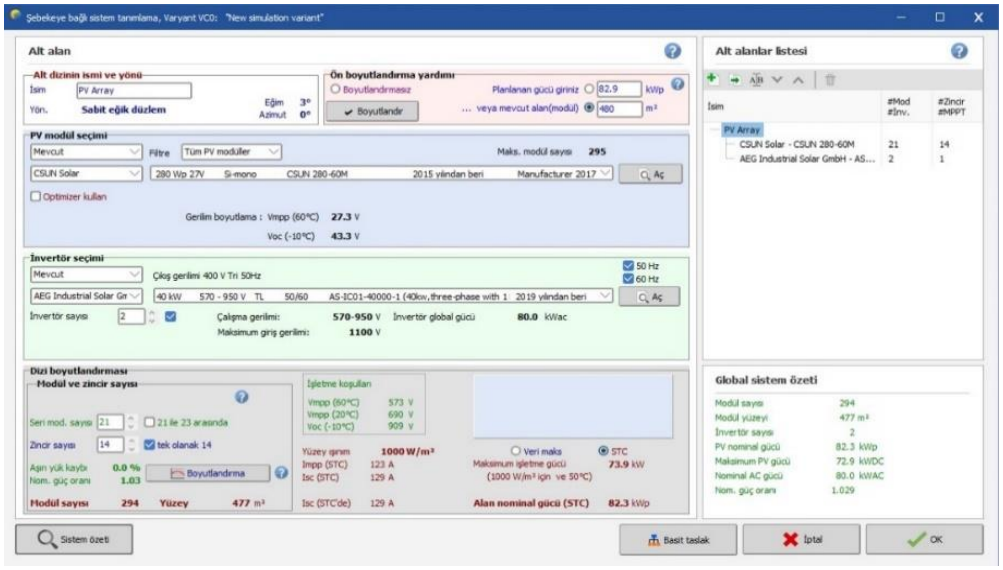
Bina tam güneye doğru konumlandırılıp PV dizini de tek sehpa kullanılmıştır. Tek sehpa kullanılması panel arkası gölgelenmeden oluşan kaybın engellenmesi adına önemlidir. Bina yönlendirmesi ve PV sehpa tasarımı Şekil 7.43'de gösterilmektedir. Hava akışı sağlamak ve kabloların yolu olabilmesi adına PV sisteminin montajının yapılacağı sehpa ile çatı arasında mesafe bırakılmıştır.



Şekil 7.43. Bina yönlendirmesi ve PV alanının üç boyutlu gösterimi.7.4.4.(PvSyst)

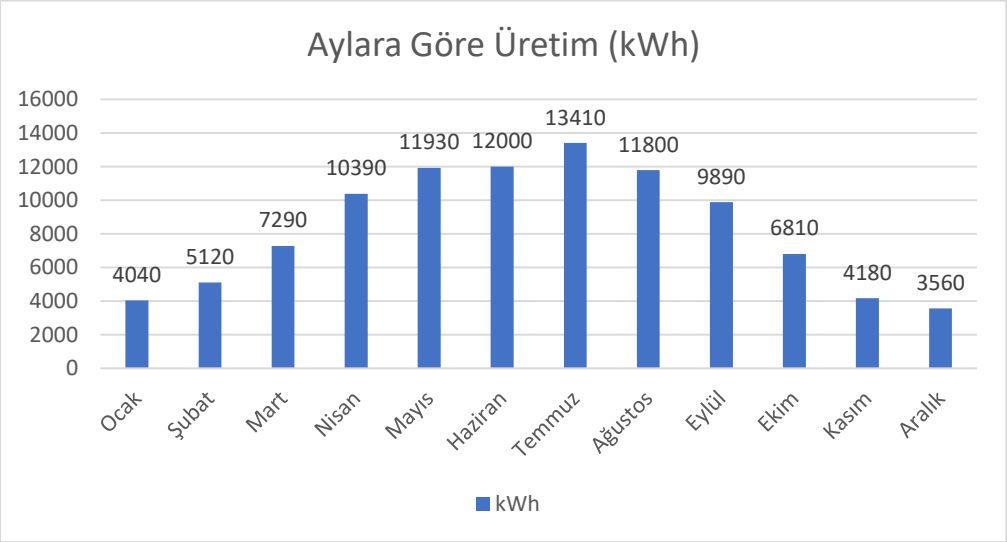
7.4.4.1. Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı

Maksimum verim elde edebilmek için bina azimut açısı 0° ile tam güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Panel azimut açısı olarak 0°, tilt açısı 3° belirlenmiştir. Bu hesaplamada panel seçiminde CSUN 280 60M tercih edilmiştir. Hesaplatılan sistemin program görüntüsü Şekil 7.44'de yer almaktadır.

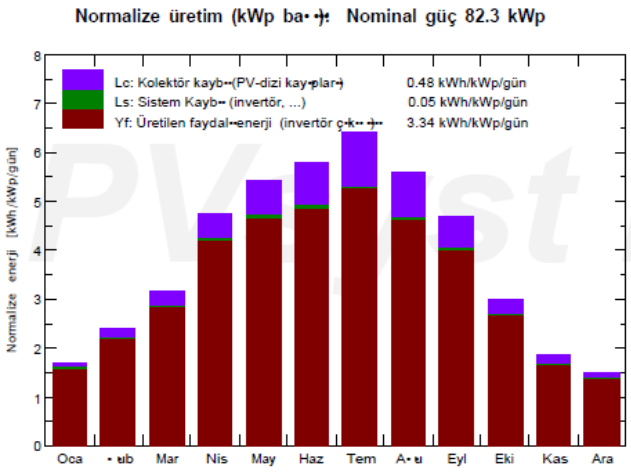


Şekil 7.44. Sistem görünümü.7.4.4.1.(PvSyst)

Aylık üretim değerleri Şekil 7.45'de görülmektedir. Sistem en fazla üretimini 13410 kWh ile temmuz ayında, en az üretimini 3560 kWh ile aralık ayında yapmaktadır.



Şekil 7.45. Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay). 7.4.4.1.(PvSyst)



Şekil 7.46. Normal üretim ve kayıp faktörler. 7.4.4.1.(PvSyst)

Şekil 7.46'da aylık kayıp faktörünün bulunduğu grafikte mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Kollektör kaybı 0,048 kWp/gün ve sistem kaybı 0,05 kWp/gün olarak sonucuna ulaşılmaktadır.

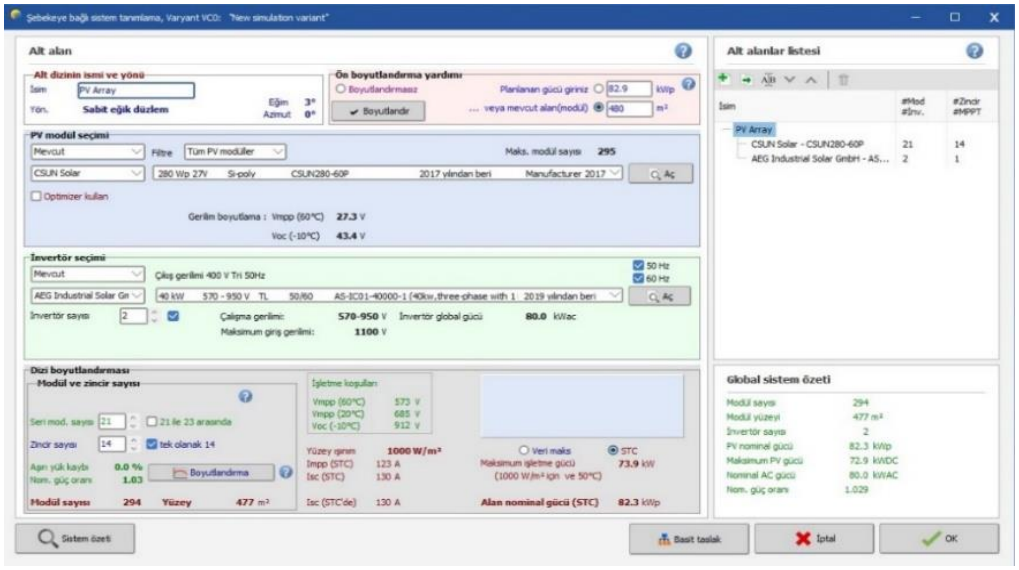
Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -6,68 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -4,19 ile globale göre IAM faktörü, % -1,53 invertör kaybı, % -1,17 güneş ışınım kaybı ve % -1,1 uyumsuzluk kaybı vardır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-10'*da bulunmaktadır.

PVsyst programı ile yapılan 7.4.4.1. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **100,4 MWh**, sistem performans oranı **%86,36** olmaktadır.

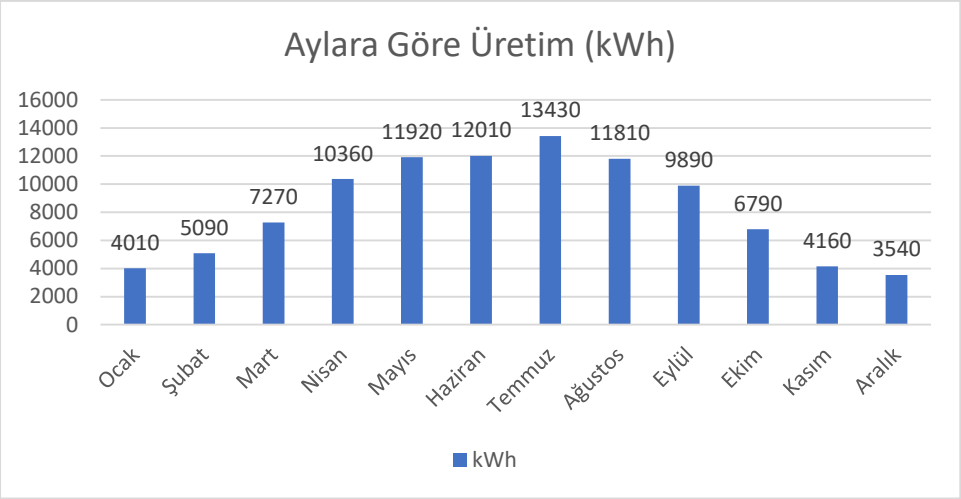
7.4.4.2. Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı

Maksimum verim elde edebilmek için bina açısı 0° ile tam güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Panel azimut açısı olarak 0°, tilt açısı 3° belirlenmiştir. Bu hesaplamada panel seçiminde CSUN 280 60P tercih edilmiştir. Hesaplatılan sistemin program görüntüsü Şekil 7.47'de yer almaktadır.

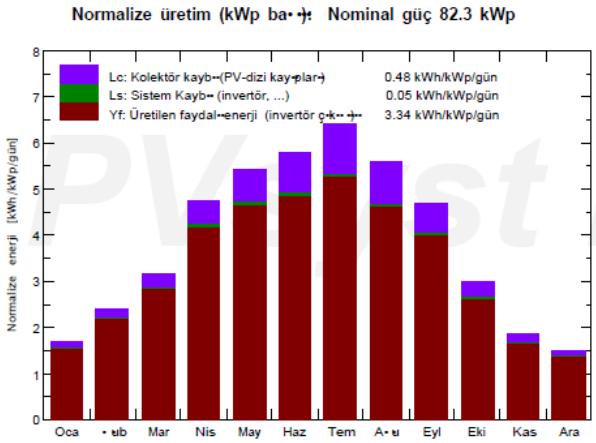


Şekil 7.47. Sistem görünümü. 7.4.4.2.(PvSyst)

Sistemin aylık üretim değerleri Şekil 7.48'de grafik olarak bulunmaktadır. En fazla üretim 13430 kWh ile temmuz ayında, en az üretim 3540 kWh ile aralık ayında olmaktadır.



Şekil 7.48. Aylara göre üretim değerleri (kWh-ay) 7.4.4.2.(PvSyst)



Şekil 7.49. Normal üretim ve kayıp faktörler. 7.4.4.2.(PvSyst)

Şekil 7.49'da bulunan grafikte mor kısımlar PV dizinlerinden oluşan kollektör kaybını, yeşil kısım invertör ve diğer sistem elemanlarından oluşan sistem kaybını göstermekteyken, kırmızı kısım üretilen faydalı kısmı göstermektedir. Kollektör kaybı 0,48 kWp/gün ve sistem kaybı 0,05 kWp/gün olarak bulunmaktadır.

Sistemde yüzdelik kayıplar incelendiğinde en fazla % -6,44 ile sıcaklık nedeniyle PV kaybı, % -4,19 ile globale göre IAM faktörü, % -1,52 invertör kaybı, % -1,09 güneş ışınım kaybı ve % -1,1 uyumsuzluk kaybı vardır.

Programın oluşturduğu analiz sonuçları *Ek-11*'de bulunmaktadır.

PVsyst programı ile yapılan 7.4.4.2. analiz sonucu olarak; üretilen enerji yılda **100,3 MWh**, sistem performans oranı **%86,22** olmaktadır.

7.5. PvSyst Programı Analiz Sonuçları

Farklı yaklaşımlarla yaptığımız analiz sonuçları Çizelge 7.8'de yer almaktadır. Yapılan analizlerin değerlendirmesi yapılınca bina azimut açısı 0° olarak konumlandırıldığı ve panel tilt açısı 30° kullanıldığı zaman en fazla üretimi sağlamaktadır.

Yapılan analiz sonuçları kapasite faktörü açısından da değerlendirilmesi gereklidir. Kapasite faktörü, belirli süre boyunca elektrik enerjisi çıktısının mümkün olan maksimum elektrik enerjisi çıktısına birimsiz oranıdır. Kapasite faktörü elektrik üretim tesisleri için tanımlanmaktadır. Aynı tip enerji santrallerinin karşılaştırılması için kullanılabileceği gibi farklı tip enerji tesislerinin karşılaştırılmasında da kullanılır. Analizlerin kapasite faktör hesaplamaları için denklem 7.5 kullanılmıştır.

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{Yıllık\ ortalama\ üretim}{(365\ gün)\times\left(24\frac{saat}{gün}\right)\times Sistem\ kapasitesi} \tag{7.5}$$

Çizelge 7.8. PvSyst analiz sonuçları.

Analiz Numarası	Tilt Açısı (°)	Bina Azimut Açısı (°)	Sehpa Tasarımı	Panel Türü	Üretim (kWh/yıl)	Konu Başlığı	Kapasite Faktörü (%)
1	3	43	Sıralı	Monokristal	99640	7.4.1.1	13,8
2	3	43	Sıralı	Polikristal	99490	7.4.1.2.	13,7
3	30	43	Tek	Monokristal	106530	7.4.2.1.	14,7
4	30	43	Tek	Polikristal	106420	7.4.2.2.	14,7
5	30	0	Tek	Monokristal	111560	7.4.3.1.	15,4
6	30	0	Tek	Polikristal	111430	7.4.3.2.	15,4
7	3	0	Tek	Monokristal	100430	7.4.4.1.	13,9
8	3	0	Tek	Polikristal	100280	7.4.4.2.	13,9

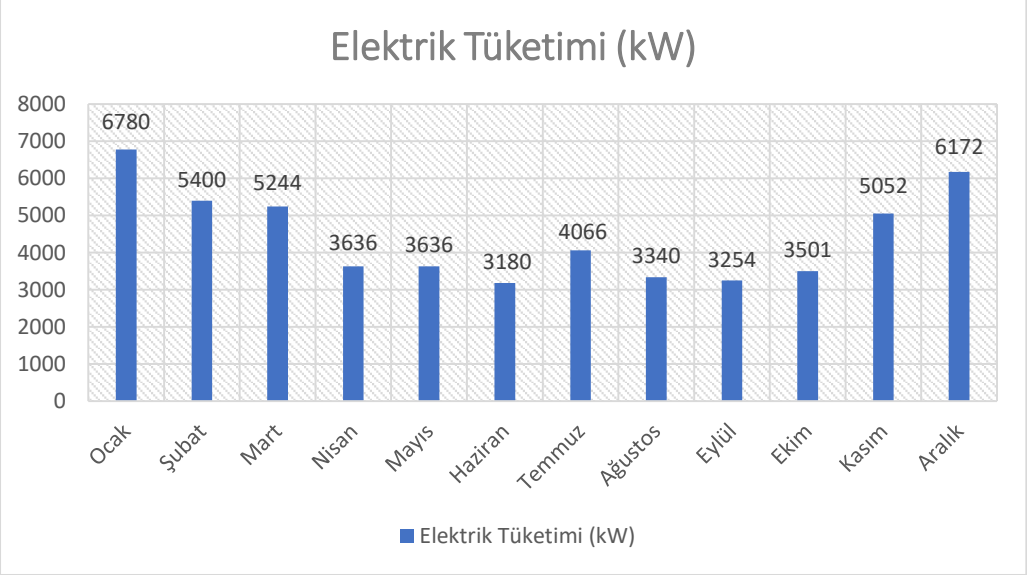
Kapasite faktörleri karşılaştırması durumda bina tam güneye baktığı panel altı derecesi 30° kullanıldığı tasarımlar en verimli olan tasarımlardır. Mevcut bina

konumunda panel altı derecesi 3° olan analizler kapasite faktörünün en az olduğu tasarımlardır.

Binanın mevcut konumlanması üzerinden yapılan analizlerde panel tilt açısı optimum olan 30° seçilirse verimli bir tasarım olacağı bulunmaktadır. Alınan sonuçlar; bina azimut açısı 0° belirlenir ve panel tilt açısı 30° seçilirse en fazla üretim sağlandığı tasarım elde edilmektedir. Yapılan program hesaplamaların en fazla üretim ile en az üretim arasında 12,14 MWh/yıl fark bulunmaktadır.

7.6. İşletmenin Aylara Göre Elektrik Tüketimi

2019 yılı aylık elektrik tüketimine bakılarak yıllık 53,26 MW'lık tüketim olduğu bulunmaktadır. Kış aylarında yaz aylarına göre daha fazla elektrik tüketimi vardır. Grafikten yola çıkarak en fazla tüketim Ocak ayında 6780 kW, en az tüketim de Haziran ayında 3180 kW ile karşımıza çıkmaktadır. 2019 yılı aylık elektrik tüketimi Şekil 7.50'de yer almaktadır.



Şekil 7.50. 2019 yılı aylara göre işletmenin elektrik tüketimi.

7.7. Sistemin Çevresel Etkisi

Birincil enerji çeşitlerinden kömür ile çalışan termik santrallerde 1 MWh elektrik üretebilmek için salınan CO_2 miktarı Carbon Neutral Charitable Fund (CNCF) online hesaplama programı ile belirlenmiştir. Bu hesaplamaya göre ülkemizde 1 MWh

elektrik enerjisi elde edebilmek için atmosfere 0,60 ton CO_2 gazı salınmaktadır. Çevre dostu elektrik üretim teknolojileri ile üretilen yıllık elektiriğin 0,0006 ile çarpılası sonucunda engellenen CO_2 miktarı bulunmaktadır. Alternatif enerji kaynakları ile temiz enerji üretimi sağlanmaktadır. Yaptığımız sistem tasarımlarından yola çıkarak engellenen CO_2 miktarı bulunabilmektedir. Sistemlerin ortalama yıllık üretimi 104472,5 kWh olarak hesaplamaya katılmıştır.

$$(CO_2)_{engellenen} = \text{Yıllık üretilen toplam elektrik } (\frac{kWh}{yıl}) \times 0{,}0006\ (\frac{tCO_2e}{kWh}) \quad (7.6)$$

Denklem 7.6 kullanılarak toplam engellenen ortalama CO_2 miktarı değeri 62,68 ton olarak hesaplanmıştır.

BÖLÜM 8

MALİYET ANALİZİ

8.1. Sistem Yatırım Maliyeti

Sistem elemanlarının dolar kuru üzerinden fiyatları Çizelge 8.1'de görülmektedir. Birim fiyatları kullanılarak adetlere göre toplam maliyet Çizelge 8.2 de görülmektedir.

Çizelge 8.1. PV sistem elemanlarının adet fiyatları. (Ağustos, 2020)

Malzeme Birim Fiyatları	**$/Adet**
PV Monokristal Panel	138
PV Polikristal Panel	122
İnverter	2260
Solar Kablo (AC-DC) (m)	1,04
Konnektör (dişi, erkek çift)	4,80
Taşıyıcı sistem ve montaj elemanları	5000
Çift Taraflı Sayaç	230
Proje geliştirme, Genel masraflar, Montaj	2000

Çizelge 8.2. PV sistem elemanlarının adete göre maliyeti.

Hücre Tipi		**Monokristal**	**Polikristal**
	Adet	$	$
Güneş Paneli	294	40572	35868
İnvertör	2	4520	
Solar Kablo (AC-DC) (m)	4000	4160	
Konnektör	196	940,8	
Taşıyıcı sistem ve elemanları	1	5000	
Çift Taraflı Sayaç	1	230	
Proje, Genel masraflar, Montaj	1	2000	
Toplam		**57422,8**	**52718,8**

8.2. Finansal Analizde Esas Alınan Kur

Projede yapılan finansal analizler Dolar($) bazında yapılmış ve Dolar kurunun 2 Kasım 2020 Merkez Bankası verilerine göre 8,3911 TL/Dolar olduğu kabul edilmiştir. Euro/Dolar endeksi de 1,1641'dir.

Seçilen ekipmanlar içerisinde ithal ürünlerin de bulunması sebebiyle yapılan hesaplamalarda Dolar kullanılmıştır. Değişen kur nedeniyle yapılan hesaplamalarda hata payının indirgenmesi öngörülmüştür.

8.3. Sistemin Yıllık Getirisi

Hesaplaması yapılan tasarımlarda ihtiyaç fazlası, şebekeye satışı yapılabilecek kapasitede elektrik elde edilebilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen elektrik enerjisi üretiminin şebekeye satılması ile ilgili, devlet 10 yıl boyunca alım garantisi yapacağını bildirmiş ve 46,8 kuruş/kWh olarak belirlemiştir

8.4. Ekonomik Analiz Yöntemleri

Projelerin gelir getirip getirmeyeceğini analiz etmek için ekonomik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Projenin uygulanıp uygulanmama kararını vermek,

alternatif projeler içinden en uygun olanı belirlemek için bu analiz yöntemleri gerekli kararı vermek adına önemlidir.

Ülkenin yatırım politikaları ve projenin yatırım yapılacağı alanı için proje değerlendirmesinde farklılıklar görülmektedir. Ayrıca yatırımcının alabileceği risk projenin değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Fakat finansal anlamda temel ekonomik analiz yöntemleri ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki belirlilik altında proje değerlendirme teknikleri ve ikinci risk altında proje değerlendirme teknikleridir.

A. Belirlilik Altında Proje Değerlendirme Teknikleri

1. Paranın Zaman Değerini Dikkate Almayan Teknikler;

- Ortalama Verimlilik

- Geri Ödeme Süresi

2. Paranın Zaman Değerini Dikkate Alan Teknikler;

- Net Bugünkü Değer

- Karlılık İndeksi

- İç Verim Oranı

B. Belirsizlik (Risk) Altında Proje Değerlendirme Teknikleri

1. Beklenen Minimum Gelir Yüzdesinin Riske Göre Ayarlanması

2. Riskli Gelirlere Değerce Eşit Risksiz Gelirlerin Saptanması

3. Net Bugünkü Değer Olasılık Dağılımı Yöntemi

4. Karar Ağacı

5. Simülasyon

Tekniklerin geniş çaplı ve uygulama alanına göre farklılıklar göstermesinden dolayı, bu çalışmada ekonomik analizlerde lisanssız kurulan güneş enerji sistemleri hesaplamalarında kullanılan hesaplama başlıklarını kullanacağız.

8.4.1. Geri Ödeme Süresi

Projeye yapılan yatırım bedelinin, yıllık net kazanç ile ne kadar sürede geri kazanılacağını hesaplama yöntemine geri ödeme süresi denir. Yapılan hesaplama sonucunda çıkan süre yatırımcı için beklenen geri ödeme süresinin altında ise yatırım yapılması uygundur. Geri ödeme süresinin hesaplaması denklem 8.1'de gösterilmiştir.

Geri Ödeme Süresi : $\frac{Yatırım\ Bedeli}{Yıllık\ Net\ Kazanç}$ (8.1)

8.4.2. İç Verim Oranı

Nakit girişlerin bugünkü değerini, nakit çıkışların bugünkü değerine eşitleyen orana iç verim oranı denir. Yapılacak sistem yatırımının NBD (Net Bugünkü Değer) değerini sıfır yapan iskonto oranı olarak da adlandırılır. Aynı zamanda iç verim oranı yatırımın katma değer oranını da belirlemektedir. Yatırım kararı bu oran ile verilebilir. Ayrıca proje yatırımının karlılığı da iç verim oranından görülebilmektedir. (Brigham ve Houston, 1999)

İç verim oranı formülü denklem 8.2'de bulunmaktadır (Ban ve Ercan, 2005).

Nakit Akımlarının Bugünkü Değeri = Yatırım Harcamalarının Bugünkü Değeri

IVO= $\sum_{t=0}^{n} \frac{At}{(1+r)^t}$ = Ct (8.2)

r >= k Kabul

r < k Red

i = İç Verim Oranı

k = Yatırım Projesinin Sermaye Maliyeti

Yatırımın iç verim oranı; enterpolasyon yoluyla veya denklem 8.3'teki formül kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$r = r_p + \frac{NBDp}{NBDp+I\ NBDnI} (r_n - r_p)$ (8.3)

Değişkenler ;

r_p , NBD'i pozitif yapan oran

r_n , NBD'i negatif yapan oran

NBD_p , Pozitif NBD

NBD_n ,Negatif NBD

Proje yatırımının NBD'ini sıfıra eşitleyen bir (r) oranı tespit edilmekte olup, bu yöntemde NBD=0 olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemin temel karar kriteri olan yatırım projesinin sermaye maliyetinin (k) İç verim oranından (IVO) küçük olması durumunda proje kabul edilebilir. Diğer bir ifadeyle, projenin verimliliği (r), sermaye maliyetinden büyükse projenin yapılabilirliği kabul edilir. Alternatif projelerde ise verimliliği (r) büyük olan proje tercih edilecektir

Yatırım değerlendirilmesi yapılırken, yatırımcının projeden beklediği karlılık oranı ile iç verim oranının karşılaştırılması yapılmaktadır. İç verim oranının beklenen karlılık oranından yüksek olması durumunda proje, yatırım için mantıklıdır. Beklenen karlılık oranının iç verim oranından fazla olması durumunda proje yatırımı red alır. Tek proje tasarımı değil de birden fazla proje seçeneği varsa, bu projelerden iç verim oranı en yüksek olanı yatırım için tercih edilebilir olanıdır

İç verim oranı > Yatırımdan beklenen karlılık oranı => Proje için yatırım kararı alınır.

İç verim oranı < Yatırımdan beklenen karlılık oranı => Proje red edilir.

8.4.3. Net Bugünkü Değer

Bu hesaplama yönteminde, yatırım yapılacak projenin nakit akışlarının zaman değerine göre incelenmesi yapılmaktadır. Belli bir indirim oranına göre indirgenen net gelirler ile indirgenen giderler toplamları ve bunlara ek olarak hurdanın bugünkü değeri toplamı arasındaki farka bir yatırımın net bugünkü değeri (NBD) denir. (Sarıaslan, 1990).

NBD > 0 yani fark pozitif ise projenin yatırım yapılabilir olduğu kabul edilir. Birden fazla proje olması durumunda NBD'i yüksek olan proje tercih edilmelidir. Eğer NBD = 0 olursa yıllık hâsılat girdilerinin işletme maliyetleri ve yatırım maliyetlerini karşılamakta güçlük çektiği anlaşılacaktır. (Brigham ve Houston, 1999)

Net bugünkü değer yöntemi aşağıdaki formülle ifade edilebilmektedir. (Okka, 2006)

$$NBD = \sum_{t=0}^{n} \frac{At}{(1+i)^t} - C_t \quad (8.4)$$

C_t= Yatırım tutarı

A_t= Yıllık net nakit akışları

i= Sermaye maliyeti

NBD >= 0 Kabul

NBD <0 Red

8.4.4. LCOE (Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti)

Enerji santralinin ömrü boyunca yatırım, bakım ve işletme masrafları toplamının santralin ürettiği enerji miktarına oranına seviyelendirilmiş enerji maliyeti denir. Birim enerji üretiminin maliyetinin hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir. LCOE farklı enerji kaynaklarının finansal olarak karşılaştırılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Hesap yöntemi denklem 8.5'de gösterilmektedir.

$$LCOE = \frac{Santralin\ Ömrü\ Boyunca\ Maliyeti}{Santral\ Ömrü\ Boyunca\ Üretilen\ Enerji} \quad (8.5)$$

Bizim sistemimiz için denklem 8.5'den yola çıkarak;

LCOE=57422,8/2000000=0,0287 $/kWh olarak bulunur.

8.5. Maliyet Analiz Hesaplamaları

8.5.1. Sistemlerin 25 Yıllık Getirisi

PvSyst programında her tasarımın yıllık toplam üretim kapasitesi hesaplanmıştı. Tasarımların ana elemanları PV panellerin ömrü boyunca yıldan yıla verimi düşmektedir. Buradan yola çıkarak üreticinin yıllara göre öngördüğü verimleri sistemin yıllık getirisini de değiştirmektedir. Yapılan maliyet analizinde yıllara göre verime bağlı gelir değerleri tabloda yer almaktadır. Yıllık verim kaybı üreticinin belirlediği yüzde 0,72 olarak hesaplamalara katılmıştır. İhtiyaç fazlası elektrik enerjisinin mahsuplaşma sayesinde gelir sistemin net getirisidir.

Çizelge 8.3’te yapılan analizlerin veriminin 25 yıllık düşüşüne göre her yıl için gelirleri hesaplanmıştır. Analizlerin 25 yıllık toplam gelir hesaplaması da yapılıp çizelgenin toplam kısmına işlenmiştir. Toplam gelirler karşılaştırıldığında 177220,6 dolar ile 5’inci 7.4.3.1. başlıklı analiz en fazla gelir sağlamaktadır, en düşük gelir sağlayan analiz 140433,8 dolar ile 2 numaralı 7.4.1.2. başlıklı analizdir.

Çizelge 8.3. Analizlerin 25 yıllık verim düşümü ve yıllara göre gelir hesaplama sonuçları.

			Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4	Analiz 5	Analiz 6	Analiz 7	Analiz 8
İhtiyaç Fazlası		MW	46,38	46,23	53,24	56,14	58,34	58,14	47,14	47,04
Yıl	**Verim**	**Çarpan**	**7.4.1.1.**	**7.4.1.2.**	**7.4.2.1.**	**7.4.2.2.**	**7.4.3.1.**	**7.4.3.2.**	**7.4.4.1.**	**7.4.4.2.**
1	100	1	6168,54	6148,59	7080,92	7466,62	7759,22	7732,62	6269,62	6256,32
2	99,28	0,9928	6124,127	6104,32	7029,937	7412,86	7703,354	7676,945	6224,479	6211,274
3	98,56	0,9856	6079,713	6060,05	6978,955	7359,101	7647,487	7621,27	6179,337	6166,229
4	97,84	0,9784	6035,3	6015,78	6927,972	7305,341	7591,621	7565,595	6134,196	6121,183
5	97,12	0,9712	5990,886	5971,511	6876,99	7251,581	7535,754	7509,921	6089,055	6076,138
6	96,4	0,964	5946,473	5927,241	6826,007	7197,822	7479,888	7454,246	6043,914	6031,092
7	95,68	0,9568	5902,059	5882,971	6775,024	7144,062	7424,022	7398,571	5998,772	5986,047
8	94,96	0,9496	5857,646	5838,701	6724,042	7090,302	7368,155	7342,896	5953,631	5941,001
9	94,24	0,9424	5813,232	5794,431	6673,059	7036,543	7312,289	7287,221	5908,49	5895,956
10	93,52	0,9352	5768,819	5750,161	6622,076	6982,783	7256,423	7231,546	5863,349	5850,91
11	92,8	0,928	5724,405	5705,892	6571,094	6929,023	7200,556	7175,871	5818,207	5805,865
12	92,08	0,9208	5679,992	5661,622	6520,111	6875,264	7144,69	7120,196	5773,066	5760,819
13	91,36	0,9136	5635,578	5617,352	6469,129	6821,504	7088,823	7064,522	5727,925	5715,774
14	90,64	0,9064	5591,165	5573,082	6418,146	6767,744	7032,957	7008,847	5682,784	5670,728
15	89,92	0,8992	5546,751	5528,812	6367,163	6713,985	6977,091	6953,172	5637,642	5625,683
16	89,2	0,892	5502,338	5484,542	6316,181	6660,225	6921,224	6897,497	5592,501	5580,637
17	88,48	0,8848	5457,924	5440,272	6265,198	6606,465	6865,358	6841,822	5547,36	5535,592
18	87,76	0,8776	5413,511	5396,003	6214,215	6552,706	6809,491	6786,147	5502,219	5490,546
19	87,04	0,8704	5369,097	5351,733	6163,233	6498,946	6753,625	6730,472	5457,077	5445,501
20	86,32	0,8632	5324,684	5307,463	6112,25	6445,186	6697,759	6674,798	5411,936	5400,455
21	85,6	0,856	5280,27	5263,193	6061,268	6391,427	6641,892	6619,123	5366,795	5355,41
22	84,88	0,8488	5235,857	5218,923	6010,285	6337,667	6586,026	6563,448	5321,653	5310,364
23	84,16	0,8416	5191,443	5174,653	5959,302	6283,907	6530,16	6507,773	5276,512	5265,319
24	83,44	0,8344	5147,03	5130,383	5908,32	6230,148	6474,293	6452,098	5231,371	5220,273
25	82,72	0,8272	5102,616	5086,114	5857,337	6176,388	6418,427	6396,423	5186,23	5175,228
Toplam Gelir (Dolar)			140889,5	140433,8	161728,2	170537,6	177220,6	176613	143198,1	142894,3

8.5.2. Geri Ödeme Süresi

Yapılan geri ödeme süresi hesaplamaları bölüm 8.4.1.'den yararlanarak 8.1. denklemi kullanılarak yapılmıştır. PV sistemlerin verim düşümünden kaynaklı yıllık sabit fiyat getirisi olmadığı için yıllık net kazanç formüle yıllara göre değişen gelir göz önünde bulundurularak girilmiştir.

7.4.1.1.'de yapılan mevcut bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{57422,8}{5635,58}$ =10,18 yıl olarak bulunur.

7.4.1.2.'de yapılan mevcut bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{52718,8}{5617,352}$ =9,38 yıl olarak bulunur.

7.4.2.1.'de yapılan mevcut bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{57422,8}{6469,128}$ =8,87 yıl olarak bulunur.

7.4.2.2.'de yapılan mevcut bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{52718,8}{6821,504}$ =7,74 yıl olarak bulunur.

7.4.3.1.'de yapılan optimum bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{52718,8}{7088,824}$ =7,43 yıl olarak bulunur.

7.4.3.2.'de yapılan optimum bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{52718,8}{7064,52}$ =7,46 yıl olarak bulunur.

7.4.4.1.'de yapılan optimum bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{52718,8}{5727,924}$ =9,20 yıl olarak bulunur.

7.4.4.2.'de yapılan optimum bina için hesaplama sonucundan yola çıkarak;

Geri Ödeme Süresi:$\frac{52718,8}{5715,772}$ =9,22 yıl olarak bulunur.

Yapılan geri ödeme süresi hesaplama sonuçlarından en kısa zamanda kara geçecek tasarım 7.4.3.1.'de 7,43 yıl olduğu, en geç sürede kara geçecek tasarım

7.4.1.1.'de 10,18 yıl olduğu sonucuna varılmaktadır. Yatırımcının tercihini geri ödeme süresini kısa sürede sağlayabilecek tasarımdan yana kullanması gerekmektedir.

8.5.3. İç Verim ve Net Bugünkü Değer Hesaplaması

Excel programı üzerinden net bugünkü değerleri hesaplayabilmek için programa iskonto oranını da dahil edeceğimiz formül tanıtımı yapılması gerekmektedir. Yatırım bedeli 0 yılında değer olarak girilmiştir. Hurda değeri projenin yatırım bedelinin %30'u olacak şekilde hesaplanmaktadır. Hurda değeri ikinci 25. yıl olarak yazılmıştır. NBD her tasarım için yapıldığında hepsi 0'dan büyük olduğu için yatırım için avantajlı oldukları sonucuna varılmıştır. Toplam NBD'i en yükseği 7.4.3.2. nolu 6'ıncı analiz olduğu sonucuna varılmıştır. Proje yatırımı için en mantıklı seçenek budur. En düşük NBD'e sahip tasarım ise 7.4.1.1. nolu 1'inci analiz olmaktadır.

İskonto tutarı yapılan araştırmalar sonucu örnek yatırım hesaplamalarından yola çıkarak %8 seçilmiştir.

İç verim hesaplaması Excel programında tanımlı formül üzerinden yapılmıştır. Çıkan sonuçlarda iskonto tutarından yüksek olan tasarımlar yatırım yapılabilecekleri belirlemektedir. Yapılan maliyet analizinde her tasarım iskonto tutarından fazla iç verim oranına sahip olduğu için yatırım yapılabilirler. İç verim oranında da 7.4.3.2. nolu 6'ıncı tasarım %14 ile en karlı yatırım, 7.4.1.1. nolu 1'inci tasarım %9 ile karlılığı en düşük tasarım seçeneğidir.

Çizelge 8.4. Analizler için NBD ve iç verim oranı hesaplamaları.

İskonto Oranı	8%																			
	7.4.1.1.	**7.4.1.1. NBD**	**7.4.1.2.**	**7.4.1.2. NBD**	**7.4.2.1.**	**7.4.2.1. NBD**	**7.4.2.2.**	**7.4.2.2. NBD**	**7.4.3.1.**	**7.4.3.1. NBD**	**7.4.3.2.**	**7.4.3.2. NBD**	**7.4.4.1.**	**7.4.4.1. NBD**	**7.4.4.2.**	**7.4.4.2. NBD**
0	-57422,80	-57422,80	-52718,80	-52718,80	-57422,80	-57422,80	-52718,80	-52718,80	-57422,80	-57422,80	-52718,80	-52718,80	-57422,80	-57422,80	-52718,80	-52718,80
1	6168,54	5711,61	6148,59	5693,14	7080,92	6556,41	7466,62	6913,54	7759,22	7184,46	7732,62	7159,83	6269,62	5805,20	6256,32	5792,89
2	6124,13	5250,45	6104,32	5233,47	7029,94	6027,04	7412,86	6355,33	7703,35	6604,38	7676,95	6581,74	6224,48	5336,49	6211,27	5325,17
3	6079,71	4826,27	6060,05	4810,66	6978,95	5540,12	7359,10	5841,89	7647,49	6070,82	7621,27	6050,01	6179,34	4905,36	6166,23	4894,95
4	6035,30	4436,13	6015,78	4421,78	6927,97	5092,27	7305,34	5369,64	7591,62	5580,07	7565,60	5560,94	6134,20	4508,82	6121,18	4499,25
5	5990,89	4077,30	5971,51	4064,11	6876,99	4680,36	7251,58	4935,30	7535,75	5128,71	7509,92	5111,13	6089,05	4144,11	6076,14	4135,32
6	5946,47	3747,29	5927,24	3735,17	6826,01	4301,54	7197,82	4535,85	7479,89	4713,60	7454,25	4697,44	6043,91	3808,69	6031,09	3800,61
7	5902,06	3443,79	5882,97	3432,66	6775,02	3953,16	7144,06	4168,49	7424,02	4331,85	7398,57	4317,00	5998,77	3500,23	5986,05	3492,80
8	5857,65	3164,70	5838,70	3154,47	6724,04	3632,79	7090,30	3830,67	7368,16	3980,79	7342,90	3967,14	5953,63	3216,56	5941,00	3209,74
9	5813,23	2908,06	5794,43	2898,66	6673,06	3338,19	7036,54	3520,02	7312,29	3657,96	7287,22	3645,42	5908,49	2955,72	5895,96	2949,45
10	5768,82	2672,08	5750,16	2663,44	6622,08	3067,30	6982,78	3234,38	7256,42	3361,13	7231,55	3349,61	5863,35	2715,86	5850,91	2710,10
11	5724,41	2455,10	5705,89	2447,16	6571,09	2818,23	6929,02	2971,74	7200,56	3088,20	7175,87	3077,61	5818,21	2495,33	5805,86	2490,04
12	5679,99	2255,60	5661,62	2248,31	6520,11	2589,23	6875,26	2730,26	7144,69	2837,25	7120,20	2827,53	5773,07	2292,56	5760,82	2287,70
13	5635,58	2072,19	5617,35	2065,49	6469,13	2378,69	6821,50	2508,25	7088,82	2606,55	7064,52	2597,61	5727,92	2106,15	5715,77	2101,68
14	5591,16	1903,57	5573,08	1897,42	6418,15	2185,13	6767,74	2304,15	7032,96	2394,45	7008,85	2386,24	5682,78	1934,77	5670,73	1930,66
15	5546,75	1748,57	5528,81	1742,91	6367,16	2007,20	6713,98	2116,53	6977,09	2199,47	6953,17	2191,93	5637,64	1777,22	5625,68	1773,45
16	5502,34	1606,08	5484,54	1600,89	6316,18	1843,63	6660,23	1944,06	6921,22	2020,24	6897,50	2013,31	5592,50	1632,40	5580,64	1628,93
17	5457,92	1475,11	5440,27	1470,34	6265,20	1693,29	6606,47	1785,52	6865,36	1855,49	6841,82	1849,13	5547,36	1499,28	5535,59	1496,10
18	5413,51	1354,73	5396,00	1350,34	6214,22	1555,10	6552,71	1639,81	6809,49	1704,07	6786,15	1698,23	5502,22	1376,92	5490,55	1374,00
19	5369,10	1244,08	5351,73	1240,06	6163,23	1428,10	6498,95	1505,88	6753,63	1564,90	6730,47	1559,53	5457,08	1264,47	5445,50	1261,79
20	5324,68	1142,40	5307,46	1138,71	6112,25	1311,37	6445,19	1382,80	6697,76	1436,99	6674,80	1432,07	5411,94	1161,12	5400,46	1158,66
21	5280,27	1048,96	5263,19	1045,56	6061,27	1204,11	6391,43	1269,69	6641,89	1319,45	6619,12	1314,93	5366,79	1066,14	5355,41	1063,88
22	5235,86	963,09	5218,92	959,97	6010,28	1105,53	6337,67	1165,75	6586,03	1211,44	6563,45	1207,28	5321,65	978,87	5310,36	976,79
23	5191,44	884,18	5174,65	881,32	5959,30	1014,96	6283,91	1070,25	6530,16	1112,19	6507,77	1108,37	5276,51	898,67	5265,32	896,76
24	5147,03	811,68	5130,38	809,06	5908,32	931,74	6230,15	982,49	6474,29	1020,99	6452,10	1017,49	5231,37	824,98	5220,27	823,23
25	5102,62	745,07	5086,11	742,66	5857,34	855,28	6176,39	901,86	6418,43	937,21	6396,42	933,99	5186,23	757,28	5175,23	755,68
25	17226,80	2515,42	15815,64	2309,37	17226,80	2515,42	15815,64	2309,37	17226,84	2515,43	15815,64	2309,37	17226,84	2515,43	15815,64	2309,37
Toplam		7040,72		11338,31		16203,37		24574,74		23015,27		27246,07		8055,83		12420,20
İç Verim Oranı	9%		10%		11%		13%		12%		14%		10%		11%	

BÖLÜM 9

TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ ALANINDAKİ YASAL SÜREÇ

9.1. Lisanslı ve Lisanssız Üretim Tanımları

9.1.1. Lisanslı Üretim

Lisanslı tesisler, 12 Mayıs 2019 tarihinde değişen yönetmelik ile 5 MW üstü kurulu güce sahip uygulamalardır. Tesisten üretilen elektrik doğrudan şebekeye basılabilmektedir. Bu projelerin lisansları 49 yıl geçerlidir.

Başvuru dosyaları kapsamında, başvuru öncesinde en az 6 aylık güneş istatistiği ve gerçel meteorolojik güneş ölçümü istenmektedir. Ayrıca lisanslı Güneş Enerji Santralleri (GES) için Çevresel Etki Değerlendirmesi raporu (ÇED) gereklidir.

Lisanslı GES başvurusu EPDK tarafından incelenir ve TEİAŞ tarafından trafo merkezlerindeki kapasiteye göre projeler netleştirilir.

9.1.2. Lisanssız Üretim

Yeni yönetmelik kapsamında 5 MW kapasite altı kurulu güce sahip elektrik üretim tesisleridir. Tüketim zorunluluğu 33'te bir oranında olmaktadır. Mahsuplaşma esaslarına göre elektrik şebekeye verilebilmektedir.

Lisanssız enerji projelerinde devletin alım garantisi 10 yıl olup, yeniden değerlendirme 10 yıl sonraki piyasa koşullarına göre tekrar gözden geçirilmektedir.

Bu projelerde güneş ölçüm zorunluluğu bulunmamaktadır. Ayrıca ÇED raporu da gerekli değildir. Trafo merkezinde TEİAŞ tarafından yeterli kapasite olması durumda

çağrı mektubu ile ilgili dağıtım şirketine başvuru yapabilir. Kapasite durumuna göre proje değerlendirmeleri yapılarak projenin onayı belirlenmektedir.

9.2. Güncel Elektrik Piyasası Kanunları

Enerji talebinin artması ve çevre dostu enerji üretimi ihtiyacının artması sebebiyle yenilenebilir enerji politikalarında da değişiklikler mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında kurulum ve işletme kolaylığı ile güneş ve rüzgar enerjisi öne çıkmaktadır. Ülkemizde yenilenebilir enerji sistemleri, 14/3/2013 tarihli 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanun ve 10/5/2005 tarihli 5346 nolu Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun hükümlerine tabidir.

Lisanslı projeler; 2 Kasım 2013 tarih ve 28809 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan ve 25 Aralık 2020 tarihinde 31345 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan revizyon ile son halini alan ''Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'' hükümleri kapsamındadır.

Lisanssız projeler ise; 2 Ekim 2013 tarih ve 28783 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan ve 12 Mayıs 2019 tarihinde 30772 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan revizyon ile son halini alan ''Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'' hükümleri kapsamındadır.

Tezin konusu olan işletme çatısı için yapılan tasarımların kurulu gücü 5 MW altında olup, şirket kurma ve lisans zorunluluğu yoktur. Üretilen elektriğin ihtiyaç fazlası şirketin bulunduğu bölgedeki lisans sahibi dağıtım şirketi aracılığıyla YEK destekleme mekanizması kapsamında değerlendirilecektir.

9.2.1. Lisanssız Enerji Piyasası Teşvik Mekanizması

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 5'inci maddesinin ikinci fıkrası uyarınca elektrik üretimini yenilenebilir kaynaklar ile gerçekleştiren tesislerin, ürettiği ihtiyaç fazlası elektrik ilgili tedarik şirketi tarafından YEKDEM kapsamında değerlendirilmektedir.

Yönetmelik maddesinin içeriğinde ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi tedarik şirketi tarafından satın alınmaktadır. Fiyatlandırma elektrik tedarikçisinin abone gruplarına

göre aktif elektrik enerjisi bedeli üzerinden yapılacaktır. YEKDEM kapsamında, üretim tesisinin sisteme enerji verme tarihi itibariyle 10 yıl boyunca satın alma işlemi yapılacağı belirtilmektedir. Çizelge 9.1'de yenilenebilir enerji kaynaklarının alım tutarları bulunmaktadır. 10 Mayıs 2019'da yürürlüğe giren mevzuat neticesinde analizlerini yaptığımız ticarethane için 46,8 kuruş/kWh güncel elektrik bedeli bulunmaktadır.

18/05/2005 tarih ve 25819 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan, 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" ve 25/11/2020 tarih ve 7257 sayılı kanunla yapılan değişiklikle yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretimlerde alım garantisi tahsis edilmiştir. Yönetmelik uyarınca hidrolektrik, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için tesis tipine bağlı olarak alım garantisi tutarları EPDK tarafından belirlenmiştir.

Çizelge 9.1. Yenilenebilir enerji kaynakları alım garantisi tutarları. (mevzuat.gov.tr, 2020)

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	**Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)**
Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöp gazı dâhil)	13,3
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3
10/05/2019 tarihinden itibaren bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almaya hak kazanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik üretim faaliyeti kapsamındaki tesisler	EPDK tarafından TL kuruş/kWh olarak ilan edilen kendi abone grubuna iat perakende tek zamanlı aktif enerji bedeli

9.2.2. Çatı ve Cephelerde PV Uygulamalar Mevzuatı

Ülkemizde enerji piyasasını yönlendiren kurum Enerji Piyasası Denetleme Kurumu (EPDK)'dur. Yakın zamanda EPDK; çatı ve cepheleri kaplayacak fotovoltaik

uygulamaların önünü açmak için teşvik edecek adımlar atmaya başladı. Çatı mevzuatı bu adımların ilkidir. Karar tarihi 28/12/2017 ve karar numarası 7590 olan EPDK kurul kararı 18/01/2018 tarihinde resmî gazetede yayınlandı. Bu karar fotovoltaik panellerle çatı ve cephelerin kaplanması için oluşturulmuş bir mevzuattır.

Mevzuat; son tüketici için yeterli olan 10kWe ve altı güneş enerjisi santral kurulumlarını diğer arazi tipi güneş enerjisi santrallerinden ayırmıştır. Bu mevzuat ile kapasite tahsisi sorunu ortadan kalkmıştır. Şebekeye bağlanan bütün santraller için bağlantı öncesi transformatörlerdeki kapasite uygunluğu incelenir. Bu uygunluk dikkate alınarak kapasite tahsisi yapılır, çağrı mektubu verilir. Bu sistemler için doğrudan bağlantı görüşü oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu sayede çağrı mektubu alma süreci hızlandırılmıştır.

Son tüketicinin güneş enerjisi teknolojisini kullanabilmesi için beyan etmesi gereken birçok evrak bulunmaktadır. Bu evrak fazlalığı getirdiği uğraş sebebiyle son tüketicinin teknolojiyi kullanmasına engel olmaktadır. Çatı mevzuatı ile başvuruda istenen bilgi ve belgeler de sadeleştirilmiştir.

İstenilen evraklar; başvuru formu, tapu veya kira kontratı, kimlik sureti ve kimlik fotokopisi ve vekaletname ve muvafakat namedir.

Kaldırılan evraklar ise; yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'ne verilen form, aksiyon krokisi, kurulacak alanın koordinatları, tek hat şeması, kurulu gücü gösterir belge, vekil edenin imza beyanı, vekilin imza beyanıdır.

Bu mevzuat ile aynı zamanda kamu kuruluşlarından geri dönüş süreleri kısaltılmıştır. Birçok kurumla iletişime geçmek zorunda olan son tüketiciler için kurum sayısının azaltılması kadar kurumlardan dönüşlerin hızlı şekilde yapılması da önemlidir. Bu mevzuat ile daha kısa sürede sistem izinlerinin alınması ve kurulması sağlanmıştır.

Bir diğer atılan olumlu adım gelir vergisi muafiyetidir. Şebekeye bağlı her elektrik üretim tesisi gibi elektrik üretim amacıyla kurulan binaya entegre güneş enerjisi tesislerin de tüketilenden fazla üretilen elektriğin satılabilmesi yasal bir haktır.

Bu sayede son tüketiciler hem kendi elektriğini üretebilecek hem de fazlasını piyasaya satarak para kazanabilecek. Yeni düzenlemeyle aylık mahsuplaşmaya

geçilmiştir. Kendi elektriğini üreten son tüketici aynı zamanda yatırımcı da olabileceği için bu yasa teknolojinin kullanımına ciddi şekilde teşvik etmektedir.

Olumlu atılan diğer adımlardan biri de proje onay işlem ücretlerindeki değişimdir. Elektrik üretim tesisinin gücüne bakılmaksızın proje onayı için TEDAŞ'a verilmesi gereken tutar aynıydı. Bu durum onay bedelinin düşük güçte kurulan tesislerin ilk yatırım maliyetlerinde ki oranını fazlalaştırmaktaydı ve geri dönüş sürelerini uzatmaktaydı.

İletişime geçilecek kurum sayısının azaltılması da son tüketici açısından süreci hızlandıran diğer bir adımdır. Başvuru, proje onay, ön kabul ve geçici kabul işlemleri için TEDAŞ kurumu ile iletişimde olmak gerekiyordu. TEDAŞ'ın da Ankara'da olması sistemi kurmak isteyen herkesin Ankara'ya gitmesi zorunluydu. 17/08/2018 tarihli düzenleme ile TEDAŞ kendisine bağlı olan EDAŞ'lara bu yetkileri vererek son tüketicinin hem masraflarının azalmasını hem de sürecin daha hızlı ilerlemesini sağlamıştır.

Ayrıca yapılan son yasal düzenlemeler neticesinde öztüketim projelerinde çatı ve cephe kurulumu yapılması koşulu ile kapasite sınırlandırılması kaldırılmıştır. Proje başvurusunda belirtilen kapasite aşılmaması gerekmektedir Lisanssız projeler ile aynı başvuru süreci yürütülen bu projeler de aylık mahsuplaşmadan yararlanmaktadır.

BÖLÜM 10

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Fosil yakıt tüketimine bağlı olarak küresel ısınmada geri dönülemez sürece girilmemesi için alternatif enerji kaynaklarının kullanılması birincil olarak tercih edilmesi gerekmektedir. Karbon salınımı az ve doğa dostu olan alternatif enerji dünyanın geleceği adına büyük önem taşımaktadır. Alternatif enerji kaynakları sistemleri daha portatif ve amaca uygun kurulum yapılabilir olması nedeniyle şahsi konutlar için de endüstriyel tesisler için de önemli seçeneklerdir.

Bu çalışmayı güneş enerjisi üzerine yapılan diğer araştırmalardan ayıran temel konular; Edirne ili için güneş potansiyelinin değerlendirilmesi, bir işletme binası için uygun PV çatı sistemi tasarımları yapılması ve yatırım ekonomik analizleri yapılmasıdır. Çalışma işletme konumunun belirlenmesi, uygun çatı tasarımının yapılması ve üretim tüketim analizleri üzerinden ekonomik değerlendirme yapılması nedeniyle farklı disiplinlerin birlikte kullanılması özelliğiyle kendine öz bir çalışmadır.

İşletme binası 41˚37'34" kuzey paraleli, 26˚37'21" doğu meridyeni konumunda bulunmaktadır. Güneşe göre bina azimut açısı Google Earth programı üzerinden 43° olduğu belirlenmiştir. PvSyst programında konum tanıtılması yapılmıştır.

Bina çatısının gerçek ölçülerine göre programda tasarımı yapılmıştır. İşletme çatısının 480 m^2 alanı mevcuttur. PV sistemi için kullanılabilir alan belirlemesi yapıldığında 477 m^2 olduğu bulunmuştur.

Yapılan tasarımlar sonucunda; bina güneye bakacak şekilde konumlandırılması durumunda en verimli azimut açısına ulaşmaktadır. Mevcut bina konumunda yapılan PV tasarımlarında ulaşılan üretim değerleri işletmenin enerji ihtiyacını

karşılayabilmekte ve fazlası bulunmaktadır. Fakat bina güneye bakacak şekilde konumlandırılması verimini arttırmaktadır.

Aynı kapasitede monokristal ve polikristal panellerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bina konumu ve panel tilt açıları aynı olacak şekilde karşılaştırması yapıldığında; monokristal panellerin polikristal panellere göre yıllık ortalama 100 kWh fazla üretim sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Analizler değerlendirildiğinde en fazla üretim 111,6 MWh yıllık üretim ile bina azimut açısı 0° olacak şekilde konumlandırıldığında ve panel tilt açısı 30° olduğunda sağlanmaktadır. Bu analiz 7.4.3.1. başlıklı 5 numaralı analizdir. Kullanılan panelin monokristal ve sehpa tasarımı tek sehpa olması gerekmektedir. En az üretim de mevcut bina konumunda azimut açısı 43° ve panel tilt açısını çatı eğim çatısı olan 3° olarak tasarlandığında ve polikristal panel seçimi yapıldığında olmaktadır. Bu analiz 7.4.1.2. başlıklı 2 numaralı analiz olmaktadır. Analizlerin yıllık üretim değerleri Çizelge 10.1'de bulunmaktadır. Analizlerin ayrıntılı program çıktıları *Ek*'lerde bulunmaktadır.

Çizelge 10.1. Analiz sonuçları özeti.

Analiz Numarası	**Tilt Açısı (°)**	**Bina Azimut Açısı (°)**	**Sehpa Tasarımı**	**Panel Türü**	**Üretim (MWh/yıl)**	**Analiz Konu Başlığı**	
1	3	43	Sıralı	Monokristal	99,64	7.4.1.1.	Mevcut Bina Konumu
2	3	43	Sıralı	Polikristal	99,49	7.4.1.2.	
3	30	43	Tek	Monokristal	106,5	7.4.2.1.	
4	30	43	Tek	Polikristal	106,4	7.4.2.2.	
5	30	0	Tek	Monokristal	111,6	7.4.3.1.	Optimum Bina Konumu
6	30	0	Tek	Polikristal	111,4	7.4.3.2.	
7	3	0	Tek	Monokristal	100,4	7.4.4.1.	
8	3	0	Tek	Polikristal	100,3	7.4.4.2.	

Analizlerin yapıldığı tasarımlar Edirne ilinde bulunan bir işletmenin tüketimini saylayabilecek kapasitede olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. İşletme yıllık 53,26 MW elektrik tüketimi yapmaktadır. Buradan yola çıkarak tasarlanan sistemlerin işletme enerji tüketimine yeterli olabileceği ve tüketim fazlası üretilen elektrik sisteme satılabileceği sonucuna varılmaktadır.

Bir tasarımın yatırım yapılabilir olduğunu belirlemek için sadece üretim kapasiteleri yeterli değildir. Maliyet analizleri ile de projelerin yatırım yapılabilir olması gerekmektedir.

Analizlerin 25 yıllık sağlayabileceği toplam gelirleri karşılaştırıldığında 177220,6 dolar ile 5'inci 7.4.3.1. başlıklı analiz en fazla gelir sağlamaktadır, en düşük gelir sağlayan analiz ise 140433,8 dolar ile 2 numaralı 7.4.1.2. başlıklı analizdir.

Geri ödeme süresi hesaplamaları maliyet analizinin diğer önemli adımlarındandır. Tasarımların geri ödeme süresi hesaplamaları karşılaştırıldığında en kısa zamanda kara geçecek tasarım 7.4.3.1. başlıklı 5 numaralı analiz 7,43 yıl olduğu, en geç sürede kara geçecek tasarım 7.4.1.1.başlıklı 1 numaralı analiz 10,18 yıl olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tasarımların maliyet analizleri açısından NBD ve iç verim oranı hesaplamaları da yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar NBD'i en yüksek 7.4.3.2. nolu 6'ıncı analiz olduğu sonucuna varılmıştır. Proje yatırımı için NBD hesaplama yönüyle en mantıklı seçenek budur. En düşük NBD'e sahip tasarım ise 7.4.1.1. nolu 1'inci analiz olmaktadır.

İç verim hesaplamaları sonucunda her tasarım iskonto tutarından fazla iç verim oranına sahip olduğu için yatırım yapılabilirler. Fakat iç verim oranında da 7.4.3.2. nolu 6'ıncı tasarım %14 ile en karlı yatırım, 7.4.1.1. nolu 1'inci tasarım %9 ile karlılığı en düşük tasarım seçeneğidir.

Yapılan bu çalışmada yatırım yapılacak bir bina çatı veya cephe güneş enerji sistemi uygulaması için örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır. İşletme çatısı için yapılan PvSyst programı analizleri ve maliyet analizleri farklı parametre değerlendirmeleri sonucunda, tasarımların yatırım yapılabilir nitelikte oldukları sonucuna varılmaktadır.

KAYNAKLAR

Abuşka, M. (2014). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notları. Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.

Akcan,E., Kuncan, M. & Minaz, M.R. (2020). PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *18*, 248-261.

Aktacir, M.A., Mutlu, İ.H. & Yeşilata, B. (2006). Fotovoltaik Güç ve Harran Üniversitesi Temiz Enerjili Kampüs Entegre Projesi-1: Stratejik Esaslar. 06.07.2020 tarihinde https://eng.harran.edu.tr/~aktacir/E/E11.pdf adresinden erişilmiştir.

Aktaş, T. & Eremkere, M. (2020). Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 7*, 1, 275-294.

Akyüz, A. & Bilgili, E. (2019). Yüreğir Ovasında Tarımsal İşletmeler İçin Fotovoltaik Piller ile Elektrik Üretiminde En Uygun Eğim Açısının Belirlenmesi ve Modellenmesi. *Uluslararası Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, *2*(2), 1-24.

Amrouche, S.O.,Belhamel, M., Malek, A. & Maafi, A. (2000). *DC/AC Solar Inverter for Solar Applications, Renewables: The Energy for the 21st Century World Renewable Energy Congress VI*. İngiltere, Brighton, 821-824.

AnkaraSolar (2020). 19.06.2020 tarihinde http://www.ankarasolar.com.tr/ adresinden erişilmiştir.

Asselman, A., Attari, K., Baghdadi, I., Leemrani, Z. & Yaakoubi, A.E. (2017). Performance investigation of a PV system connected to the grid. *Procedia Manufacturing, 22*, 667-674.

Attari, K., Asselman, A. & Yaakoubi, A.E. (2016). Performance analysis and investigation of a grid-connected photovoltaic installation in Morocco. *Energy Reports, 2*, 261-266.

Ajder, A. (2011). *Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri için Optimum Eğim Açısının Hesaplanması.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ballif, C., Heinstein, P. & Perret-Aebi, L.E. (2013). Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials. *Barriers and Myths, Green, 3*(2),125-156.

Banerjee, R. & Singh, R. (2015). Estimation of rooftop solar photovoltaic potential of a city. *Solar Energy, 115*, 589-602.

Ban, Ü. & Ercan, M.K. (2005*). Finansal Yönetim (Değere Dayalı İşletme Finansı)*. Ankara: Gazi Kitabevi.

Baş, Z., Zıba, S. & Yılmaz, A.S. (2017). Fotovoltaik Üretim Sistemlerinin Şebekeye ve Maliyetlere Etkisinin İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20*, 3, 72 – 78.

Berger, W. (1998). The technical and behavioural potential for solar energy-a case study for the town of Lusk/Ireland. *Renewable Energy, 13*, 1, January 1998, 55-66.

Boyle, F., Reynolds, A. & Li, Z. (2011). Domestic application of solar PV systems in Ireland: The reality of their economic viability. *Energy, 36*, 10, 5865-5876.

BP (2020). *Statistical Review of World Energy*, 69th edition.

Brigham, E.F. & Houston, J.F. (1999). Intermediate Financial Management. *New York: The Dryden Press*. 506-509.

Building Integrated Combined Solar Thermal and Electric Generation Demonstration Project at Concordia University. 13.06.2020 tarihinde https://www.concordia.ca/content/dam/concordia/docs/quartier-concordia/Solar_PanelsENG.pdf adresinden erişilmiştir.

Chow, T.T. (2009). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *City University of Hong Kong, Applied Energy, 87*(2),365-379.

Coventry , J.S. & Lovegrove, K. (2003). Development of an approach to compare the 'value' of electrical and thermal output from a domestic PV/thermalsystem. *Solar Energy, 75,* 63–72.

Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17*, 3.

Çetintaş, H. & Türköz, K. (2017). İklim Değişikliği ile Mücadelede Karbon Piyasalarının Rolü. *Balıkesir University The Journal of Social Sciences Institute, 20*, 37, 147-167.

Demircan, R.K. & Gültekin, A.B. (2017). Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi. *TÜBAV Bilim, 10* (1) 36-51.

Dinçer, İ., Çölpan, C.Ö. & Kızılkan, Ö, (2018). Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions. *Elsevier*. 20.11.2020 tarihinde https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/parabolic-trough-collector adresinden erişildi.

Durisch, W., Tille, D., Wörz, A. & Plapp, W. (2000). Characterisation of Photovoltaic Generators. *Applied Energy, 65*, 273-284.

Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. (2017) *Strateji Geliştirme Başkanlığı, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.* 07.04.2020 tarihinde http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/enerji%20bakanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20yay%C4%B1n.pdf sitesinden erişilmiştir.

Emo, *Enerji İstatistikleri*. 18.10.2020 tarihinde https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369 sitesinden erişilmiştir.

EnerData (2018). *Global Energy Scenarios to 2040*. 11.04.2020 tarihinde https://www.enerdata.net/publications/reports-presentations/long-term-energy-forecasting-scenarios-2018.html adresinden erişilmiştir.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2020). *GEPA.* 13.08.2020 tarihinde https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/ adresinden erişilmiştir.

EPDK, *Elektrik Piyasası Sektör Raporu*. 03.12.2020 tarihinde https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar adresinden erişildi.

EPDK, *10 kW'a kadar Lisanssız Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında*. 02.12.2020 tarihinde https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=7apTx1kUfgY= sitesinden erişilmiştir.

EPDK, *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği*. 07.02.2021 tarihinde https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim adresinden erişilmiştir.

EPDK, *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği*. 08.02.2021 tarihinde https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari adresinden erişilmiştir.

Girgin, M.H. (2011). *Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirilmesi ve Ekonomik Analizi.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi / Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Global Market Outlook, For Solar Power / 2019 – 2023. 16.08.2020 tarihinde https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/07/SolarPower-Europe_Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf adresinden erişilmiştir.

Guariento , N. & Roberts, S. (2009). Building Integrated Photovoltaics: A Handbook. *Springer Science & Business Media*.

Gupta, R.P., Jayakumar, A., Kumar, N.M., Mathew, M. & Singh, N.K. (2019). Performance, energy loss, and degradation prediction of roof-integrated crystalline solar PV system installed in Northern India. *Case Studies in Thermal Engineering*, https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100409.

Güçlü, S. (2009). *Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Çevre Aydınlatma Elektrik Enerjisinin; Güneş Enerjisi ile Sağlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

GÜNDER, (2018). *Güneş Enerjisi Çatı ve Cephe Sistemleri Eğitimi*, İstanbul.

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

Habib Kocakaya, (2012). 25.10.2020 tarihinde https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ba5492f3bc2f401_ek.pdf?tipi adresinden erişilmiştir.

IEA, *Global Energy Review 2020*. 21.11.2020 tarihinde https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020 sitesinden erişilmiştir.

Irwanto, M. & Yusoff, M.I. (2015). Stand-Alone Photovoltaic (SAPV) System Assessment using PVSYST Software. *Energy Procedia, 79,* 596-603.

İzgi, E. & Özcan, Ö. (2020). Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23,* 3, 127 – 140.

Kanan, N.Ö. (2012). Tarihi Yapılarda Enerji Kazancı Sağlamak Amacıyla Çatı ve Cephe Bütünleşik Aktif Sistemlerin Kullanımı. *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 12 -13 Nisan 2012*.

Kayfeci, M. (2020) *Alternatif Enerji Kaynakları*, Ders Notları. Karabük.

Keleş, C.Ö. (2008). *Türkiye'de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Koç, İ. & Sayın, S. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 26*, 3, 89 – 106.

Köse, E. (2018). Fotovoltaik Sistemlerin Sıcaklığa Bağlı Enerji Verimliliği Performansının Analiz Edilmesi. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi, 2*, 39-53.

Mühendistan. 19.11.2020 tarihinde https://muhendistan.com/gunes-pilleri-nasil-calisir/ adresinden erişilmiştir.

NREL, (2018). *Renewable Energy Data Book*. 04.02.2020 tarihinde https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/75284.pdf adresinden erişilmiştir.

Okka, O. (2006). *Finansal Yönetime Giriş*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Özgün, H. (2015). *Fotovoltaik Enerji Sistemleri.* Ankara: Günder Yayınları.

Özyiğit, F.Y. & Sarı, V. (2020). Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 20,* 425 – 437.

Prasad, D. & Snow, D. (2005). *Designing with Solar Power: A Source Book for Building Integrated photovoltaics (BIPV).* Kindle Edition.

PVDataBase. 10.12.2020 tarihinde http://www.pvdatabase.org/index.php adresinden erişilmiştir.

PVeducation. 17.12.2020 tarihinde https://www.pveducation.org/ adresinden erişilmiştir.

Sarıaslan, H. (1990), *Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi, Planlama-Analiz-Fizibilite*. Ankara: Turhan Kitapevi.

Stefan-Boltzmann kanunu. 19.04.2020 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmann_yasas%C4%B1 adresinden erişilmiştir.

Solar Power Europe. 03.10.2020 tarihinde https://www.solarpowereurope.org/ adresinden erişilmiştir.

Solarlite (2010). *Güneş Enerjisi Fuarı,* İstanbul.

Solartiz. 16.11.2020 tarihinde https://solartiz.com/gunes-hucre-cesitleri/ adresinden erişilmiştir.

TEDAŞ, *Proje Onayı Kabul İşlemleri* (2020). 19.09.2020 tarihinde https://www.tedas.gov.tr/#!tedas_proje_onayi_kabul_islemileri adresinden erişilmiştir.

Tesisat.org. 09.11.2020 tarihinde https://www.tesisat.org/vakum-tuplu-gunes-enerjisi-kollektorleri.html adresinden erişilmiştir.

TSE (2017). *Fotovoltaik Modüller ve Güneş Enerjisi Santrallerinde Standartlar*. 03.12.2020 tarihinde https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/gokhan-durukan-3-pv-calistayi.pdf adresinden erişilmiştir.

Uçar, S. (2018). *Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Arel Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

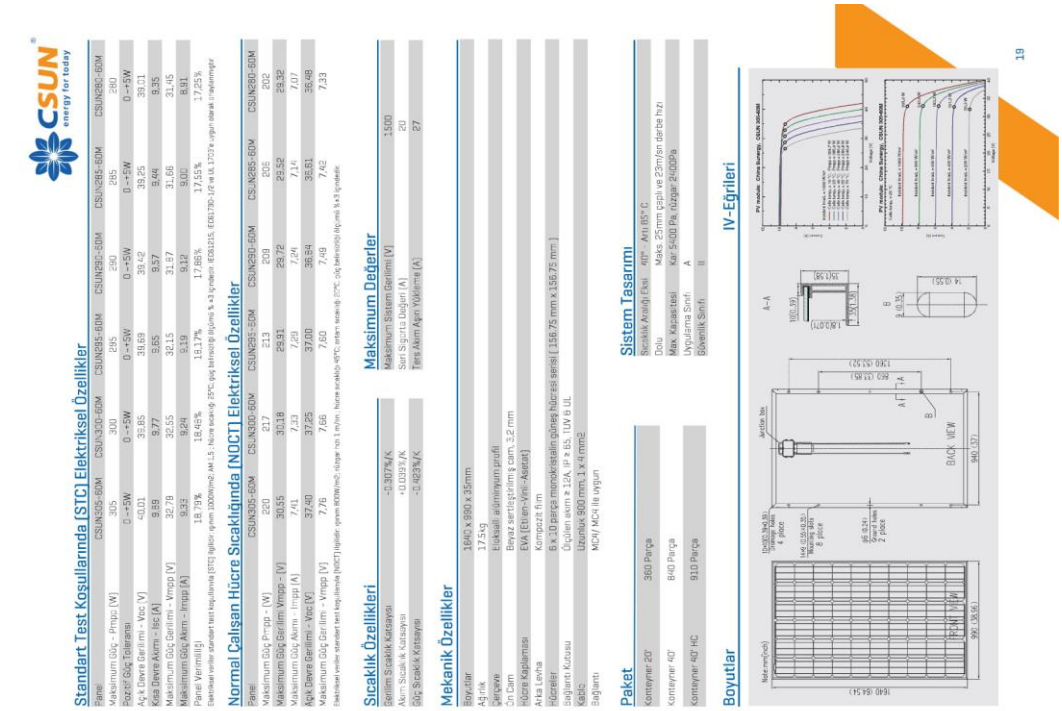
Ulleberg, O. & Morner, S.O. (1997). TRNSYS Simulation models for solar-hydrogen systems. *Solar Energy, 59*, 271-279.

Üçgül, İ., Şenol, R. & Acar, M.(2006).Güneş Pillerinin Dünü, Bugünü ve Geleceğe Bakışı. *Mühendis ve Makine Dergisi,560,* 42-51.

Yeşilodak. 12.11.2020 tarihinde https://www.yesilodak.com/images/upload/content/yesil_odak_gunes_tarlasi_solar_power_plant2.jpg sitesinden erişilmiştir.

EKLER

EK 1 - CSUN 280 60M Monokristal Panel Katalog Bilgileri



Standart Test Koşullarında (STC) Elektriksel Özellikler

Pane	CSUN305-60M	CSUN300-60M	CSUN295-60M	CSUN290-60M	CSUN285-60M	CSUN280-60M
Maksimum Güç - Pmpp (W)	305	300	295	290	285	280
Pozitif Güç Toleransı	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W
Açık Devre Gerilimi - Voc (V)	40.01	39.85	39.69	39.42	39.25	39.01
Kısa Devre Akımı - Isc (A)	9.89	9.77	9.65	9.57	9.44	9.35
Maksimum Güç Gerilimi - Vmpp (V)	32.79	32.55	32.15	31.97	31.66	31.45
Maksimum Güç Akımı - Impp (A)	9.33	9.24	9.19	9.12	9.01	8.91
Panel Verimliliği	18.79%	18.48%	18.17%	17.86%	17.55%	17.25%

Elektriksel veriler standart test koşullarında (STC) ışıklanma ışınımı (1000W/m2), AM 1.5, Hücre sıcaklığı 25°C, güç belirsizliği ölçümü ± %3 içindedir. IEC61215, IEC61730-1/II ve UL 1703'e uygun olarak onaylanmıştır

Normal Çalışan Hücre Sıcaklığında (NOCT) Elektriksel Özellikler

Pane	CSUN305-60M	CSUN300-60M	CSUN295-60M	CSUN290-60M	CSUN285-60M	CSUN280-60M
Maksimum Güç Pmpp - (W)	220	217	213	209	205	202
Maksimum Güç Gerilimi Vmpp - (V)	30.55	30.18	29.91	29.72	29.52	29.32
Maksimum Güç Akımı - Impp (A)	7.41	7.33	7.29	7.24	7.14	7.07
Açık Devre Gerilimi - Voc (V)	37.40	37.25	37.00	36.84	36.61	36.48
Maksimum Güç Gerilimi - Vmpp (V)	7.76	7.66	7.60	7.49	7.42	7.33

Elektriksel veriler standart test koşullarında (NOCT) ışıklanma ışınımı (800W/m2) rüzgar hızı 1 m/sn, Hücre sıcaklığı 45°C ortam sıcaklığı 20°C güç belirsizliği ölçümü ± %3 içindedir.

Sıcaklık Özellikleri

Belirtim Sıcaklık Katsayısı	-0.367%/K
Akım Sıcaklık Katsayısı	+0.039%/K
Güç Sıcaklık Katsayısı	-0.423%/K

Maksimum Değerler

Maksimum Sistem Gerilimi (V)	1500
Seri Sigorta Değeri (A)	20
Tehlikenin Yüksekliği (A)	27

Mekanik Özellikler

Boyutlar	1640 x 990 x 35mm
Ağırlık	17.5kg
Çerçeve	Eloksallı alüminyum profil
Ön Cam	Beyaz sertleştirilmiş cam, 3.2 mm
Hücre Kaplaması	EVA (Etilen-Vinil-Asetat)
Arka Levha	Kompozit film
Hücreler	6 x 10 parça monokristalin güneş hücresi serisi (156.75 mm x 156.75 mm)
Bağlantı Kutusu	Üçüncü akım ø 12A, IP ≥ 65, TUV ve UL
Kablo	Uzunluk 900 mm, 1 x 4 mm2
Bağlantı	MC4/ MC4 ile uyguln

Paket

Konteyner 20'	360 Parça
Konteyner 40'	840 Parça
Konteyner 40' HC	910 Parça

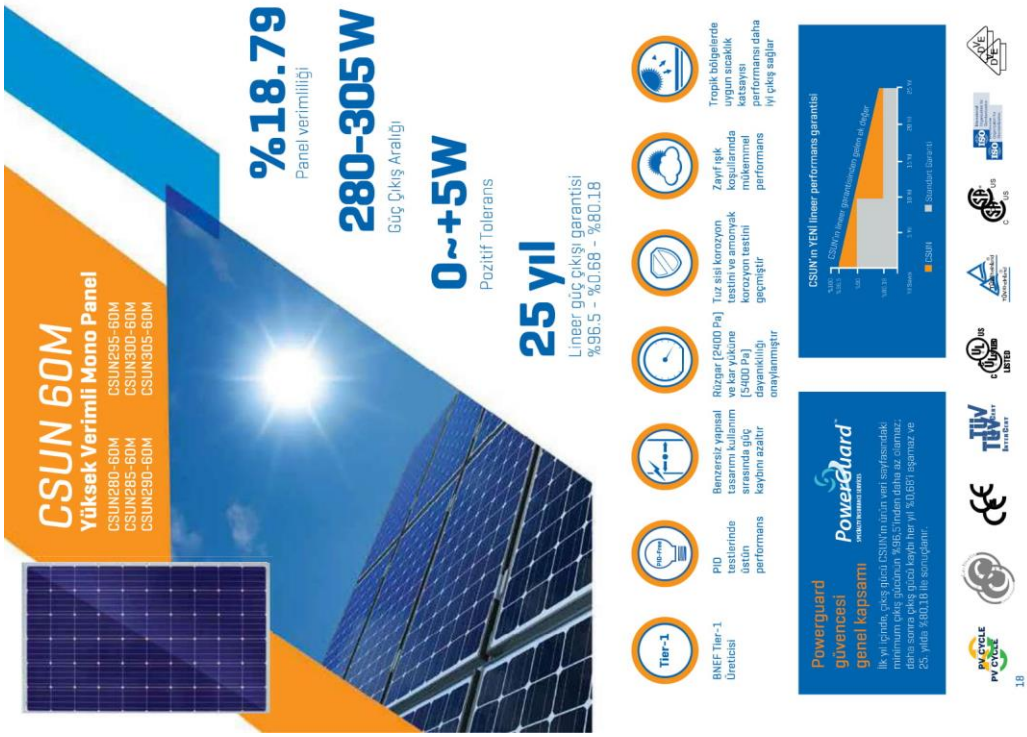
Sistem Tasarımı

Reddetik Aralığı Eksi	40°C Artı 85°C
Dolu	Maks. 25mm çaplı ve 23m/sn darbe hızı
Max. Kapasitesi	Kar: 5400 Pa, rüzgar: 2400Pa
Uygulama Sınıfı	A
Güvenlik Sınıfı	II

Boyutlar

IV-Eğrileri

19



EK 2 - CSUN 280 60P Polikristal Panel Katalog Bilgileri

CSUN 60P

Yüksek Verimli Poli Panel

CSUN265-60P CSUN280-60P
CSUN270-60P CSUN285-60P
CSUN275-60P CSUN290-60P

%17,86

Panel verimliliği

265-290 W

Güç Çıkış Aralığı

0~+5W

Pozitif Tolerans

25 yıl

Lineer güç çıkışı garantisi
%97.5 - %0.7 - %80.7

Tier-1

BNEF Tier-1 Üreticisi

PID testlerinde üstün performans

Benzersiz yapısal tasarımı kullanım sırasında güç kaybını azaltır

Rüzgar (2400 Pa) ve kar yüküne (5400 Pa) dayanıklılığı onaylanmıştır

Tuz sisi korozyon testini ve amonyak korozyon testini geçmiştir

Zayıf ışık koşullarında mükemmel performans

Tropik bölgelerde uygun sıcaklık katsayısı performansı daha iyi çıkış sağlar

Powerguard güvencesi genel kapsamı

İlk yıl içinde, çıkış gücü CSUN'un ürün veri sayfasındaki minimum çıkış gücünün %97,5'inden daha az olamaz; daha sonra çıkış gücü kayıp her yıl %0,7'yi aşamaz ve 25. yılda %80,7 ile sonuçlanır.

CSUN'in YENİ lineer performans garantisi

CSUN Pro lineer garantisinden farkın ne olduğunu görün

CSUN Standart Garanti

16

CSUN

energy for today

Standart Test Koşullarında (STC) Elektriksel Özellikler

Pane	CSUN280-60P	CSUN285-60P	CS-N280-60P	CSUN275-60P	CSUN270-60P	CSUN265-60P
Maksimum Güç - Pmpp (W)	280	285	280	275	270	265
Pozitif Güç Toleransı	0 ~+5W	0 ~+5W	0 ~+5W	0 ~+5W	0 ~+5W	0 ~+5W
Açık Devre Gerilimi - Voc (V)	39.04	38.96	38.74	38.45	38.20	37.97
Kısa Devre Akımı - Isc (A)	9.61	9.47	9.34	9.27	9.16	9.09
Maksimum Güç Gerilimi - Vmpp (V)	31.87	31.61	31.49	31.20	30.95	30.75
Maksimum Güç Akımı - Impp (A)	9.12	9.04	8.89	8.83	8.72	8.64
Panel Verimliliği	17.66%	17.95%	17.25%	16.94%	16.63%	16.32%

Elektriksel veriler standart test koşullarında (STC) ilgilidir: ışınım 1000W/m2, AM 1.5 - hücre sıcaklığı 25°C, güç belirsizliği ölçümü % ±3 içindedir. IEC61215, IEC61730-1/2 ve UL 1703'e uygun olarak onaylanmıştır.

Normal Çalışan Hücre Sıcaklığında (NOCT) Elektriksel Özellikler

Pane	CSUN280-60P	CSUN285-60P	CSUN280-60P	CSUN275-60P	CSUN270-60P	CSUN265-60P
Maksimum Güç Pmpp - (W)	213	209	206	202	198	195
Maksimum Güç Gerilimi Vmpp - (V)	30.01	25.76	29.65	29.38	29.15	28.95
Maksimum Güç Akımı - Impp (A)	7.23	7.17	7.05	7.00	6.82	6.85
Açık Devre Gerilimi - Voc (V)	36.76	36.68	36.48	36.20	35.97	35.75
Maksimum Güç Gerilimi - Vmpp (V)	7.62	7.51	7.40	7.35	7.25	7.21

Elektriksel veriler standart test koşullarında (NOCT) ilgilidir: ışınım 800W/m2, rüzgar hızı 1 m/sn, hücre sıcaklığı 45°C, ortam sıcaklığı 20°C, güç belirsizliği ölçümü % ±3 içindedir.

Sıcaklık Özellikleri

Gerilim Sıcaklık Katsayısı	-0.282%/K
Akım Sıcaklık Katsayısı	+0.045%/K
Güç Sıcaklık Katsayısı	-0.408%/K

Maksimum Değerler

Maksimum Sistem Gerilimi (V)	1500
Seri Sigorta Değeri (A)	20
Ters Akım Aşırı Yükleme (A)	27

Mekanik Özellikler

Boyutlar	1640 x 990 x 35mm
Ağırlık	17.5kg
Çerçeve	Eloksallı alüminyum profil
Ön Cam	Beyaz şartlaştırılmış cam, 3.2 mm
Hücre Kaplaması	EVA (Etilen-Vinil-Asetat)
Arka Levha	Komozit film
Hücreler	6 x 10 parça polikristalin güneş hücresi serisi (156.75 mm x 156.75 mm)
Bağlantı Kutusu	Ölçülen sıkım ≥ 12A, IP ≥ 65, TUV & UL
Kablo	Uzunluk 900 mm, 1 x 4 mm2
Bağlantı	MC4/ MC4 ile uygun

Paket

Konteyner 20'	360 Parça
Konteyner 40'	840 Parça
Konteyner 40' HC	910 Parça

Sistem Tasarımı

Sıcaklık Aralığı	Eksi 40°F - Artı 85°C
Dolu	Maks. 25 mm çaplı ve 23m/sn darbeli hızı
Max. Kaldırılabilir Kar	5400 Pa, rüzgar 2400Pa
Uygulama Sınıfı	A
Güvenlik Sınıfı	II

Boyutlar

IV-Eğrileri

17

EK 3 - AEG AS IC01 40000 İnvertör Katalog Bilgileri

SERIES: AS-IC01-33000-2 / AS-IC01-35000-2 / AS-IC01-40000 / AS-IC01-50000 / AS-IC01-60000

INPUT (DC)	33000	35000	40000	50000	60000
Max. DC Input power (W)	36000	38000	55000	66000	72000
Max. DC Input Voltage (V)	1000	1000	1100	1100	1100
Starting Voltage (V) / Min. Operation Voltage (V)	300/280	300/280	200/570	200/570	200/570
MPPT Range (V) / Rated Input Voltage (V)	280-800/610	280-800/610	570/950	570/950	570/950
Number of MPPT / String per MPPT	2/3	2 / 4	1 / 10	1 / 12	1/ 14
Max. DC Current (A) per MPPT x Nr. of MPPT	33 x 2	33 x 2	74x 1	90 x 1	120 x 1
DC switch	Integrated				

OUTPUT (AC)					
Rated Output Power (W)	33000	35000	40000	50000	60000
Max. AC Output Current (A)	48.0	48.0	63.5	72.5	96.0
Grid voltage range (V)	320~460 V	357~483 V	230~400 V	230~400 V	230~400 V
Grid frequency range (Hz)	50 Hz (47~ 51.5 Hz)				
Power Factor	-0.8 ~ +0.8 (adjustable)				
THDi	<3% (at rated power)				
AC Output	Three-phase (L1, L2, L3, N, PE) / (L1, L2, L3, PE)				

SYSTEM					
Cooling	Smart cooling				
Max. Efficiency (%)	98.50	98.50	98.90	98.90	99.00
Euro-Efficiency (%)	98.10	98.10	98.50	98.50	98.50
MPPT Efficiency (%)	99.90				
Protection Rating	IP65				
Power Consumption at Night (W)	<0.5				
Operating Temperature	-25°C ~ 60°C (derate after 45°C)				
Relative Humidity	0 ~ 95%, no condensation				
Protection	PV array insulation protection, AC short-circuit current protection, overcurrent protection, RCD, overvoltage protection, anti-island protection, ground fault monitoring, ground fault monitoring, grid monitoring, DC monitoring				

MECHANICAL PARAMETERS		
Dimensions (H x W x D, mm)	660 x 520 x 250	810 x 645 x 235
Weight (kg)	52	53
DC Terminal	Waterproof terminals	
Installation	Wall mounting	
Grid Standards	DIN VDE 0126-1-1:2013; VDE-AR-N 4105:2011; DIN VDE V 0124-100:2012; C10/11	
Safety certificates / EMC category	IEC 62109-1:2010; IEC 62109-2:2011; EN 61000-6-2:2005; EN 61000-6-3/A1:2011	
Topology	Transformerless	
Noise (dB)	<50	

DISPLAY AND COMMUNICATION	
Display	LCD
System Language	English, German, Dutch
Communication Mode	RS485 + WiFi

WARRANTIES	
Product warranty	5 years (optional: 10/15/20 years)



AS-IC01-(33000~35000)-2



AS-IC01-(40000~60000)

© Solar Solutions GmbH. Specifications in this datasheet are subject to change without notice. Code: AS-IC01-(33000-35000)-2 and AS-IC01-(40000-60000), version 201905.V1.EN
AEG is a registered trademark used under license from AB Electrolux (publ)

CONTACT US

Solar Solutions GmbH | Schneckenhofstrasse 19 | 60596 Frankfurt am Main | Germany
Tel: +49 69 400 500 810 | Fax: +49 69 400 500 819 | Mail: info@aeg-industrialsolar.de
www.aeg-industrialsolar.de

EK 4 - Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 3°)

PVSYST V6.86				04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje :	**Yeni Proje**				
Coğrafi konum	**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**	
Konum	Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E	
Zaman türü	Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m	
	Albedo	0.20			
Hava durumu verileri:	**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik			
Simülasyon varyant :	**Yeni simülasyon varyant**				
	Simülasyon tarihi	04/03/20 21h40			
Simülasyon parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**			
Kolektör düzlem yönlendirmesi	Eğim	3°	Azimut	43°	
Masa ayarlar	Masa say s	7	Dizi alan, basit		
	Masa aral ğ	2.50 m	Kolektör eni	2.02 m	
Etkisiz şerit	Üst	0.02 m	Alt	0.02 m	
Gölgeleme aç s n r	Profil aç s n r	13.0°	Arazi kullan m oran (GCR)	80.8 %	
Kullan lan modeller	Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm	
Ufuk	Ufuk tan mlanmad				
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler				
Kullan c ihtiyaçlar :	S n rs z yükleme (şebeke)				

Kolektör alan n n özellikleri					
PV modül	Si-mono	Model	**CSUN 280-60M**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar		
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel	14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü	280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda	73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	603 V	I mpp	123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**		
İnvertör		Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	AEG Industrial Solar GmbH		
Özellikler		Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü	40.0 kWac
İnvertör paketi		İnvertör say s	2 birim	Toplam güç	80 kWac
				Nom. güç oran	1.03

PV alan kay p faktörleri					
Termal kay p faktörü		Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb		Global saha direnci	83 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb				Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb				Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb				Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

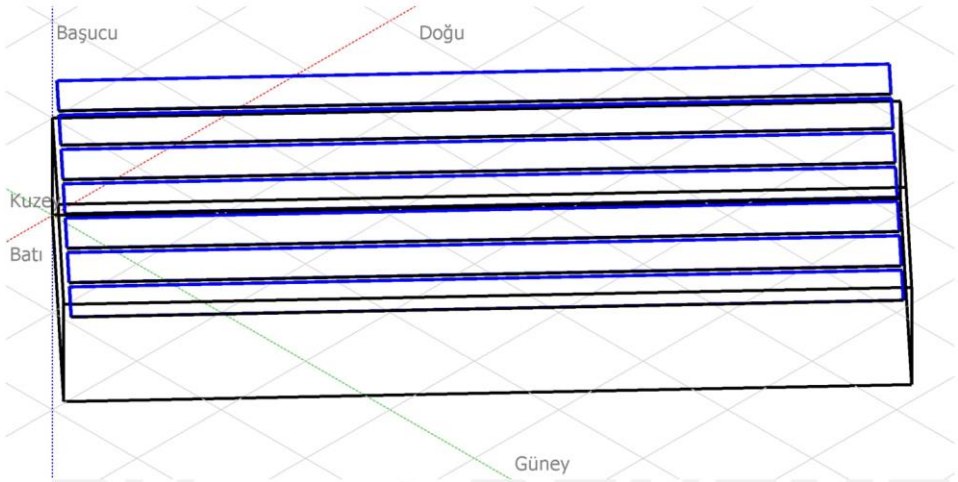
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

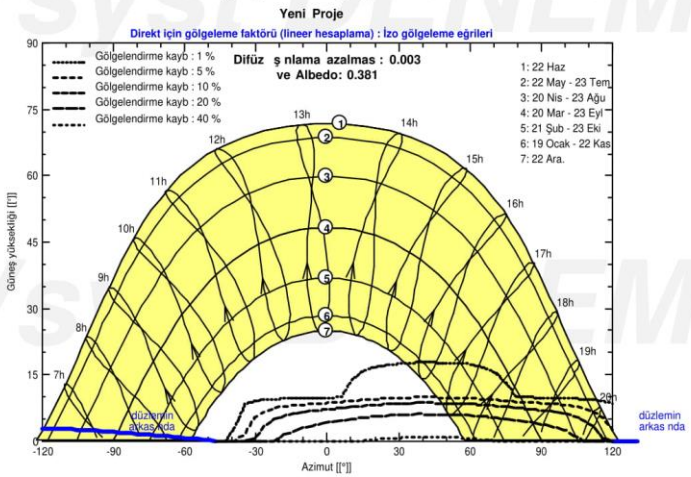
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

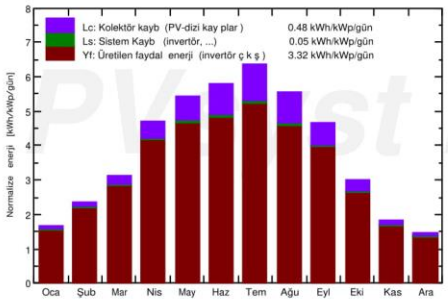
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**			
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler				
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°	
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp	
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**	
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac	
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**	
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)				

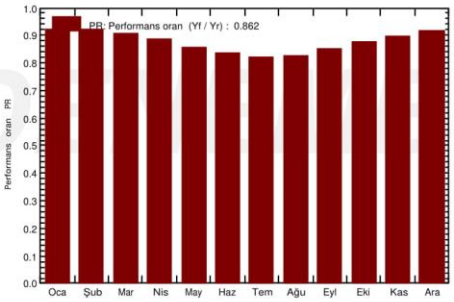
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**99.64 MWh/y l**	Üretilebilir	1210 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.20 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	52.1	48.7	4.04	3.95	0.922
Şubat	64.0	33.10	4.74	66.4	62.8	5.14	5.05	0.924
Mart	95.3	59.07	8.82	97.2	92.6	7.36	7.24	0.905
Nisan	139.8	72.28	12.99	141.4	135.6	10.46	10.31	0.886
May s	167.5	82.78	18.92	168.5	162.0	12.07	11.89	0.857
Haziran	173.7	79.82	22.90	174.0	167.8	12.15	11.97	0.836
Temmuz	196.9	84.86	26.02	197.6	190.5	13.54	13.36	0.821
Ağustos	170.9	77.43	26.16	172.7	166.2	11.91	11.74	0.826
Eylül	136.8	58.07	20.15	139.8	133.8	9.96	9.82	0.853
Ekim	89.9	42.85	15.06	93.0	88.1	6.84	6.73	0.879
Kas m	53.4	27.63	9.26	55.6	52.2	4.19	4.11	0.897
Aral k	44.0	25.70	4.34	46.0	42.9	3.55	3.48	0.918
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1404.2	1343.0	101.20	99.64	0.862

Açıklama:

GlobHor	Global yatay ışınlama	GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
DiffHor	Yatay difüz ışınlama	EArray	Dizinin çıkışında etkin enerji
T_Amb	Ortam sıcak.	E_Grid	Şebekeye enjekte edilen enerji
GlobInc	Kolektöre yansıyan global	PR	Performans oranı

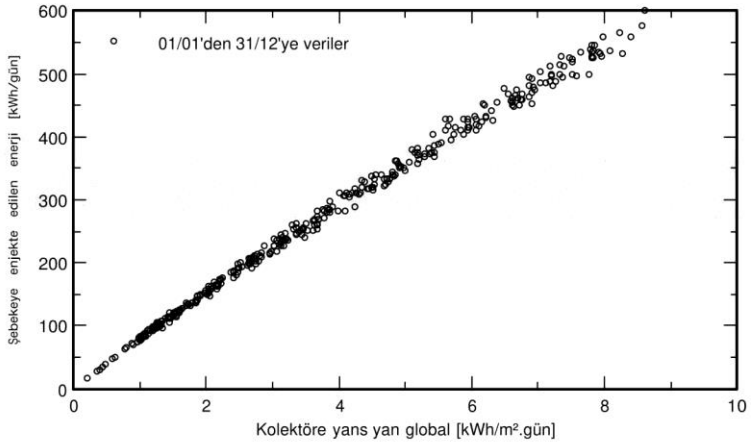
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

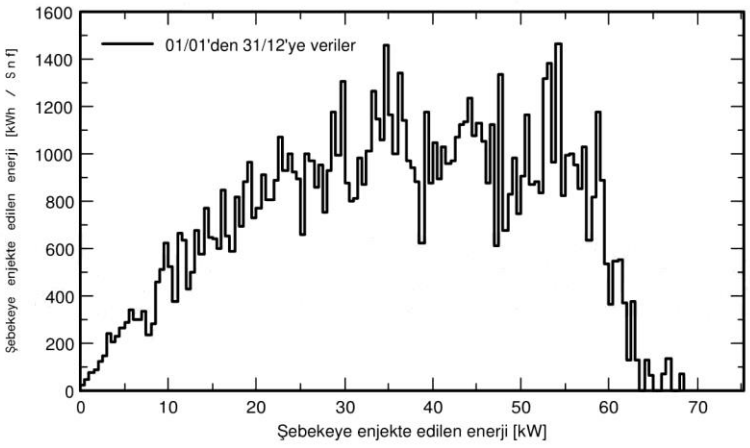
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



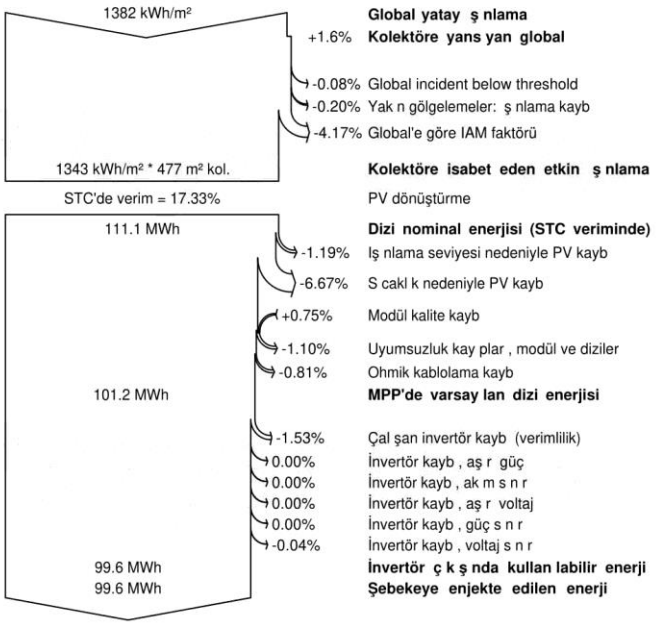
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



EK 5 - Mevcut Bina Konumunda Sıralı Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 3°)

PVSYST V6.86		04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje : **Yeni Proje**

Coğrafi konum	**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**
Konum	Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E
Zaman türü	Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m
	Albedo	0.20		
Hava durumu verileri:	**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik		

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Simülasyon tarihi 04/03/20 21h41

Simülasyon parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**		
Kolektör düzlem yönlendirmesi	Eğim	3°	Azimut	43°
Masa ayarlar	Masa say s	7	Dizi alan, basit	
	Masa aral ğ	2.50 m	Kolektör eni	2.02 m
Etkisiz şerit	Üst	0.02 m	Alt	0.02 m
Gölgeleme aç s n r	Profil aç s n r	13.0°	Arazi kullan m oran (GCR)	80.8 %
Kullan lan modeller	Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm
Ufuk	Ufuk tan mlanmad			
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kullan c ihtiyaçlar :	S n rs z yükleme (şebeke)			

Kolektör alan n n özellikleri

PV modül	Si-poly	Model	**CSUN280-60P**	
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar	
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel 14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü 280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda 73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	602 V	I mpp 123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**	
İnvertör		Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**	
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	AEG Industrial Solar GmbH	
Özellikler		Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü 40.0 kWac
İnvertör paketi		İnvertör say s	2 birim	Toplam güç 80 kWac
				Nom. güç oran 1.03

PV alan kay p faktörleri

Termal kay p faktörü	Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb	Global saha direnci	82 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb			Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb			Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb			Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

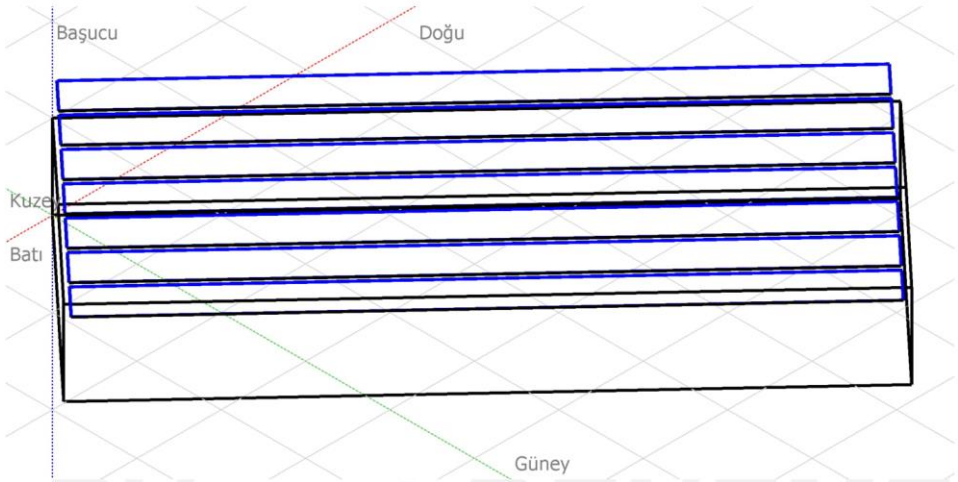
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

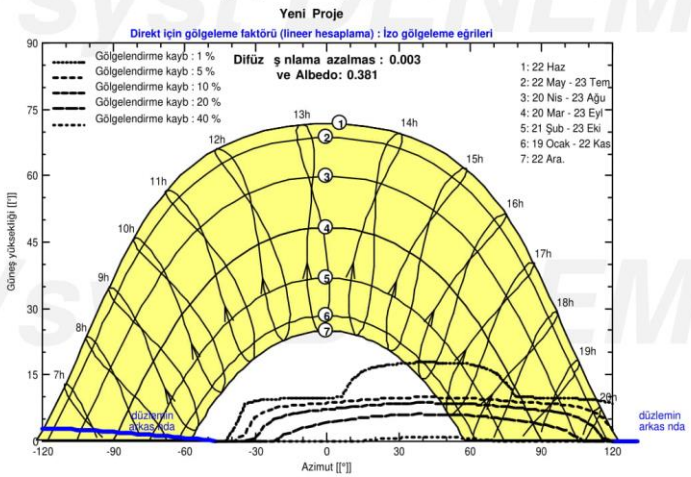
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

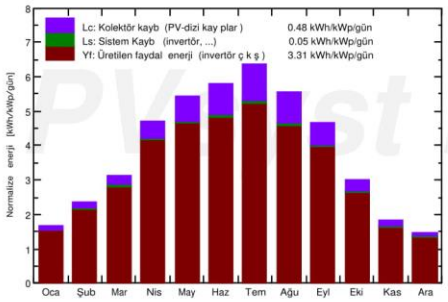
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**			
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler				
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°	
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp	
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**	
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac	
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**	
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)				

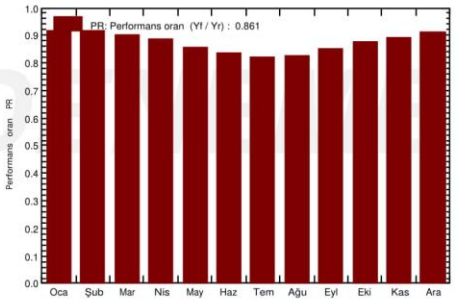
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**99.49 MWh/y l**	Üretilebilir	1209 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.07 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	52.1	48.7	4.01	3.93	0.916
Şubat	64.0	33.10	4.74	66.4	62.8	5.11	5.02	0.919
Mart	95.3	59.07	8.82	97.2	92.6	7.33	7.21	0.902
Nisan	139.8	72.28	12.99	141.4	135.6	10.44	10.29	0.884
May s	167.5	82.78	18.92	168.5	162.0	12.05	11.88	0.857
Haziran	173.7	79.82	22.90	174.0	167.8	12.15	11.97	0.836
Temmuz	196.9	84.86	26.02	197.6	190.5	13.56	13.37	0.822
Ağustos	170.9	77.43	26.16	172.7	166.2	11.92	11.75	0.827
Eylül	136.8	58.07	20.15	139.8	133.8	9.95	9.81	0.852
Ekim	89.9	42.85	15.06	93.0	88.1	6.82	6.71	0.876
Kas m	53.4	27.63	9.26	55.6	52.2	4.17	4.09	0.893
Aral k	44.0	25.70	4.34	46.0	42.9	3.53	3.46	0.912
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1404.2	1343.0	101.04	99.49	0.861

Açıklama:
- GlobHor: Global yatay ışınlama
- DiffHor: Yatay difüz ışınlama
- T_Amb: Ortam sıcak.
- GlobInc: Kolektöre yansıyan global
- GlobEff: IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
- EArray: Dizinin çıkışında etkin enerji
- E_Grid: Şebekeye enjekte edilen enerji
- PR: Performans oranı

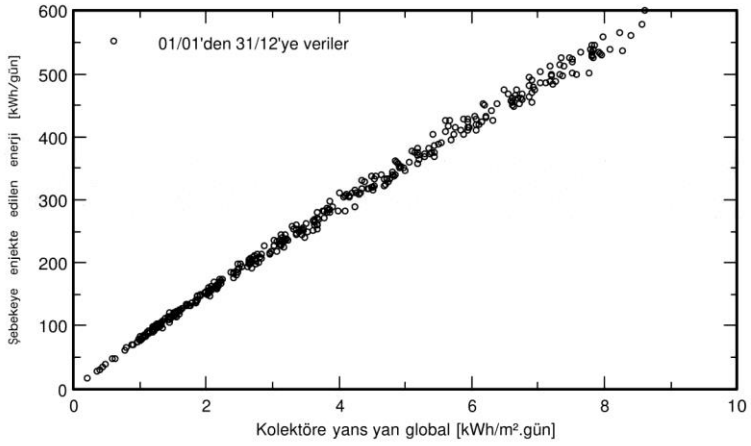
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

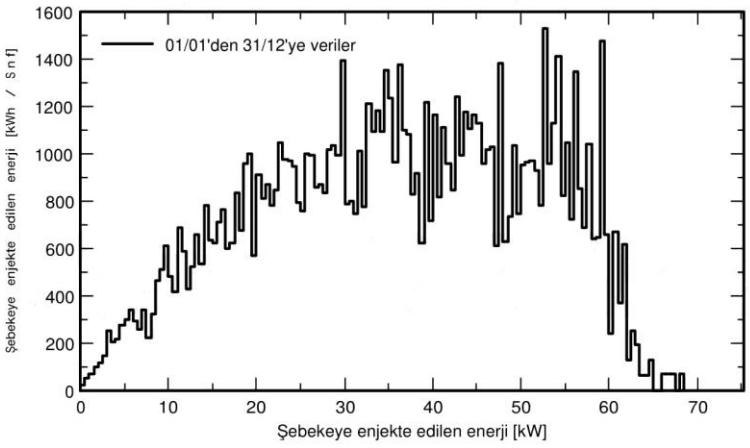
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



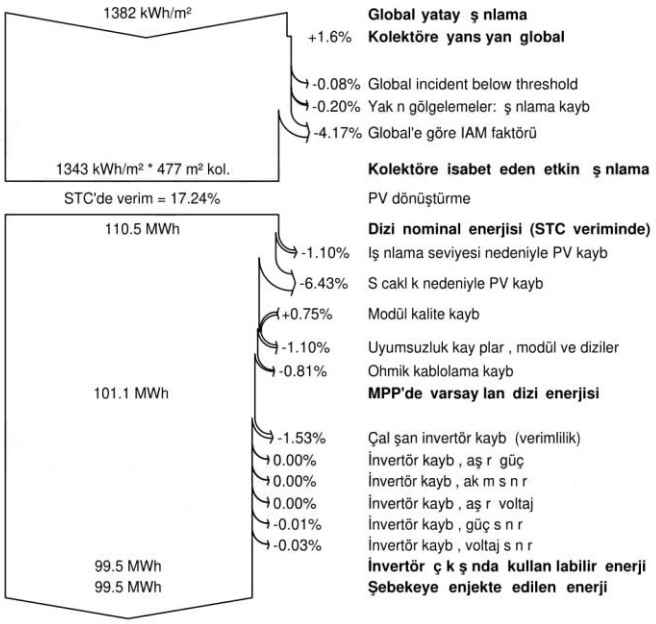
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Tabanl , tek s ra**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



EK 6 - Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 30°)

PVSYST V6.86				04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje :	**Yeni Proje**				
Coğrafi konum	**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**	
Konum	Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E	
Zaman türü	Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m	
	Albedo	0.20			
Hava durumu verileri:	**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik			
Simülasyon varyant :	**Yeni simülasyon varyant**				
	Simülasyon tarihi	04/03/20 22h14			
Simülasyon parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**			
Kolektör düzlem yönlendirmesi	Eğim	30°	Azimut	43°	
Kullan lan modeller	Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm	
Ufuk	Ufuk tan mlanmad				
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler				
Kullan c ihtiyaçlar :	S n rs z yükleme (şebeke)				

Kolektör alan n n özellikleri					
PV modül	Si-mono	Model	**CSUN 280-60M**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar		
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel	14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü	280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda	73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	603 V	I mpp	123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**		
İnvertör		Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	AEG Industrial Solar GmbH		
Özellikler		Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü	40.0 kWac
İnvertör paketi		İnvertör say s	2 birim	Toplam güç	80 kWac
				Nom. güç oran	1.03

PV alan kay p faktörleri					
Termal kay p faktörü		Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb		Global saha direnci	83 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb				Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb				Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb				Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

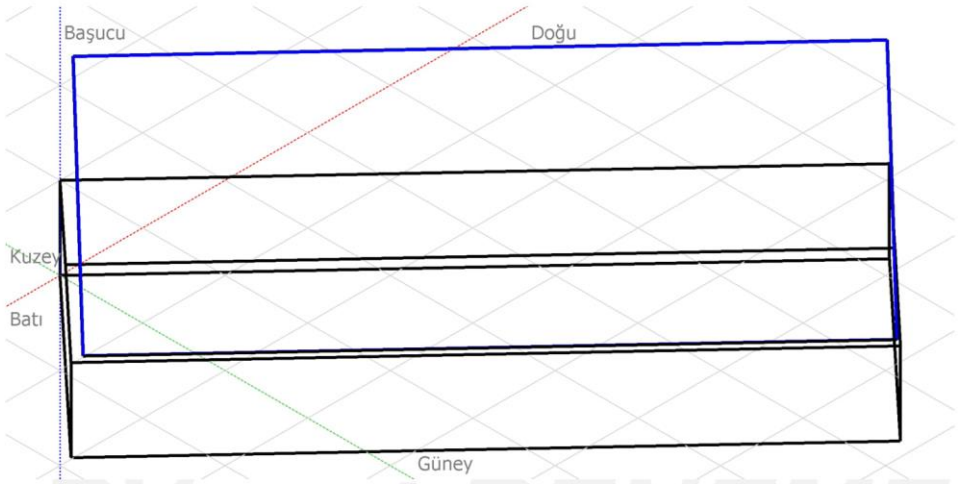
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

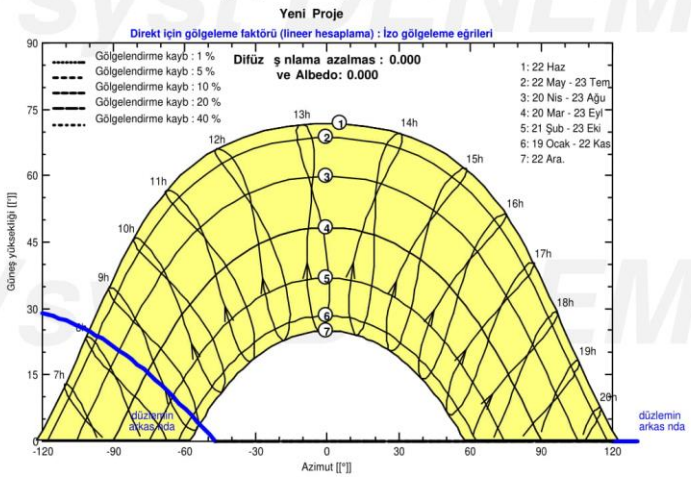
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

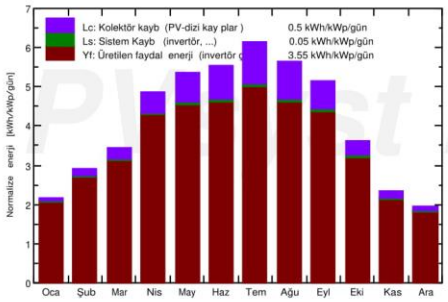
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

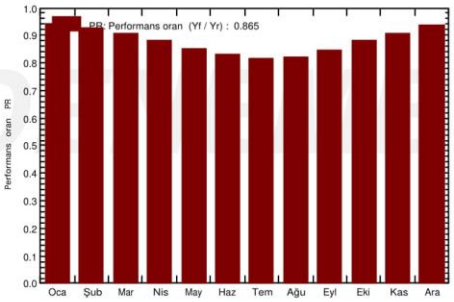
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**106.5 MWh/y l**	Üretilebilir	1294 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.45 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	67.7	65.2	5.34	5.25	0.941
Şubat	64.0	33.10	4.74	81.8	79.1	6.35	6.25	0.929
Mart	95.3	59.07	8.82	106.6	103.2	8.09	7.97	0.908
Nisan	139.8	72.28	12.99	145.4	140.9	10.73	10.58	0.884
May s	167.5	82.78	18.92	165.5	160.3	11.80	11.63	0.854
Haziran	173.7	79.82	22.90	166.1	160.9	11.54	11.37	0.832
Temmuz	196.9	84.86	26.02	190.0	184.1	12.92	12.74	0.814
Ağustos	170.9	77.43	26.16	174.8	169.6	11.95	11.78	0.819
Eylül	136.8	58.07	20.15	154.6	150.3	10.94	10.79	0.848
Ekim	89.9	42.85	15.06	112.8	109.4	8.30	8.18	0.881
Kas m	53.4	27.63	9.26	71.0	68.7	5.40	5.31	0.908
Aral k	44.0	25.70	4.34	60.6	58.3	4.76	4.68	0.938
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1496.9	1450.0	108.14	106.53	0.865

Açıklama:

GlobHor	Global yatay ışınlama	GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
DiffHor	Yatay difüz ışınlama	EArray	Dizinin çıkışında etkin enerji
T_Amb	Ortam sıcak.	E_Grid	Şebekeye enjekte edilen enerji
GlobInc	Kolektöre yansıyan global	PR	Performans oranı

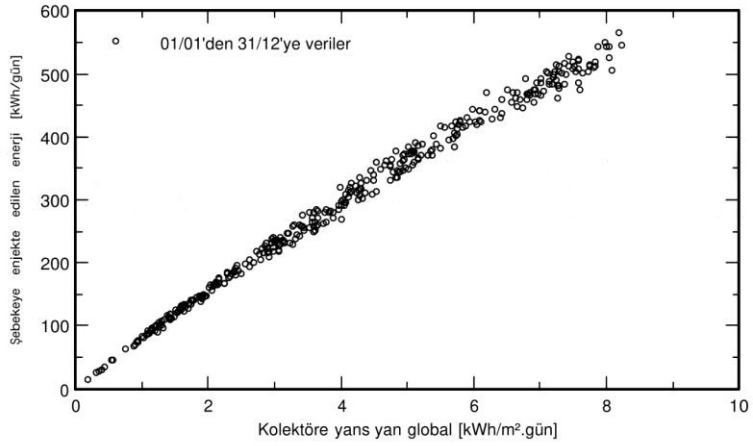
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

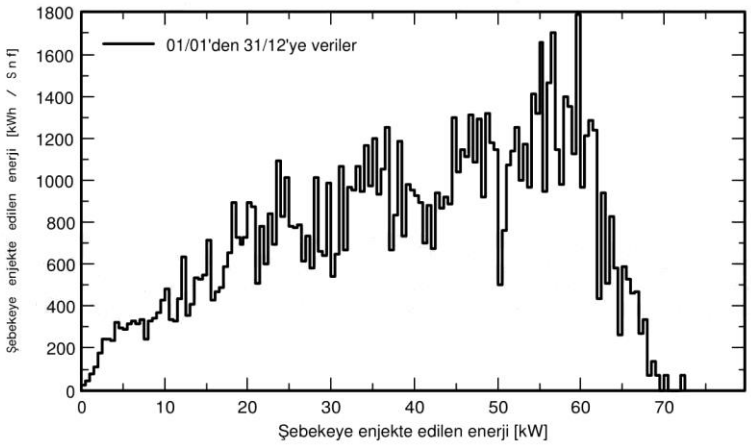
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



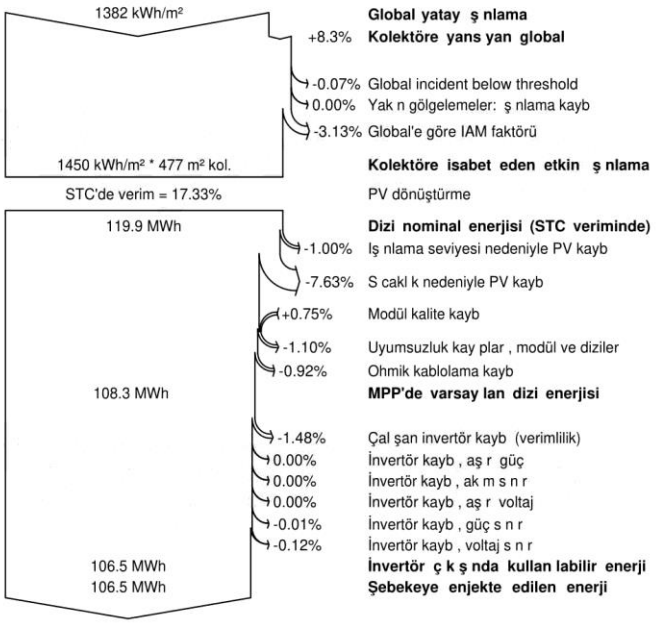
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



EK 7 - Mevcut Bina Konumunda Tekli Sehpa İle Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 43°, Tilt 30°)

PVSYST V6.86			04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje : **Yeni Proje**

Coğrafi konum	**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**
Konum	Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E
Zaman türü	Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m
	Albedo	0.20		
Hava durumu verileri:	**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik		

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Simülasyon tarihi	04/03/20 22h13

Simülasyon parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Kolektör düzlem yönlendirmesi	Eğim	30°	Azimut	43°
Kullan lan modeller	Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm
Ufuk	Ufuk tan mlanmad			
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kullan c ihtiyaçlar :	S n rs z yükleme (şebeke)			

Kolektör alan n n özellikleri

PV modül	Si-poly	Model	**CSUN280-60P**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar		
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel	14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü	280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda	73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	602 V	I mpp	123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**		

İnvertör		Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	AEG Industrial Solar GmbH		
Özellikler		Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü	40.0 kWac
İnvertör paketi		İnvertör say s	2 birim	Toplam güç	80 kWac
				Nom. güç oran	1.03

PV alan kay p faktörleri

Termal kay p faktörü	Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb	Global saha direnci	82 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb			Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb			Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb			Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

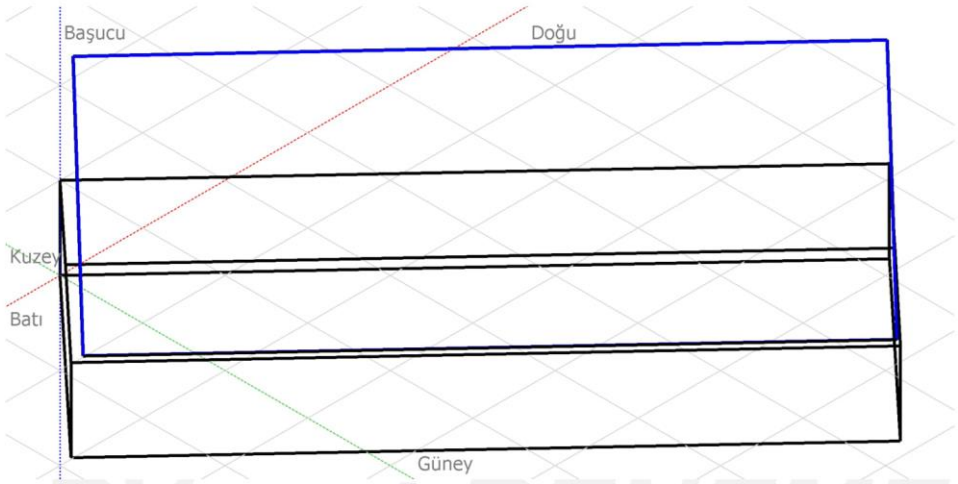
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

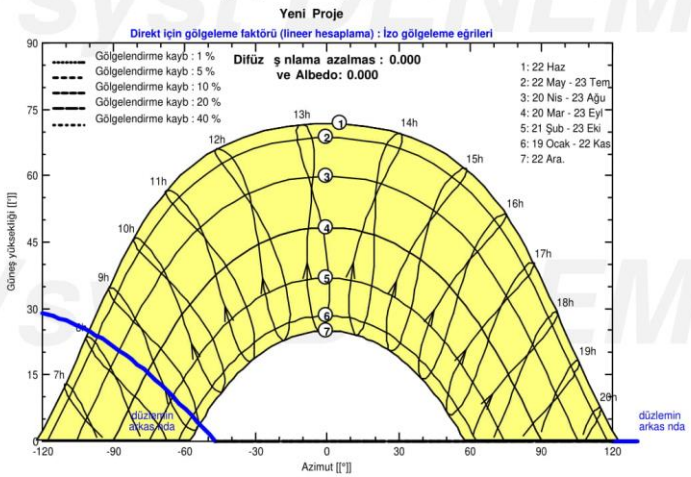
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

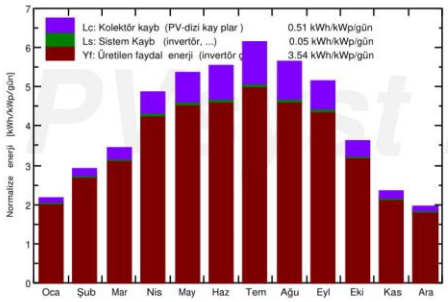
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

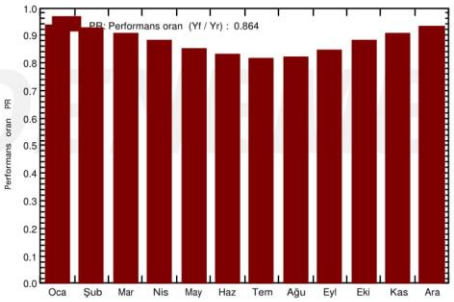
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**106.4 MWh/y l**	Üretilebilir	1293 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.36 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	67.7	65.2	5.31	5.22	0.936
Şubat	64.0	33.10	4.74	81.8	79.1	6.33	6.23	0.925
Mart	95.3	59.07	8.82	106.6	103.2	8.07	7.94	0.905
Nisan	139.8	72.28	12.99	145.4	140.9	10.71	10.55	0.882
May s	167.5	82.78	18.92	165.5	160.3	11.79	11.62	0.853
Haziran	173.7	79.82	22.90	166.1	160.9	11.55	11.38	0.832
Temmuz	196.9	84.86	26.02	190.0	184.1	12.95	12.76	0.816
Ağustos	170.9	77.43	26.16	174.8	169.6	11.97	11.80	0.820
Eylül	136.8	58.07	20.15	154.6	150.3	10.94	10.79	0.848
Ekim	89.9	42.85	15.06	112.8	109.4	8.29	8.16	0.879
Kas m	53.4	27.63	9.26	71.0	68.7	5.39	5.29	0.905
Aral k	44.0	25.70	4.34	60.6	58.3	4.74	4.66	0.933
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1496.9	1450.0	108.02	106.42	0.864

Açıklama:
- GlobHor: Global yatay ışınlama
- DiffHor: Yatay difüz ışınlama
- T_Amb: Ortam sıcak.
- GlobInc: Kolektöre yansıyan global
- GlobEff: IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
- EArray: Dizinin çıkışında etkin enerji
- E_Grid: Şebekeye enjekte edilen enerji
- PR: Performans oranı

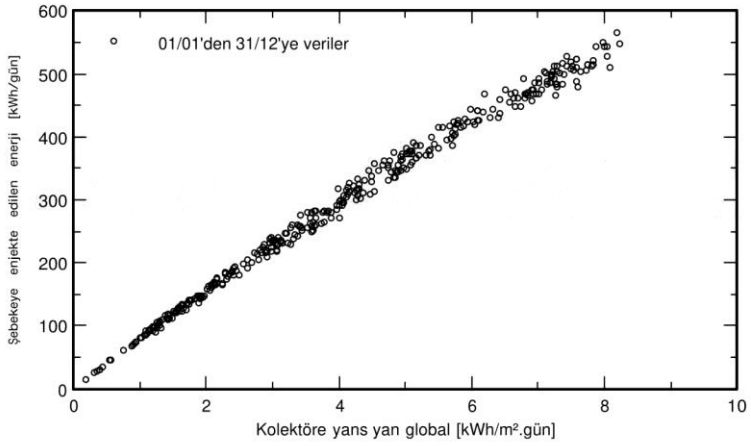
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

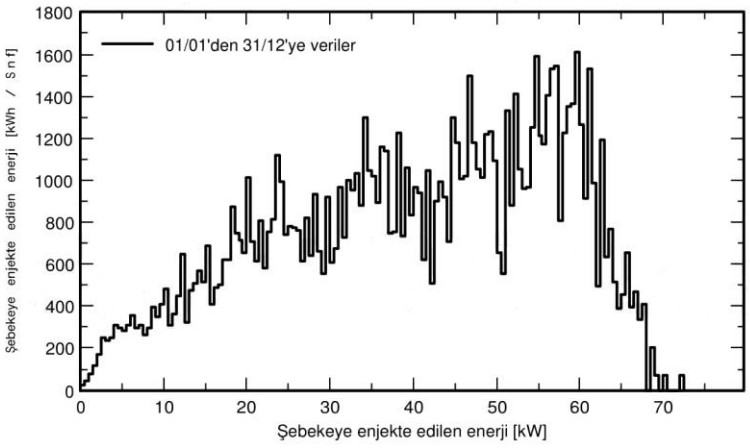
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



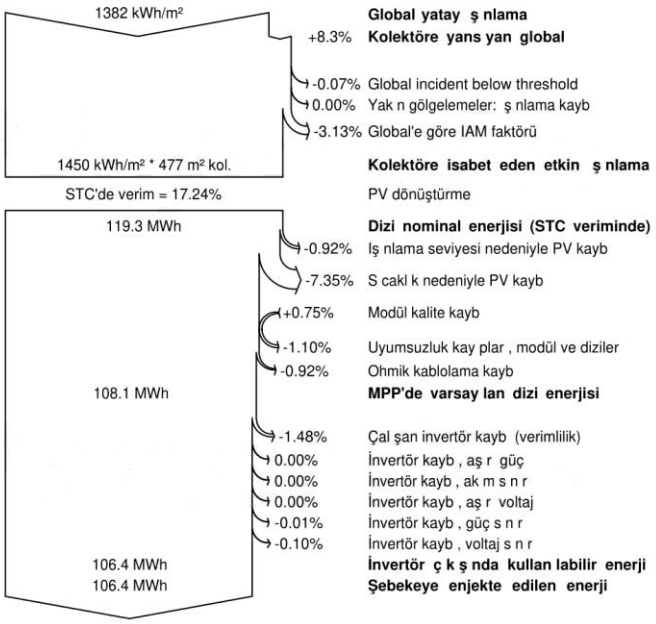
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	43°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



EK 8 - Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 30°)

PVSYST V6.86				04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje : **Yeni Proje**

Coğrafi konum		**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**
Konum		Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E
Zaman türü		Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m
		Albedo	0.20		
Hava durumu verileri:		**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik		

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

	Simülasyon tarihi	04/03/20 22h00

Simülasyon parametreleri		Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Kolektör düzlem yönlendirmesi		Eğim	30°	Azimut	0°
Kullan lan modeller		Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm
Ufuk		Ufuk tan mlanmad			
Yak n gölgelemeler		Lineer gölgelemeler			
Kullan c ihtiyaçlar :		S n rs z yükleme (şebeke)			

Kolektör alan n n özellikleri

PV modül	Si-mono	Model	**CSUN 280-60M**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar		
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel	14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü	280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda	73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	603 V	I mpp	123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**		

İnvertör		Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	AEG Industrial Solar GmbH		
Özellikler		Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü	40.0 kWac
İnvertör paketi		İnvertör say s	2 birim	Toplam güç	80 kWac
				Nom. güç oran	1.03

PV alan kay p faktörleri

Termal kay p faktörü	Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb	Global saha direnci	83 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb			Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb			Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb			Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

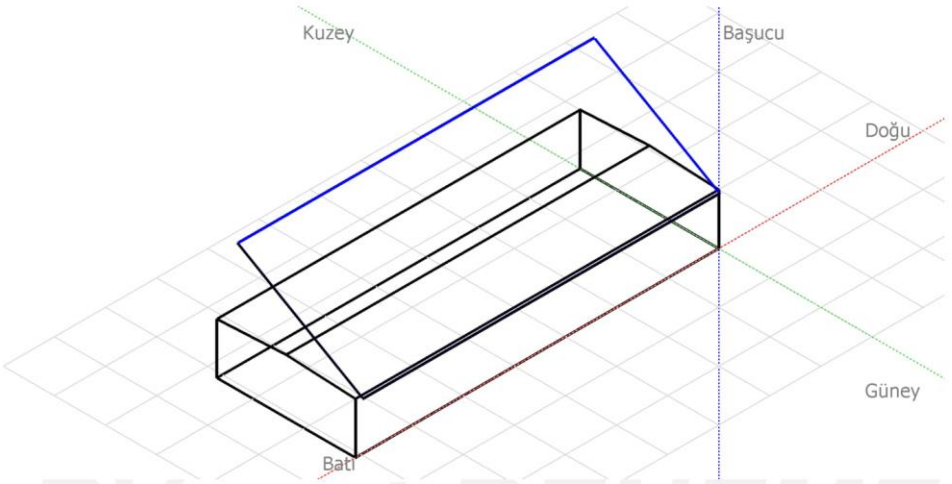
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

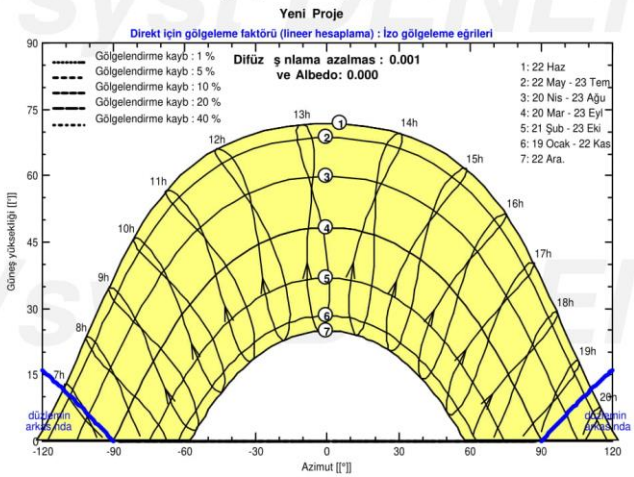
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

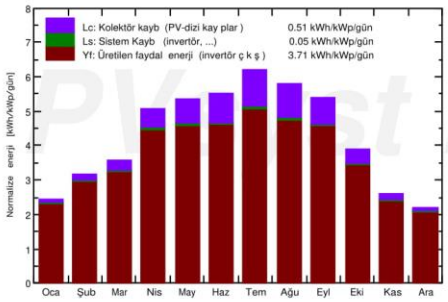
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

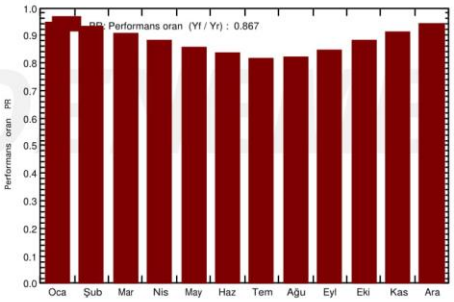
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**111.6 MWh/y l**	Üretilebilir	1355 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.72 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	76.1	73.8	6.02	5.92	0.945
Şubat	64.0	33.10	4.74	88.9	86.5	6.93	6.83	0.932
Mart	95.3	59.07	8.82	111.3	107.8	8.45	8.32	0.908
Nisan	139.8	72.28	12.99	151.6	146.9	11.18	11.02	0.883
May s	167.5	82.78	18.92	166.3	160.8	11.89	11.72	0.856
Haziran	173.7	79.82	22.90	165.8	160.5	11.56	11.38	0.834
Temmuz	196.9	84.86	26.02	192.3	186.1	13.11	12.92	0.816
Ağustos	170.9	77.43	26.16	179.3	173.9	12.27	12.10	0.820
Eylül	136.8	58.07	20.15	162.2	157.6	11.46	11.31	0.847
Ekim	89.9	42.85	15.06	121.2	117.8	8.92	8.79	0.881
Kas m	53.4	27.63	9.26	78.7	76.5	6.00	5.90	0.911
Aral k	44.0	25.70	4.34	68.8	66.7	5.43	5.35	0.944
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1562.7	1514.9	113.21	111.56	0.867

Açıklama:
- GlobHor: Global yatay ışınlama
- DiffHor: Yatay difüz ışınlama
- T_Amb: Ortam sıcak.
- GlobInc: Kolektöre yansıyan global
- GlobEff: IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
- EArray: Dizinin çıkışında etkin enerji
- E_Grid: Şebekeye enjekte edilen enerji
- PR: Performans oranı

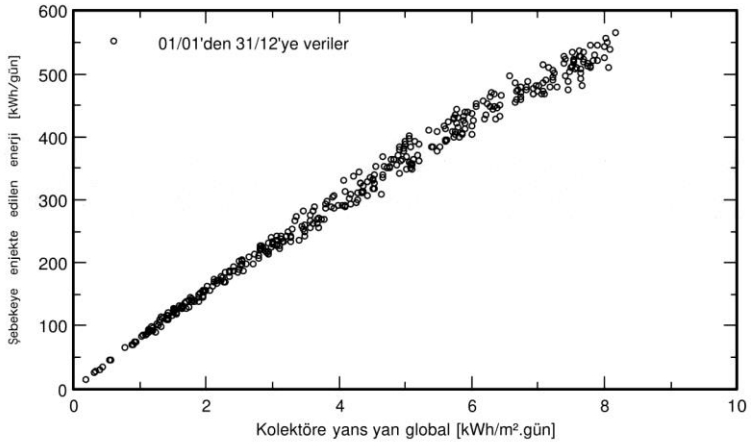
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

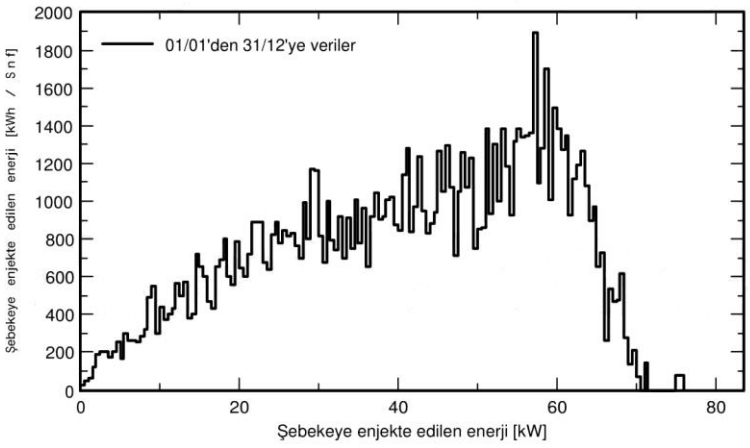
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



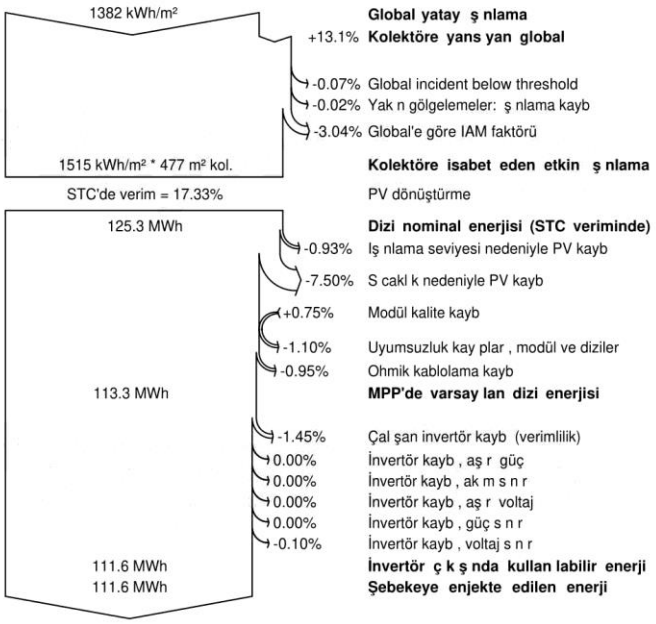
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

EK 9 - Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 30°)

PVSYST V6.86				04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje : **Yeni Proje**

Coğrafi konum	**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**
Konum	Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E
Zaman türü	Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m
	Albedo	0.20		
Hava durumu verileri:	**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik		

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Simülasyon tarihi	04/03/20 22h00

Simülasyon parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Kolektör düzlem yönlendirmesi	Eğim	30°	Azimut	0°
Kullan lan modeller	Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm
Ufuk	Ufuk tan mlanmad			
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kullan c ihtiyaçlar :	S n rs z yükleme (şebeke)			

Kolektör alan n n özellikleri

PV modül	Si-poly	Model	**CSUN280-60P**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar		
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel	14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü	280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda	73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	602 V	I mpp	123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**		

İnvertör	Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**		
Orijinal PVsyst veritaban	Üretici	AEG Industrial Solar GmbH		
Özellikler	Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü	40.0 kWac
İnvertör paketi	İnvertör say s	2 birim	Toplam güç	80 kWac
			Nom. güç oran	1.03

PV alan kay p faktörleri

Termal kay p faktörü	Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb	Global saha direnci	82 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb			Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb			Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb			Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

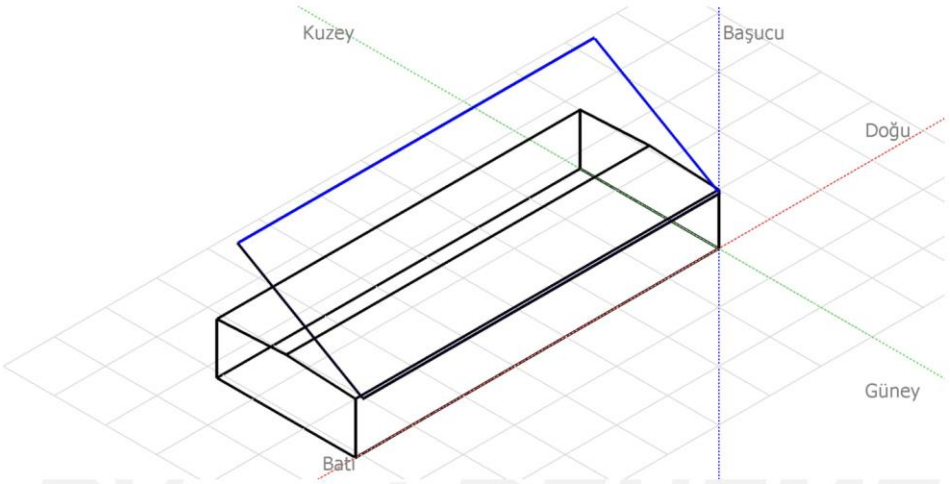
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

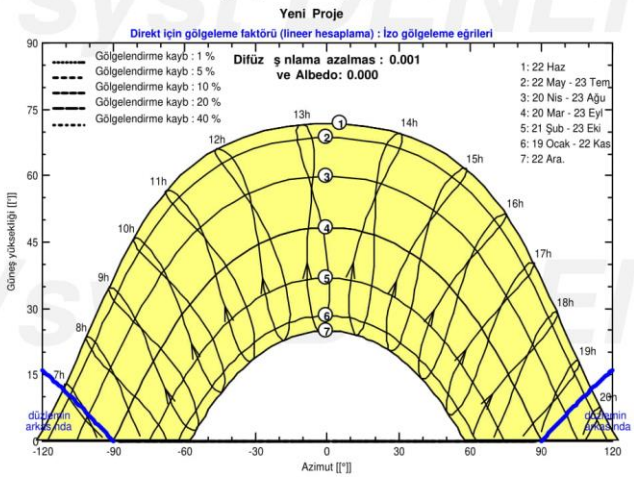
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

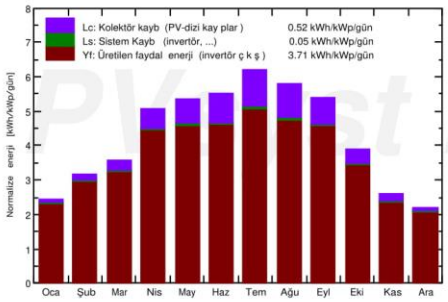
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

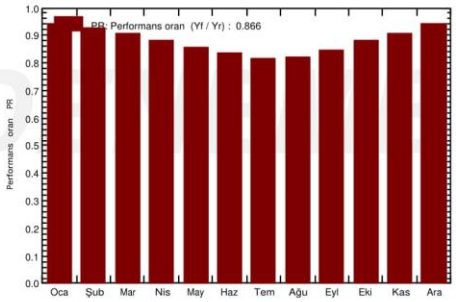
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**111.4 MWh/y l**	Üretilebilir	1354 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.62 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	76.1	73.8	5.99	5.89	0.941
Şubat	64.0	33.10	4.74	88.9	86.5	6.90	6.80	0.929
Mart	95.3	59.07	8.82	111.3	107.8	8.42	8.30	0.905
Nisan	139.8	72.28	12.99	151.6	146.9	11.16	11.00	0.881
May s	167.5	82.78	18.92	166.3	160.8	11.88	11.71	0.855
Haziran	173.7	79.82	22.90	165.8	160.5	11.56	11.39	0.834
Temmuz	196.9	84.86	26.02	192.3	186.1	13.13	12.95	0.818
Ağustos	170.9	77.43	26.16	179.3	173.9	12.29	12.12	0.821
Eylül	136.8	58.07	20.15	162.2	157.6	11.46	11.31	0.847
Ekim	89.9	42.85	15.06	121.2	117.8	8.90	8.78	0.879
Kas m	53.4	27.63	9.26	78.7	76.5	5.98	5.88	0.907
Aral k	44.0	25.70	4.34	68.8	66.7	5.41	5.32	0.940
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1562.7	1514.9	113.08	111.43	0.866

Açıklama:
- GlobHor: Global yatay ışınlama
- DiffHor: Yatay difüz ışınlama
- T_Amb: Ortam sıcak.
- GlobInc: Kolektöre yansıyan global
- GlobEff: IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
- EArray: Dizinin çıkışında etkin enerji
- E_Grid: Şebekeye enjekte edilen enerji
- PR: Performans oranı

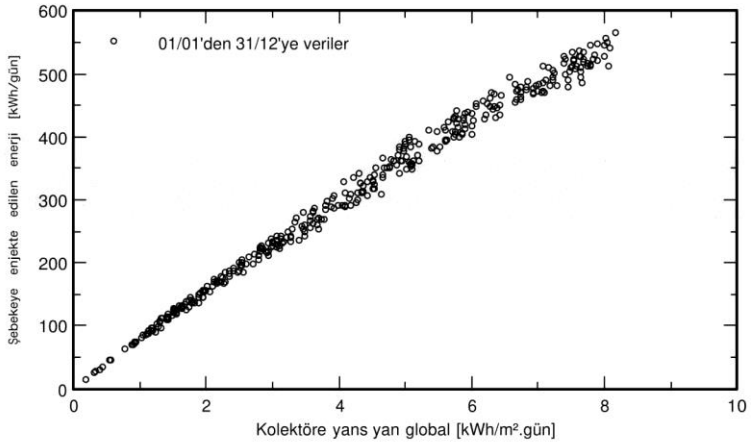
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

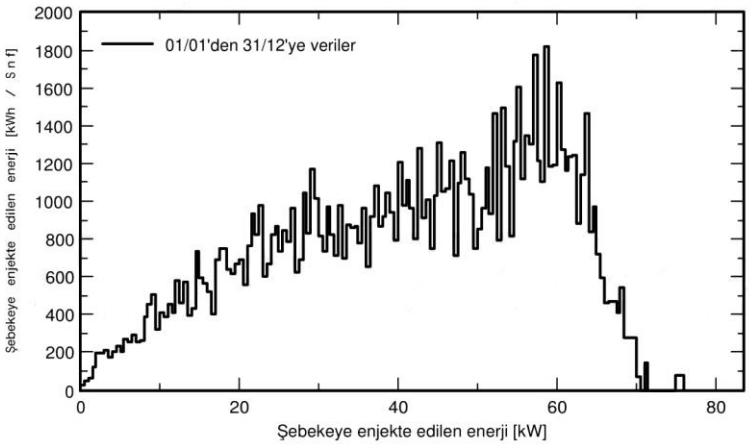
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



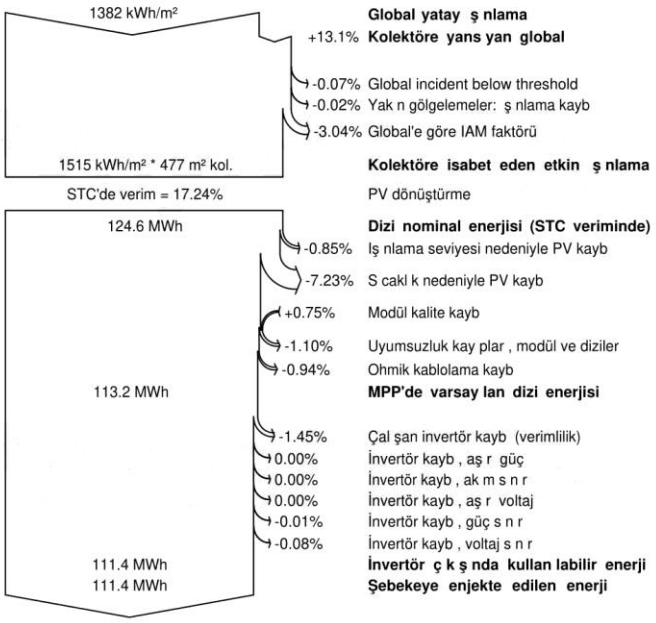
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	30°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



EK 10 - Optimum Bina Konumunda Monokristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 3°)

PVSYST V6.86				04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje : **Yeni Proje**

Coğrafi konum	**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**
Konum	Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E
Zaman türü	Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m
	Albedo	0.20		
Hava durumu verileri:	**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik		

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Simülasyon tarihi	04/03/20 21h59

Simülasyon parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Kolektör düzlem yönlendirmesi	Eğim	3°	Azimut	0°
Kullan lan modeller	Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm
Ufuk	Ufuk tan mlanmad			
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kullan c ihtiyaçlar :	S n rs z yükleme (şebeke)			

Kolektör alan n n özellikleri

PV modül	Si-mono	Model	**CSUN 280-60M**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar		
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel	14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü	280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda	73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	603 V	I mpp	123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**		

İnvertör		Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	AEG Industrial Solar GmbH		
Özellikler		Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü	40.0 kWac
İnvertör paketi		İnvertör say s	2 birim	Toplam güç	80 kWac
				Nom. güç oran	1.03

PV alan kay p faktörleri

Termal kay p faktörü	Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb	Global saha direnci	83 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb			Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb			Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb			Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

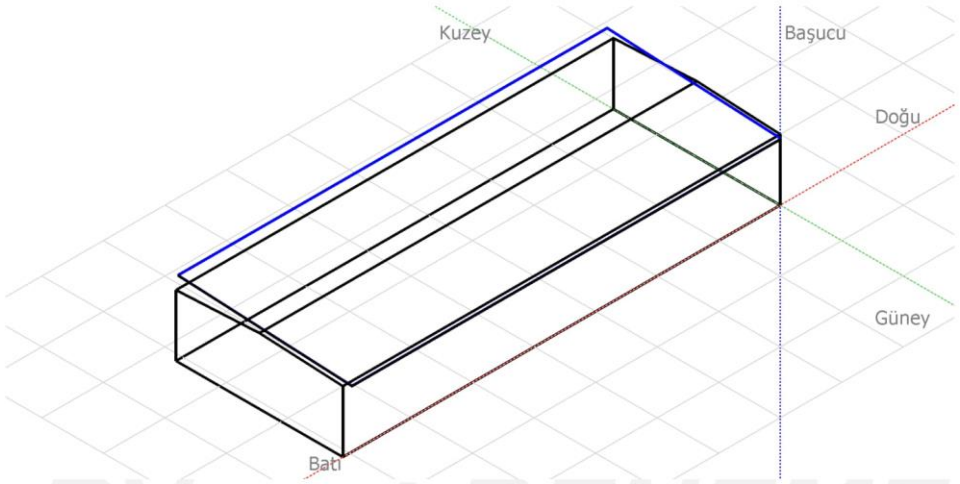
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

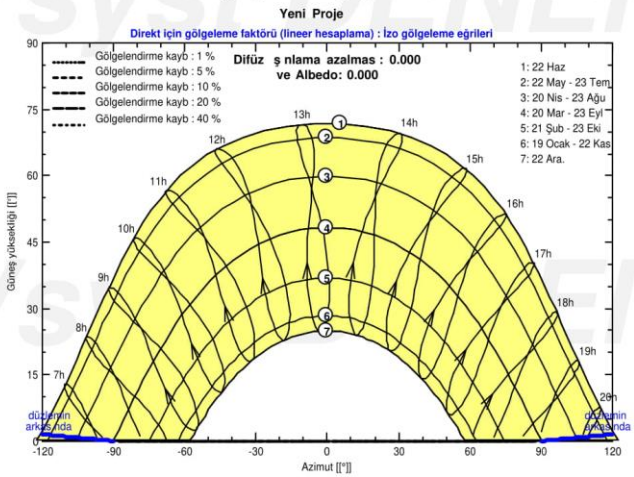
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

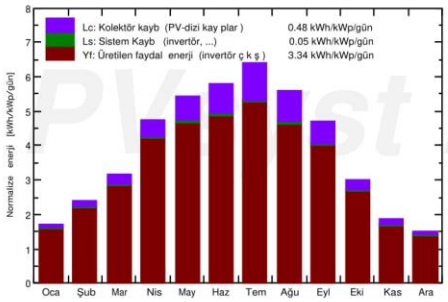
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri		Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler		Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi		eğim	3°	azimut	0°
PV modül		Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi		Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör		AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi		Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)				

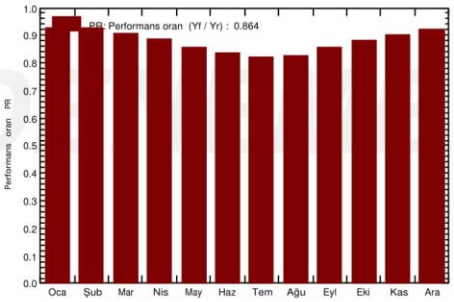
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**100.4 MWh/y l**	Üretilebilir	1220 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.36 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	53.0	49.7	4.12	4.04	0.927
Şubat	64.0	33.10	4.74	67.1	63.7	5.21	5.12	0.926
Mart	95.3	59.07	8.82	97.7	93.3	7.41	7.29	0.907
Nisan	139.8	72.28	12.99	142.2	136.6	10.54	10.39	0.887
May s	167.5	82.78	18.92	168.9	162.5	12.10	11.93	0.858
Haziran	173.7	79.82	22.90	174.4	168.3	12.18	12.00	0.836
Temmuz	196.9	84.86	26.02	198.2	191.3	13.60	13.41	0.822
Ağustos	170.9	77.43	26.16	173.4	167.0	11.96	11.80	0.827
Eylül	136.8	58.07	20.15	140.7	134.9	10.04	9.89	0.854
Ekim	89.9	42.85	15.06	93.9	89.2	6.92	6.81	0.881
Kas m	53.4	27.63	9.26	56.4	53.2	4.27	4.18	0.901
Aral k	44.0	25.70	4.34	46.9	43.9	3.64	3.56	0.922
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1412.7	1353.5	101.99	100.43	0.864

Açıklama:

GlobHor	Global yatay ışınlama	GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
DiffHor	Yatay difüz ışınlama	EArray	Dizinin çıkışında etkin enerji
T_Amb	Ortam sıcak.	E_Grid	Şebekeye enjekte edilen enerji
GlobInc	Kolektöre yansıyan global	PR	Performans oranı

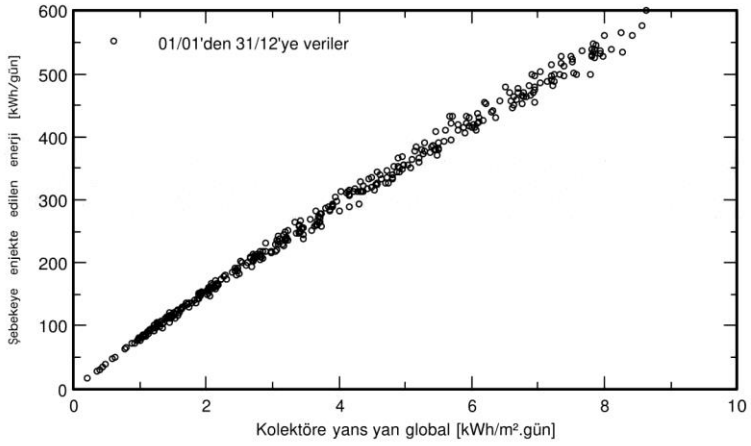
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

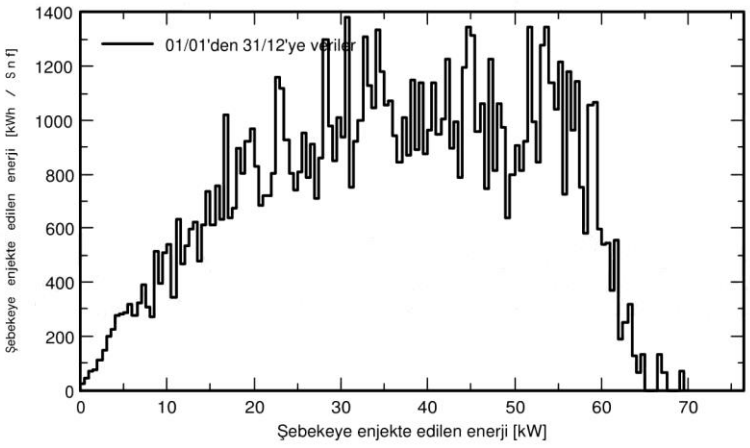
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



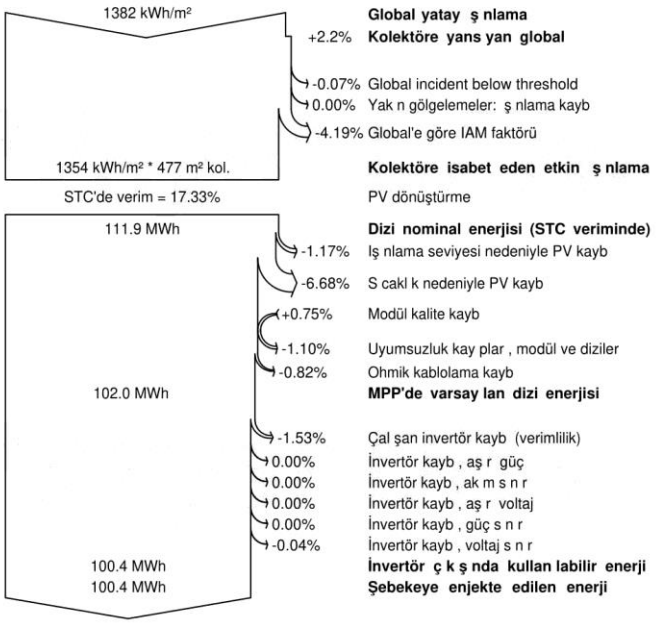
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN 280-60M	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

EK 11 - Optimum Bina Konumunda Polikristal Panel Kullanımı Analiz Sonuçları (Azimut 0°, Tilt 3°)

PVSYST V6.86				04/03/20	Sayfa 1/5

Şebekeye bağl sistem: Simülasyon parametreleri

Proje : **Yeni Proje**

Coğrafi konum		**Arac_Muayene**		Ülke	**Turkey**
Konum		Enlem	41.63° N	Boylam	26.62° E
Zaman türü		Yasal zaman	UT Saat dilimi+3	Rak m	35 m
		Albedo	0.20		
Hava durumu verileri:		**Arac_Muayene**	Meteonorm 7.2 (1983-1999), Sat=100% - Sentetik		

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

	Simülasyon tarihi	04/03/20 21h58

Simülasyon parametreleri		Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Kolektör düzlem yönlendirmesi		Eğim	3°	Azimut	0°
Kullan lan modeller		Transpozisyon	Perez	Difüz	Perez, Meteonorm
Ufuk		Ufuk tan mlanmad			
Yak n gölgelemeler		Lineer gölgelemeler			
Kullan c ihtiyaçlar :		S n rs z yükleme (şebeke)			

Kolektör alan n n özellikleri

PV modül	Si-poly	Model	**CSUN280-60P**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	CSUN Solar		
PV modül say s		Seri	21 modül	Paralel	14 dizi
Toplam PV modül say s		Modül say s	294	birim gücü	280 Wp
Alan global gücü		Nominal (STC)	**82.3 kWp**	İşletme şartlar nda	73.9 kWp (50°C)
Alan çal şma özellikleri (50°C)		U mpp	602 V	I mpp	123 A
Toplam yüzey		Modül yüzeyi	**477 m²**		

İnvertör		Model	**AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)**		
Orijinal PVsyst veritaban		Üretici	AEG Industrial Solar GmbH		
Özellikler		Çal şma voltaj	570-950 V	birim gücü	40.0 kWac
İnvertör paketi		İnvertör say s	2 birim	Toplam güç	80 kWac
				Nom. güç oran	1.03

PV alan kay p faktörleri

Termal kay p faktörü	Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K / m/s
Ohmik kablolama kayb	Global saha direnci	82 mOhm	Kay p oran	1.5 STC'de%
Modül kalite kayb			Kay p oran	-0.8 %
Modül uyumsuzluk kayb			Kay p oran	1.0 MPP'de%
Dizi uyumsuzluk kayb			Kay p oran	0.10 %
Yans ma etkisi, ASHRAE parametreleştirmesi	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo param.	0.05

PVsyst Evaluation mode

Tercümeler garanti edilemez, Sadece İngilizce geçerlidir.

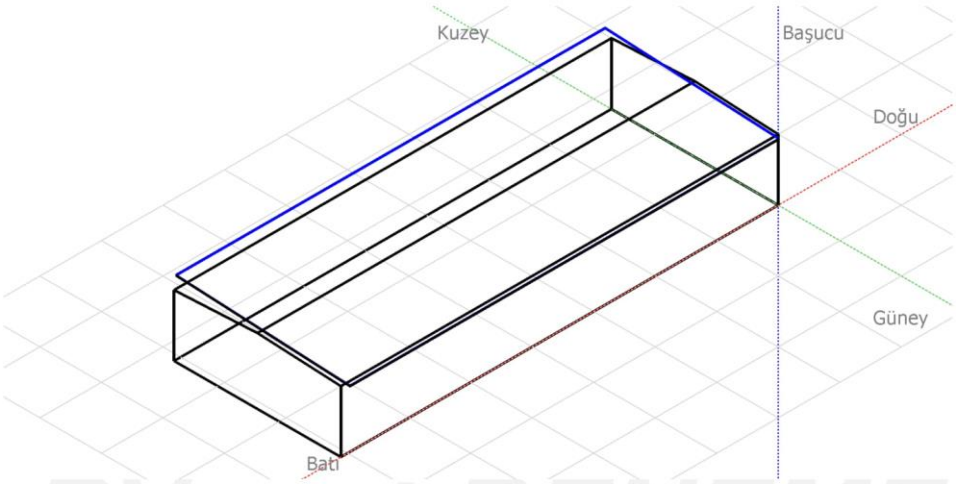
Şebekeye bağl sistem: Yak n gölgelemelerin tan mlanmas

Proje : **Yeni Proje**

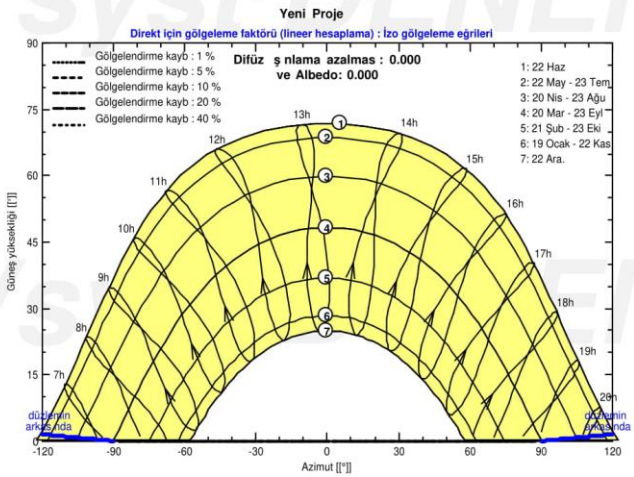
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Yak n gölgeleme sahnesinin perspektifi



İzo gölgeleme diyagram



Şebekeye bağl sistem: Genel sonuçlar

Proje : **Yeni Proje**

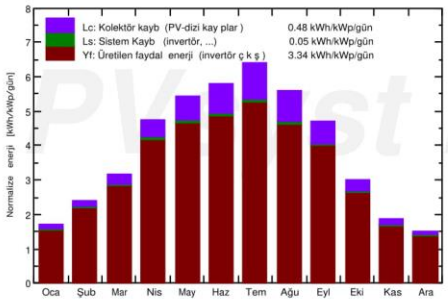
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

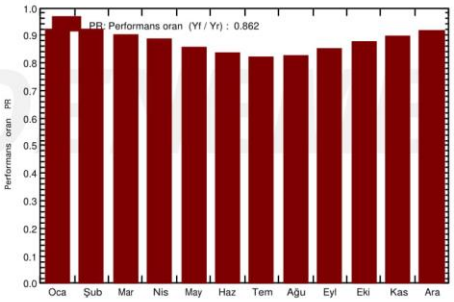
Simülasyonun genel sonuçlar

Sistem üretimi	**Üretilen enerji**	**100.3 MWh/y l**	Üretilebilir	1218 kWh/kWp/y l
	Performans oran PR	86.22 %		

Normalize üretim (kWp baş): Nominal güç 82.3 kWp



Performans oran PR



Yeni simülasyon varyant

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Ocak	49.8	28.67	2.77	53.0	49.7	4.10	4.01	0.921
Şubat	64.0	33.10	4.74	67.1	63.7	5.18	5.09	0.921
Mart	95.3	59.07	8.82	97.7	93.3	7.39	7.27	0.903
Nisan	139.8	72.28	12.99	142.2	136.6	10.51	10.36	0.885
May s	167.5	82.78	18.92	168.9	162.5	12.09	11.92	0.857
Haziran	173.7	79.82	22.90	174.4	168.3	12.18	12.01	0.837
Temmuz	196.9	84.86	26.02	198.2	191.3	13.62	13.43	0.823
Ağustos	170.9	77.43	26.16	173.4	167.0	11.98	11.81	0.827
Eylül	136.8	58.07	20.15	140.7	134.9	10.03	9.89	0.854
Ekim	89.9	42.85	15.06	93.9	89.2	6.90	6.79	0.878
Kas m	53.4	27.63	9.26	56.4	53.2	4.25	4.16	0.897
Aral k	44.0	25.70	4.34	46.9	43.9	3.61	3.54	0.916
Yıl	1382.1	672.24	14.40	1412.7	1353.5	101.84	100.28	0.862

Açıklama:
- GlobHor: Global yatay ışınlama
- DiffHor: Yatay difüz ışınlama
- T_Amb: Ortam sıcak.
- GlobInc: Kolektöre yansıyan global
- GlobEff: IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
- EArray: Dizinin çıkışında etkin enerji
- E_Grid: Şebekeye enjekte edilen enerji
- PR: Performans oranı

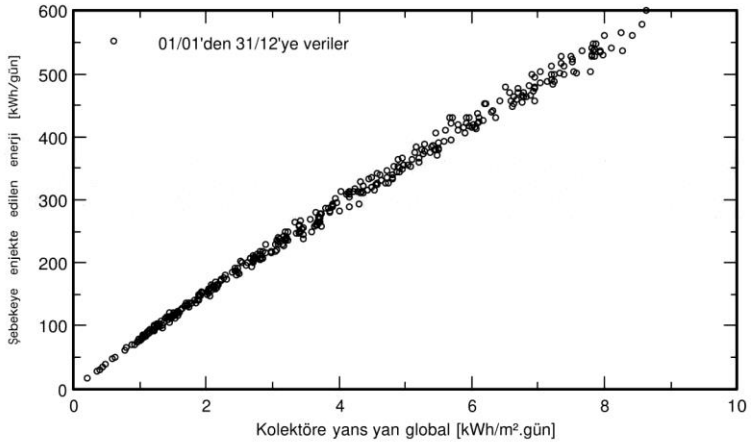
Şebekeye bağl sistem: Özel grafikler

Proje : **Yeni Proje**

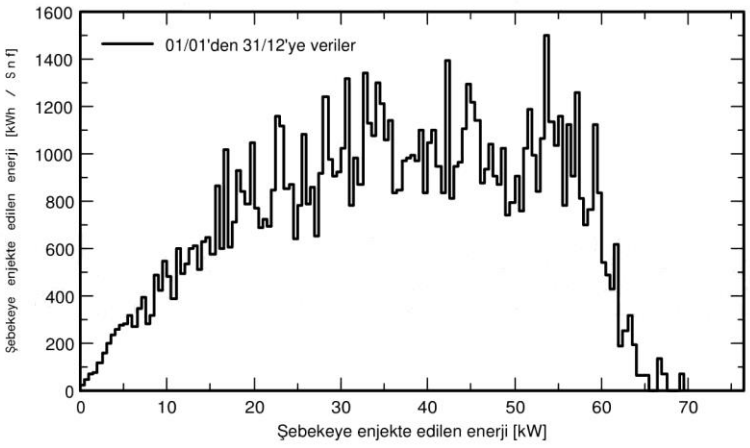
Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Günlük giriş / ç k ş diyagram



Sistem ç k ş gücü dağ l m



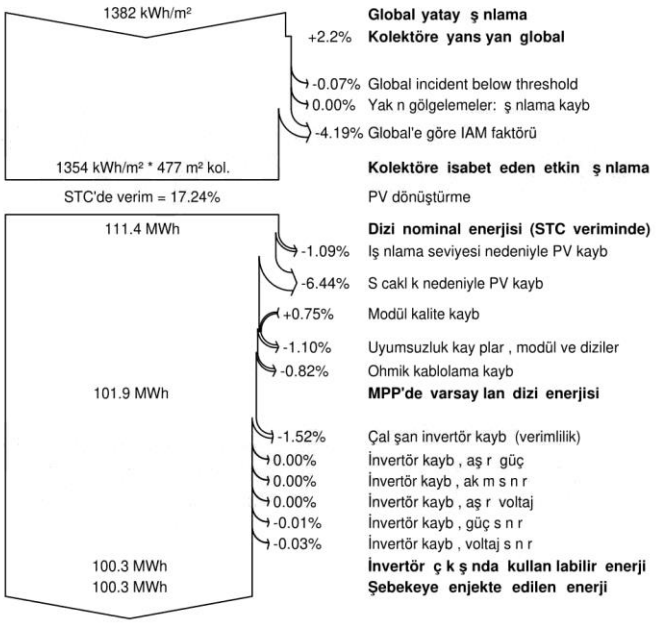
Şebekeye bağl sistem: Kay plar diyagram

Proje : **Yeni Proje**

Simülasyon varyant : **Yeni simülasyon varyant**

Sistemin genel parametreleri	Sistem tipi	**Bina üzerinde**		
Yak n gölgelemeler	Lineer gölgelemeler			
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	eğim	3°	azimut	0°
PV modül	Model	CSUN280-60P	Pnom	280 Wp
PV dizisi	Modül say s	294	Toplam nom. güç	**82.3 kWp**
İnvertör	AS-IC01-40000-1 (40kw,three-phase with 1 MPPT)		Pnom	40.0 kW ac
İnvertör paketi	Öğe say s	2.0	Toplam nom. güç	**80.0 kW ac**
Kullan c ihtiyaçlar	S n rs z yükleme (şebeke)			

Y l boyu kay plar diyagram



ÖZGEÇMİŞ

Engin PERDAHLIYAN 1992 Edirne doğumludur. İlk öğretimini Özel Edirne İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Edirne Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği'nden mezun olmuştur. 2017 yılında Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2016-2020 yılları arasında Ergene Araç Muayene İstasyonları A.Ş.'de çalışmıştır. 2020 Ağustos ayından itibaren Trakya Birlik Entegre Tesisleri'nde makine mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.