T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL HAVALİMANI TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLE KARŞILANMASININ FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Mücahit Ahmet ALKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Doç. Dr. Deniz ULUSARSLAN

Temmuz, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL HAVALİMANI TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLE KARŞILANMASININ FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Mücahit Ahmet ALKAN tarafından hazırlanan tez çalışması 26.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Deniz ULUSARSLAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Galip TEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Erhan BÖKE, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Deniz ULUSARSLAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan İstanbul Havalimanı Toplam Enerji Tüketiminin Fotovoltaik Sistemle Karşılanmasının Fizibilite Çalışması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mücahit Ahmet ALKAN

İmza

Canım Aileme

ve

Emeği Geçen Kıymetli Hocalarıma

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmamın başından sonuna kadar olan süreçte istisnasız her koşulda destekleriyle her daim bana yol gösteren saygıdeğer ve kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Deniz ULUSARSLAN'a ve tez çalışmamın hazırlanmasında bana destek sağlayan İGA Havalimanı İşletmesi A.Ş'ye en özel ve içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca arkamda duran, beni destekleyen, yardımlarını benden esirgemeyen, maddi manevi her daim yanımda olan sevgili canım aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mücahit Ahmet ALKAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ xi

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 1

1.2 Tezin Amacı ... 3

1.3 Hipotez ... 3

2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI 5

2.1 Yenilenebilir Enerjinin Tarihçesi ... 5

2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ... 5

2.3 Yenilenebilir Enerji Türünün Yıllara Göre Değişimi ... 6

3 GÜNEŞ ENERJİSİ 8

3.1 Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları ... 8

3.1.1 Güneş Enerjisi ile Isıtma ... 10

3.1.2 Düzlemsel Güneş Kolektörleri ... 11

3.1.3 Vakumlu Güneş Kolektörleri ... 11

3.1.4 Güneş Bacaları ... 12

3.1.5 Güneş Mimarisi ... 12

3.1.6 Kurutma ve Seralar ... 12

3.1.7 Elektrik Enerjisinin Üretilmesi ... 13

3.2 Güneş Açıları ... 13

3.3 Fotovoltaik Güneş Panelleri ... 15

3.3.1 FV Güneş Panellerin Tarihçesi ... 16

3.3.2 Fotovoltaik Etki ... 17

3.3.3 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri ... 18

3.4 FV Sistemler ... 27

3.4.1 FV Sistem Çeşitleri 28
3.4.2 FV Sistem Bileşenleri 32
3.4.3 Yer Seçimi 37
3.4.4 Yük profilleri 39
3.4.5 Meteorolojik etki 40
3.4.6 Kullanılacak Açıların Fotovoltaik Modül Yerleşimi İçin Hesaplamaları 40
3.4.7 Fotovoltaik Sistem Ekonomi ve Ekoloji 41
3.4.8 Dünyada Güneş Enerjisi 42
4 İSTANBUL HAVALİMANI FV ENERJİ SANTRALİ KURULUMU 47
4.1 Genel Bilgiler 47
4.2 Fotovoltaik Tesisin Güneş Enerjisi Potansiyeli 47
4.2.1 Santral Sahasının Güneş Enerjisi Potansiyeli 47
4.3 Fotovoltaik Tesisin Kurulacağı Yer Hakkında Bilgiler 48
4.3.1 Fotovoltaik Tesis Sahasının Özellikleri 48
4.3.2 Meteorolojik Özellikler 48
4.4 Fotovoltaik Sistem Analiz Programı: PVsyst 53
4.4.1 PVsyst Simülasyon Programı Kullanıcı Arayüzü 53
4.4.2 Project Design (Proje Tasarımı) 54
4.4.3 Detaylı Kayıplar 57
4.4.4 PVsyst Simülasyon Programında Meteorolojik Veriler 58
4.5 Tasarlanan Fotovoltaik Santral 59
4.5.1 Kapasite Seçimi 59
4.5.2 Fotovoltaik Panel Özellikleri, Sayısı ve Kapasitesi 60
4.5.3 İnvertör Adedi, Tipi, Kapasitesi 62
4.5.4 Yıllık Enerji Üretimi ve Performans Verimi 64
4.5.5 Fotovoltaik Santrale ait Simülasyon Rapor Bulguları 66
4.6 Elde Edilen Enerjinin Havalimanı Birimlerinin Tükettiği Enerjiler ile Karşılaştırılması 71
4.6.1 İstanbul Havalimanı Terminal Binası Enerji Tüketim Değerleri Karşılaştırılması 71
4.6.2 İstanbul Havalimanı Terminal Binasında Yer Alan Isıtma-Soğutma Sistemleri Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri Karşılaştırılması 71

4.6.3 İstanbul Havalimanı Bagaj Sistemleri Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri Karşılaştırılması 72
4.6.4 İstanbul Havalimanı PCA Sistemleri Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması 73
4.6.5 İstanbul Havalimanı GPU Sistemleri Eneji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması 74
4.6.6 İstanbul Havalimanı'nda Bulunan LET Sistemlerinin Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması 75
4.6.7 İstanbul Havalimanı'nda Bulunan Bazı Sistemlerin Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması 77
4.7 Maliyet Analizi 78
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 80
5.1 Sonuçlar 80
5.2 Öneriler 82
KAYNAKÇA 84
A TELASUN SOLAR (SUZHOU) TP672M(H) 89
B SIEMENS SİNACON PV2000 (WSTECH APS-ES-SERIES) 91
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 129

SİMGE LİSTESİ

δ	Deklinasyon Açısı
$	Dolar
β	Eğim Açısı
Φ	Enlem Açısı
€	Euro
γs	Güneş Azimut Açısı
α	Güneş Yükseklik Açısı
θ	Güneşin Geliş Açısı
ω	Saat Açısı
₺	Türk Lirası
ϕ	Yerel Enlem Açısı
γ	Yüzey Azimut Açısı
θz	Zenit Açısı

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
C	Karbon
CdTe	Kadmiyum Tellür
CIS	Bakır İndiyum Diselenid
DC	Doğru Akım
DHI	Dağınık Yatay Işınım
DNI	Doğrudan Normal Işınım
D_{yatay}	Yatay Yayılı Işınım
E_{dizi}	Dizi Çıkışında ki Etkin Enerji
$E_{şebeke}$	Şebekeye Verilen Enerji
EVA	Etilen Vinil Asetat
FV	Fotovoltaik
G_a	Dizi Düzlemine Gelen Işıma
G_{etken}	Etken Global Işınım
GHI	Global Yatay Işınım
$G_{modül}$	Fotovoltaik Modül Yüzeyine Gelen Işınım
GPU	Grand Power Unit (Yer Güç Üniteleri)
G_{yatay}	Yatay Düzleme Gelen Küresel Işınım
I_{bat}	Akü Akımı
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
I_{load}	Yük Akımı
I_{pv}	Fotovoltaik Jeneratör Akımı
ITO	İndiyum Kalay Oksit
İGA	İstanbul Havalimanı
KF	Kapasite Faktörü
L_c	Fotovoltaik Dizi Kayıpları
LET	Yürüyen Bant, Yürüyen Merdiven, Asansör Sistemleri
L_s	İnvertör Kayıpları
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
PCA	Pre Contidioned Air (Ön Şartlandırılmış Hava)
PN	Nominal Güç
PR	Performans Oranı
PVPS	Fotovoltaik Güç Sistemleri
RBIA	Raj Bhoj Uluslararası Havaalanı
Si	Silisyum
T	Ortam Sıcaklığı
T_a	Mahal Sıcaklığı
TEDLAR	Polivinil Florür
U_{pv}	Fotovoltaik Jeneratör Gerilimi
UV	Ultraviyole
V	Volt
Vb	Ve benzeri

V_{bat}	Batarya Voltajı
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Y_f	İnvertör Çıkışı Üretilen Enerji
ZnO	Çinko Oksit

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 İstanbul Havalimanı ana terminal binası ve pierleri uydu görünümü 4
Şekil 2.1 1971'den 2007 yılına kadar olan elektrik enerjisi üretimi……7
Şekil 2.2 2011 yılında Dünya'da ki elektrik enerjisi üretim oranları.....7
Şekil 3.1 Güneş ışınımlarının dağılımı……..14
Şekil 3.2 Güneş açıları 14
Şekil 3.3 FV hücre çeşitleri 18
Şekil 3.4 Kristal hücre üretim işlem basamakları 20
Şekil 3.5 Monokristal hücre örnekleri 21
Şekil 3.6 Polikristal hücre çeşitleri 22
Şekil 3.7 Kristal yapılı güneş paneli yapısı 23
Şekil 3.8 Polikristal ve monokristal güneş paneli 23
Şekil 3.9 Kristal ve ince film üretim karşılaştırılması.....24
Şekil 3.10 Değişik türdeki ince film hücre katmanları.....25
Şekil 3.11 İnce film güneş panel çeşitleri 26
Şekil 3.12 Plakalı güneş kolektörü kesiti.....28
Şekil 3.13 Güneş pili atomik yapısı 28
Şekil 3.14 Fotovoltaik sistem çeşitleri 29
Şekil 3.15 Fotovoltaik direkt sistem 29
Şekil 3.16 Şebekeden bağımsız sistem blog diyagramı.....30
Şekil 3.17 Batarya tabanlı hem AC hem DC yük çalıştırabilen sistem.....30
Şekil 3.18 Şebekeden bağımsız sistemlerin genel yapısı.....30
Şekil 3.19 Batarya tabanlı şebekeye bağlı sistem blok diyagramı 31
Şekil 3.20 Şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı 31
Şekil 3.21 Şebekeye bağlı sistem blog diyagramı 32
Şekil 3.22 İnvertör çevrimi 34
Şekil 3.23 İdeal transformatör 35
Şekil 3.24 Redoks tepkimesi 35
Şekil 3.25 Gelen radyasyonun emilim ve dağılması 38
Şekil 3.26 Modül üzerinde by-pass diyotlarının bağlanması 39
Şekil 3.27 2009 Dünya fotovoltaik panel kurulum oranları 43
Şekil 3.28 Olmedilla - İspanya fotovoltaik enerji tesisi.....45
Şekil 3.29 Güneş enerjisi haritası.....45
Şekil 3.30 Türkiye ışınım haritası 46
Şekil 4.1 İstanbul fiziki haritası……..48
Şekil 4.2 İstanbul ortalama sıcaklık ve yağış değerleri 49
Şekil 4.3 İstanbul ili bulutlu ve güneşli günlerdeki yağışlı günler 50
Şekil 4.4 İstanbul ili maksimum sıcaklık değerleri 50
Şekil 4.5 İstanbul ili aylara göre yağış miktarları 51
Şekil 4.6 İstanbul ili aylara göre rüzgar hızları 51
Şekil 4.7 İstanbul 1981-2010 yıllarında gözlemlenen meteorolojik veriler.....52
Şekil 4.8 İstanbul 50 m rüzgar hızı ortalamaları 52

Şekil 4.9 PVsyst programı arayüzü.....54
Şekil 4.10 PVsyst simülasyon programı proje tasarımı için sistem tanımlanması55
Şekil 4.11 İstanbul Havalimanı fotovoltaik panel yerleşimi.....60
Şekil 4.12 İstanbul Havalimanı fotovoltaik panel yerleşimi yakın görünümü.....60
Şekil 4.13 Telasun solar marka si-mono model TP672M(H).....61
Şekil 4.14 PVsyst simülasyon programı parametre değerleri-1.....62
Şekil 4.15 Siemens Marka Sinacon PV2000 kWac Invertör.....63
Şekil 4.16 PVsyst simülasyon programı parametre değerleri-2.....64
Şekil 4.17 PVsyst simülasyon programı analiz sonuçları-1.....65
Şekil 4.18 PVsyst simülasyon programı analiz sonuçları-2.....66
Şekil 4.19 Sisteme ait kayıp diyagramı.....69
Şekil 4.20 İnvertör çıkışı enerji üretimi ve kayıpları.....70
Şekil 4.21 Fotovoltaik santralin aylık performans oran değerleri.....70
Şekil 4.22 Bagaj sistemlerinin aylık bazda değerlendirme.....72
Şekil 4.23 Fotovoltaik panellerin bagaj sistemlerine sağladığı aylık bazda enerjiyi karşılama oranı.....73
Şekil 4.24 GPU sistemleri aylık bazda değerlendirme.....74
Şekil 4.25 Fotovoltaik panellerin GPU sistemlerine sağladığı aylık bazda enerjiyi karşılama oranı.....75
Şekil 4.26 LET sistemlerinin tasarlanan FV santrali ile aylık bazdaki değerlendirilmesi.....76
Şekil 4.27 Fotovoltaik panellerin LET sistemlerine sağladığı aylık bazda enerjiyi karşılama oranı.....77
Şekil 4.28 İstanbul Havalimanı bazı sistemlerinin tasarlanan FV santral ile aylık bazdaki karşılaştırılması.....77

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Yenilenebilir enerji kaynakları 6
Tablo 3.1 Bazı ülkelerin FV enerji kapasiteleri.....42
Tablo 3.2 Dünya üzerindeki en büyük enerji kaynakları 44
Tablo 4.1 Hava durumu ve ışınım verileri.....67
Tablo 4.2 Enerji üretimi ve performans oranı değerleri 68
Tablo 4.3 İstanbul Havalimanı'nda kullanılan bazı sistemlerin FV santraldan elde edilen enerjiye katkısı 78
Tablo 4.4 10.03.2021 tarihli kur verileri.....78
Tablo 4.5 Maliyet tablosu 79

ÖZET

İSTANBUL HAVALİMANI TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLE KARŞILANMASININ FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Mücahit Ahmet ALKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Deniz ULUSARSLAN

Sanayi devrimi ile birlikte günümüz boyunca artarak devam eden enerji talebi, dünya üzerindeki fosil kaynakların da hızlı bir şekilde tükenmesine sebebiyet vermektedir. Konvansiyonel enerji kaynaklarına erişim problemleri, insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynakları arayışına sokmuştur. Aynı zamanda çevresel problemler de bu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında önemli etken olmuştur. Fakat günümüz şartlarında çevresel koşullardaki zorunluklar bir yana, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını giderebilmek gayesiyle geliştirmiş olduğu birçok çalışmalar akabinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanması gitgide önem kazanmaktadır. Bu nedenle, son zamanlarda dünya üzerindeki birçok ülke enerji faaliyetlerini geliştirebilmek için yenilenebilir enerji miktarlarını arttırmaya yönelik çalışmalara devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretiminde gitgide etkisini göstermektedir. Türkiye'nin çeşitli noktalarında güneş enerjisine dayalı birçok üretim tesislerinin kurulması teşvik edilmektedir. Türkiye'nin coğrafi konumlaması göz önüne alındığında büyük bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen sistem güneş enerjisidir. Çünkü güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla daha temiz ve daha kullanışlı olarak faaliyet göstermektedir. Güneş enerjisinin bir parçası olan fotovoltaik sistemler günümüzde birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu yüksek lisans tez

çalışmasında İstanbul Havalimanı terminal binası çatı bölgesinin yaklaşık olarak 40 bin m^2'lik bölgesine fotovoltaik enerji sistemi tasarlamaktır. PVsyst simülasyon programını kullanarak terminal binası çatısına kurulan on grid sistemin enerji üretim faaliyetleri ve finansal analizlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Fotovoltaik sistemle birlikte üretilen enerjinin İstanbul Havalimanı'nda faaliyet gösteren birçok sistemle enerji tüketim karşılaştırılması yapılmıştır. PVsyst simülasyon programı vasıtasıyla tasarladığımız FV enerji santralinden elde ettiğimiz enerjinin İstanbul Havalimanı'nda faaliyet gösteren bagaj sistemlerinde harcanan enerjiye ortalama olarak yılda %89.68 oranında fayda vereceği gözlemlenmiştir. Bu çalışma doğrultusunda en yüksek verim Temmuz ve Ağustos aylarında sağlanmıştır. Bu kapsamda hazırlanan çalışma güneş enerji santralinin İstanbul Havalimanı'na uygunluğu hakkında bilgi verilecek ve ileriye yönelik gerekli önlemlerden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, fotovoltaik, havalimanı, verim, maliyet analizi

ABSTRACT

FEASIBILITY STUDY OF THE TOTAL ENERGY CONSUMPTION OF ISTANBUL AIRPORT WITH THE PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Mücahit Ahmet ALKAN

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Deniz ULUSARSLAN

With the industrial revolution, the energy demand, which continues to increase throughout the day, causes the rapid depletion of fossil resources in the world. Problems of access to conventional energy sources have led human beings to seek renewable energy sources. At the same time, environmental problems have played a major role in the choice of the use of these renewable energy sources. However, in today's conditions, aside from environmental obligations, the application of renewable energy sources is gaining more and more importance in the context of many studies that countries have developed to meet their own energy needs. Therefore, many countries recently in order to improve their energy activities around the world continue to work to increase the amount of renewable energy.

Renewable energy sources are increasingly showing their effect in electricity production. The establishment of many solar energy-based production facilities at various points in Turkey is encouraged. Considering the geographical location of Turkey, it has a great solar energy potential. In line with recent studies, the most preferred system among renewable energy sources is solar energy. Because solar energy operates in a cleaner and more useful way compared to other renewable energy sources. Photovoltaic systems, which are a part of solar energy, are encountered in many areas today. In this master's thesis, the aim is to design a photovoltaic energy system for approximately 40 thousand m^2 of the roof area of

the Istanbul Airport terminal building. By using the PVsyst simulation program, the energy production activities and financial analyzes of the ten grid systems installed on the roof of the terminal building were evaluated. The energy consumption comparison of the energy produced with the photovoltaic system was made with many systems operating at Istanbul Airport. It has been observed that the energy we obtain from the PV power plant we designed through the PVsyst simulation program will provide an average of 89.68% annual benefit to the energy consumed in the luggage systems operating at Istanbul Airport. In line with this study, the highest yield was achieved in July and August. In this context, information will be given about the suitability of the solar power plant for Istanbul Airport and the necessary precautions for the future will be mentioned.

Keywords: Solar energy, photovoltaic, airport, efficieny, cost analysis

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İnsanoğlunun yaşamaya başladığı ilk zamandan beri enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Süregelen bu zamanda teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji kaynaklarına olan bağımlılık sürekli artmıştır. Bu durum gitgide temel enerji kaynaklarının azalmasına sebebiyet vermiştir. Tükenmekte olan enerji kaynaklarına olan bağımlılıkları düşürmek maksadıyla insanoğlu alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. 21. yy'da alternatif enerji kaynaklarından en önemlisi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu sebepten tüm dünya ülkeleri enerji üretim miktarını yükseltmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını arttırmayı hedeflemektedirler.

Sukumaran ve Sudhakar [1], havalimanlarında konvansiyonel elektrik enerjisi tüketimini temiz, yenilenebillir enerji kaynakları ile değiştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu bağlamda havalimanlarında geniş alanlar mevcut olduğundan dolayı Hindistan Raj Bhoj Uluslararsı Havaalanı (RBIA) için 2 MWp'lik fotovoltaik santral kurmayı tasarlamışlardır. Elde ettikleri çalışmalar sonrasında; SISIFO simülasyon programı dahilinde tesisin yıllık 2733.122 MWh elektrik enerjisi ürettiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda tesisin performans verimi %85.54 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak önerilen tesisin çevresel ve ekonomik koşulları tartışılmıştır.

A.Leggeri ve arkadaşları [2], Salento Üniversitesinde mevcut halde bulunan 960 kWp'lik gücünde fotovoltaik sistemin performans analizi araştırılmıştır. Mart 2012 tarihinden Eylül 2015 tarihine kadar geçen 43 aylık süreç dikkate alınmıştır. Fotovoltaik sistemin elektrik maliyetinin düşürülmesi hedeflenmiş olup, sistemin bulunduğu bölgedeki iklim koşulları baz alınarak performas arttırmaya yönelik çalışmalar hedeflenmiştir.

Daniela Mewes ve arkadaşları [3], İsveç'in başkenti olan Stokholm'de mevcut halde bulunan Royal Enstitü ve Teknoloji kampüsündeki yapılar üzerinde

sürdürülebilirlik çalışması yapılmıştır. Gölgelendirmeye sebep olan faktörler göz önüne alınarak uygun değerlendirmeler yapılmıştır. Kampüsteki uygun mevcut alanlar göz önüne alındığında toplam enerji üretimini belirlemek amacıyla PVsyst programı kullanılarak iki farklı bina için analiz çalışması yapılıp, kayıplar dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Shazad Ahsan ve arkadaşları [4], Hindistan'da hala faaliyet gösteren ve 1 kW kurulu gücü olan fotovoltaik sistemde araştırmalar yapmıştır. PVsyst simüslasyon programı vasıtasıyla sistemin verimi ve finansal analiz fizibilitesi yapılmıştır. FV sistemle beraber üretilen enerjinin mevcut halde tüketilen enerji ile kıyaslaması yapılmıştır.

D. Okello ve arkadaşları [5], Güney Afrika'da faaliyetlerine devam eden Nelsan Mondea Metropolitian Üniversitesi'nde hali hazırda bulunan 3.2 kWp güce sahip olan şebekeye bağlı olarak FV sistemin mevcut değerler ile simülasyon programı vasıtasıyla elde edilen analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Yüksek PR sonuçları için PVsyst programını kullanarak ve meteorolojik kıstaslarda eklenerek ilgili alanın simülasyonu yapılarak analiz sonuçları elde edilmiştir.

Mono Al Ali ve arkadaşları [6], Abu Dabi'de aktif olan ve şebekeye bağlı olarak faaliyetlerinini sürdüren FV sistemin simülasyon programı vasıtası ile fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Bu durumlar göz önüne alındığında PR değerlerinin günlük ve aylık olarak analizleri yapılmıştır. FV enerji sistemi için lazım olan tüm analizleri yapılmıştır.

Paras Karki ve arkadaşları [7], Kathmandu ve Berlin'de mevcut hakde bulunan şebekeye bağlı FV sistem için PVsyst simülasyon programı vasıtasıyla karşılaştırmalı performas değerlendirmeleri yapılmıştır. 60 kWp'lik bir fotovoltaik sistem tasarlanarak farklı iki şehir için benzer parametreler göz önüne alınarak fotovoltaik sistem tarafından üretilen enerji miktarı ve şebekeye doğrudan verilen enerji analiz edilmiştir. Diğer kayıplarda göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

İstanbul'da faaliyet gösteren İstanbul Havalimanı için tamamen veya kısmi olarak enerji ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistem tasarımı yapılacaktır. Fotovoltaik sistem tasarımı için PVsyst simülasyon programı kullanılarak performans analizi yapılacaktır. İstanbul Havalimanı'nda enerji ihtiyacı için bir çok sistem kullanılmaktadır. 1 yıllık süre (Nisan 2019 – Mart 2020) baz alındığında İstanbul Havalimanı'nda mekanik ısıtma-soğutma sistemleri için tükettilen yıllık elektrik enerjisi miktarı ortalama yaklaşık 87.000.000 kWh olarak hesaplanmıştır. İstanbul Havalimanı'nın bagaj sistemlerinden yıllık bazda ortalama yaklaşık 9.000.000 kWh enerji tükettiği hesaplanmıştır. İstanbul Havalimanı'nda toplam 114 adet PCA ünitesi bulunmaktadır. Bir PCA sistem ünitesinin 1 ayda ki enerji tüketimi ortalama 300.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu bilgilerden destekle bir PCA sistem ünitesinin 1 yılda ki enerji tüketimi ortalama yaklaşık 3.600.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Toplamda 114 adet PCA ünitesi bulunmasıyla beraber, tüm PCA sistemlerinin 1 yılda ki enerji tüketi ortalama 410.000.000 kWh olarak hesaplanmıştır. İstanbul Havalimanı'nda toplam 147 adet GPU ünitesi bulunmaktadır. Bir GPU sistem ünitesinin aylık enerji tüketimi ortalama 14.700 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler dahilinde bir GPU sistem ünitesinin yıllık enerji tüketimi ortalama 176.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Genel olarak 147 GPU sistem ünitesinin 1 yılda ki enerji tüketimi ortalama 25.930.800 kWh olarak hesaplanmıştır. İstabul Havalimanı'nda aktif olarak kullanılmayan bir alana PV santrali kurarak elde edeceğimiz enerji ile ne kadarlık bir fayda sağladığımızı hesaplayacağız.

1.3 Hipotez

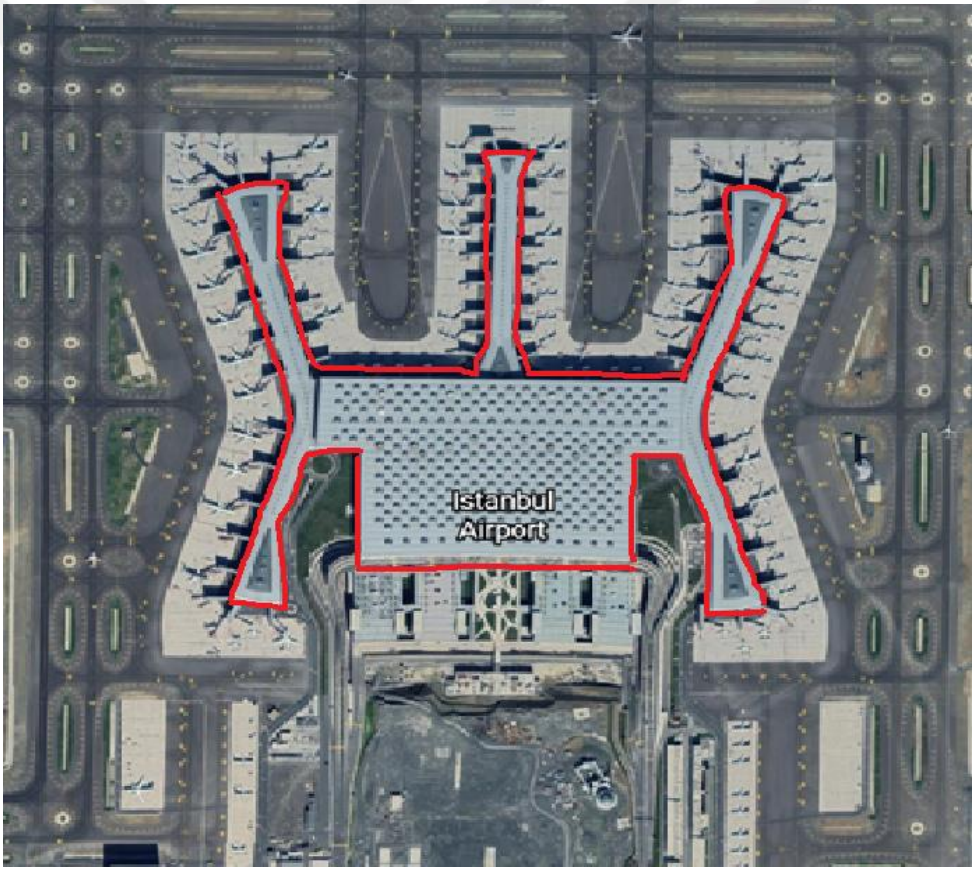
Bu tez çalışmasında, İstanbul ilinde faaliyet gösteren İstanbul Havalimanı'nın terminal binası üzerinde fotovoltaik sistemle tasarımı yapılıp, tasarım sonucunda performans değerleri analiz edilecektir. FV santralinden sağlanan enerji katkısı PVsyst simülasyon programından elde edilen verilerle yapılacaktır. Program sayesinde elde edilen enerji üretim değerleri, normal şartlar altında İstanbul

Havalimanı'nda tüketilen enerji miktarı ile karşılaştırmak için kullanılacaktır. Özet olarak çalışmada,

- İstanbul ilinde bulunan İstanbul Havalimanı'nın belirli bir bölgesinde fotovoltaik sistemle nasıl tasarlanır ve çalışır?
- Fotovoltaik sistem beklenildiği gibi performans gösterecek mi?
- Farklı modellerin kullanılması simülasyon sonuçlarının doğruluğunu değiştiriyor mu?

sorularına cevap aranacaktır.

Şekil 1.1'de gösterildiği gibi fotovoltaik güneş santrali kırmızı alan çizgisiyle belirtilmiş olan bölgeye yerleştirilecektir.



Şekil 1.1 İstanbul Havalimanı ana terminal binası ve pierleri uydu görünümü

2
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynağı bitmek bilmeyen kaynağa sahiptir. İnsanoğlunun harcadığı enerji sarfiyatı, enerjinin güvenliği ve iklimsel gibi nedenler alışılagelmiş enerjiden yenilenebilir enerji türlerine geçişi hızlandırmaktadır.

2.1 Yenilenebilir Enerjinin Tarihçesi

18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere'de başlayan Sanayi İnkılabıyla günümüze kadar gelen bu süreçte enerji talebi günden güne artarak, dünya üzerindeki birçok enerji kaynağının hızla tüketilmesine sebebiyet vermiştir. Yıllar öncesinde para, toprak, üstünlük vb. için yapılan savaşlar artık yerini enerji için yapılan çatışmalara bırakmıştır. Dikkate almış olursak 1974 yılında petrol krizinden sonra, çeşitli enejri kaynaklarının gündeme gelmesi önemli bir şekilde bizleri meşgul etmektedir [8].

İnsanoğlunun alışılagelmiş enerji kaynaklarına karşı olan tüketimi yeni kaynaklara yöneltmiştir. Aynı zamanda çevresel zorluklarla da ortaya çıkan nedenler insanoğlunun yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmasında büyük etken olmuştur. Bu tür enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli stratejiler geliştirerek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma ağırlık vermişlerdir. Dünya üzerinde ki bu enerji kaynak arayışları insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelterek enerji paylarını arttırmayı amaçlamıştır.

2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendini yenileyebilen, farklı bir deyişle yenilenen, hayatımız boyunca Dünya ve Güneş var olduğu süre boyunca bitmek bilmeyen enerji olarak tanımlanabilmektedir [9]. Yenilenebilir enerji kaynak türlerinin gösterimi Tablo 2.1'de belirtilmiştir [10].

Tablo 2.1 Yenilenebilir enerji kaynakları

	Kaynak	Yenilenebilir Enerji Kaynak
1	Güneş	Güneş Enejisi
2	Rüzgar	Rüzgar Enerjisi
3	Okyanus ve Denizler	Dalga Enerjisi
4	Biyolojik atıklar	Biyokütle Enerjisi
5	Yer altı suları	Jeotermal Enerji
6	Nehirler	Hidrolik Enerji
7	Su ve Hidroksitler	Hidrojen Enerjisi

Atmosfer içerisinde toplanan yanma gazları canlıların yaşamını sürdürdüğü yeryüzünde yapay olarak bilinen tabaka meydana getirmekte, bu oluşan tabakada canlılara etkisi olumsuz yönde sebep oluşturmaktadır. Sera etkisi olarak bilinen bu yapı insan sağlığı üzerinde ehemmiyetle durulan konuların başında gelmektedir [11].

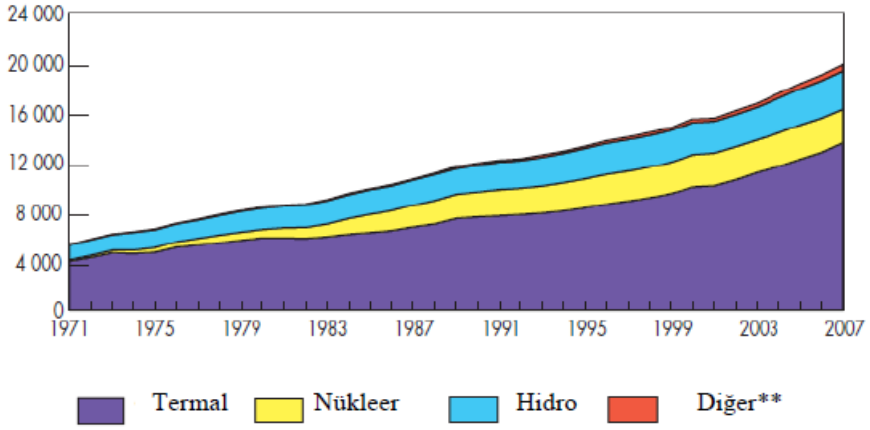
Sera etkisini minimum düzeye indirgemek maksadıyla Kyoto Protokolü çalışması çerçevesinde, sera etkisi oluşturan gazların salınımını sınırlamayı, indirmeyi amaçlayan uluslararası anlaşma yapılmıştır. Bilimsel çalışma altında ki Kyoto Protokolü, 11 Aralık 1997 tarihinde Japonya'nın Kyoto şehrinde organize edilen konferansta tanıtılarak 9 Mayıs 1992 tarihinde ABD'nin New York velayetinde karar kılınmıştır [10].

2009 yılı Aralık ayında Danimarka'nın başkenti Kopenhag'da meydana gelen ve dünyadaki çoğu ülkenin katıldığı toplantının sonuç değerlendirmesi olarak, Kyoto maddeleri genişletilerek iyi niyet antlaşmaları yapılmıştır.

2.3 Yenilenebilir Enerji Türünün Yıllara Göre Değişimi

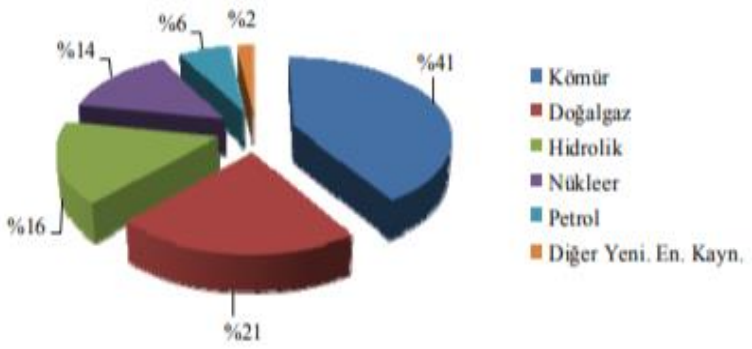
20. yüzyılın sonları 21. yüzyılın başlarıyla birlikte son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının arttığı görülmektedir. Bu durum, bu kaynakların enerji

tüketimindeki oranını da günden güne artırmaktadır. Şekil 2.1'de görüldüğü üzere 1971 yılından 2007 yılına kadar dünya üzerindeki elektrik enerjisi tüketiminin değiştiği gözlemlenmektedir [12]. 2011 yılında dünyada elektrik enerjisi üretimi dağılımı oranları Şekil 2.2'de görülmektedir [13].



Şekil 2.1 1971'den 2007 yılına kadar olan elektrik enerjisi üretimi

Şekil 2.1'de görüldüğü üzerine elektrik enerjisi dağılım oranları 1971 yılından 2007 yılına doğru artarak devam etmektedir.



Şekil 2.2 2011 yılında Dünya'da ki elektrik enerjisi üretim oranları

Şekil 2.2'de görüldüğü üzerine 2011 yılında Dünya üzerindeki elektrik enerjisi üretim oranı en fazla %41 oranıyla kömürdür.

3
GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünya'nın varlığı devam ettiği sürece enerji tedariğinde bulunacak, yaşamın her alanında mecbur ve vazgeçilmez enerji kaynağı olarak Güneş önemli rol oynayacaktır.

3.1 Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları

Güneş, yeryüzüne yaydığı yüksek orandaki ısı ve ışık enerjisi vasıtasıyla, Dünyamızın hem ısınıp hem de aydınlanmasıyla birlikte canlı yaşamının devam etmesinde çok önemli bir yere sahiptir.

Güneş'in fiziksel olarak çapı 1.39 x 10^6 km, yüzey sıcaklığı 5777 K, %93'ü hidrojen ve %7'si helyum gazlarından oluşmaktadır. Dünya ile Güneş arasındaki uzaklık 1,5x10^6 km'dir. Güneşin birim alanında birim zamanda farkı dalga boylarında 62 MW/m^2 enerji yayılmakta olup ve sadece bunun iki milyarda biri yeryüzüne düşmektedir [14]. Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde bulunan ve hidrojen gazının helyuma dönüştüren füzyon (parçalanma) tepkimesi meydana çıkan ışıma gücüdür. Tepkime olayı meydana gelen enerji, ışıma vasıtasıyla uzaya yayılmaktadır. Güneşten Dünya'ya aktarılan enerjinin kuvveti yaklaşık olarak 1.370 W/m^2'dir, lakin yüzeye gelen ışıma gücü atmosfer nedeniyle 0 – 1100 W/m^2'ye düşmektedir. Böyle bir düşüş olmasına rağmen, Güneşten yayılan enerjinin fazlalığı bu enerjinin Dünya'ya gelen küçük bir miktarı bile tüm canlılığın bütün enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılamaktadır.

Güneşten Dünya'ya, Dünya'nın bir yıllık için ihtiyaç duyduğu enerji miktarının 20.000 katı kadar enerji yayılımı olmaktadır. Yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda Güneş ışınımlarının yaklaşık olarak %30'u yansımalar sebebiyle atmosfere ulaşmadan uzaya, geriye kalan %70'i ise, atmosfer tarafından alınarak uzayın derinliklerine doğru ışınımlar halinde etrafa yayılmaktadır. Sonuç olarak, güneş ışınlarının %50'si atmosferden geçerek Dünya'ya ulaşmaktadır. Yaşamın

sürdürülebilirliği için yeryüzü, yeterli miktardaki ışınımı dengeli bir şekilde sürekli almak ve yansıtmak mecburiyetindedir. Güneş ışınlarının Dünya'ya ulaşmasıyla birlikte yeryüzünün sıcaklığı artar ve yeryüzü yaşama elverişli bir yer haline gelir. Okyanuslardaki, denizlerdeki dalgalanmalar ve rüzgar oluşumları güneş enerjisinin yardımı vasıtasıyla meydana gelmektedir.

Güneş enerjisi başlı başına enerji kaynağı olmasının yanı sıra diğer enerji türlerinin de kaynağıdır. Güneş sistemi, nükleer enerji haricinde tüm enerjilere doğrudan ya da dolaylı olarak hizmet etmektedir. Güneş enerjisi, çevresel kirlilik faktörlerin oluşturmaması, dağıtımında ve iletiminde problem olmaması, sonsuz olması, kurulum harcamaları dışında ücretsiz ve doğal yollardan eldesi gibi artıları ile vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Temiz, yenilenebilir, güvenilir, doğal, yeni ve çevre dostu olması güneş enerjisinin diğer faydalarındandır. Bu özellikler göz önüne alındığında, faydalanılabilir enerji potansiyeli bakımından da diğer enerji çeşitleri ile karşılaştırığında üstündür. Yapılan araştırmalar gösteriyor ki, Dünya'mızın yararlınabileceği Güneş ışınlarının bir yılda meydana getirdiği enerji, tanımlanmış kömür rezervlerinin sağlayabileceği enerjiden 50 kat daha fazladır.

Ölçüm değerleri, Dünya'ya ulaşan ışınlarının metrekare başına ortalama olarak 1.35 kW'lık bir enerji meydana getirebileceği yönündedir. Fakat unutulmamalıdır ki, güneş ışınlarının dünyaya ulaşmasında iklimsel etkiler, günlük farklılıklar ve coğrafi koşullar etkilidir. Bu kıstaslarla birlikte gelen ışınlar bölgelere göre farklılık göstermektedir. Bu özelliğinden dolayı güneş enerjisi, dağınık ve düşük yoğunluklu, değişken ve aralıklı bir enerji çeşitidir. Tüm bu kısıtlara rağmen güneş enerjisi, yıllarca sorunsuz çalışma potansiyeli, temiz, çevre dostu ve modüler yapısı, kısa zamanda kurulumunun gerçekleşmesi, işletmesinin basit oluşu, yakıta bağlı olmayışı ile tercih edilmeye devam edecektir.

Güneş enerjisinin kullanım yerlerini incelediğimizde iki amaç etkendir. Bu etkenlerden birincisi Güneş enerjisi vasıtasıyla ısı elde etmek, diğer etken ise güneş enerjisi ile elektrik elde etmektir. Bu durumlar için çeşitli teknolojiler uygulanmakta ve her geçen zaman bu teknolojiler kendini geliştirmektedir. Güneş enerjisi, sanayide ve ulaşımda, yemeklerin hazırlanmasında, tarımsal ürünlerin

kurutulmasında, suların ve havuzların ısıtılmasında, iş yerleri ve konut yapılarının ısıtılması ve soğutulmasında ve seralarda uygulanmaktadır. Deniz suyunda tatlı ve tuzlu su meydana getirmesi, güneş kaynaklı piller, sinyalizasyon sistemleri ve elektrik üretimi, güneşe bağlı havuzlar, ocak ve fırınlar ise güneş enerjisinin uygulama alanlarının etken örnekleridir.

İnsan yaşamının başlarında, Güneş ve güneşin ulaştırıdığı ışınlar kutsal kabul edilerek tapınılmıştır. Ünlü Roma imparatoru Muma Pompilus zamanında (M.Ö 714-671), konik metalik araçlarda odaklandırılmış güneş ışınlarına kutsaliyet belirtildiği farklı kaynaklarca desteklenmektedir. M.Ö 210 yıllarında, ünlü fizikçi Arşimet, aynalar yardımıyla odaklandırdığı güneş ışınlarını düşman gemilerini yakarak (Syrakuza Savunması) uzaktan imha etme becerisinde üne kavuşmuş bilim insanıdır.

17. yüzyılın sonlarına doğru güneş enerjisi, A. Kircher isimli bilim insanının yakıcı aynalar yardımıyla odunları tutuşturması ile yeniden ünlenmiştir. 18. yüzyılda J. Priestley, civa oksidin üzerine güneş ışınlarının odaklayarak oksijen elementini bulmuştur.

Güneş enerjisi vasıtasıyle faaliyet gösteren sıcak hava motorunun mucidi J. Ericsson 1870 yılında bu sistemin patentini almıştır. 1872 yılında ise 4700 m^2 alanı çevreleyen ve Güneş enerjisi ile faaliyet gösteren damıtma sistemi ilk olarak devreye verilmiştir. Bu tesisin asıl gayesi ise suyun içinde ki nitrat minerallerinin ayrıştırıp tatlı su meydana getirmekti ve tam 40 yıl boyunca kullanıldı.

Özellikle 1970'li yıllardan beri alternatif enerji kaynaklarından ve daha spesifik konuşmak gerekirse güneş enerjisinden faydalanma ile ilgili yapılan faaliyetler hızlanmış olup ve maliyeti düşürerek daha üstün teknoloji geliştirme faaliyetleri kazanmıştır [15].

3.1.1 Güneş Enerjisi ile Isıtma

Süregelmiş yapılan araştırmalar ışığındaki bulgular ve belgeler Güneş enerjisi vasıtasıyla ısınma işleminin ya da ısıtma işleminin tarihte çok geçmişe uzandığı tespit edilmiştir. Yeryüzündeki ilk canlıdan bu yana güneşin ısınma kaynağı olarak

kullanıldığı söylemek mümkündür. Teknoloji geliştikçe güneş enerjisinin ısıtma gücünden yararlanmak için kullanılan ısıtıcılar da oldukça değişmiştir. Kullanılan bu sistemler ısının yoğunluğuna bağlı olarak çok karmaşık olabilmektedir. Genel tabirle güneş kollektörleri vasıtasıyla biriken ısı enerjisi akışkan yardımıyla gerekli yere nakledilmesi durumuna dayanan yöntemle yürütülmektedir [16].

3.1.2 Düzlemsel Güneş Kolektörleri

Güneşten meydana gelen enerjiyi biriktiren ve ısı enerjisi olarak aktarılan farklı tipteki ekipmanlardır. Sıcak su elde etmek için evlerimizde daha çok kullanırız. Yaklaşık olarak 70 ^{o}C sıcaklıklara kadar ulaşabilir. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten başlayarak sırasıyla alta doğru, cam malzemesinden yapılan üst örtü, cam ile absorbe edilerek plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastil absorban plaka, arka vey an yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Absorblayan plaka bölümünde koyu renk kullanılır ve seçilimi arttıran bir madde ile kaplama işlemi yapmaktadır. Kolektörlerin diziliminde bulunduğu alana bağlı olarak güneşi en iyi alacak şekilde yerleştirilmesi gerekir.

Güneş kolektörlü sistemlerin sınıflandırılmasında iki sistem mevcuttur. Bu sistemler doğal dolaşımlı ve pompalı sistemlerdir. Bu sistemlerden, evdeki ekipmanlarla birlikte, sanayi tesisleri gibi birçok alanda sıcak su eldesinden yararlanılabilir. Ar-Ge faaliyetleri yoğun olarak sürmekte ve ticari ürünler haline gelmiştir. Dünya genelinde faaliyet göstermekte olan güneş kolektörlerünün kapladığı alanine 30 milyon m^{2}'yi geçtiği görülmektedir. Bulunduğu ülkeler içerisinde Çin, ABD, Japonya, Avustralya, Yunanistan gibi ülkeler en fazla güneş koletörünün olduğu ülkelerdir. Türkiye'de bu ülkeler içerisinde yer almaktadır ve bu sistemlerin kurulu olduğu alan 7,5 milyon m^{2}'dir.

3.1.3 Vakumlu Güneş Kolektörleri

Vakumlu kolektör cihazlarında cam boru ekipmanı kullanılmaktadır. İlave olarak absorblama yüzeylerinde enerji emilimini yükseltmek gayesiyle metal veya cam yansıtma sistemleri uygulanabilir. Vakumlu güneş kolektörlerinin çıkış bölümleri daha sıcak olması sebebiyle (100 ^{o}C ila 120 ^{o}C arasında değişiklik göstermektedir), düzlemsel kolektörlerin uygulandığı noktalarda kullanılabilmektedir. Ekstra

olarak yiyeceklerin dondurulmasında, konut yapılarının soğutmasında uygulanabilmektedir [16].

3.1.4 Güneş Bacaları

Bu sistemde enerji üretimi, güneşin ısısından meydana gelen hava hareketi olaylarından yararlanılarak elektrik üretilmesini içermektedir. Güneş bacaları sistemlerinin çalışma prensibi hidroelektirk santrallere benzemektedir. Bu iki sistemde de elektrik üretimi türbinler vasıtasıyla olmaktadır. Hidroelektrik santrallerde türbinlerin çalışması su ile yapılmasına karşılık, güneş bacalarında türbinler hava akışı ile gerçekleşmektedir. Her iki durumunda pozitif yönleri elektrik üretimi ve bakım onarım harcamalarının düşük seviyede olmasıdır.

Güneşle temas ettirilen malzeme ile kapatılmış yapının içindeki hava ve toprak ısınma işlemi görmektedir. Bacanın giriş bölümüne yerleştirilebilecek yatay konumda ki rüzgar türbini bu vasıtayla elektrik enerjisine çevrilebilir. Buna benzer uygulamalar için farklı güçte sistemler uygulanabilmektedir. Fakat dünya üzerinde deneysel birkaç uygulama haricinde kullanımı bulunmamaktadır [16].

3.1.5 Güneş Mimarisi

Güneş mimarisi, yıllardan beri uygulanabilen bir kullanımdır. İnsanlar yaşadığı çevreye ait meteorolojik yapıya göre evlerini dizayn etmektedir ve güneşin enerjisinden en yüksek oranda verimli bir şekilde faydalanmayı amaçlamaktadır. Binaların yapı ve tasarımında yapılan düzenlemeler vasıtasıyla aydınlatma, ısıtma ve soğutma sistemleri daha kullanışlı hale getirilmeye çalışılmaktadır. Aktif olmayan doğal ısı transfer mekanizmasıyla güneş enerjisi toplanabilir, depolanabilir ve üstelik bu depolanan enerjinin dağıtımı gerçekleşebilir. Ek olarak güneş kolektörleri, güneş panelleri gibi aktif güneş enerjisi donanımları da güneş mimarisinin örnekleri içerisinde bulunmaktadır [16].

3.1.6 Kurutma ve Seralar

Güneş sisteminin insanlara sağladığı birçok enerji çeşidi bulunmaktadır. Birincisi güneşten elde edilen ısıtma örnek verilebilir. Güneş'ten yararlanılan ısıtma olayı

sayesinde kırsal bölgelerde biriken ürünler kurutulabilmekte ve depolanabilmektedir [16].

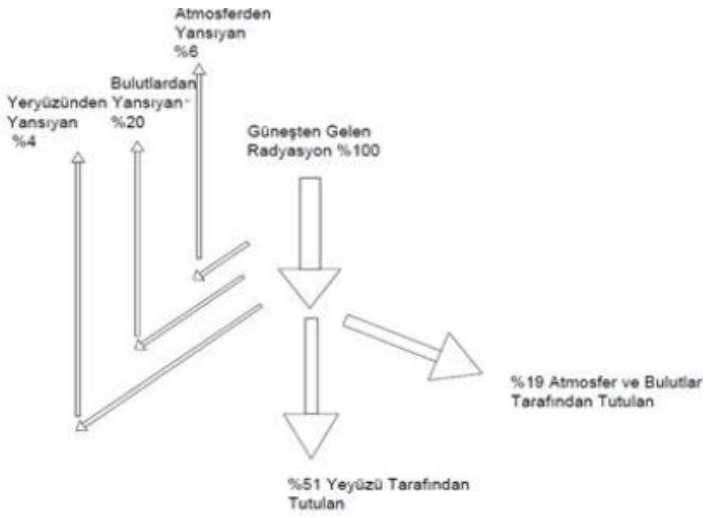
3.1.7 Elektrik Enerjisinin Üretilmesi

Güneş enerjisi sistemini kullanarak elektrik enerjisi üretilebilmesi 2 çeşit teknolojik faaliyet ile gerçekleşebilir. Bu durumlar ışığın doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi özelliği ile çalışan sistemler ve yüksek sıcaklık özelliği ile çalışan yoğunlaştırıcı sistemlerdir [16].

3.2 Güneş Açıları

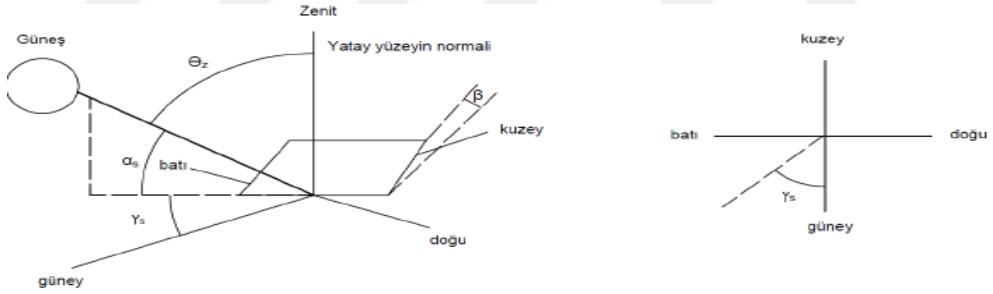
Yeryüzü üzerinde ışınımın en etkileyici özellikleri, dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesi ve Güneş sistemi çevresinde eliptik yörüngesi vasıtasıyla bulunmaktadır. Güneş sistemi üzerinden gelen ışınlar ile yeryüzü üzerindeki yüzeyler arasında belirgin açılar oluşmaktadır. Herhangi bir vakitte güneş sisteminin bulunduğu konumu hesaplama için bazı belirgin açıların bilinmesi önemlidir. Sabit veya hareketli bir düzlemde ki yüzeye gelen güneş ışımalarının değeri düzlemin bulunduğu konuma yerleşim yerinin enlemiyle, boylamıyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimine göre farklılıklar gösterir. Düzlemin konumu, eğimi gibi hesaplamalar yüzey üzerinde ki ışıma miktarını değiştirir. Bu sebepten direkt gelen Güneş ışınımlarını içeren, güneşin bulunduğu konumu tespit etmek gerekmektedir.

Güneş kaynağından çıkarak yeryüzüne düşen ışınıma ‘direkt ışınım’ denir. Güneş kaynağından çıktıktan sonra yeryüzünde farklı bölgelere geçerek ulaşan ışınıma ‘yayılı ışınım’ denir. Düşen ışınımların yeryüzünde bulunan maddelerden yansıyan ışınıma ise ‘yansıyan ışınım’ denir. Direkt ışınım ile yayılı ışınımların birleştirilmesine ‘global güneş ışınım’ denir. Dünya üzerine düşen güneş ışınlarının yayılışı Şekil 3.1’de gösterilmektedir [17].



Şekil 3.1 Güneş ışınımlarının dağılımı

Güneşin fiziksel olarak geometrisi düşünüldüğünde ilgili parametreler PVsyst simülasyon programına ilave edilmiş olsa da, güneşin mevcut konumunun bir fotovoltaik sisteminin durumunu nasıl değerlendireceğini anlamak için Güneş parametrelerinden bahsedilmelidir. Farklı Güneş ışınlarının geometrik yapısının açıları Şekil 3.2'de gösterilmektedir [17].



Şekil 3.2 Güneş açıları

Enlem Açısı (Φ): Belirtilen konumun enlemini göstermektedir.

Deklinasyon Açısı (δ): Güneş ışınlarının ekvatorun düzlemiyle yapmış olduğu açıya denir. Farklı bir söyleyişle güneş ışınının dünyaya geliş açısı olarak tanımlanabilir. Denkem 3.1 de görüldüğü üzerine deklinasyon açısı, hesaplanacak gün sayısı olarak belirtilen n'ye göre farklılık göstermektedir.

$$\delta = 23{,}45\ sin\left((360(284+n))/365\right) \qquad (3.1)$$

Saat Açısı (ω): Dünya kendi ekseni etrafında saatlik olarak düşündüğümüzde 15 derece dönmesiyle öğleden önce negative öğleden sonra pozitif olmak üzere yerel

meridyenin doğu ve batı yönünde açısal yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. GS'ye göre saat açısı formülü denklem 3.2'de belirtilmektedir.

$$\omega = 15(GS - 12) \tag{3.2}$$

Eğim Açısı (β): Eğik yüzeyin yatay ile yapmış olduğu açı olarak tanımlanabilir.

Yüzey Azimut Açısı (γ): Eğil yüzeyin normalin yatay düzleme izdüşümünün güneyle yapmış olduğu açıdır. Güney yönünden batı yönüne gidildikçe (+), doğu yönüne doğru gidildikçe (-) alınır.

Güneşin Geliş Açısı (θ): Eğik yüzeye gelen güneş ışının yüzeyin normali ile arasında kalan bölgesinde ki açıya denir.

Zenit Açısı (θz): Güneşin ışınlarının geliş doğrultusuyla yatay yüzeyin normali arasında kalan açıdır.

$\theta_Z = 90 - \alpha$ olup,

$$\theta_z = \cos^{-1}[\sin(\emptyset)\sin(\delta) + \cos(\emptyset)\cos(\delta)\cos(\omega)] \tag{3.3}$$

Güneş Yükseklik Açısı (α): Direkt olarak gelen güneş ışınlarının yatay düzlemde yapmış olduğu açı olarak tanımlanmaktadır.

$\theta_Z = 90 - \alpha$ olup,

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin(\emptyset)\sin(\delta) + \cos(\emptyset)\cos(\delta)\cos(\omega)] \tag{3.4}$$

Güneş Azimut Açısı (γs): Direkt olarak gelen güneş ışınlarının yatayda izdüşümünün güney doğrultusuyla yapmış olduğu açı olarak tanımlanmaktadır.

$$\gamma_s = \sin^{-1}\left[(\cos(\delta)\sin(\omega))\Big/\cos(\alpha)\right] \tag{3.5}$$

3.3 Fotovoltaik Güneş Panelleri

Fotovoltaik paneller, panel yüzeyine isabet eden güneş ışınlarının direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren materyaller olarak tarif edilmektedir. Fotovoltaik güneş modüllerinin yüzey kısımları çoğunlukla kare, dikdörtgen, daire boyutlarında olduğu gözlemlenmiştir. Güneş modüllerinin matematiksel olarak ölçümü 125 mm x 125 mm boyutlarında ya da 156 mm x 156 mm olduğu tespit edilmiştir. Modül kalınlıkları ise yıllar geçtikçe teknolojinin gelişmesiyle beraber azaldığı ön görülmektedir. Günümüzde firmaların dökümanları araştırıldığında

ise kalınlıklar 0,15 mm ila 0,2 mm arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir[18].

Güneş panelleri fotovoltaik sisteme dayanarak çalıştığı gözükmektedir. Fotovoltaik sistem, hücrelerin panellerin üzerlerine ışık düştüğü zaman hücre uç kısımlarında elektrik geriliminin meydana gelmesi olarak tarif edilmektedir [19].

Birden fazla sayıda güneş hücresi birbirlerine parallel veya seri olarak bağlanarak güç çıkışını yükseltebilmektedir. Bu materyale güneş paneli veya fotovoltaik panel olarak adlandırabiliriz. Bununla birlikte istenilen değer kadar en küçük watt'daki enerji üreteçlerinden devasa boyutta enerji tesisleri meydana getirilebilir. Fotovoltaik panellerin çıkışından doğru akım üretilir [20].

3.3.1 FV Güneş Panellerin Tarihçesi

Canlı yaşamının ilk evresinden bu zamana kadar gelen noktada Güneş enerjisi yüzyıllar boyunca insan başta olmak üzere canlılar tarafından farklı varyasyonlarda uygulasa da Güneş enerjisinden elektrik enerjisi meydana getirme işlemi ilk olarak 1900'lü yılların ortalarında rastlandığı gözlemlenmektedir. Kayıtlar adı altında bulgular göz önüne alındığında ilk olarak 1839 yılında Fransız ünlü bilim adamı Becquerel tarafından uygulamaya alınmış olan çalışmayla birlikte elektrolit içine daldırdığı elektrotlar arası gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olarak değiştiğini bularak FV etkiyi keşfetmiştir [21].

Fotovoltaik sistemler için milad olarak görülen bu tarihi takip eden yıllarda keşifler, araştırmalar, ilk tasarımlar, uzaya gönderilecek araçlarda kullanılacak fotovoltaik güç vb. sistemleri oluşturulmuştur. FV güç tasarımları 1960'lı yılların başlangıcından beri uzay çalışmalarında özgün, sağlam ve güvenilir bir sistem olduğu öngörülmektedir [22].

Dünya'nın önde gelen ülkelerinden Amerika başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesi ve Japonya'da geniş yatırımlar dahilinde projeler başlatılmış olup uzay çalışmalarında kendi ününü duyurmuş silikon kristaline dayalı fotovoltaik panellerin etkinliğini arttırmaya yönelik çalışmaları ve bu çalışmalara yardımcı olmak üzere minimal düzeyde yarı iletken maddeye gerek duyulan ve bu sebeple

en düşük maliyet düzeyinde imal edilecek ince film fotovoltaik paneller üzerindeki araştırmalara ağırlık verilmiştir [23].

3.3.2 Fotovoltaik Etki

Yarı iletken devre elemanlarında, güneş hücrelerinde silisyum (Si) elementi kullanılmaktadır. Bu tip bir materyal gerektiği şekilde kristalleşirse düzgün bir krisal yapı oluşturacaktır. Yabancı atomlardan arındırılmasının üzerine uygun şekilde kristalleşmesi şartıyla has yarı iletken olan düzgün bir kristal yapı oluşturur. Bahsedilen kristal yapıda silisyum atomlarının her valans elektronunu en yakın silisyum atomları ile beraber kullanılmasıyla atomlar arası birtakım bağlayıcı kuvvetler oluşur. Elektronlar ısıl tahriklerle bulunduları yerlerden çıkarak serbest elektrona çevrilebilmektedir. Serbest elektronlar kristal yapı içerisinde rastgele dolaşırken bir elektriksel alan uygulandığında, negatif yükteki uçtan pozitif yüke doğru ilerlemek şartıyla elektrik akımının sürdürülmesine olanak sağlamaktadır.

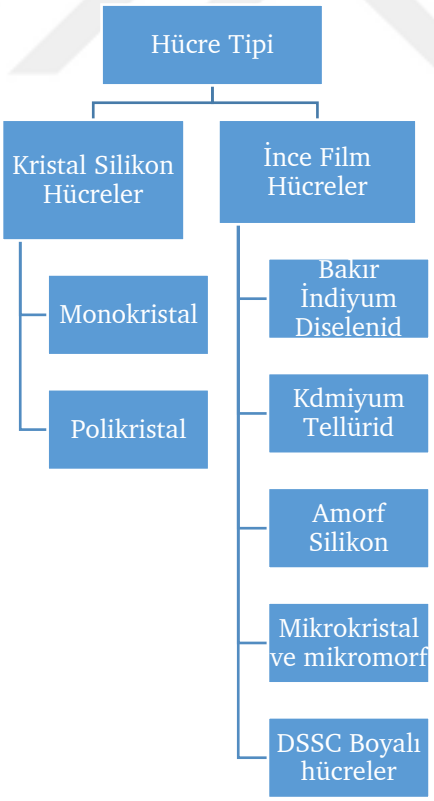
Isıl tahrik işlemi sonucunda, yerini terk eden elektronun meydana getirdiği boşluk, alanda pozitif yükün varlığı şeklinde söylenir. Elektronun yerini almasına müsaade ettiği bu pozitif yük delik olarak bilinir. Delikler komşu atomlardan alınan elektronlar ile doldurulur ve kristal yapı içerisinde rastgele hareket olanağı sağlarlar. Elektriksel alan yönteminin uygulanmasıyla beraber delikler, pozitif yüklü uçtan negatif yüklü uca doğru ilerleyerek bir elektriksel akım oluşturur. Deliklerin ve elektronların elektriksel alanın etkisi ile birlikte belirlenen yönleri de taşıdıkları yükler de birbirine zıttır. Bu yüzden, oluşturdukları akım aynı yönde ve pozitif yükten negatif yüke doğru ilerler.

Bu işlemler sonucunda eldeki serbest elektron sayısı, sistemin yapısına eklenen 5 son yörünge elektronlu atomların sayısana denktir. Bir tane elektronu serbest kalmış ve kafes yapısı içinde kalmış olan atom $+1$ değerinde yüklenmiş olan iyon olarak kalmaktadır. Kafes yapısı içerisinde serbest halde dolaşan elektronlarla ısıl tahrik sonucu yapı içinde meydana gelen boşluklar olacaktır. Özet olarak, 5 son yörünge elektronlu atomların ilave olduğu bir sistemde elektrik akımını taşıyan çok miktarda elektron ve az bir miktar delik bulunması gerekir. Negatif yüklenmiş

bu taşıyıcıların bulunduğu yarı iletken malzemeye ‘n tipi yarı ileteken’ tanımı yapılmaktadır.

Fakat yapıya, 3 son yörünge elektronuna sahip Al, B gibi atomlar ilave edilirse, bu yapıya girebilmesi için mevcut yarı iletken atomlarından birer tane elektron almaları gereklidir. Bunun sonucunda yapı içinde hareketsiz kalan negatif yüklü iyonların dışında pozitif yüklü iyonlar kafes içerisinde serbest bir şekilde ve rastgele hareketlenmeye başlar. Isıl tahrik işlem sonucunda da pozitif akım taşıyıcıları boş kalan deliklere ilave edilir ve pozitif yüklü iyonlar daha fazla olduğu için bu yarı iletken tipine ‘p tipi yarı iletken’ denmektedir. Yarı iletken parçasının bir alanı p tip, diğer bölgesi n tipi olacak şekilde oluşursa p tipi bölgede fazla miktarda bulunan delikler n tipi alana doğru ve n tipi bölgede çok sayıda bulunan elektronlar p tipi alana doğru nüfuz edecektir. Hareket işlevi yapabilen tanecik yapıların çok yoğun ortamdan, az yoğun ortama doğru kendiliğinden yayılması olayına difüzyon adı denir [20].

3.3.3 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri



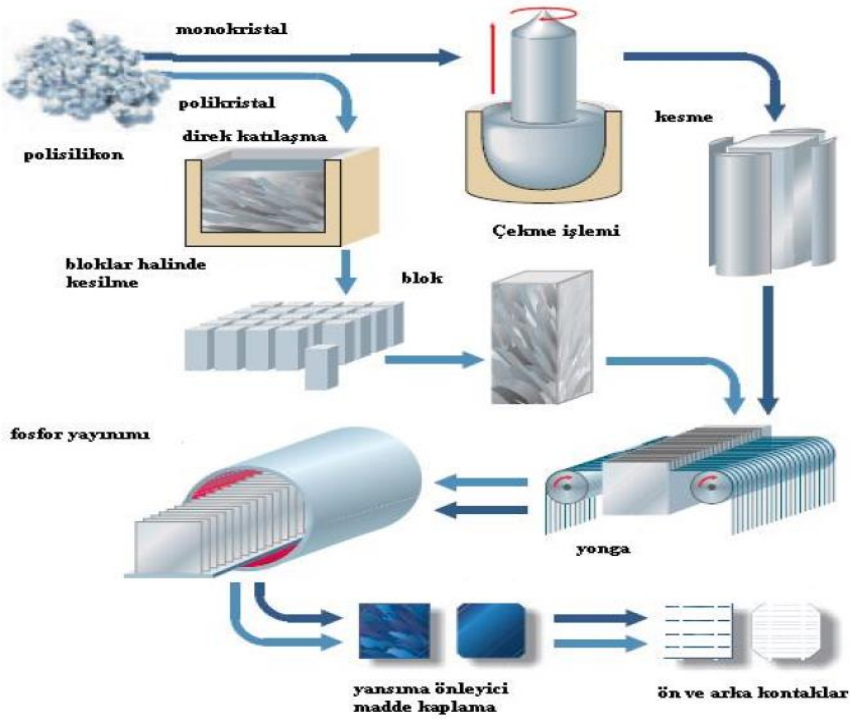
Şekil 3.3 FV hücre çeşitleri

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere fotovoltaik hücre çeşitleri toplam olarak 7 farklı çeşitte bulunmaktadır.

FV hücreler temel olarak, kristal silikon yapılı hücreler (C-Si) ve ince film hücreler olmak üzere iki grupta incelenmektedir. FV hücre çeşitlerinin gruplandırılması Şekil 3.3'te gösterilmektedir.Günlük yaşantımızda kullanım olarak kristal silikon hücreleri yaklaşık olarak %93 oranında uygulanmaktadır. Öte yandan diğer bir tür olan ince film katman hücresi ise son yıllarda artış göstererek ön plana çıkmaktadır [24].

3.3.3.1 Kristal Silikon Yapılar

Ana hammaddesi silisyum olan kristal silikon yapıları günlük yaşantımızda en çok kullandığımız yapılar olarak bilinmektedir. Silisyum atomu, yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi, elektriksel ve optik özellikleri ve teknolojisinin ileri olması ile ön plandadır. Bu özellik onun daha çok tercih edilmesine sebebiyet vermektedir. Elektriksel ve optik özellikleri ile de günümüzde ön plana çıkmaktadır. Bütün bu üst seviye özellikleri ile birlikte oksijen elementinden sonra evrende en çok rastlanan Silisyum elementi, güneş enerjisi olarak uygulanabilmesi için çeşitli işlem basamaklarından geçer not alması mecburiyetindedir. Silisyum elementi yüksek orandaki sıcaklık arz eden ısıl işlem ile silisyum dioksit (kuartz) bileşiği yapısında ayrıştırılmaktadır. Bu bilgiler ışığında yüksek seviyedeki kalite ve saf hallilikte güneş tipi hücrelerinin meydana gelmesinde uygulanmaktadır [25]. Şekil 3.4'te kristal yapılı hücrelerin üretim evreleri belirtilmektedir [26]. Şekil 3.3'te belirttiğimiz üzerine Şekil 3.4'ün işlem basamaklarında monokristal ve polikristal olmak üzere ayrı ayrı işlem görmektedir.



Şekil 3.4 Kristal hücre üretim işlem basamakları

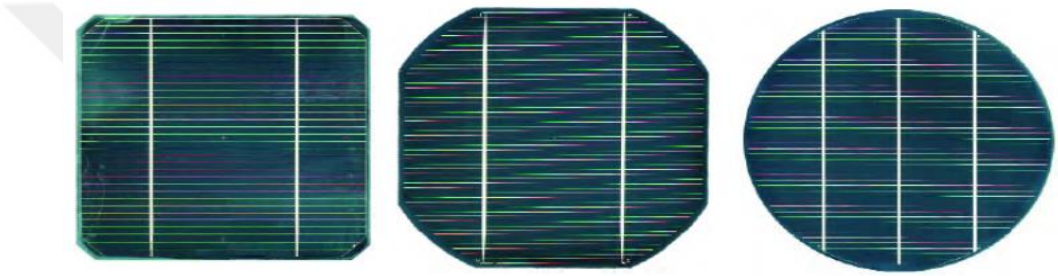
3.3.3.2 Monokristal Güneş Hücreleri

Monokristal yapılı güneş tipi hücreleri, yüksek orandaki verimlilik değerlerine sahip olmakla birlikte, meydana getirilen teknik yöntemleri ile bilinen en eski ve aynı zamanda en maliyetli hücre tipleri olarak bilinmektedir. Verimlilik, mevzu güneş hücreleri tipleri olunca en hassas özelliklerinden bir tanesidir. Monokristal hücrelerin verimlilik değerleri göz önüne alındığında yaklaşık %15 ila %18 değerleri arasında değişmektedir. Fakat yapılan araştırma çalışmaları göstermektedir ki son zamanlarda piyasada ki monokristal hücre tiplerinin verimlilik değerleri %20 ila %22 değerlerine yaklaştığı tespit edilmektedir.

Monokristal silikon hücrelerinin en çok bilinen ve en sık kullanılan üretim yöntemi ‘Czochralsi Yöntemi’dir. Yüksek seviyede ki sıcaklıklarda işlem gerektiren bu yöntemle, 300 mm çapında tek kristalli ve birkaç metre boyutunda silikon silindirler meydana gelmekte ve bu silindirler gerek dairesel şekilde gerekse dörtgen veya çokgen şekilde pha işlemi uygulanarak 0,15 mm – 0,2 mm kalınlığında dilimlenmektedir. Sonuç olarak meydana elen plakaların p tabakası hali hazırda olmakla beraber, n tabakası da fosfor difüzyonuyla oluşturulmaktadır.

Ön ve arka kontak noktaları da birleştirilince hücrenin elektrik akım yolu ortaya çıkmış olmaktadır. Son durum olarak, hücrenin üzerine düşen güneş ışınlarının yansımasının engellenmesi gayesiyle ön yüzey yansıması engelleyici malzeme ile çevrelenerek, hücre üretimi sonlandırılacaktır. Bu yöntemin, transistor ve entegre üretiminde uygulandığı bilinmektedir. En güvenilir üretim yöntemidir.

Monokristal hücrelerin yapıları homojendir ve renk türleri karakteristik olarak koyu maviden siyaha doğru değişir. Monokristal hücreler 4 inç, 5 inç ve 6 inç gibi boyutlara sahip olabilmektedir. Bunlarla birlikte şekilleri kare, dairesel ve yarı köşeli olabilir. Şekil 3.5'te birbirinden farklı monokristal hücreler gösterilmektedir [27].



Şekil 3.5 Monokristal hücre örnekleri

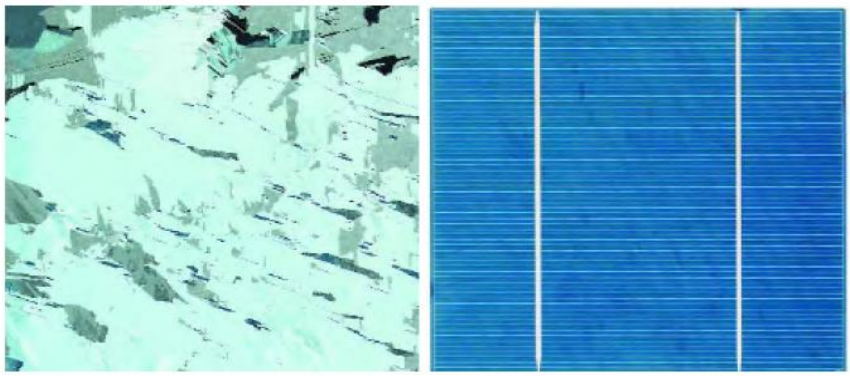
Monokristal hücre üretiminde en etkin sorunlarından biri de yüksek malzeme özelliği kaybıdır. Yapılan çeşitli yöntemler dahilinde tespit edilen ısıl işlem yöntemi akabinde yapılan dilimleme türü işlemlerinde yüksek oranda kayıplar meydana gelmektedir. Bu problemin giderilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [28].

3.3.3.3 Polikristal Güneş Hücreleri

Bu tür hücre tipleri, çok kristalli silisyum hücrelerinden meydana gelmektedir. Meydana gelmesinde en sık kullanılan metod dökme metodudur. Polikristal özelliğe sahip silisyum elementinde arzu edilen saflık derecesi monokristal özelliğe sahip silisyumdaki gibidir. Bununla birlikte, ilk yapı malzemesi olarakta monokristalli silisyumda olduğu gibi hazırlanmaktadır.

Üretim yöntemi olarak monokristal yapılı hücrelerle karşılaştırılması yapıldığında, daha minimal düzeyde hassasiyete ihtiyaç duyduğu için maliyeti daha azdır.

Polikristal hücre tiplerinin verimlilik değer aralığı %14 ile %17 arasında değişkenlik göstermektedir. Yansıma olayı vasıtasıyla meydana gelen kırılmaları önlemek için kaplama tarzı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemle birlikte hücrelerde renk değişikliği gözlemlenmektedir. Kaplaması olmayan hücreler gümüş renktedir. Kaplamasız ve kaplamalı olan polikristal hücreler Şekil 3.6'da gösterilmektedir [28].



Şekil 3.6 Polikristal hücre çeşitleri

Şekil 3.6'da görüldüğü üzerine soldaki şekil kaplamasız polikristal hücre çeşididir, sağdaki şekil kaplamalı polikristal hücre çeşididir.

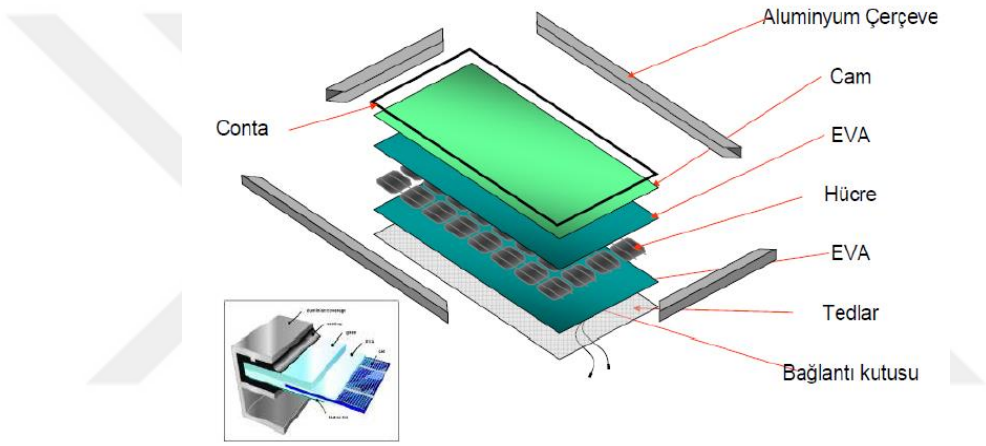
3.3.3.4 Kristal Yapılı Güneş Panelleri

Güneş panellerin meydana gelmesinde monokristal ve polikristal hücre tipleri önemli rol oynamaktadır. Bu tür hücrelerin birbirlerine parallel ya da seri şekilde bağlanması gerekmektedir. Hücrenin tipi farketmeksizin, hücrelerden panel meydana gelmesi benzer tip olaydır. Dikkat edilmesi gereken özellik, hücrelerin istenen değerlere gelmesi için paralel ya da seri olarak birbirlerine bağlanmaları ön koşuldur.

Polimer yapılı bir tür material olan EVA (Etilen Vinil Asetat), hücrelerin ön ve arka taraflarına yerleştirilir. Bu yerleştirme şekli bir çeşit kaplama yöntemidir. Bu tür yöntem sandviç yöntem olarak bilinmektedir. Akabinde EVA'nın üst bölgesinde tedlar olarak isimlendirilen arka kılıf malzemesi örtülmektedir. Tedlar materyali, ultraviyole ışınları, yüksek orandaki nem ve sıcaklık değerlerine karşılık hücreleri

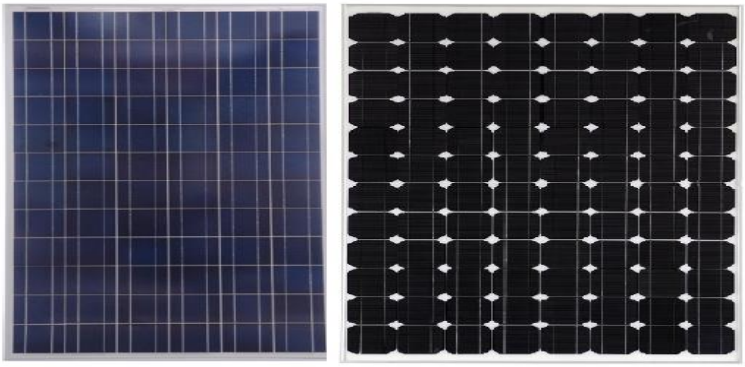
muhafaza ettiği gibi, panelin aynı anda uyum sağlayarak uzun zaman ortam koşullarında sorunsuz şekilde faaliyet göstermesine olanak sağlamaktadır [29].

Muhafaza etmek için cam ya da EVA, arka kılıflar ile çevrilenen kristal hücreler yüksek seviyedeki basınç ve sıcaklık değerleri altında bekletildikten bir süre sonra koruyucu materyaller ile çevrilir. Prosedürün meydana gelmesiyle birlikte güneş panelleri güç üretici konumuna geçmektedir. Şekil 3.7'de güneş panel yapısının katmanları gösterilmiştir [30]. Polikristal ve monokristal (soldaki polikristal güneş paneli, sağdaki monokristal güneş paneli) güneş panel çeşitleri Şekil 3.8'de gösterilmektedir [31].



Şekil 3.7 Kristal yapılı güneş paneli yapısı

Kristal tabanlı güneş paneli yapısında; 1 adet conta, 1 adet alüminyum çerçeve, 2 adet EVA, 1 adet hücre, 1 adet tedlar, 1 bağlantı kutusu bulunmaktadır.



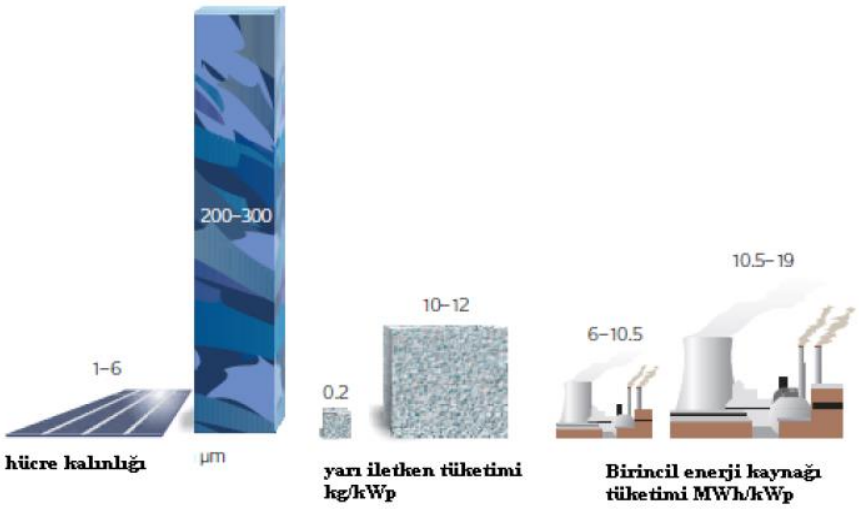
Şekil 3.8 Polikristal ve monokristal güneş paneli

Bu tez çalışmasında mono tip hücre paneli çeşidi tercih edilmiştir. Tercih ettiğimiz panel modeline ait özellikler ekteki katologta belirtilmiştir. Modül bilgileri detyalı olarak Ek-A'da verilmiştir.

3.3.3.5 İnce Film Güneş Panelleri

20. yüzyılın öncesinde, ışığa hassas olan yarı iletken malzeme tipinin cam, plastik, metal türü gibi birden fazla değişik materyalin üzerine kaplanabileceğinin farkedilmesi, güneş panel hücrelerinin üretilmesinde önemli adım atılmıştır [32].

İnce film tabaka yapısına sahip FV materyal, polikristal malzemelerden tercih edilmektedir. İnce film tür materyal boyutu nanometre seviyesine kadar inen fiber yapılardan üretilmektedir. Fiber yapılar içerisinde sorunlar polikristal malzemenin FV değerinin etkileyen önemli hususlarındandır. Bu nedenden ince film teknolojisine ait FV hücreler ile silisyum FV hücrelerin kalınlık derecesi arasında farklılık mevcuttur [33].

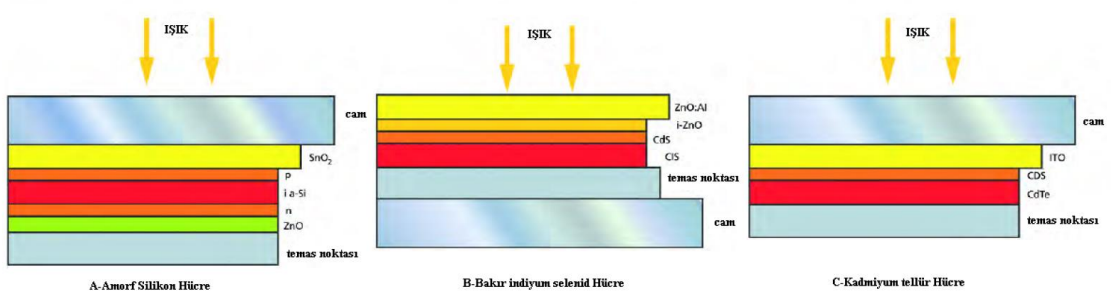


Şekil 3.9 Kristal ve ince film üretim karşılaştırılması

İnce film güneş panelleri ile kristal tabanlı güneş panellerinin imalatında kullanılan malzeme ve enerji sarfiyatı karşılatırması Şekil 3.9'da görülmektedir. Bu durumda ince film güneş panellerinin kristal tabanlı güneş panellerine oranla 50 kat ila 60 kat daha az yarı iletken malzeme uygulandığı ve yaklaşık olarak yarı yarıya daha az enerji kullanıldığı göz çarmaktadır [34].

İnce film hücre tipi teknolojisinde uygulanan FV panel türlerinde elektriksel bağlantı arka bölgede ve mat metal kaplama özelliği ile uygulanmaktadır. Ön bölgede ise bağlantı saydam şeklinde iletken oksit tabakası vasıtasıyla gerçekleştirilmekteidr. Özellikle silikon FV panel üretim teknolojisinde gözle görülen olumsuz maddelerin başında sıcaklık artışıyla meydana gelen verimin düşüşüdür. Bu nedenle yüksek seviyede sıcaklığın görüldüğü bölgelerde ince film teknolojisine dayalı hücre tiplerinin var olduğu FV panel tipleri seri şekilde üretilmektedir [35].

Şekil 3.10'da görüldüğü üzerine değişik türlerde bulunan ince film güneş panellerinin çeşitli türleri belirtilmektedir [34].



Şekil 3.10 Değişik türdeki ince film hücre katmanları

Amorf silikon hücre ve kadmiyum tellür hücrelerinde ışık ilk cama denk gelmektedir.

İnce film türündeki güneş panelleri son zamanlarda piyasada daha çok satılmasına rağmen piyasa paylarının hızla arttırdıkları gözlenmektedir [36].

Tüm firmalar tarafından güneş panellerinin yaklaşık 25 yıla kadar garanti süresi verdikleri bilinmektedir. Eski olarak bilinen ince film kaplama panelleri 15 yıla bile bulmayan dayanma süreleri ve bu teknolojide yıllara bağlı olarak göze çarpan verimin düşüşü, araştırmacılar ve tüketiciler üzerinden kristal panellerin tercih edilme nedenlerindendir [37]. Şekil 3.11'de 3 farklı çeşitteki ince film güneş panellerine ait görseller bulunmaktadır [38].



Şekil 3.11 İnce film güneş panel çeşitleri

Şekil 3.11'de gösterildiği üzere Sharp, First solar, Bosch firmalarına ait ince film güneş panellerinin görselleri belirtilmiştir.

3.3.3.6 Diğer Teknolojiler

Güneş enerjisi sanayisi üzerindeki yapılan araştırmalar hala hızlı bir şekilde devam etmektedir. Verimin diğer sistemlere göre daha düşük seviyede olması ve değişkenlik gösteren güneş sistemi şartlarına bağlılığı fazla olan güneş sistemleri üzerinde araştırma çalışmaları oldukça fazladır. İnce film teknolojisi kristal silikon panel sistemlerine göre daha çok tercih edilmekte olup üçüncü nesil olarak göze çarpan yeni nesil panellerde önemli adımlar atılarak gelişmeler yaşanmıştır. Bu tür çalışmaların en özgün gayesi masrafları azaltarak yüksek verimlilik sağlamaktır[39].

HIT güneş hücreleri, geleneksel kristal ve ince film güneş hücrelerinin birleşiminden meydana gelmektedir. HIT ifadesi melez hücreye verilen İngilizce ismin kısaltılarak belirtilmesidir. Kristal hücrelere oranla HIT hücrelerinin sıcaklık sebebiyle verim kayıpları daha az olmakla beraber, daha düşük enerji ve hammadde sarfiyatı olmaktadır.

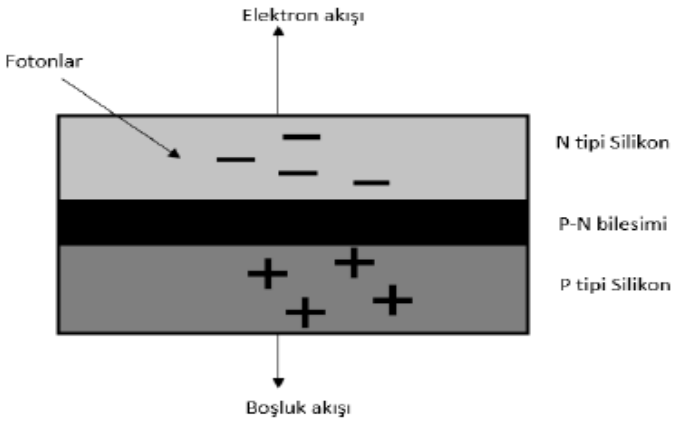
Hücre boyutları, 104 mm^2 boyutunda pah yapılmış kare geometrik şeklinde olup; et kalınlığı 0,2 mm'e kadar düşürebilmektedir. Verimlilik değerleri ise %19 ila %20 seviyelerinde iken panel verimliliği ise %16 ila %17 değişkenlik göstermektedir. Hücre yapıları homojen olup hücre renkleri ise neredeyse siyah renktedir [40].

Birden fazla güneş panelinin üst üste birleşmesiyle, gelen ışının spektrumuna daha hassas bir yapı meydana gelmektedir ve geleneksel güneş hücrelerine nazaran daha fazla ışın absorbe edebilmektedir. Mikromorf adı, amorf ve mikrokristal silisyumun kambinasyonundan gelmektedir. Bundan dolayı mikromorf güneş panelinde üstte bulunan a-Si:H tabakası düşük dalga boylarını soğurmaktadır. Mikromorf tandemin yaklaşık kalınlığı 2-3 μm civarındadır [41].

3.4 FV Sistemler

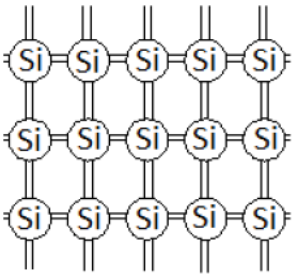
Yenilenebilir enerji sistemleri içerisinde dünyanın her yerinde ve uygulanabilir durumda olan bir sistemdir güneş enerjisi sistemleri. İngilizce Photo Voltaic kelimesi, dilimize güneş pili veya güneş hücresi olarak gelmiştir [42]. FV sistem elektrik üretme gayesiyle bir invertör ile birleştirilmiş diğer elektrik ve mekanik donanımdan oluşan güneş panellerinden oluşmaktadır. Ölçülen değerleri değişiklik gösterebilen ve şebekesiz de faaliyet gösteren sistemlerdir [43].

FV etkisi ilk defa 1839 yılında fizikçi Edmond Becquerel tarafından ışık şiddet miktarının metal elektrot iletkenliğini artırdığının farkına varmasıyla icat edilmiştir. Bir öğrencisi tarafından ışınım altında selenium ve platin arasında FV etkisinin olduğunu gözlemlemiştir, fakar bunların güneş pillerine çevrilmesi 1918'li yıllarda Jan Czochralski ile ortaya atılmıştır. FV etki maddenin tüm hallerinde tespit edilebilmektedir. Fakat bu etkinin faydalı bir hale gelebilmesi için yarı-iletken malzeme kullanmak gerekmektedir. Yarı-iletken malzemelerde silisyum, galyum arsenit, kadminyum kullanılmaktadır, fakat çoğunlukla kristalize silikon tercih edilmektedir. Hücrelerin farklı şekillerde bağlantısı yapılarak istenilen akım ve gerilimler elde edilmektedir. Işınların elektriğe dönüştürülmesi; yarı-iletken güneş pilleri, fotoemissif hücreler ve fotorezistif hücreler gibi ekipmanlarda olmaktadır. Kilowatt başına en yüksek harcamaya shaip olan FV sistemleri 40 yıla uzun ömürleriyle yinede alternatif bir seçenek olarak tercih edilebilir [42]. Şekil 3.12'de plakalı güneş kolektörü kesit şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Plakalı güneş kolektörü kesiti

Fotoelektrik terimi ışıktan elektrik üreten bir efekt tanımlamasında uygulanır. Üç adet ana süreci mevcuttur. Bu süreçler; fotoyayılım, foto iletkenlik ve fotovoltaik etkidir. Fotoyayılım şığın altında electron yaydığı vakit, foto iletkenlik etki içerisinde ışıkla orantılı şekilde maddenin içinden geçen elektrik akımının değişmesi ve fotovoltaik etki ise iki made arasına ışık düştüğünde maddenin sınırından electron geçmesi olarak açıklanmaktadır. Elektronların aktığı taraf negatif yükten, elektronları kaybeden taraf ise pozitif yükle yüklenmekte ve akabinde P-N eklemi meydana gelmektedir. Şekil 3.13'te güneş pili atomik yapısı gösterilmiştir [42].

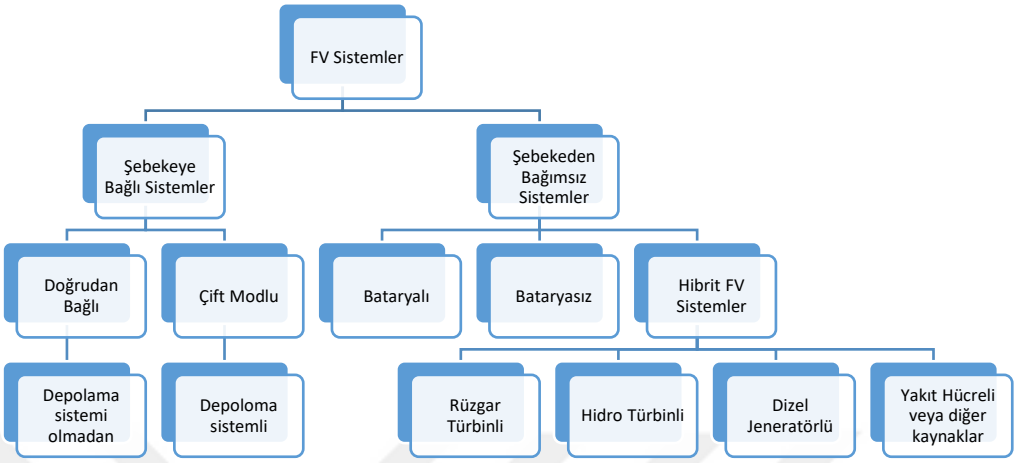


Şekil 3.13 Güneş pili atomik yapısı

3.4.1 FV Sistem Çeşitleri

FV sistemleri şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere iki ana başlığa ayırabiliriz. Şebekeye bağlı sistemler doğrudan doğruya bağlı ve çift mod sistemli olarak iki kısıma ayrılır. Şebekeden bağımsız sistemler ise batarya

donanımlı, bataryasız ve hibrit FV sistemler olmak üzere üç bölüme ayrılır. Şekil 3.14'te FV sistem çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Fotovoltaik sistem çeşitleri

3.4.1.1 Şebekeden Bağımsız Sistemler

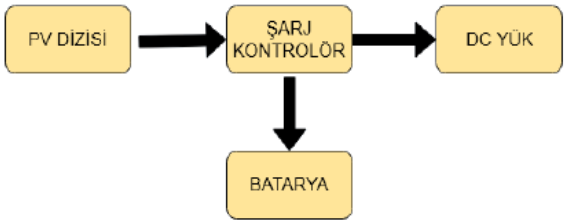
En basit yöntem olarak düşündüğümüzde bir havalandırma veya suyu hareket ettirebilmek için bir yük ve FV modülünden meydana gelmektedir. Enerji arz talep ilişkisine göre FV sayısı ve boyutu tespit edilir. FV direkt sistem olarak isimlendirilen bu yöntemde solar FV modülleri DC elektrik akımı üretmesinden dolayı yükün bu sisteme uyumlu olması gerekir. Bu tür sistemler gündüz yük için elektrik üretmesinden dolayı tercih edilebilir bir sistem olmaktadır. Şekil 3.15'te fotovoltaik direkt sistem gösterilmektedir. Bu tür yöntemler gündüz vakitleri hesap makinesi, pompa saat, vantilatör gibi cihazları aktif olarak çalıştırabilir.



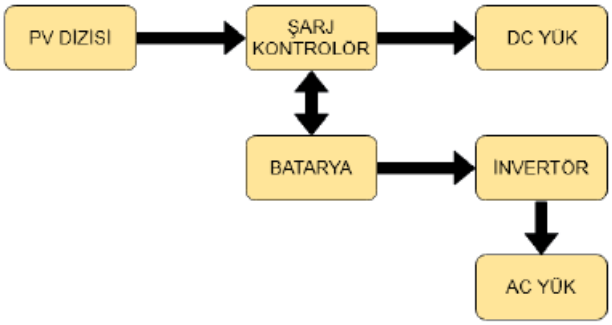
Şekil 3.15 Fotovoltaik direkt sistem

Şebekeden bağımsız tür sistemler güvenilir bir metod olmakla beraber, maliyetleri uygun ve birçok uygulama için en iyi tercihtir. Bu tür sistemler bataryalı ya da bataryasız olarak çalışabilmektedir. Zeminden dışarıya pompalanan su için bir tankta tutabilme olasılığı olduğundan bataryasız, evler içinse gece vakitlerinde

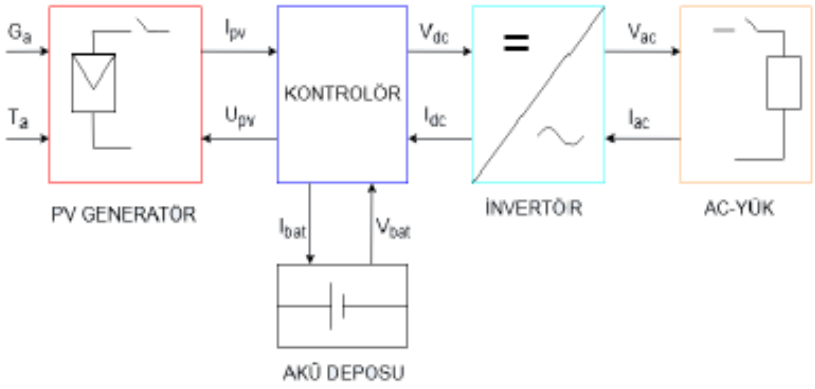
kullanımlar için bataryalı sistemler dizayn edilmektedir [44]. Şekil 3.16'da şebekeden bağımsız sistem blog diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.17'de batarya tabanlı hem AC hemde DC yük çalıştırabilen sistem gösterilmektedir. Şekil 3.18'de şebekeden bağımsız sistemlerin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Şebekeden bağımsız sistem blog diyagramı



Şekil 3.17 Batarya tabanlı hem AC hem DC yük çalıştırabilen sistem



Şekil 3.18 Şebekeden bağımsız sistemlerin genel yapısı

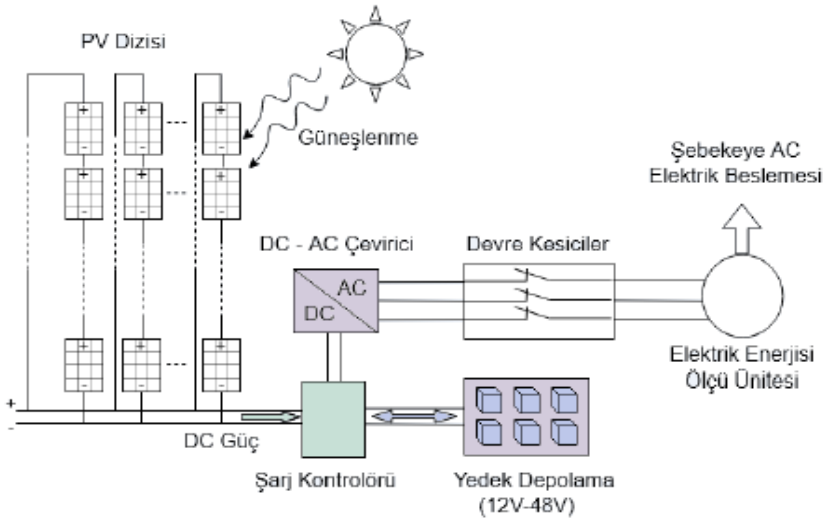
3.4.1.2 Şebekeye Bağlı Sistemler

Çok hızlı bir şekilde büyüyen bir sistemdir. Konut veya ticari şebekeye bağlanarak yerel tesis üzerinden sağlanan enerjiyi azaltmaktadır. Bu tür sistemler FV modül

ve DC elektriği AC elektriğe dönüştüren invertörden meydana gelmektedir. Bu sistemler gündüz vakitleri enerjiyi şebekeye sağlamakta, gece vakitlerinde ise şebekeden enerjiyi çekmektedir. Net ölçüm şebekeye sağlanan elektrik ve şebekeden alınan elektriğin miktarıyla hesaplanabilmektedir. İnvertör güvenlik koşulları nedeniyle bir kesinti esnasında elektrik şebekesine göndermeyecek bir düzende dizayn edilmektedir. Bu tür sistemler butik konutlar için oldukça iyi bir tecihtir [45]. Bu tez çalışmasında FV sistemi oluşturacağımız İstanbul Havalimanı'nda şebekeye bağlı sistemler olarak tasarımı yapılacaktır. Şekil 3.19'da batarya tabanlı şebekeye bağlı sistem blok diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.20'de şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı gösterilmektedir.



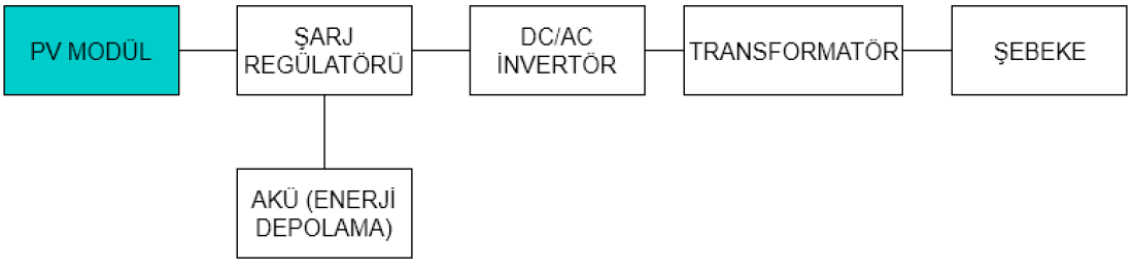
Şekil 3.19 Batarya tabanlı şebekeye bağlı sistem blok diyagramı



Şekil 3.20 Şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı

3.4.2 FV Sistem Bileşenleri

FV sistemleri şebekeye bağlı sistemler ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Genel olarak şebekeye bağlı sistemler daha fazla bileşene sahiptir. Şekil 3.21'de şebekeye bağlı sistem blok diyagramı gösterilmiştir [46].



Şekil 3.21 Şebekeye bağlı sistem blog diyagramı

3.4.2.1 Solar Modül

FV sisteminin temel yapı taşıdır. Birden fazla fotovoltaik hücrelerin birleşmesiyle solar modülü, solar modüller ise birleştirilerek dizileri meydana getirmektedir. Sert, düz yapıda olan paneller genellikle silikondan meydana gelir ve dünya genelinde en çok kullanım oranına sahiptir. Silikon hücreler monokristal, polikristal veya amorf yapılardan oluşmaktadır. Bunların yanı sıra kadmiyum tellürür (CdTe) ve bakır indiyum diselenid (CIS) gibi malzemeler hücre modül yapımında uygulanmaktadır. FV panellerin nominal gücü 25℃ veya 75℃ modül sıcaklığı arasında bulunmaktadır. Sabit hava koşullarında 1000watt güneş ışığı ile oluşturabileceği güç olarak tanımlanmaktadır. Konutlarda çoğunlukla nominal güç çıkışı 100-300watt arasında değişkenlik gösteren paneller uygulanmakla beraber farklı kullanımlarda 10watt çıkışlı panellerde uygulanmaktadır. Aküsüz modern sistemlerde 235V ila 600V sağlamakta, bataryalı sistemlerde şarj control ekipmanı batarya dizisinin gerilimine uyması için 12V, 24V ya da 48V gerilime ihtiyaç gerekmektedir. Silikon modüllerin ömrü genel olarak 25 yıllık üretici firma garantisi altındadır [47].

3.4.2.2 Şarj Regülatörü

FV panelden gelen akımı düzenleyerek aküye iletilmesini sağlamaktadır. Akünün tam olarak dolmasını ve aşırı kullanımlarda boşalmasını önlemektedir. Bir regülatör seçerken dikkat edilmesi gereken en öenmli husus, regülatörün ihtiyacı olan maksimum akıma dayanıklı olmasıdır. Tercih edilen regülatörün, uygulanılan batarya voltajı ile uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Şarj regülatörleri uygulanılacak sisteme göre 12V/24V/48V ve 10A/20A/40A/60A gibi değerlere göre değişir. Aynı zamanda şarj regülatörleri DC voltaj çıkışları olduğundan doğru akımla çaışan cihazlara direk olarak gerilim verirler. Şarj regülatörlerin LCD göstergeli modelleri de vardır. LCD göstergeli modellerde anlık akü ve panel akım, akü ve panel voltajını ve akünün şarj durum değerlerini gösterir. Sisteme şarj regülatör seçerken maksimum akım değeri göz önünde bulundurulmalıdır.

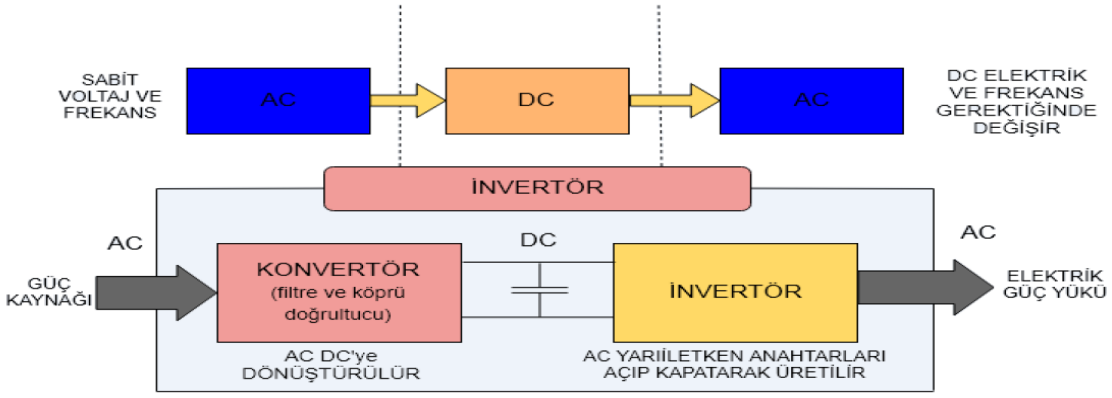
FV panelin nominal voltajı 12V olmasına ragmen reel düzende bu değer yaklaşık 17V'tur. Dünya piyasasında 2 farklı tip kontrolör bulunmaktadır ki bunlar; 3 kademeli şarj döngüsü ve MPPT (Şarj control cihazı) olarak hizmet vermektedir. MPPT'ler maksimum güç noktası takibi anlamına gelmektedir. Güneş enerjisi elektrik üretimi sistemlerinde aküleri, bataryaları daha verimli halde şarj etmey, sağlayan cihazlardır [48].

3.4.2.3 İnvertör

Oluşan gerilimin yapı ve akü arasında doğru bir şekilde voltaj meydana getirmesi için olması gereken bir sistemdir. Panel yapısında ki tüm sistemler çalıştırıldığında süresel olarak sistemin çökmemesi için optimal düzeyde güce yakın bir değerde invertör tercih edilmelidir [49]. İnvertörler güç koşullandırılmasında:

- Fotovoltaik panellerden veya aküden meydana gelen DC gücü AC'ye dönüştürmek
- AC devir sürekliliğini düzenlemek
- Voltaj değişkenliklerini düşürmek
- AC dalgasının uygun düzende olmasını

sağlamaktadır [49]. Şekil 3.22'de invertör çevrimi gösterilmektedir.



Şekil 3.22 İnvertör çevrimi

3.4.2.4 Transformatör

Transformatörler değişken özellikli manyetik alan etkisiyle bir gerilim seviyesinde ki AC elektrik gücünü farklı bir seviyedeki AC elektrik gücüne dönüştüren cihazlardır. Ortak kullanılan ferromanyetik çekirdekte sarılı olan bobinlerden meydana gelmektedir. Bobinlerde bağlantılar ise manyetik akı sayesinde meydana gelmektedir. Sargılardan birincisi kaynağa, ikincisi ise yüke bağlantı gerçekleştirmektedir. Birincil sargıya gerilim uygulanmak istendiğinde Faraday kanununa göre bir akı meydana gelmekte ve meydana gelen akı ikincil sargılar tarafından bir gerilimi indüklemektedir. Çekirdek değerleri yüksek derece de gerçigenliğe sahip olmaktadır. Transformatörler histerezis kaybı, kaçak akı, girdap akımı kaybı ve bakır kayıplarına sahiptir. Gerçek bir transformatörde verim ve gerilim ayarlaması hesaplanarak transformatörün kullanabilirliği bulunur. Transformatörler sayesinde üretilen AC elektrik gücü çok düşük seviyedeki kayıplarla uzak mesafelere ulaştırılmaktadır. Dünyadaki ana güç üretim ve dağıtım sistemleri çoğunlukla 3 fazlı transformatörlerle uygulanmaktadır [50].

Terminaller arasındaki ilişki aşağıdaki formüllerden bulunmaktadır.

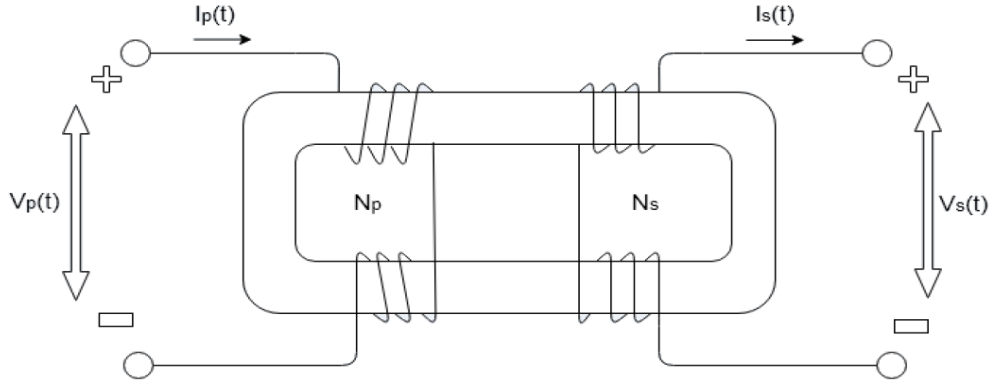
Çıkış gerilimi arasındaki bağıntı:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \alpha \tag{3.6}$$

Akımlar arasındaki bağıntı ise:

$$\frac{I_P}{I_S} = \alpha \tag{3.7}$$

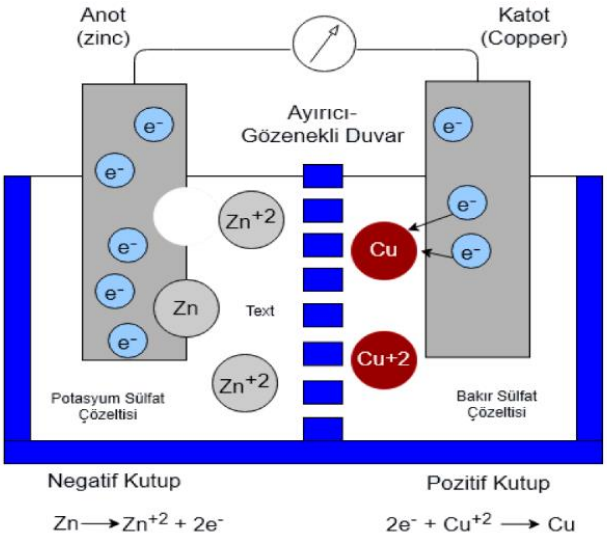
Transformatörler nüve tipine göre, faz sayısına göre, kullanım amacına göre ve çalışma ortamına göre birçok türde uygulanabilmektedir. Şekil 3.23'te ideal transformatör gösterilmiştir.



Şekil 3.23 İdeal transformatör

3.4.2.5 Akü

Akü sistemleri elektrokimyasal boşalma vasıtasıyla kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Piller pozitif elektrot, negatif elektrot, ayırıcı ve elektrolit oluşturan hücre veya birleşimlerinden meydana gelmektedir. Bu hücreler şarj edilebilen ve edilemeyen olmak üzerek iki gruptan oluşmaktadır. Şarj edilebilen hücrelere ise DC şarj kaynağı gerekmektedir. Akü cihazlarının uzun çalışma performansı, çabuk şarj özelliği, çevresel uyumluluğu gibi önemli kılan özellikleri mevcuttur [51].



Şekil 3.24 Redoks tepkimesi

Elektron transferi teknik yöntem olarak bir redoks tepkimesidir. Bir bataryadan elektrik enerjisi çekildiği vakit çinko atomları çözelti içerisinde bulunan çinko iyonlarını serbest hade bırakır ve bu elektronlar akünün pozitif yöndeki kutbuna gelirler. Pozitif kutuptaki bakır iyonları elektronları absorber ederler. Bundan dolayı devre elektronlar arasında hareket eden iyonlar üzerinden tamamlanır. İndirgeme tepkimesi katotta, oksidasyon ise anotta meydana gelmektedir. Yani elektron hareketi akülerdeki voltajın ana kaynağıdır [52]. Şekil 3.24'te redoks tepkimesi gösterilmiştir.

3.4.2.6 Dizi Montaj Rafları

Dizi montaj rafları panel dizilerinin monte edildiği çelik konstrüksiyonlar olarak tanımlanabilir. Diziler çoğunlukla bulunduğu ortamdaki çelik direk sabitlemelerine monte edilir. Bazen bir yapının elemanı veya bir bölümü olarak uygulanabilir. Çatılarda kullanıldığı zaman eğimi sürekli sabit bir şekilde dursa da bazı montaj şekillerinde eğimin düzenlenmesi gerekmektedir. Direğe montajlanan dizilerde ise güneş takibi yapılmaktadır ve bu takip sistemi verimi günlük bazda yüzde 25 ile yüzde 40 arasında yükseltmektedir. Modül üretici firmaları çoğunlukla destek yapısal gerekli materyalleri vermektedir. Asfalt oluşumlu yapılar için montaj malzemeleri paslanmaz çelikten oluşan civatalar sayesinde sabitlenir. Metal oluşumlar için metal kesilip montaj sabitliyecilerinin çevresi sağlam hale getirilerek ve tekrardan yapı kapatılması gerekmektedir [47].

3.4.2.7 Topraklama aletleri

Topraklama aletleri muhtemel arızalardan dolayı ve yıldırm düşmelerinden sistemi muhafaza etmekte, aynı zamanda voltajı dengelemekte ve ortak referans noktası oluşturmaktadır. Sistem topraklaması yapılmalı, üstelik akım taşıyan iletkende çeşitli durumlarda topraklama hatası oluşmasından dolayı bütün ekipmanlar da ayrıca topraklanmalıdır [53].

3.4.2.8 Birleştirici Kutu

İletkenlerin birleştirilmesiyle içinde emniyet sigortası, kesici ve dalgalanma muhafazası bulundurabilen sistemlerdir [47].

3.4.2.9 Kablolar

FV panel dizisindeki kablolar santralin uzun ömürlü ve emniyet çerçevesinde olmasını oluşturmaktır. Kablo tercihi yaparken santralin gücünü göz önüne alarak yüksek akımlara karşı sağlam, ek olarak bölgesel ve mevsimler koşullar göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Oluşabilecek arıza ihtimalini minimal düzeyde tutmak için DC kablo yapılarının kısa olması gerekmektedir. Fotovoltaik panel dizisi arkasına bağlanan kablolar -15℃ ila +80℃ sıcaklık aralığında çalışabilmelidir. Fotovoltaik panel dizisinin kabloları çoğunlukla şok koruma sistemi için güçlendirilmiş yalıtıma sahiptir ve muhtemel oluşabilecek mekaniksel arızalarda problem tespiti kolay olmayacağı için kabloların gizlenmemesi gerekmektedir.

3.4.3 Yer Seçimi

FV sistemlerde dikkat edilmesi gereken konulardan biri de yer seçimidir. Güneş, gün ve yıl içerisinde farklı konumlarda bulunabilmesi durumundan dolayı her zaman güneş radyasyonundan aynı etkin verimi elde etme mümkün olmamaktadır. Güneşin farklı konumlarda bulunmasına ek olarak mevsimsel ve çevresel etkilerle de güneş radyasyonu farklılık göstermekte ve gölgelenmeler oluşabilmektedir.

3.4.3.1 Işınım

Hava şartları ve ışınım fotovoltaik sistemlerde girdi olarak hesaba katılmaktadır. Işınım, belirli bölgelerde anlık güneş enerjisi ölçümüyle bulunabilmekte yani metrekare başına düşen watt olarak ifade edilmektedir. Güneşlenme ise belirli bir zamanda ve belirli bir alanda kümülatif enerjinin ölçülmesi yani metrekare başına kilowatt saat olarak ifade edilmektedir [54].

Fotovoltaik sistemlerin performanslarındaki değişim ağırlıklı olarak bulutlardan kaynaklanmaktadır, bunun yanında farklı oranlarda atmosferik bileşende fotovoltaik sistem performansını etkilemektedir. Diğer parametreler ise aerosol ve ozon miktarları olarak ifade edilebilir. FV performansı aynı zamanda mevsimsel

olarak, bazı durumlarda günden güne ve bulunduğu yere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir [55].

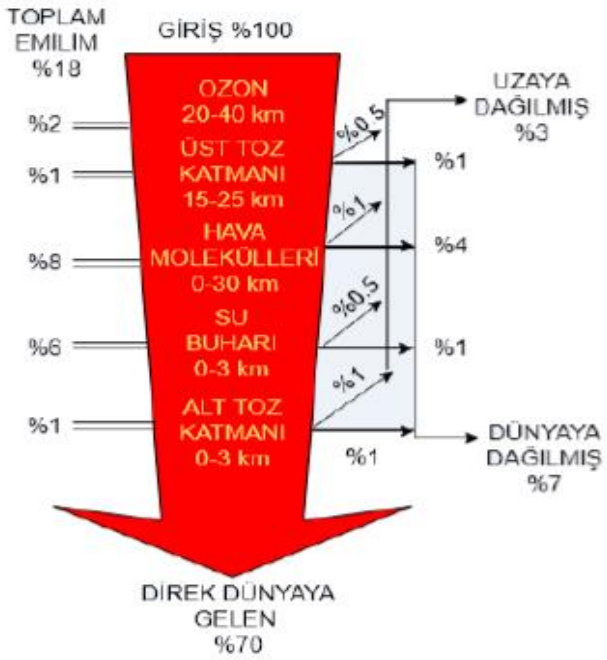
Atmosferik olayların FV uygulamalarındaki etkileri şunlardır [56]:

- Atmosferdeki absorpsiyon ve dağılma sebebiyle ışınımın gücünde azalma
- Bazı dalga boylarında normal olarak görülen farklı emilimsel ya da dağılımsal olarak güneş ışınımının spectral içeriğinde farklılık
- Güneş ışığına farklı yollardan bileşenler eklenmesi
- Yerel konumdan oluşabilecek atmosferik değişiklikler.

Radyasyon bir ortamda dalga boyuna bağlı olarak iletilebilir, emilebilir veya dağılabilir. Işınlama ölçümleriyle ilgili bileşenler denklem 3.8'de verilmiştir [57].

$$GHI = DNI\cos(\theta_Z) + DHI \tag{3.8}$$

Şekil 3.25'te gelen radyasyonun emilim ve dağılması gösterilmektedir.



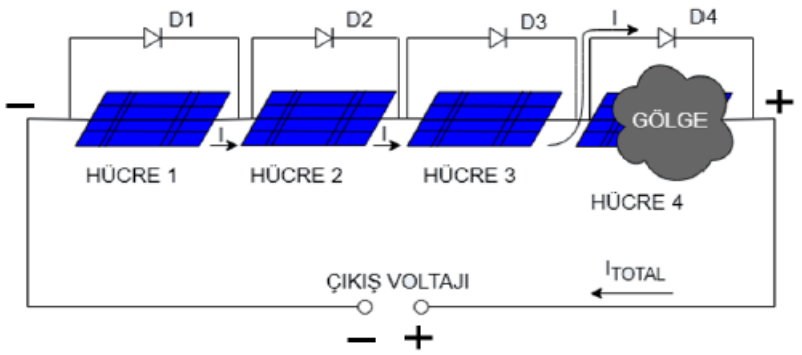
Şekil 3.25 Gelen radyasyonun emilim ve dağılması

3.4.3.2 Gölge

Fotovoltaik paneller her zaman düzgün bir şekilde aydınlanmamaktadır. Bunun nedenleri arasında atmosfer dalgalanmaları, bulutlar, bina ve ağaç gölgeleri söylenebilir [58].

Gölgelenme durumları FV panel performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. En iyi çözüm yöntemi gölgeden kaçınmak olsa da pratikte böyle bir şey mümkün olmamaktadır. Gölgede kalmış alan küçükte olsa etkisinin boyutu büyüktür. Nedeni ise panellerin seri bir devre şeklinde bağlanmış hücrelerden oluşmasıdır. Gölgelenme FV panellerdeki kayıpların başında gelmektedir. Gölgölenmenin yanında sıcaklık ve alınan radyasyon da performans üzerinde etkili olan parametrelerdendir. Modüller gölgelendiğinde akım alternatif bir yöntem olan diyotlardan geçmektedir [59].

By-pass diyotlu güneş pilleri normal çalışmada yüksek empedans ve ters yönlü olduğundan dolayı akımı geçirmemektedir. Gölgelenme zamanı komşu hücre voltajları ile by-pass diyodu öngerilim ve empedansını gölgeli hücreden daha düşük seviyedeki hale gelmekte ve akım yolu diyot boyunca sürdürmektedir. Aynı zamanda gölgelenmeden dolayı paneller eşit güç üretmemekte ve gölgelenmiş modüller diğer modüllerden güç çekmektedir [58]. Şekil 3.26'da modül üzerinde by-pass diyotlarının bağlanması gösterilmiştir.



Şekil 3.26 Modül üzerinde by-pass diyotlarının bağlanması

3.4.4 Yük profilleri

Konut yükleri aydınlatma ve ev aletlerinden meydana gelmektedir. Bu yüklerden bazıları çoğunlukla belirli saatlerde bazıları ise sadece ihtiyaç duyulduğunda kullanılmaktadır. Çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi ihtiyaca göre çalışmakta fakat buzdolabı ise sürekli şekilde çalışmasından dolayı sabit bir yük olduğunu kabul etmek gerekir. Yük profilleri fotovoltaik sistem üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Akünün tam olarak dolu olması ve boşalması düşük performansa

sebebiyet vermektedir. FV sistem kapasitesi tüketilen güçten büyükse bu güç doğrudan FV sistemle ya da aküyle karşılanacak, eğer FV sistem kapasitesi tüketilen güçten küçükse akü sürekli olarak şarj durumuna gelecek ve sistem performansı etkilenecektir [60].

3.4.5 Meteorolojik etki

FV sistemlerin kullanılmasının nedenlerinden biri olarak çevre dostu bir enerji üretim kaynağı olmasıdır. FV sistemlerde enerji üretiminde en büyük problem üretilen enerjinin öngörülememezliğidir. 2013 yılında ABD'de üretin toplam gücün %12.87'si yenilenebilir kaynaklardan meydana gelirken bu öngörümezlik sebebiyle FV sistemlerden elde edilen miktar ise yenilenebilir enerji kaynaklarından eldenin sadece %0.4'ü olarak gerçekleşmiştir [61].

Bu öngörülmezliğin nedenleri arasında değişken dış parametreler yatmaktadır. Bu dış parametreler sıcaklık, bulutlama ve basınç gibi etmenlerdir yani en önemli parametre değişken hava koşullarıdır. Hava koşulları mevsimsel olarak stabil gibi görünse de bulunulan konumda sürekli şekilde farklılıklar meydana gelmektedir.

Bu öngörülmezlik için birçok araştırmacı modeller sunmaktadır. FV sistem gücünü doğru bir şekilde öngörebilmek için eldeki verilerden hareketle regresyon analizi uygulamamız gerekmektedir. Bu veriler ise hava durumu verileri; sıcaklık, bulut, nem, rüzgar yönü gibi sayaç verileri ve güneş radyasyon verileri; güneş enerjisinin minimal düzeyde, maksimum ve anlık değerleri gibi verilerden meydana gelmektedir [61].

3.4.6 Kullanılacak Açıların Fotovoltaik Modül Yerleşimi İçin Hesaplamaları

Fotovoltaik panel, elektrik üretiminde başlıca güneş ışınımını kullanmaktadır. Bundan dolayı fotovoltaik panellerin üreteceği enerjiyi hesaplarken ışınım değerini belirlemek gerekir. Fotovoltaik panellerin yerlerinin belirlenmesinde, kullanılan panellerin verimi, bulunduğu bölge, coğrafi koşullar, hava durumu olayları, rüzgar, toz vb çevresel etkiler elektrik üretimini doğrudan etkilemektedir. Alanda kurulacak olan fotovoltaik panellere gelen toplam ışınım miktarı panellere

doğrudan gelen ışınım, dağınık ışınım ve yerden yansıyan ışınımın toplamı şeklinde belirtilir. Eğik düzleme gelen toplam ışınımın hesabı [62] ;

$$H_T = H(1 - H_d/H)R_b + H_d((1 + \cos\beta)/2) + H\rho((1 - \cos\beta)/2) \quad (3.9)$$

şeklindeki formülle hesaplaması yapılır. Bu formülde yer alan β simgesi FV panel eğim açısı, ρ simgesi yerin yansıtma oranı, R_b ise direkt ışınımın yataydaki ışınıma oranı olan geometrik faktördür. Aynı zamanda bu formülde ki H_d aylık ortalama günlük yayılı (difüz) ışıma oranı olup [62];

$$H_d/H = 1 - 1.13K_T \quad (3.10)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu formülde ki K_T ise aylık ortalama günlük açıklık indeksidir ve [62];

$$K_T = H/H_0 \quad (3.11)$$

ile tanımlanır. H_0 atmosfer dışı yatay düzleme düşen günlük güneş ışınımıdır. R_b ise [62];

$$R_b = H_{bt}/H_b \quad (3.12)$$

şeklinde tanımlanır.

3.4.7 Fotovoltaik Sistem Ekonomi ve Ekoloji

Güneş enerjisi devlet politikaları ve maliyet hesaplarının düşüşüne neden olan teknolojik gelişmelerden dolayı bir büyüme yaşamaktadır. Başlangıçta küçük düzeyli FV hücreler yerine gitgide büyük düzeyli ve şebekeye enerji aktaran sistemlere bırakmaktadır. Dünya üzerindeki teknolojik gelişmelerle 1982'de 27.000 $/kW olan harcama 2006 yılında 4.000 $/kW'a düşmüş, kurulum harcamaları ise 1992 yılında 16.000 $/kW iken 2008 yılında 6.000 $/kW'a azalmıştır. Teorik hesaplamalar göstermektedir ki enerji talebinin karşılanmasını çok aşan bir kaynak potansiyeline sahip olsa da gerçek duruma karşılık olarak hala çok düşük enerji getirileri sağlanmaktadır [63].

Tablo 3.1'de 16 Mart 2018 yılı itibariyle geçerli olan bilgiler dahilinde bazı ülkelerin verileri gösterilmektedir [64].

Tablo 3.1 Bazı ülkelerin FV enerji kapasiteleri

Ülke	Yıllık Kurulan Kapasite	Kümülatif Kurulmuş Kapasite
Çin	53 GW	131 GW
ABD	10.6 GW	51 GW
Japonya	7 GW	49 GW
Türkiye	2.6 GW	3.4 GW
Almanya	1.8 GW	42 GW
Avustralya	1.25 GW	7.2 GW
Kore	1.2 GW	5.6 GW
Fransa	875 GW	8 GW
Hollanda	853 GW	2.9 GW
Şili	668 GW	1.8 GW

Alışılagelmiş enerji kaynaklarına göre etkili çevresel faktörler sağlayan FV sistemler sürdürebilir kalkınmaya önemli katkılarda bulunabilir. Fosil yakıtlara temiz bir alternatif sağlayan, sera gazı emisyonları meydana getirmemesi, ekonomik refah düzeyine katkıda bulunması önemini göstermektedir [65]. Dünya üzerindeki birçok insanın FV sistemlere daha fazla önem vermesi ve yapılacak yönlendirmeler sayesinde hem ülkesi hem de küresel olarak istihdam sağlaması ve çevreye olabildiğince minimum düzeyde zarar vermesi sağlanacaktır.

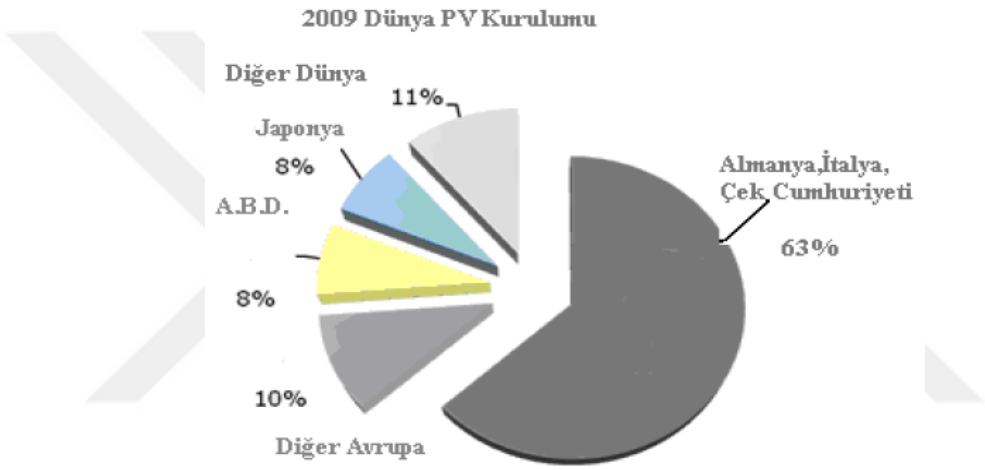
3.4.8 Dünyada Güneş Enerjisi

Yeryüzü genelinde güneş enerjisi kullanımı günler geçtikçe artmaktadır. Özellikle güneş enerjisinden faydalanarak fotovoltaik paneller yardımıyla elektrik enerjisi meydana gelmesi son 5 yılda optimum düzeyde artış göstermektedir [66]. Güneş enerjisine maddi destek sağlayan ülkelerden Avrupa ülkeleri başta olmak üzere

Japonya, Çin, Kore, ABD ve Avusturalya bu gruba ilave edilmektedir. Dünya fotovoltaik panel piyasasında Almanya'nın zirvede olduğu öngörülmektedir.

Gayri resmi açıklamalar ışığında 2009 yılında dünya üzerinde kaydedilen 6,43 GW'lık şebekeye bağlı kurulum oluşturulmuştur. Bu bilgiler ışığında, dünya güneş paneli piyasası 38 milyar dolar değerinde ciro elde etmiştir [67].

Dünya üzerindeki fotovoltaik panellerin kurulumlarının ülkelere göre sınıflandırılmasını Şekil 3.8'deki bir grafikte görülmektedir [67]. Şekil 3.27'de görüldüğü üzerine 2009 yılında Avrupa ülkerinden büyük ölçüde yatırım olmuştur.



Şekil 3.27 2009 Dünya fotovoltaik panel kurulum oranları

3.4.8.1 Dünyada Güneş Enerji Santralleri

IEA'nın 2008 yılındaki mevcut verilerine göre dünya üzerindeki kurulumu yapılan güneş enerji santrallerinin 13,44 GW değerinde olduğu tespit edilmiştir [67]. Bu bilgiler ışığında 2009 yılında gayri resmi demeçlere göre devreye verilen sistemlerin 6,43 GW'lık kurulu güçle beraber dünya üzerindeki güneş enerji sistemlerinin dayalı gücünün yaklaşık olarak 20 GW olduğu tespit edilmiştir [68].

Fotovoltaik enerji tesislerinin kapladıkları alan fazla olduğundan dolayı kurulu güçlerinin ortalama değeri olarak 1 ila 10 MW arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiş olup, Dünya üzerindeki fotovoltaik enerji tesislerinin kurulu gücünün 1 ile 10 MW değerlerinde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir [69].

Bu bilgiler göz önüne alındığında dünya üzerindeki ülkelerde faaliyette olan FV santrallerde 10 MW'tan daha fazla kapasiteye sahip fotovoltaik tesisler de mevcuttur. Dünya üzerindeki bu tesislerden bazıları Tablo 3.2'de görülmektedir [70]. Şekil 3.28'de dünyanın en büyük FV enerji tesisi olan Olmedilla – İspanya'da ki 60 MW kurulu güce sahip fotovoltaik enerji santrali gösterilmektedir [71].

Tablo 3.2 Dünya üzerindeki en büyük enerji kaynakları

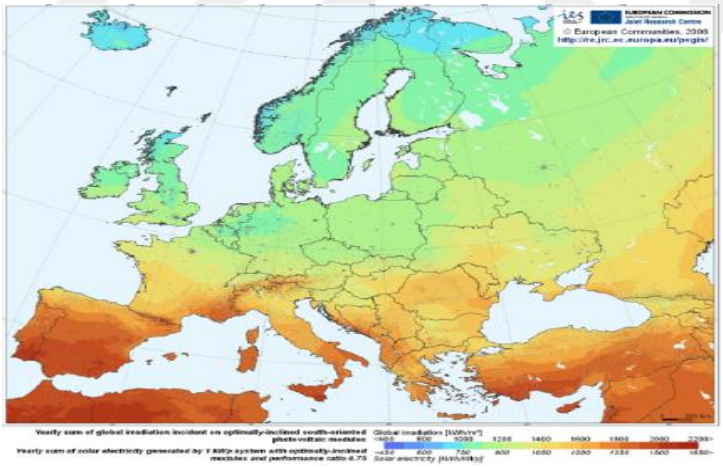
Sıra	Kurulduğu Tarih	Kurulduğu Yer	Kurulu Güç (MW)
1	2008	Olmedilla/İSPANYA	60
2	2008	Strabkirchen/ALMANYA	54
3	2009	Turnow-Preilack/ALMANYA	53
4	2008	Puertollano/İSPANYA	50
5	2008	Moura/PORTEKİZ	46
6	2010	Köthen/ALMANYA	45
7	2009	Finsterwalde/ALMANYA	42
8	2008	Brandis/ALMANYA	40
9	2008	Trujillo/İSPANYA	34,5
10	2008	Arnedo/İSPANYA	34



Şekil 3.28 Olmedilla - İspanya fotovoltaik enerji tesisi

3.4.8.2 Türkiye'de Güneş Enerjisi

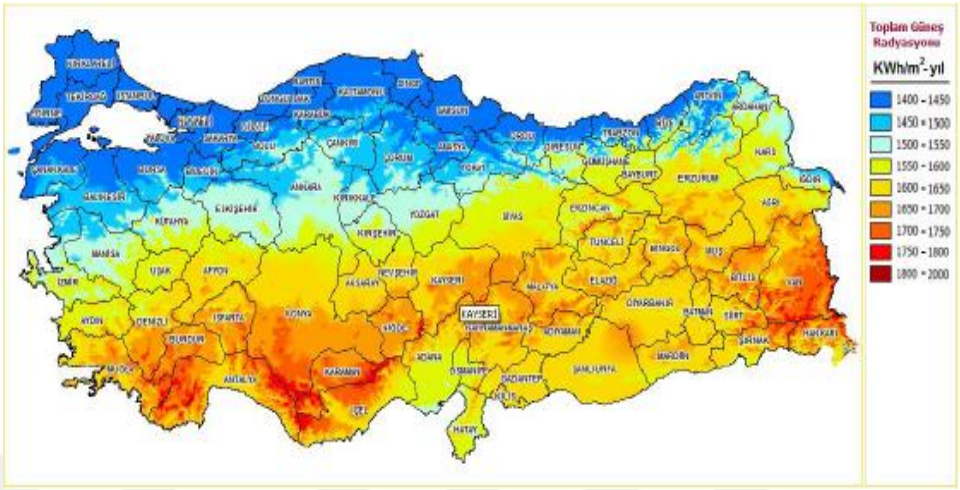
Dünya üzerindeki birçok ülkeyi kendi ülkemizle karşılaştırdığımızda, Türkiye'nin güneş enerjisi değerleri açısından yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmektedir. Bu seviyeleri Şekil 3.29'da görülebilmektedir [72]. Şekil 3.29'da görüldüğü üzerine sıcaklık açısından verim alınabilecek en iyi Avrupa ülkelerinden biri Türkiye'dir.



Şekil 3.29 Güneş enerjisi haritası

Güneş enerjisi haritasında gösterildiği üzerine kahverengi renklere doğru giden kısımları en güneşli bölgeler olarak nitelendirebiliriz. Bu sebepten başta Türkiye olmak üzere İspanya'nın güney kısımlar ve İtalya'nın güney kısımları da Avrupa'da ki en güneşli bölgeler olarak söyleyebiliriz.

Türkiye'de bulunun 7 coğrafi bölge içerisinde ise Şekil 3.30'da görüldüğü üzerine Akdeniz bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi ve Orta Anadolu bölgesi fotovoltaik enerji sistemleri açısından daha elverişli bölgeler olarak göz çarpmaktadır [73].



Şekil 3.30 Türkiye ışınım haritası

Avrupa ülkelerine kıyasla kendi ülkemiz çok fazla güneş alan ülke olsa da, Türkiye'de güneş enerjisi sektörüne verilen teşvik fiyatları diğer Avrupa ülkelerine nazaran daha düşük seviyededir. 10.05.2005 tarihinde Kabul edilen 5346 sayılı 'Yenilenebilir Eneji Kaynaklarının Elektik Enejisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun' (YEK)'una göre yenilenebilir enerji kaynaklarına ayrılan teşvik miktarı 5 € cent'ten daha düşük, 5,5 € cent'ten daha yüksek olmayacak şekilde yürürlüğe girmiştir [74].

Mevcut kayıtlarda Türkiye'de güneş enerji sistemlerine ayrılan yatırım düşüklüğüne ragmen 'Uluslararası Enerji Ajansı' IEA'nın alt çalışma grubu olan 'Fotovoltaik Güç Sistemleri' çalışma grubu PVPS önderliğinde 2009 yılında yapılan çalışmalara göre Türkiye'de gayri resmi rakamlara göre 5 MW kurulu güç olduğu bildirilmektedir [75].

4
İSTANBUL HAVALİMANI FV ENERJİ SANTRALİ KURULUMU

Tezin amacı, İstanbul Havalimanının terminal binası üzerine on-grid fotovoltaik enerji santrali tasarlamak ve santral ile sağlanan enerjinin havalimanının enerji sarfiyatına olan katkısını bulmaktır.

4.1 Genel Bilgiler

Yaklaşık 40 bin m^2 alan üzerinde güneş enerjisi santrali kurulması tasarlanmıştır. Bu alan üzerinde kurulacak santral ile birlikte elde edilecek enerji İstanbul Havalimanı'nın enerji sarfiyatı için kullanılacaktır. Fotovoltaik enerji tesisi şebekedeki sistem ile denk çalışacak olup güneş ışınım miktarlarının yeterli olduğu zaman içerisinde elektrik enerjisi üretimi sunacaktır.

4.2 Fotovoltaik Tesisin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin coğrafi konumlaması gözönüne alındığında büyük bir Güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye'deki birçok şehirde fotovoltaik sistem kullanılmaktadır. Bu şehirlerden biri de İstanbul'dur. Bu tez çalışmasının amacı, büyüklük açısından Dünyanın sayılı havalimanlarından biri olan İstanbul Havalimanı'nın harcadığı enerji miktarını FV sistem syesinde minimal seviyeye indirerek enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynağından sağlanabilirliğini göstermektedir.

4.2.1 Santral Sahasının Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerjisi santralinin İstanbul Havalimanı'nda kurulmasının en etken nedenlerinden biri de bu bölgedeki yüksek seviyedeki kapasite faktörü (KF), enerji santralinin ne kadar verimli çalıştığını gösteren özellik olarak belirtilmektedir. Bu kıstas, enerji santralinin yıl içerisinde ürettiği enerji ile nominal güç arasında bağlantıyı göstermektedir.

$$KF = Üretilen\ Enerji\ Miktarı/(PNx8760) = Ortalama\ Güç/Nominal\ Güç \quad (4.1)$$

Burada bahsedilen PN tesisin nominal gücünü ifade etmektedir [76]. Tasarladığımız bu fotovoltaik enerji tesisin kapasite faktörü de hesaplanacaktır.

4.3 Fotovoltaik Tesisin Kurulacağı Yer Hakkında Bilgiler

4.3.1 Fotovoltaik Tesis Sahasının Özellikleri

İstanbul Havalimanı şehir merkezinden 35 km uzaklıkta ve İstanbul'un kuzeyinde yer almaktadır. 76.5 milyon m^2'lik alanda inşaatına devam edilen proje toplam 4 fazdan oluşmaktadır. Bu zamana kadar 1. Fazı tamamlanan projenin mevcut halde 3 pisti ve 90 milyon yolcu kapasitelik terminal binası mevcuttur. Tüm fazları tamamlandığında yıllık 200 milyon yolcu kapasitesi seviyesine ulaşacaktır [77]. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere İstanbul Havalimanı'nın gösterildiği İstanbul fiziki haritası gösterilmektedir [78].

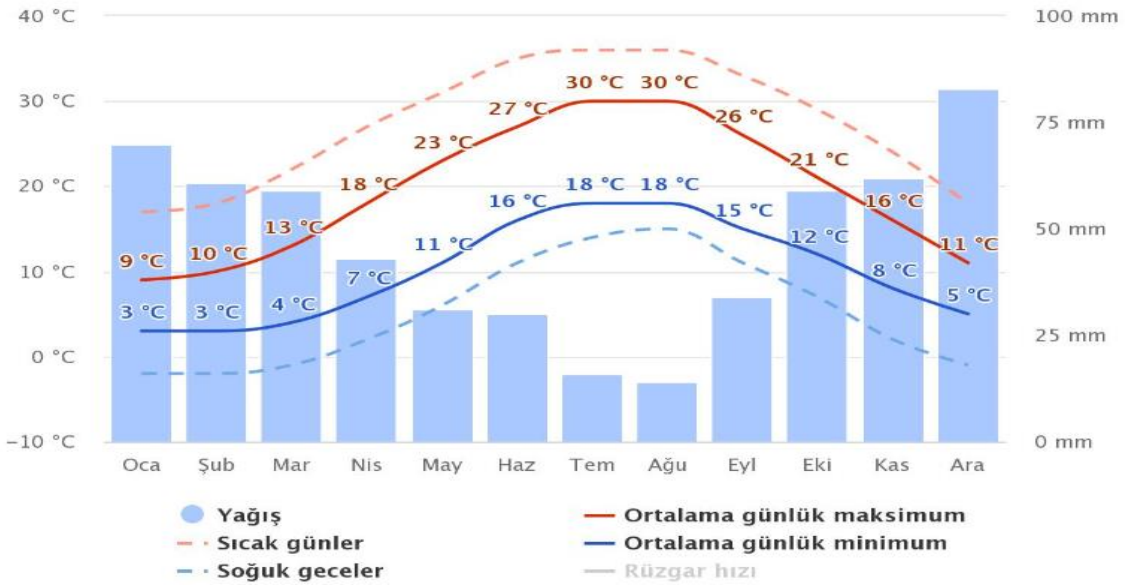


Şekil 4.1 İstanbul fiziki haritası

4.3.2 Meteorolojik Özellikler

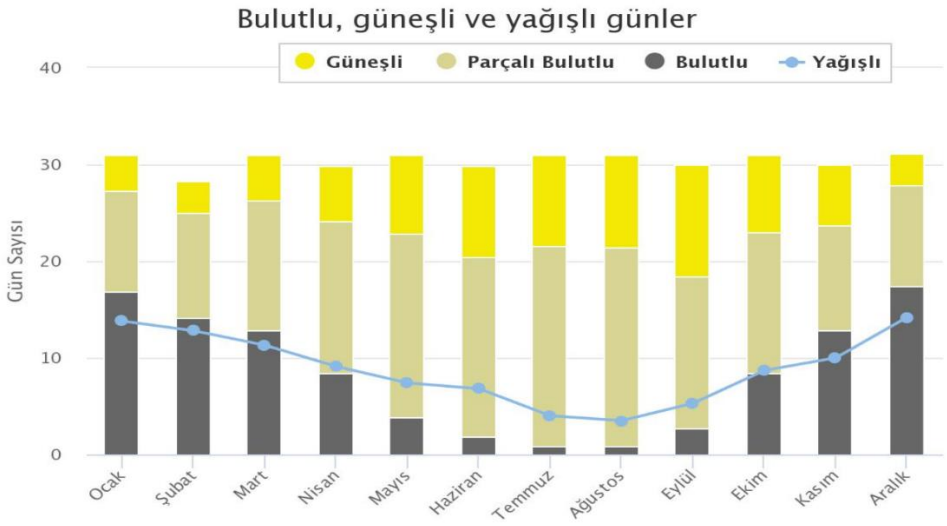
İstanbul iklimi esasında birçok bölgenin iklim özelliklerini içersinde barındırır. İstanbul'un ikliminde Akdeniz, Karadeniz, Balkan ve Anadolu iklimlerinin etkisi hissedilmektedir. İstanbul'da kış mevsiminde lodos ve ardından gelen kar yağışı sıkça karşılaşılan durumlardandır. İstanbul ili sınırları içerisinde İstanbul Havalimanı, yıl boyunca en fazla güneş alan bölgelerin başında gelmektedir.

İstanbulun yıllık ortalama sıcaklığı 14.4 derecedir. Yıllık yağış miktarı ise 815mm civarındadır. Yağışların %40'ı kış mevsiminde %20'si ilkhabar aylarında düşmektedir. Ortalama yağışlı gün sayısı 128 gün iken, kar yağışlı gün sayısı ortalama 11 gündür [79]. Şekil 4.2'de İstanbul iline ait ortalama sıcaklık ve yağış değerleri görülmektedir [80]. Bu bağlamda, en fazla yağışlı aylar olarak Aralık ve Ocak ayları olduğunu söyleyebiliriz. En sıcak aylar olarak Temmuz, Ağustos ayları olduğu göze çarpmakatdır.

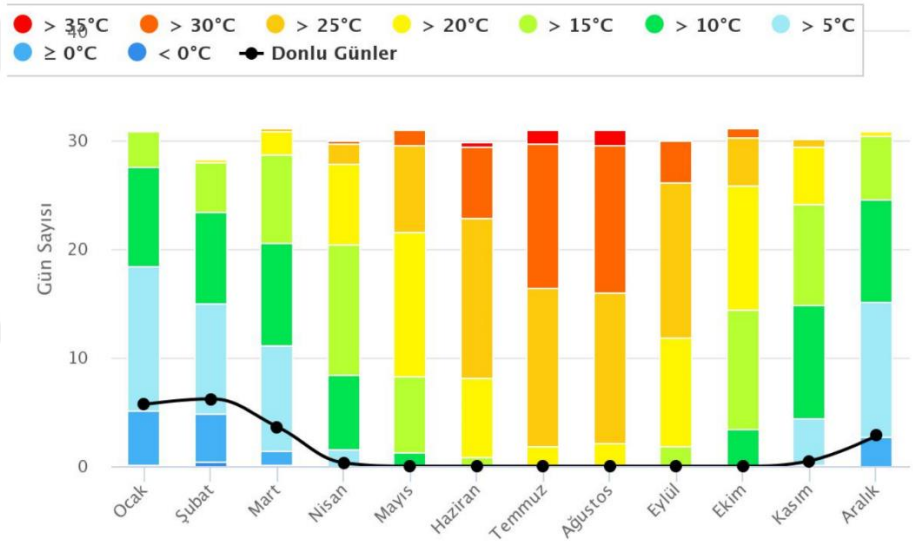


Şekil 4.2 İstanbul ortalama sıcaklık ve yağış değerleri

Şekil 4.3'te İstanbul iline ait aylara göre bulutlu ve güneşli günlerdeki yağış miktarları görülmektedir. Şekil 4.4'te aylara göre maksimum sıcaklıkları, Şekil 4.5'te aylara göre yağış miktarlarını göstermektedir. Şekil 4.6'da ise aylara göre rüzgar hızları görülmektedir [80].

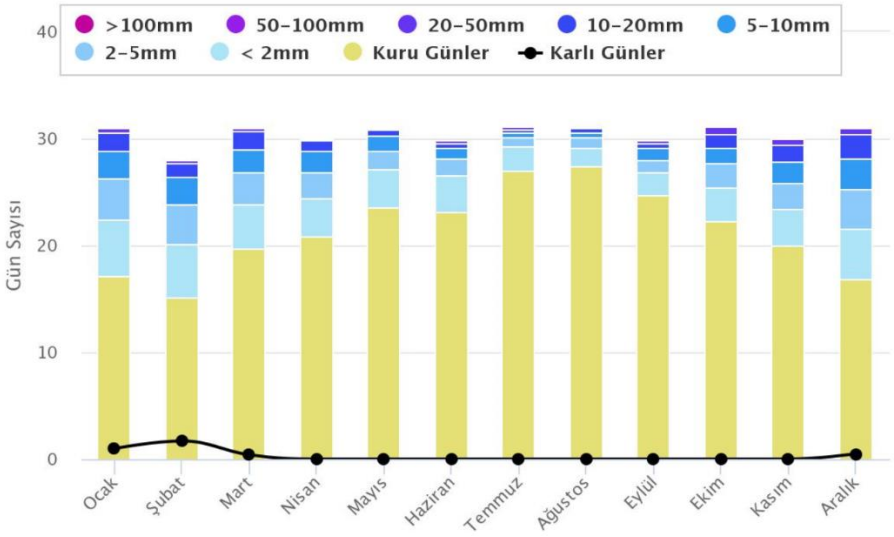


Şekil 4.3 İstanbul ili bulutlu ve güneşli günlerdeki yağışlı günler

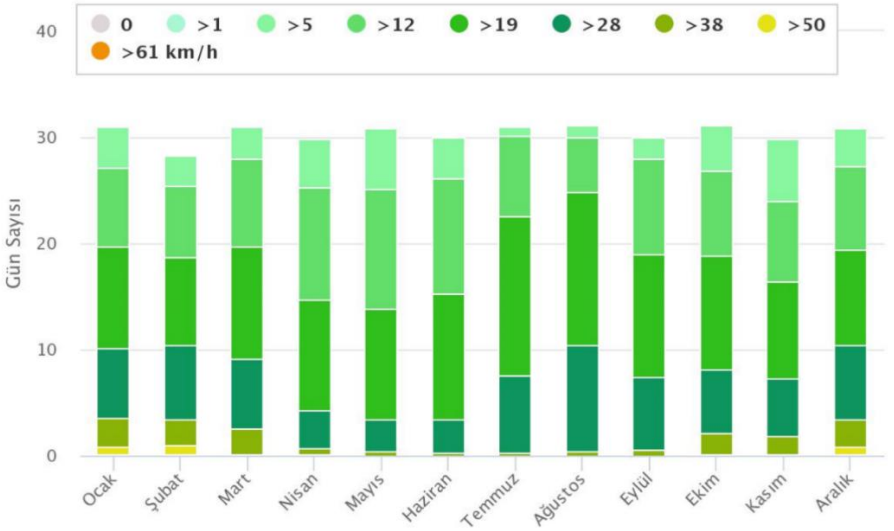


Şekil 4.4 İstanbul ili maksimum sıcaklık değerleri

Şekil 4.4'de bakıldığı üzerine en sıcak aylar olarak Temmuz ve Ağustos olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.5 İstanbul ili aylara göre yağış miktarları



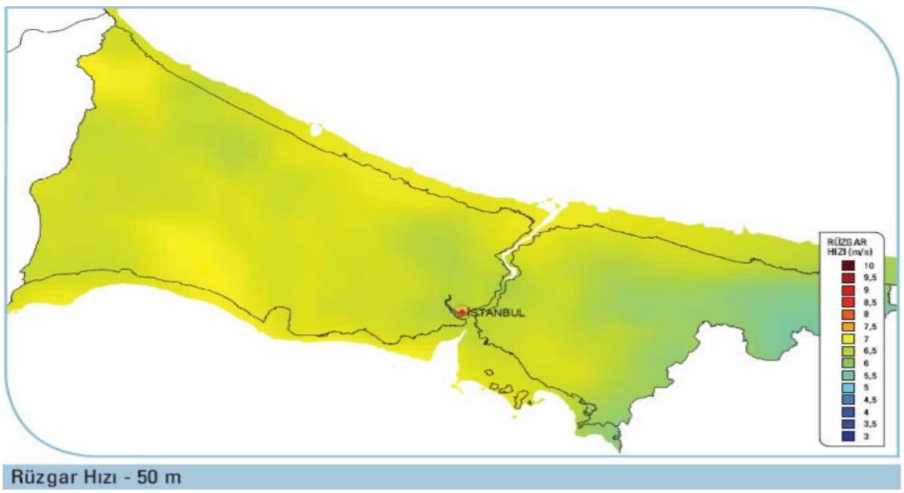
Şekil 4.6 İstanbul ili aylara göre rüzgar hızları

Şekil 4.7'de İstanbul iline ait 1981-2010 yılları arasında gözlemlenen meteorolojik veriler gösterilmektedir [81].

ISTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	Son İklim Periyodu (1981 - 2010)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.8	5.5	7.3	11.2	15.7	20.5	22.9	23.4	19.9	15.8	11.0	7.8	13.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.5	8.7	11.0	15.5	20.1	25.0	26.9	27.2	23.8	19.2	14.2	10.4	17.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.5	2.9	4.4	7.8	12.2	16.7	19.7	20.4	16.8	13.2	8.5	5.5	11.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.2	3.2	4.6	6.0	8.0	9.6	10.3	9.3	7.8	5.1	3.1	2.0	71.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	16.9	15.2	13.2	10.0	7.4	7.0	4.7	5.1	8.1	12.3	13.9	17.5	131.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	99.5	82.1	69.2	43.1	31.5	40.6	39.6	41.9	64.4	102.3	110.3	125.1	849.6
	Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.0	24.7	29.3	33.6	34.5	40.2	41.5	40.5	39.5	34.2	27.8	25.5	41.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-13.9	-16.1	-11.1	-2.0	1.4	7.1	10.5	10.2	6.0	0.6	-7.2	-11.5	-16.1

Şekil 4.7 İstanbul 1981-2010 yıllarında gözlemlenen meteorolojik veriler

Fotovoltaik enerji tesisleri, meteorolojik verilere bağlı olarak aktif oldukları için güneş ışınım değerlerinin yanı sıra sıcaklık, rüzgar ve nem gibi parametreler büyük önem arz etmektedir. FV paneller sıcaklıkla beraber verim değişikliğine uğradığı için proje tesisindeki sıcaklık değerleri sistem etkinliğini belirlemektedir. Proje sahasındaki rüzgar hızı tesisin soğuması ile doğru orantı olduğu için dikkat edilmesi gereken parametrelerden biri olarak görülmektedir. Proje tesisi rüzgar hızı ortalamaları açısından fotovoltaik enerji tesisleri için avantajlı sayılmaktadır. Ortalama hız 10 m yükseklikte 4,1 m/s olarak belirtilmiştir [82]. Şekil 4.8'de İstanbul ilindeki 50 m yükseklikteki rüzgar ortalamalarını göstermektedir [83].



Şekil 4.8 İstanbul 50 m rüzgar hızı ortalamaları

4.4 Fotovoltaik Sistem Analiz Programı: PVsyst

Fotovoltaik sistem analizi için piyasada birden fazla simülasyon programı kullanılmaktadır. Bu programlardan en sık kullanılanılanları; SAM-Sistem Danışmanı Modeli, PVsyst, FV*SOL, Polysun, Helioscope, FVGIS, SISIFO simülasyon programlarıdır. Bu tez çalışması için PVsyst 6.8.6 versiyonu kullanılmıştır. PVsyst simülasyon programı, Türkiye piyasasında en çok kullanılan simülasyon programıdır. Bu bölümde PVsyst programına yönelik bir giriş verilmiştir ve bu durum PVsyst kullanımına dair bilgileri göstermektedir [84]. Bahsedilen bu simülasyon programı hakkında PVsyst programının yardım sekmesinden erişebilirsiniz [85].

4.4.1 PVsyst Simülasyon Programı Kullanıcı Arayüzü

PVsyst simüasyon programını çalıştırdığımızda Şekil 4.9'da gösterildiği gibi bir kullanıcı arayüzü çıkmaktadır. PVsyst programı kullanıcı arayüzünde 4 farklı seçenek bulunmaktadır:

Preliminary Design (Ön Tasarım): Kullanıcı arayüzünde çıkan 4 seçenekten ilkidir. Yalnız başına sistemlerin ön değerlendirmesi için kullanılan bir araçtır. Üstelik şebekeye bağlı tesisler için binanın fotovoltaik derecesini seri bir şekilde değerlendirmek için kullanılan bölümdür.

Project Design (Proje Tasarımı): Bu kısım programın temel parçasıdır. Bir fotovoltaik tesisin projesini detaylı bir şekilde çalışmasını yapmak için kullanılır. Meteorolojij bulguların tayini, tesisin tasarımı, detaylı gölgelendirme çalışmaları, genel kayıpların belirlenmesi ve ekomik analiz yapmayı içerir. Elde edilen rapor bir yılın birden fazla ek sonucuna sahip tam bir rapordur. Bu tez çalışmasında İstanbul Havalimanı için tasarlanan Fotovoltaik Sistem Santrali'nde üretilen enerjinin analizi için kullanılan bir araçtır.

Database (Veritabanları): Kullanıcı arayüzünün diğer bir seçeneği olan bu bölüm, aylık ve saatlik verileri, saatlik verilerin anlık üretimini ve dış etkenlere bağlı parametrelerin import edilmesini içermektedir. Bu seçenek aynı zamanda, sıra modüller, invertörler, piller vb. tüm yapıların tanımlarını içermektedir.

Tools (Araçlar): Fotovoltaik tesis tasarım durumunun tahmini ve görselleştirilmesi bu bölümdeki araçlar sayesinde sağlanır. Gerçeğe daha yakın analiz raporlarına erişebilmek için kullanılan materyaller bu seçenekte bulunmaktadır.



Şekil 4.9 PVsyst programı arayüzü

4.4.2 Project Design (Proje Tasarımı)

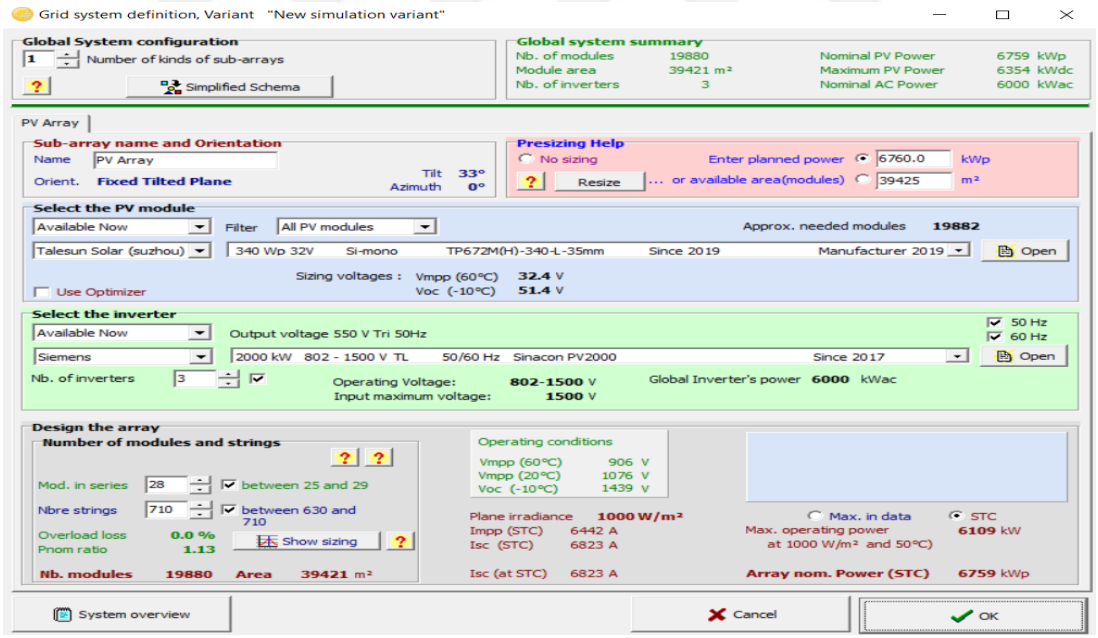
Bu tez çalışmasında PVsyst simülasyonu için Proje Tasarım sekmesi kullanılmıştır. Proje Tasarım sekmesi bize saatlik değerlendirme yaparak detaylı sonuçlar elde etmemize fayda sağlayacaktır. Ayrıntılı bir çalışma için Proje Tasarım bölümünde ise karşımıza ilk sistem çeşitleri çıkmaktadır. Boyutlandırma değerlendirmeleri için başka programlar içinde kullanılabilir.

Şekil 4.10'da görüldüğü üzerine, Proje Tasarım menüsünde şebekeye bağlı sistemler, şebekeden bağımız sistemler, su pompalama sistemleri ve DC şebeke olmak üzere dört tane sistem tipi karşımıza çıkmkatadır. Bu tez çalışması için şebeke bağlantılı sistem seçilmiştir.

Projeye bağlı özellikler sisteme kayıt edilmiştir. Proje adını belirledikten sonar, Site seçeneğinin altında bulunan fotovoltaik sistemin coğrafi konumunu meteorolojik konum bilgileriyle bağlantı kurarak beraber olarak aktif edebilirsiniz. Meteoroloji bulgulara farklı kaynaklardan ulaşılabilir. Bu kaynaklar; PVGIS, GEPA, NASA, Meteonorm'dur. Yüksek lisans tez çalışmasında meteonorm kaynağındaki bulgulara göre hareket edeceğiz. Site ve meteo seçeneklerinden

istenilen meteo dosyası seçilerek aktif edilir. Bu durum farklı meteo database'leri kullanarakta analiz yapmamızı sağlar.

Albedo-Setting (Ayarlar), yüzeyden yansıyan güneş ışığının kesri olarak ifade edilmektedir. Albedo katsayısı, eğik bir düzlemin önündeki zemin tarafından yansıtılan küresel olay ışınımının kesridir. Bu etki, yatay ışımanın eğik bir düzlem üzerine yer değiştirme hesaplaması sırasında gerçekleşir. Düzlem tarafından görülen albedo, yatay bir düzlem için elbette boştur ve eğim ile artar. Proje tanımında olası bir kar örtüsünü dikkate almak için albedo değerleri her ay ayarlanabilir. Kentsel bölgelerde 0.14 ila 0.22 değerleri arasında dikkate alınmakta, karlı kaplı alanlarda ise 0.8'e kadar bu değer çıkabilmektedir. Genel olarak ve PVsyst programında kabul gören değer 0.2'dir. Simülasyon yapılması planlanan proje öncelikle kayıt altına tutulmalıdır. Bir sonraki adım için sistemi tanımlamak gerekmektedir. Bu husulara ilişikin Şekil 4.10'da gösterilmiştir. PVsyst simülasyon programında bazı verileri mecbur, bazı verileri ise isteğe bağlı olarak değiştirebiliriz.



Şekil 4.10 PVsyst simülasyon programı proje tasarımı için sistem tanımlanması

Zorunlu Parametreler: Tasarlanacak projeye ait atamalar yapıldıktan sonra ilk olarak karşımıza Orientation (Yön) ve System (Ssitem) sekmelerinin kırmızı olarak görülecektir, yapılacak olan işlemler dahilinde bu iki seçenek sisteme

tanımlanır. İki sekmeyi tanımladıktan sonra kırmızı renkli sekmeler yerini yeşil sekmelere bırakır. Orientation seçeneğinde modülün eğimi ve azimuth açısı belirlenir. PVsyst simülasyon programı bizlere coğrafi konum için optimal açıları tavsiye etmektedir. Yıllık elde edeceğimiz verimler yaz ve kış aylarına göre sonuçlanabilir.

Sistem seçeneğinde, sistemin tasarımı ile birlikte fotovoltaik panel ve inverter tipi seçimleri, modül dizi sayıları olmak üzere tesisin sahip olduğu fonksiyonlar belirlenir. Farklı alt diziler için farklı fotovoltaik paneller ve inverterler tayin edilebilir. PVsyst simülasyon programında birçok fotovoltaik panel seçimi ve inverter seçimi bulunmaktadır. İsteğe bağlı olarak bazı parametreler üzerinde farklı değişiklikler uygulayabiliriz.

İsteğe Bağlı Parametreler: İsteğe bağlı parametreler dahilinde gerçeğe yakın tasarım verileri girilerek hakiki simülasyon sonuçlarını elde edebiliriz. Bu parametrelere; horizon (göyüş), near shading objects (gölgelendirme nesneleri), module layout (modül düzeni), economic evaluation (ekonomik değerlendirme) ve other tools (diğer araçlar) dahildir.

Bu parametrelerden en çok dikkat edilmesi gerekenlerden biri de near shading object'tir. Çünkü near shadings, bir dizi üzerinde görenen gölgeler olarak tanımlanmaktadır. Burada fotovoltaik dizisi ve etrafının 3D modeli çizilerek analizi uygulanır. Bu durumlar; ağaçlar, binalar ya da başka nesneler olabilir. 3D modelin PVsyst programında program üzerinden elle çizilmesi gerekmektedir. Çünkü SketchUp vb. programlardan PVsyst programına import yapılamamaktadır.

Yakın gölgelendirme durumunda ışınım kayıpları üzerinde durulmalıdır:

1. Modül Düzlem Açısı: Modül düzlemin eğim açısı sebebiyle, yatay düzeleme göre elde edilen kazanç veya kaybı ortaya koyar. Bu faktörün etkisi çoğunlukla pozitiftir.
2. Spektrum Kayıpları: Anlık olan ışınımdai AM 1,5'te ki standart güneş spektrumdan sapma olması durumunda, sistemde k PV modüllerinin spectral tepkilerindeki seçicilikten oluşan kayıplar meydana gelir. Güneş ve gökyüzü ışınımları için bir yıl boyuca gözlemlenen spectra, açık

gökyüzünün ideal spektrumundan farklılık gösterir. Bu durumlar hesaba katılarak, toplam yıllık düşen güneş ışınımı solar hücre teknolojisine bağlı olarak bir faktörde çarpılarak belli bir seviyeden azaltılır.

3. Yansıma Kayıpları: Modül yüzeyine düşen solar ışınımın bir bölümü hücreler vasıtasıyla emilmeden modül yüzeyinden geri yansıma yaparlar. Işınımın geri yansıyan bölümünden dolayı meydana gelen kayıplara yansıma kayıpları denir. FV sistem malzemelerinde, ışınım akısının bir bölümü emilir ve elektrik enerjisine dönüştürülür. Malzemenin kalitesi optik yansımaya, iletimdeki kayıpların azlığına, emilen ışınım yoğunluğuna bağlı olmaktadır.
4. Gölgeleme Kayıpları: Fotovoltaik dizesinin (array) gölgelenmeyen ve gölgelenen bölümleri arasındaki ışınım farkları gölgelenme kayıplarını meydana getirmektedir.
5. Tozlanma ve Karlanma Kayıpları: Fotovoltaik modüllerin yüzeylerinin kirlenmesinden veya yüzeyde kar birikmesinden dolayı modüllere ulaşan solar ışınım miktarının azalması sebebiyle gerçekleşen kayıplardır.

4.4.3 Detaylı Kayıplar

Bu tür kayıp parametreleri, tesisin özelliklerine göre daha elverişli değerlere değiştirilebilir. Bu kısımda kayıp parametrelerine ait açıklamalar yapılacaktır.

Temel Parametreler: Tecih edilen montaj şekli serisinin ne kadar iyi derecede havalandırılacağını belirler ve bu tesisin soğutulmasını sağlayacak ve termal kayıpları düşürecektir.

Fotovoltaik panel sıcaklık değerleri PVsyst simülasyon programına verilebilir ve termal boyutlar uygulanabilir. Fotovoltaik panel sıcaklık değerleri meteo dosyasından alındığı için ölçülen seri sıcaklığını uygulama saçeneği tercih edilebilir hale gelir.

Omik Kayıplar: Fotovoltaik panel – inverter ve inverter – trafo arasında bulunan kablolarda meydana gelen güç kayıplarını oluşturur. Bu tür kayıplar, fotovoltaik serideki modül bağlantıları ve invertör bağlantıları için uygun uzunluk (m) ve enine kesit (mm^2) ile tayin edilebilir. Şayet kesit ve uzunluklar alakalı bilgilerin

bilinmemesi durumunda, omik kayıplar için global bir kabloma direnci sisteme girilmesi de mümkün olabilmektedir. Omik kayıplara ilişkin hesaplama denklem 4.1'den kullanılarak PVsyst analiz programı kullanılarak oluşturulur. Burada R simgesi, global kablolama direnci olarak tanımlanmaktadır.

$$P_{loss} = I^2 R \tag{4.2}$$

Modül Kalitesi – Işığa Bağlı Degredasyon – Uyumsuzluk: Fotovoltaik panel modül kalitesindeki kayıp, kullanıcıların aniliz esnasında yaptıkları modül performans değerlendirmesinin imalatçı firmalarının spesifikasyonlarını karşıladığına dair güvenini gösteren bir boyuttur.

Işığa bağlı degredasyon, kristal modüllerin güneşe maruz kalan ilk zamanlarda ki ortaya çıkan bir çeşit performans kaybıdır.

Uyumsuzluk kayıpları, bir fotovoltaik panel dizisinde ki akımın modül için en düşük akımı ile sınırlandırmaktadır. Sistemlerin oluşumunda kullanılan modüller gerçekte aynı performansta çalışıp aynı verimi veremez.

Kirlenme Kayıpları: Fotovoltaik panellerin üzerini kaplayan ve ön camında iletimi düşüren tüm etkenleri içerir. Ön camda oluşan kirlenme sebebiyle zamanla giderek enerji veriminde düşüşler yaşanır. Fotovoltaik panellerde iz bırakan ince kar taneleri veya buz tabakaları, toz, kum, polen veya yağmur damlaları gibi kirlenmelerden oluşabilir. Kış aylarında oluşabilecek kar ile örtülmelerden dolayı kirlenme kayıpları önemli bir etken hale gelmektedir.

PVsyst simülasyon programı sayesinde kirlenme kayıpları yılın her ayı için bir yüzde olarak veya yıllık bir faktör olarak gösterilebilir. PVsyst'de analiz yapıldığında düzenli aralıklarla temizlik ve yağışlı dönemler dikkate alınmalıdır.

4.4.4 PVsyst Simülasyon Programında Meteorolojik Veriler

Meteorolojik veriler PVsyst analiz programında veritabanı bölümünde kayıt altındadır. Farklı bir coğrafi konum belirtilmişse, PVsyst analiz programında yer alan Metenorm iklim veri sekmesinde kabul edilen bir aylık veri oluşturulur.

Metenorm veritabanında bulunan tüm bulgular Avrupa ülkeleri için PVsyst simülasyon programında mevcuttur. Hakiki meteo bulguların ölçümleri çok karmaşıktır.

PVsyst programı, saatlik verilerle aktif olduğu için ölçülmüş olan saatlik kayıtlar mevcut değilse saatlik meteo bulgular yerine aylık değerlerden oluşturulmalıdır. Saatlik bulgular, *.MET dosylarında saklanmaktadır. Aylık değerlendirmelerde saalik verim, farklı fotovoltaik modüller uygulanarak gerçekleşebilir.

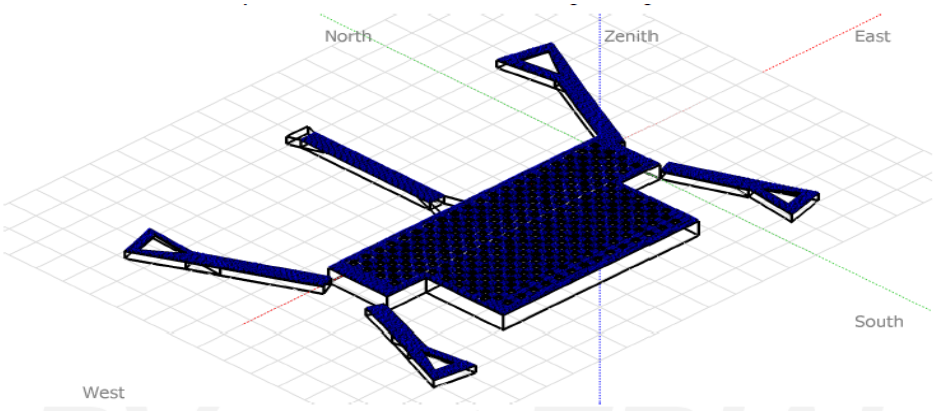
Kullanılamamazlık: Oluşabilecek olağanüstü bazı durumlarda bir arıza sebebiyle program çalışmayı durdurabilir. Bu sebeple uygulanabilirlik parametresi zamanın bir parçası olarak veya gün sayısı olarak tayin edilebilir. Çoğunlukla bu durumu tahmin etmek pek mümkün değildir. Bu durum dönemleri rastgele oluşturabilir. Dönem bazlı kesintiler hakkında bilgi oluşursa, bu tür veriler tanımlanabilir.

4.5 Tasarlanan Fotovoltaik Santral

Bu tez çalışmasında fotovoltaik panellerin İstanbul Havalimanı'n çatısına yerleştirilmesi planlanmıştır. İstanbul Havalimanı'nın 1. Fazında yapılan ve 90 milyon yolcu kapasitesi bulunan terminal binası ana terminal bina ve 5 pierden oluşmaktadır. Toplam çatı alanı yaklaşık 450 bin m^{2}'dir. Yapılan kontroller ve araştırmalar sonunda fotovoltaik panel yerleşimi için yaklaşık 40 bin m^2 alan bulunmaktadır. Tasarlanacak olan bu tesis için çatı panel kuralların çok iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir. Çünkü çeşitli doğal afetler sonunda tehlikeli sonuçlara sebebiyet verebilir.

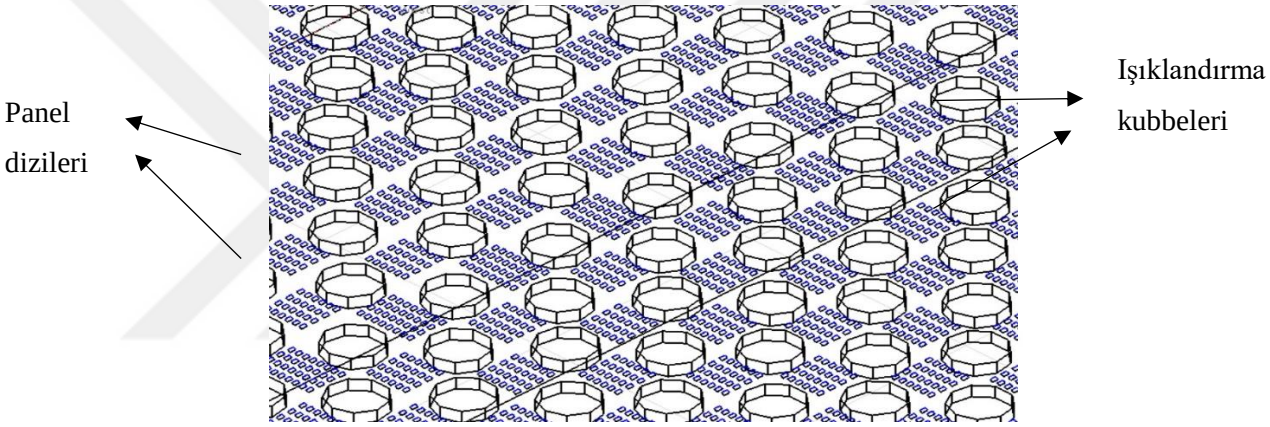
4.5.1 Kapasite Seçimi

Bu tez çalışmasında kapasite seçimi FV enerji santralinin uygulandığı bölge göz önüne alınarak hesaplamaları yapılmıştır. Kapasite seçimi için terminal binasının çatı bölgesinde yaklaşık olarak 40 bin m^2 alanın kullanılması dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Kapasite seçimini PVsyst programı vasıtasıyla belirledik. PVsyst programı ile ilgili bilgiler Bölüm 4.4'te verilmiştir. PVsyst simülasyon programı kullanılarak İstanbul Havalimanı'nın çatısına yerleştirdiğimiz panel gösterimi, Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.11 İstanbul Havalimanı fotovoltaik panel yerleşimi

PVsyst simülasyon programı kullanılarak İstanbul Havalimanı'nın çatısına yerleştirdiğimiz panel gösteriminin yakın gösterimi, Şekil 4.12'de görülmektedir.

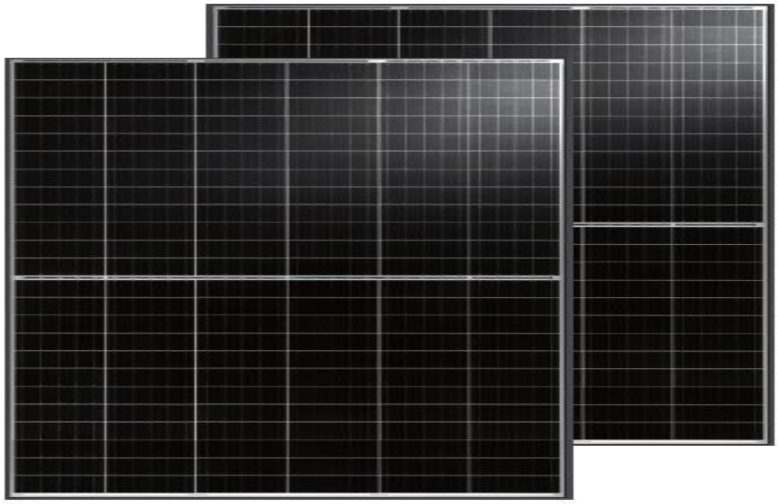


Şekil 4.12 İstanbul Havalimanı fotovoltaik panel yerleşimi yakın görünümü

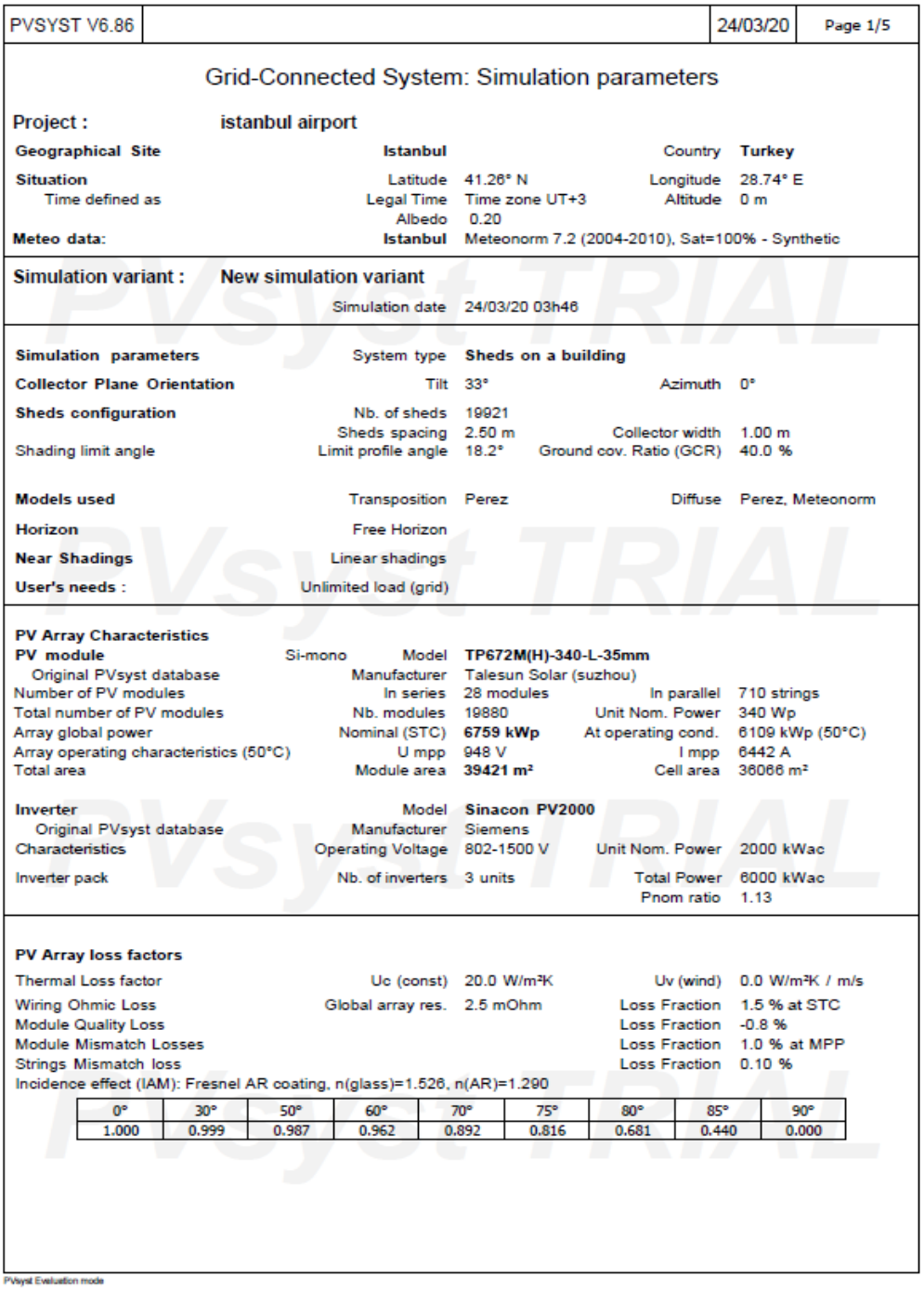
4.5.2 Fotovoltaik Panel Özellikleri, Sayısı ve Kapasitesi

FV enerji santrali için uygulamaya koyulacak olan panel markası Telasun Solar markadır. Özelliği ise; Si-mono model TP672M(H)-340-L-35mm'dir. Bir panelin kapasitesi 340 W'tır. Bu tez çalışmasında, kapasite seçimi uygulanacak alan boyutu dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Yaklaşık olarak 40 bin m^2 alan kadar 6759 kW kadar kapasiteye ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Kapasite seçimi PVsyst programı vasıtasıyla belirlenmiştir. PVsyst simülasyon programı yardımı ile 19880 adet fotovoltaik panel kullanılması belirlenmiştir. Bu tasarım optimum seviyede hesaplanarak yapılmıştır.

Şekil 4.13'te tasarımda kullanacağımız panele ait görsel belirtilmektedir. Modül bilgileri detaylı olarak Ek-A'da verilmiştir. Şekil 4.14'te PVsyst simülasyon programı yardımı ile simülasyon parameterlerini gösteren değerler görülmektedir.



Şekil 4.13 Telasun solar marka si-mono model TP672M(H)



PVSYST V6.86 | 24/03/20 | Page 1/5

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project : istanbul airport

Geographical Site	**Istanbul**		Country	**Turkey**
Situation	Latitude	41.26° N	Longitude	28.74° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	0 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Istanbul**	Meteonorm 7.2 (2004-2010), Sat=100% - Synthetic		

Simulation variant : **New simulation variant**

Simulation date 24/03/20 03h46

Simulation parameters	System type	**Sheds on a building**		
Collector Plane Orientation	Tilt	33°	Azimuth	0°
Sheds configuration	Nb. of sheds	19921		
	Sheds spacing	2.50 m	Collector width	1.00 m
Shading limit angle	Limit profile angle	18.2°	Ground cov. Ratio (GCR)	40.0 %
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Linear shadings			
User's needs :	Unlimited load (grid)			

PV Array Characteristics

PV module	Si-mono	Model	**TP672M(H)-340-L-35mm**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Talesun Solar (suzhou)	
Number of PV modules		In series	28 modules	In parallel 710 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	19880	Unit Nom. Power 340 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**6759 kWp**	At operating cond. 6109 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	948 V	I mpp 6442 A
Total area		Module area	**39421 m²**	Cell area 36066 m²

Inverter		Model	**Sinacon PV2000**	
Original PVsyst database		Manufacturer	Siemens	
Characteristics		Operating Voltage	802-1500 V	Unit Nom. Power 2000 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	3 units	Total Power 6000 kWac
				Pnom ratio 1.13

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	2.5 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %

Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

PVsyst Evaluation mode

Şekil 4.14 PVsyst simülasyon programı parametre değerleri-1

4.5.3 İnvertör Adedi, Tipi, Kapasitesi

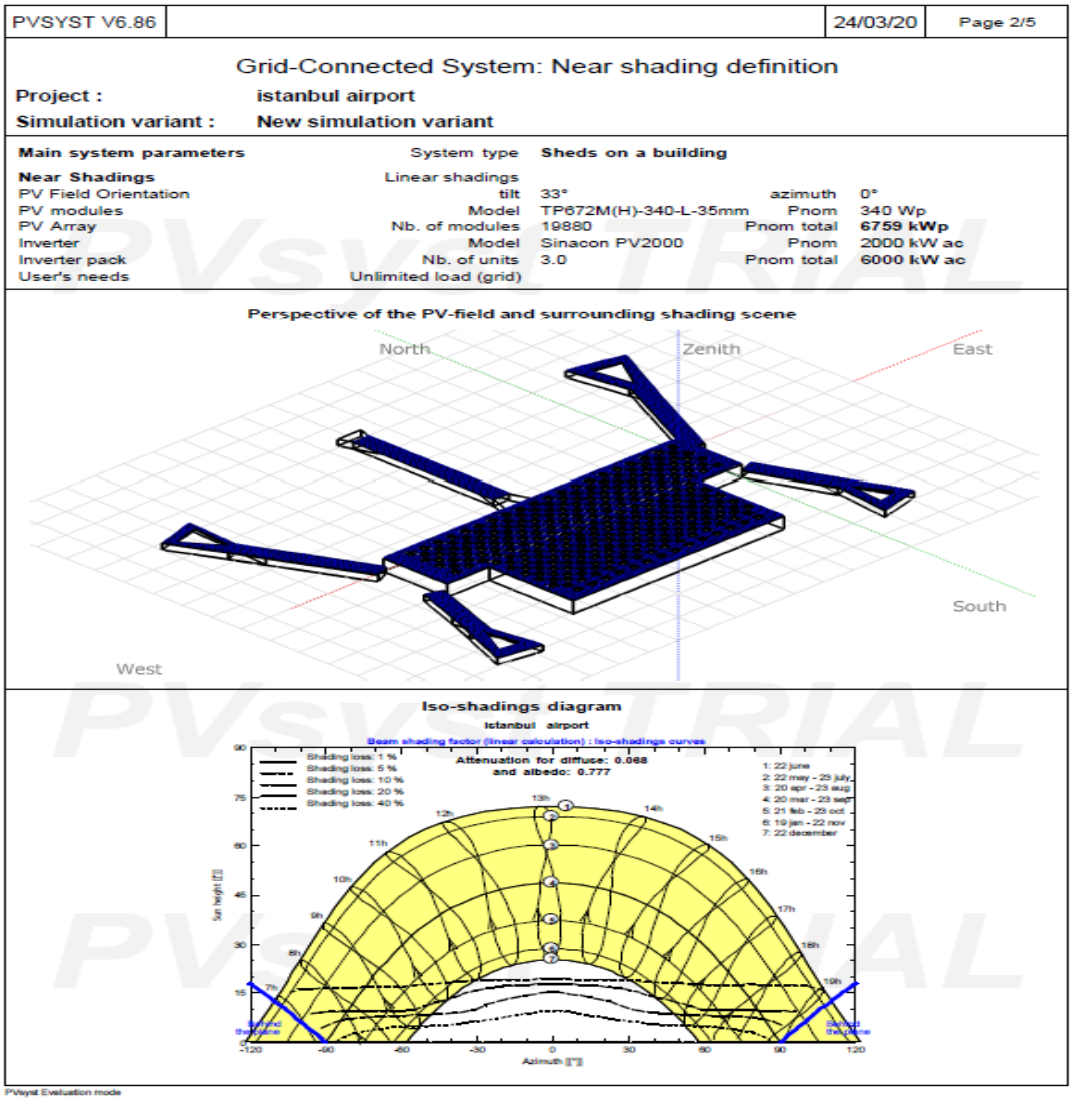
FV enerji santrali için PVsyst simülasyon vasıtasıyla 3 adet Siemens marka, Sinacon PV2000 model tercih edilmiştir. Her bir invertör için 2000 kWac kapasiteli

invertörler kullanılması planlanmıştır. Şekil 4.15'te fotovoltaik santralde kullanacağımız invertöre ait görsel belirtilmektedir. İnvertör bilgileri detaylı olarak Ek-B'de verilmiştir.



Şekil 4.15 Siemens Marka Sinacon PV2000 kWac Invertör

Şekil 4.16'da PVsyst programı yardımı ile elde ettiğimiz simülasyon parametre değerlerini gösteren görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.16 PVsyst simülasyon programı parametre değerleri-2

4.5.4 Yıllık Enerji Üretimi ve Performans Verimi

PVsyst simülasyon programı yardımıyla yapılan analiz çalışmaları sonrası 340 W kapasitede 19880 adet güneş panelinin yıllık ürettiği enerji miktarı 8072 MWh'tir. Bu değerler kapsamında sağladığımız PR %82,84 değerindedir. Şekil 4.17'da ve Şekil 4.18'de PVsyst simülasyon programına ait analiz sonuçları gösterilmektedir.

Grid-Connected System: Main results

Project : istanbul airport

Simulation variant : New simulation variant

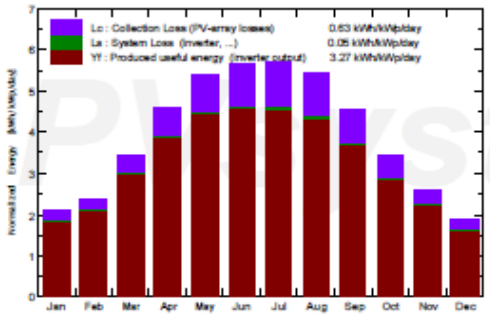
Main system parameters	System type	**Sheds on a building**			
Near Shadings	Linear shadings				
PV Field Orientation	tilt	33°	azimuth	0°	
PV modules	Model	TP672M(H)-340-L-35mm	Pnom	340 Wp	
PV Array	Nb. of modules	19880	Pnom total	**6759 kWp**	
Inverter	Model	Sinacon PV2000	Pnom	2000 kW ac	
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	**6000 kW ac**	
User's needs	Unlimited load (grid)				

Main simulation results

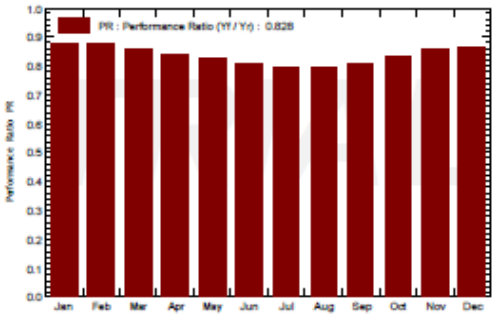
System Production — **Produced Energy** **8072 MWh/year** Specific prod. 1194 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 82.84 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 6768 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

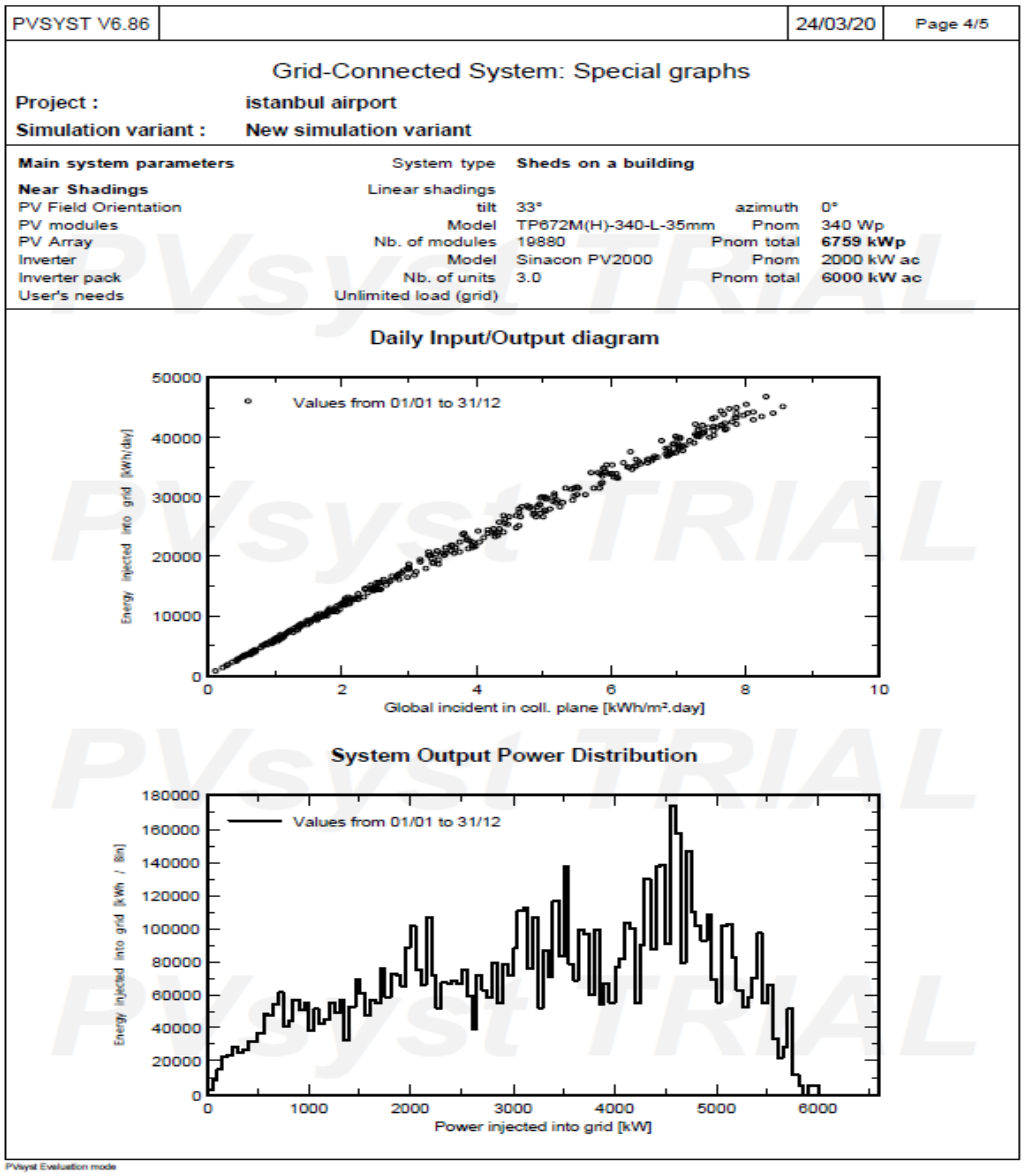
Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	43.8	26.22	6.02	65.5	59.9	393.2	387.2	0.874
February	53.1	37.13	6.17	67.1	61.3	404.5	398.4	0.879
March	93.7	58.65	8.84	107.3	98.2	634.4	625.2	0.862
April	129.6	57.96	12.24	137.7	126.9	796.1	784.5	0.843
May	171.0	81.27	17.69	166.9	152.8	942.2	928.9	0.823
June	181.4	83.19	22.29	170.7	156.5	943.9	930.6	0.807
July	186.7	86.44	25.48	177.4	162.4	968.0	954.6	0.796
August	160.6	73.14	25.44	168.7	155.3	921.3	908.3	0.796
September	116.6	51.21	20.84	136.6	126.2	761.4	750.5	0.813
October	79.6	38.50	16.96	106.5	98.4	612.1	603.2	0.838
November	53.2	30.96	11.82	77.9	71.6	460.2	453.5	0.861
December	38.6	23.66	8.05	59.1	54.0	352.0	346.6	0.868
Year	1307.8	648.31	15.21	1441.5	1323.6	8189.2	8071.6	0.828

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

PVsyst Evaluation mode

Şekil 4.17 PVsyst simülasyon programı analiz sonuçları-1



Şekil 4.18 PVsyst simülasyon programı analiz sonuçları-2

4.5.4.1 Tasarlanan FV Enerji Santralinin Kapasite Faktörü

Bölüm 4.2.1'de bahsettiğimiz üzere tasarladığımız FV enerji santralinin kapasite faktörü %13,63 olarak hesaplanmıştır.

4.5.5 Fotovoltaik Santrale ait Simülasyon Rapor Bulguları

PVsyst programını detaylı şekilde kullanarak simülasyon sonuçlarına ait rapor oluşturulmuştur. PVsyst simülasyonuna ait raporun bulguları ayrı ayrı aylık olarak oluşturulur.

Şebekeye bağlı olan fotovoltaik sistem tasarımımız temel olarak dizi çıkışı enerji üretimi, şebekeye verilen toplam enerji ve performans oranı hakkında kapsamlı bilgi vermektedir. İstanbul Havalimanı'nda kurulacak fotovoltaik güneş enerjisi santraline ait meteorolojik veriler Tablo 4.1'de belirtilmiştir. Tablo 4.2'de fotovoltaik güneş enerjisi santralinin yıl boyunca üretmesi planlanan enerji üretim değerleri bulunmaktadır.

Tablo 4.1 Hava durumu ve ışınım verileri

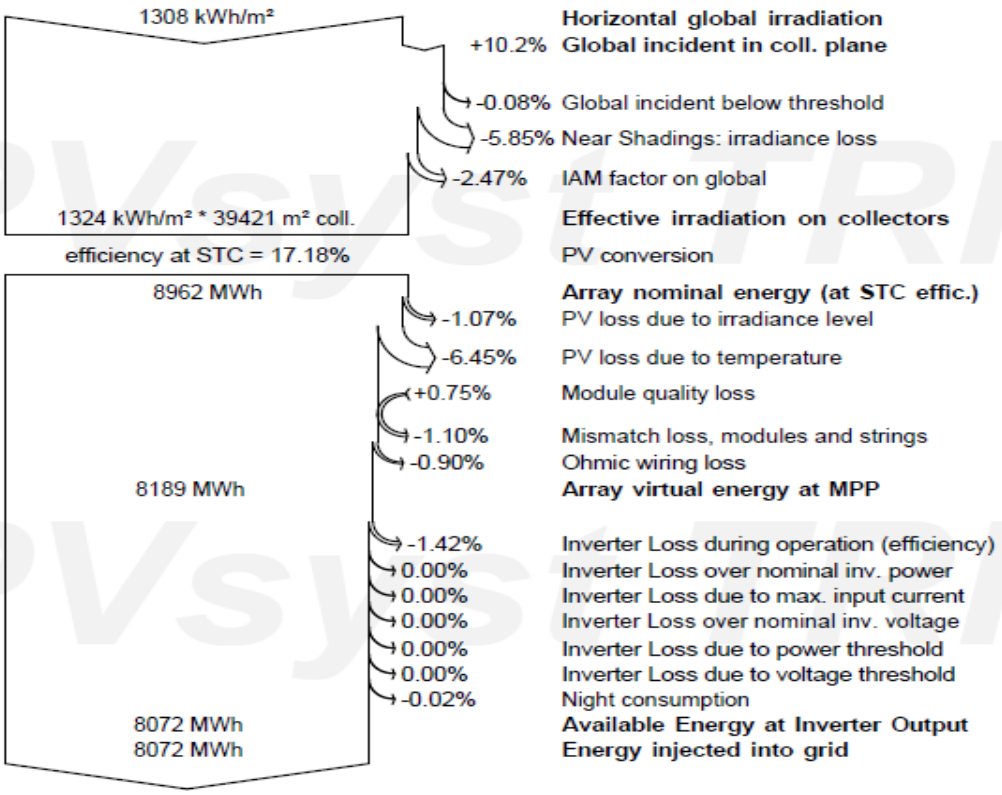
AYLAR	G_{yatay} (kWh/m²)	D_{yatay} (kWh/m²)	T (°C)	$G_{modül}$ (kWh/m²)	G_{etken} (kWh/m²)
Ocak	43,8	26,22	6,02	65,5	59,9
Şubat	53,1	37,13	6,17	67,1	61,3
Mart	93,7	58,65	8,84	107,3	98,2
Nisan	129,6	57,96	12,24	137,7	126,9
Mayıs	171,0	81,27	17,69	166,9	152,8
Haziran	181,4	83,19	22,29	170,7	156,5
Temmuz	186,7	86,44	25,48	177,4	162,4
Ağustos	160,6	73,14	25,44	168,7	155,3
Eylül	116,6	51,21	20,84	136,6	126,2
Ekim	79,6	38,50	16,96	106,5	98,4
Kasım	53,2	30,96	11,82	77,9	71,6
Aralık	38,6	23,66	8,05	59,1	54,0
Yıllık	1307,8	648,31	15,21	1441,5	1323,6

Tablo 4.2 Enerji üretimi ve performans oranı değerleri

AYLAR	E_{dizi} (MWh)	$E_{şebeke}$ (MWh)	PR
Ocak	393,2	387,2	0,874
Şubat	404,5	398,4	0,879
Mart	634,4	625,2	0,862
Nisan	796,1	784,5	0,843
Mayıs	942,2	928,9	0,823
Haziran	943,9	930,6	0,807
Temmuz	968,0	954,6	0,796
Ağustos	921,3	908,3	0,796
Eylül	761,4	750,5	0,813
Ekim	612,1	603,2	0,838
Kasım	460,2	453,5	0,861
Aralık	352,0	346,6	0,868
Yıllık	8189,2	8071,6	0,828

Kayıp diyagramında ana kayıp kaynakları tanımlandıktan sonra fotovoltaik sistem tasarımının kalitesini detaylı bir analiz sonucunu vermektedir. Kayıp diyagramı tüm bir yıl veya ay boyunca detaylı ve kapsamlı oluşturulabilir. Daha sonraki işlemlerde çeşitli kayıp türleri dikkate alınmaktadır. Hesaplanan her kayıp, bir önceki enerjinin yüzde değeri olarak tanımlanmaktadır.

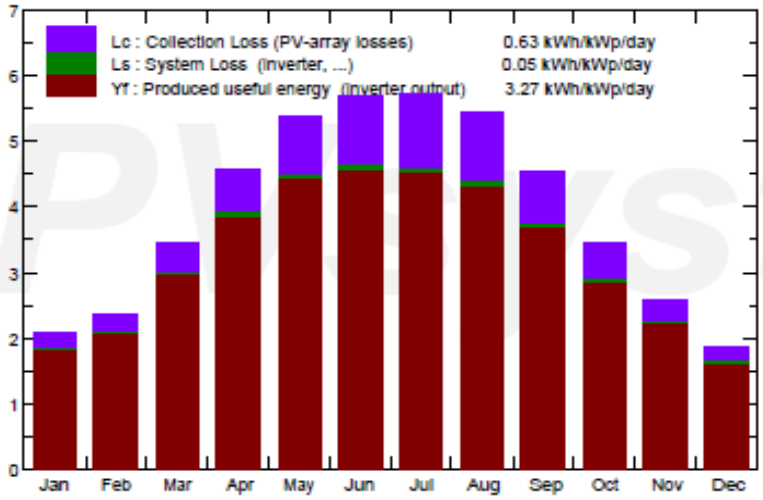
Bazı kayıplar yüzde yüz olarak hesaplanması neredeyse mümkün değildir. İstanbul Havalimanı için uygulanan fotovoltaik sistemin kayıp diyagramı aşağıda ki Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



Şekil 4.19 Sisteme ait kayıp diyagramı

Fotovoltaik panel dizisinde meydana gelen nominal enerji değeri 8962 MWh'dir ve dikkate alınan kayıp parametrelerinde ayarlanan diğer değerlere göre farklı bir tür kayıplar değerlendirilir. Sonuç olarak şebekeye aktarılan enerjinin 8072 MWh olduğu tespit edilmiştir. Tüm sistemin %9,93'lük değerde kayıba sebebiyet verdiği görülmektedir.

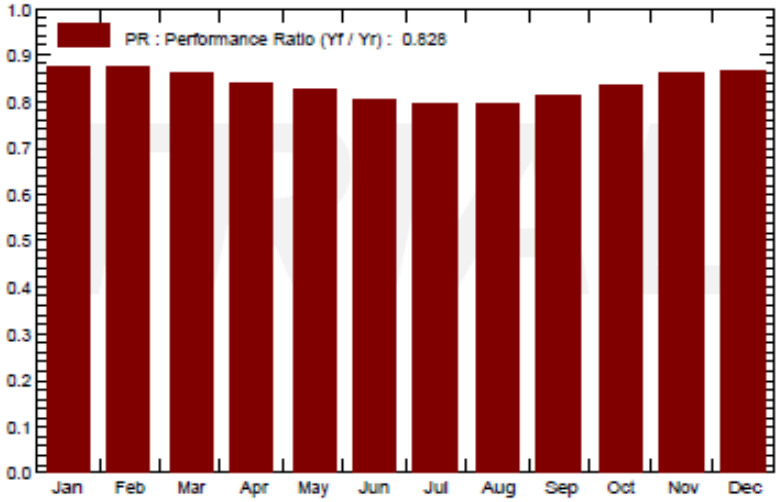
Şekil 4.19'da santralin enerji etkinliğini grafiksel bir şekilde göstermektedir. Fotovoltaik panel dizi kayıpları ve diğer tür kayıplar olmak üzere bütün kayıplarını göstermektedir. İnvertör çıkışı üretilen enerji de histogtamın altında gösterilmektedir. Şekil 4.20'da verim enerjisi kWh/kWp/gün olarak yer verilmektedir.



Şekil 4.20 İnvertör çıkışı enerji üretimi ve kayıpları

Yılın maksimum enerji üretimini Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında meydana getirmektedir. Aynı zamanda maksimum modül serisi ve inverter kayıplarını da bu aylarda karşılaşılmaktadır. Bu durum Kuzey Yarım Kürede yer alan Türkiye'nin bu dönemlerdeki yüksek sıcaklığı ile doğru orantılıdır.

Fotovoltaik modüllerde oluşan dizi kayıpları modüllerin etkinliğini belirler. Inverter kayıpları DC enerjiyi AC enerjiye çevirirken kaybolan enerji olarak adlandırılabilir. Kullanılan invertörün etkinliği ne kadar optimal düzeyde ise sistemde oluşabilecek kayıplarda minimum düzeyde olacaktır.



Şekil 4.21 Fotovoltaik santralin aylık performans oran değerleri

Simülasyon programı vasıtasıyla elde edilen sonuçlardan biri de performans oranıdır. Performans oranı sistemin bütünlüğünü temsil eden faktördür. Performans oranı 0,1 ile 0,99 arasında değişmektedir. PR değeri 1'e ne kadar çok yakınsa program üzerinden yapılan analizde daha verimli değer elde ettiğimizi belirtir. Şekil 4.20'de belirtildiği üzerine PVsyst simülasyon programından elde ettiğimiz performans oranı 0,8284 (%82,54)'tür. Şekil 4.21'den görüleceği üzerine Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında oluşan performans oranı Haziran, Temmuz, Ağustos aylarına göre optimal düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yıl boyunca meydana gelen dizi ve inverter kayıplarının toplamıdır.

4.6 Elde Edilen Enerjinin Havalimanı Birimlerinin Tükettiği Enerjiler ile Karşılaştırılması

Bölüm 4.5.4'te tasarlanan FV tesisimizin aylık ve yıllık bazda enerji üretiminin değerleri göz önüne alınmıştır. Bu bilgiler ışığında bölüm 4.6'da İstanbul Havalimanı'nın mevcut bazı sistemleriyle karşılaştırılması yapılacaktır.

4.6.1 İstanbul Havalimanı Terminal Binası Enerji Tüketim Değerleri Karşılaştırılması

Nisan 2019 ila Mart 2020 zaman dilimini dikkate aldığımızda tüketilen enerji miktarı yaklaşık 260.000.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler göz önüne alındığında bölüm 4.5.4'te PVsyst simülasyon programı vasıtasıyla elde edilen enerji üretimiyle karşılaştırdığımızda bu bağlamda tasarladığımız FV santralin yılda %3,1 değerinde katkısı olduğu hesaplanmıştır.

4.6.2 İstanbul Havalimanı Terminal Binasında Yer Alan Isıtma-Soğutma Sistemleri Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri Karşılaştırılması

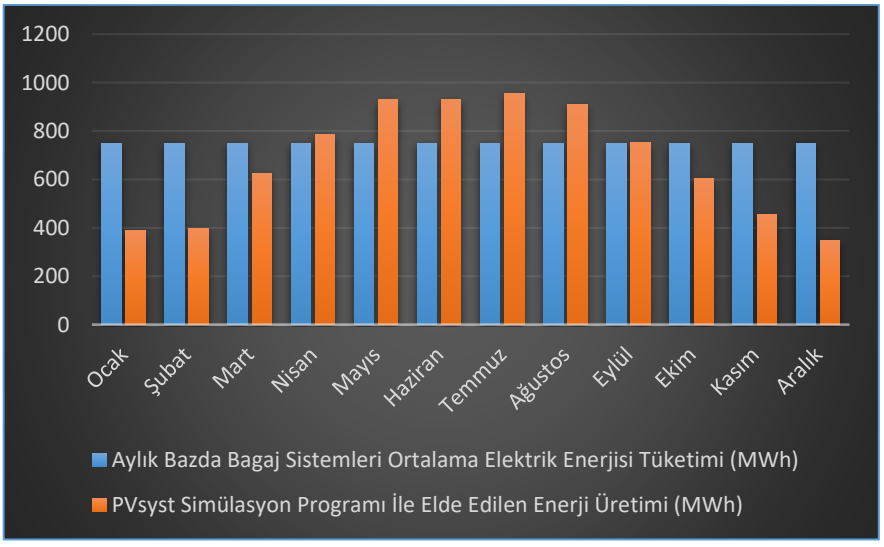
Bir yıllık süre (Nisan 2019 – Mart 2020) baz alındığında İstanbul Havalimanı'nda mekanik ısıtma-soğutma sistemleri için tükettiğimiz yıllık elektrik enerjisi miktarı ortalama yaklaşık 87.000.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda yaptığımız karşılaştırmalar neticesinde tasarladığımız FV santralinden elde

ettiğimiz yıllık 8072 MWh enerjinin, bu tüketimin %9,28'ine katkıda bulunduğu göz çarpmaktadır.

4.6.3 İstanbul Havalimanı Bagaj Sistemleri Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri Karşılaştırılması

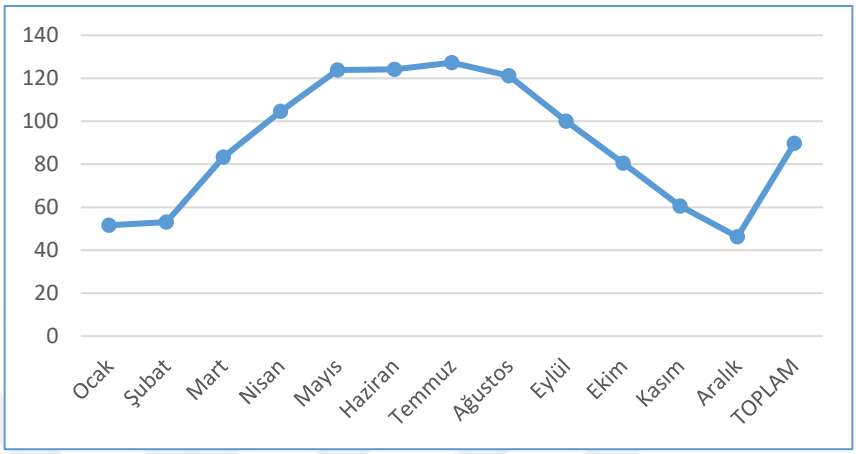
Bir havalimanının olmazsa olmaz yapıtaşlarından biri de bagaj sistemleridir. Bagaj sistemleri olmazsa havalimanının işlemesi mümkün olamaz diyebiliriz. Özellikle yılda 90 milyon yolcu kapasitesini hedefleyen havalimanları için neredeyse imkansızdır. İstanbul Havalimanı'nın bagaj sistemlerinden yıllık bazda ortalama yaklaşık 9.000.000 kWh enerji tükettiği hesaplanmıştır. Yıllık bazda ortalama harcanan bu enerji tüketimi, tasarladığımız FV santralinden büyük oranda takviye alarak elektrik enerjisine katkıda bulunabilir. Bu bilgiler dahilinde tasarlanan FV santralinin havalimanındaki bagaj sistemlerinden yıllık ortalama tükettiği enerjiye %89.68 oranında katkı verdiği tespit edilmiştir.

Havalimanlarında bahaj sistemleri sürekli çalışma pozisyonda olma zorunluluğu için yıllık bazdaki ortalama tüketim değeri 12 aya bölünerek ay bazında da değerlendirme yapmaya tercih kılabilir. Bu bilgiler ışığında İstanbul Havalimanında aylık bazda enerji tüketimi ortalama 750.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.22'de bagaj sistemlerinin aylık bazdaki değerlendirmeye gösteren grafik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.22 Bagaj sistemlerinin aylık bazda değerlendirme

Şekil 4.22'de bagaj sistemlerinin aylık bazda tüketimleri ile PVsyst simülasyon programından elde ettiğimiz enerji üretiminin verim değerlendirmesi gösterilmektedir. Şekil 4.23'de görüldüğü üzere Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında tasarlanan FV santralinden üretilen enerjinin bagaj sistemlerinde tüketilen enerjiye kıyasla daha fazla olduğu göz çarpmaktadır.



Şekil 4.23 Fotovoltaik panellerin bagaj sistemlerine sağladığı aylık bazda enerjiyi karşılama oranı

4.6.4 İstanbul Havalimanı PCA Sistemleri Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması

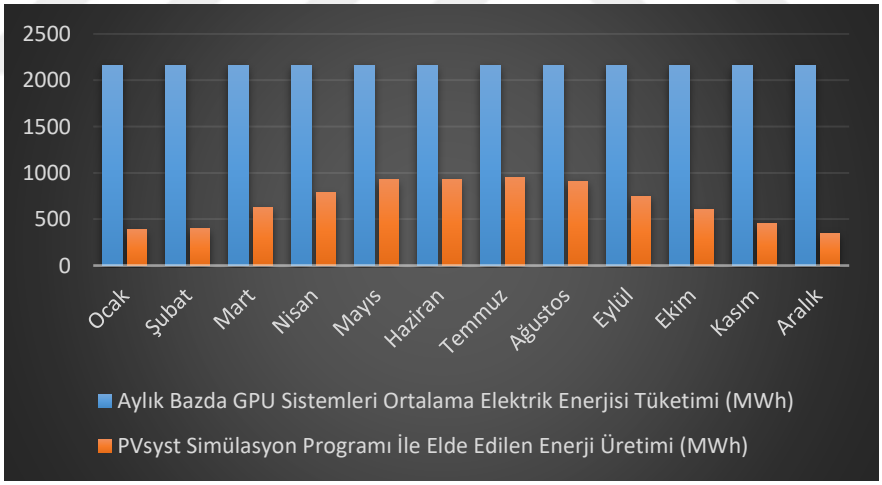
Ön şartlandırılmış hava (PCA) sistemlerinin temel amacı park halinde duran uçaklara taze ve temiz hava sağlamaktır. Tüm uçak tiplerine uyacak şekilde tasarlanan tipleri mevcuttur. Park halinde duran uçaklara, PCA sistemleri yaz aylarında soğutma kış aylarında ise ısıtma sağlayarak refah ve rahat ortamı insanlara sunmaktır [86].

İstanbul Havalimanı'nda toplam 114 adet PCA ünitesi bulunmaktadır. Bir PCA sistem ünitesinin bir aydaki enerji tüketimi ortalama 300.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu bilgilerden destekle bir PCA sistem ünitesinin bir yıldaki enerji tüketimi ortalama yaklaşık 3.600.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Toplamda 114 adet PCA ünitesi bulunmasıyla beraber, tüm PCA sistemlerinin bir yıldaki enerji tüketimi ortalama 410.000.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler ışığında tasarlanan FV santralin havalimanındaki tüm PCA sistemlerinin yıllık tükettiği enerjiye %1,97 oranında katkı verdiği tespit edilmiştir.

4.6.5 İstanbul Havalimanı GPU Sistemleri Eneji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması

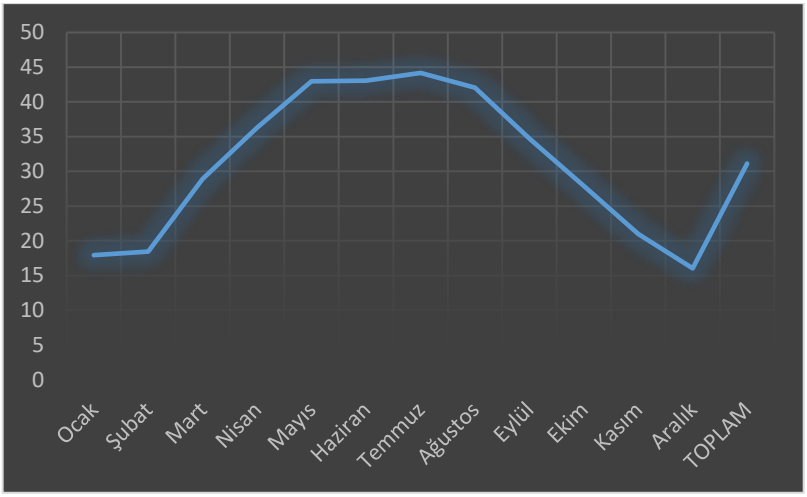
Uçaklarda kullanılan yer güç üniteleri (GPU) uçağın ana motor çalıştırmasını ve uçağın elektrik sistemleri için gerekli enerjiyi temin eden cihazlar olarak tanımlanır [87].

İstanbul Havalimanı'nda toplam 147 adet GPU ünitesi bulunmaktadır. Bir GPU sistem ünitesinin aylık enerji tüketimi ortalama 14.700 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler dahilinde bir GPU sistem ünitesinin yıllık enerji tüketimi ortalama 176.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Genel olarak 147 GPU sistem ünitesinin bir yıldaki enerji tüketimi ortalama 25.930.800 kWh olarak hesaplanmıştır. Buna göre; tasarlanan FV santralden elde edilen enerjinin tüm GPU sistemlerinin yıllık tükettiği enerjiye %31,13 değerinde fayda sağladığı tespit edilmiştir. Şekil 4.24'te görüldüğü üzere aylık bazda tüm GPU sistemlerinden tüketilen enerjinin, tasarlanan FV santralinden elde edilen enerjinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 4.24 GPU sistemleri aylık bazda değerlendirme

Şekil 4.25'te GPU sistemlerin aylık bazdaki verim değerlendirmesi görülmektedir. Çıkan değerler neticesinde Temmuz ayında optimal düzeyde verim sağlanmıştır.



Şekil 4.25 Fotovoltaik panellerin GPU sistemlerine sağladığı aylık bazda enerjiyi karşılama oranı

Matematiksel olarak değerlendirildiğinde tasarlanan FV santralinden tüm GPU sistemlerinin karşılanmadığı görülmektedir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde tasarlanan FV santralden elde edilen enerjinin 46 adet GPU sistem ünitesinden tüketilen enerjiyi karşıladığı hesaplanmıştır.

4.6.6 İstanbul Havalimanı'nda Bulunan LET Sistemlerinin Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması

İstanbul Havalimanı'nda bulunan LET sistemlerini yürüyen bant sistemleri, yürüyen merdiven sistemleri ve asansör sistemleri olmak üzere üç grupta inceleyebiliriz.

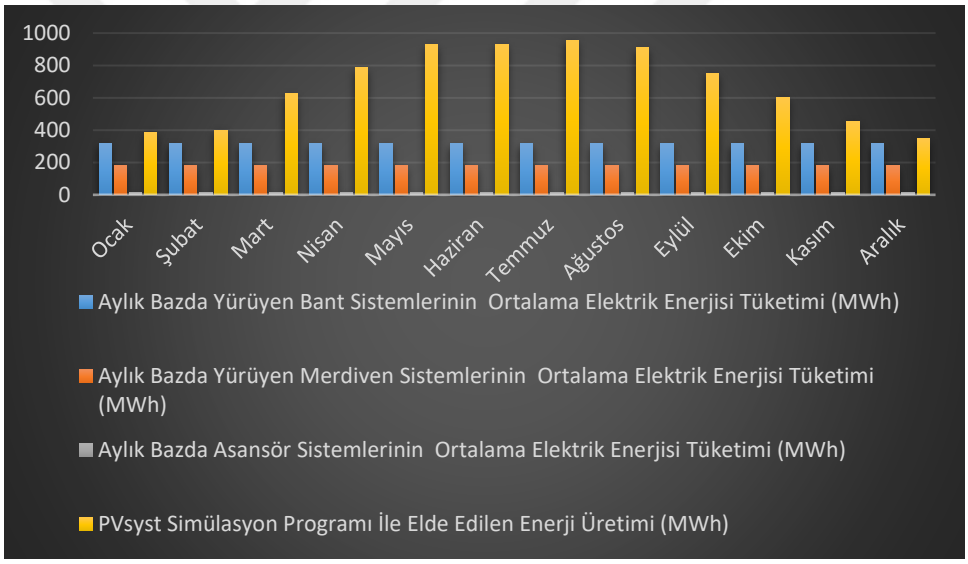
Yürüyen Bant Sistemleri: İnsanların bir noktadan belirli bir noktaya katetmek için işlerini kolaylaştıran sistemlerden biri de yürüyen bant sistemleridir. İstanbul Havalimanı terminal ve pierlerinde 158 adet yürüyen bant sistemleri bulunmaktadır. Toplam yürüyen bant sistemlerinin günlük enerji tüketimi ortalama 10.600 kWh olarak hesaplanmıştır. Aylık bazda hesaplandığında ortalama 318.000 kWh olduğu göze çarpmaktadır. Bu bilgiler ışığında tüm sistemlerin yıllık enerji tüketimi ortalama 3.816.000 kWh olarak hesaplanmıştır.

Yürüyen Merdiven Sistemleri: Yürüyen bant sistemlerinde olduğu gibi insanların işlerini kolaylaştıran bir diğer sistem yürüyen bant sistemleridir. İstanbul Havalimanı terminal ve pierlerinde toplam 164 adet yürüyen merdiven sistemleri

bulunmaktadır. Toplam yürüyen merdiven sistemlerinin günlük enerji tüketimi ortalama 6.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Aylık bazda hesaplama yapıldığında bu değer ortalama 180.000 kWh olduğu göze çarpmaktadır. Yıllık olarak düşünüldüğünde ise ortalama 2.160.000 kWh olarak tespit edilmiştir.

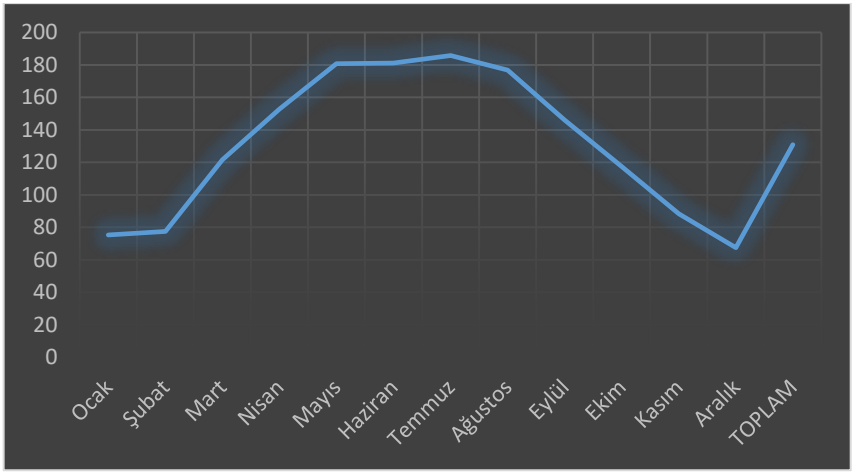
Asansör Sistemleri: LET sistemlerinden biri olan asansör sistemlerinin bulunuşu çok eskilere dayanmaktadır. Temel amacı insanların işlerini kolaylaştıran bu sistemler İstanbul Havalimanı terminal ve pierlerinde toplam 330 adet bulunmaktadır. Toplam asansör sistemlerinin günlük enerji tüketimi ortalama 525 kWh olarak hesaplanmıştır. Aylık ve yıllık bazda bu değerler sırasıyla 15.750 kWh, 189.000 kWh olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.26'te aylık bazdaki LET sistemlerinin tükettiği elektrik enerjisinin, tasarlanan FV santrali ile elde edilen enerjinin karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 4.26 LET sistemlerinin tasarlanan FV santrali ile aylık bazdaki değerlendirilmesi

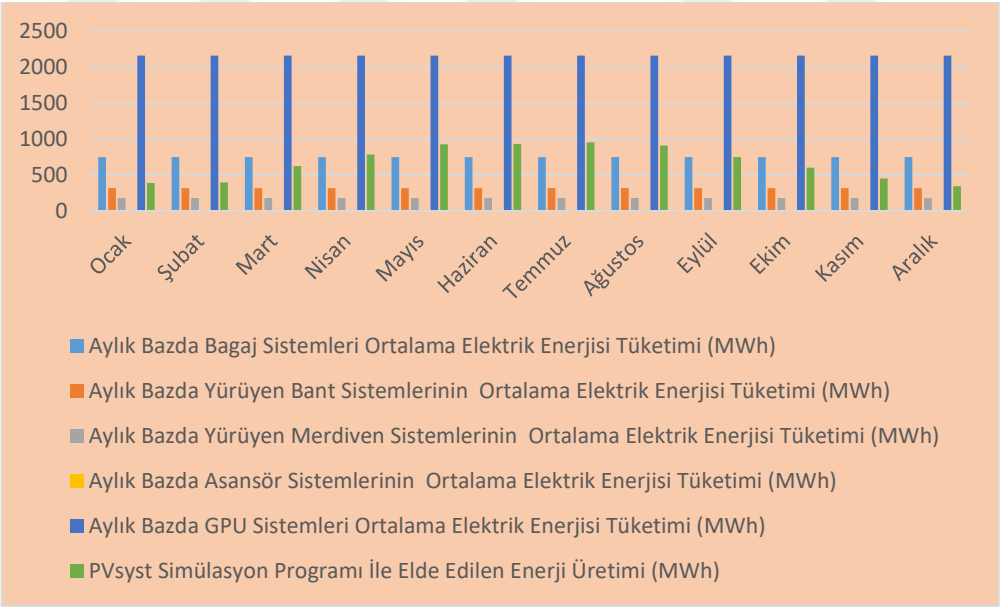
Şekil 4.27'da yapılan bu değerlendirmenin LET sistemlerinin aylık bazdaki verim analizi gösterilmektedir. Matematiksel olarak değerlendirildiğinde ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında tasarlanan FV enerji santralinden elde edilen enerjinin LET sistemlerinden tüketilen enerjiye oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.27 Fotovoltaik panellerin LET sistemlerine sağladığı aylık bazda enerjiyi karşılama oranı

4.6.7 İstanbul Havalimanı'nda Bulunan Bazı Sistemlerin Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda İstanbul Havalimanı'nda yer alan GPU, yürüyen bant, yürüyen merdiven, asansör, bagaj sistemlerinin genel karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.28'de bu sistemlerin aylık bazdaki değerlendirmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.28 İstanbul Havalimanı bazı sistemlerinin tasarlanan FV santral ile aylık bazdaki karşılaştırılması

Tablo 4.3'te İstanbul Havalimanı'nda kullanılan bazı sistemlerin FV santralden elde edilen enerjiye katkısını gösteren tablo oluşturulmuştur.

Tablo 4.3 İstanbul Havalimanı'nda kullanılan bazı sistemlerin FV santraldan elde edilen enerjiye katkısı

Sistemler	Aylık Ortalama Enerji Tüketimi kWh	Yıllık Ortalama Enerji Tüketimi kWh	FV Santralden Elde Edilen Enerji MWh	FV Santralden Elde Edilen Enerjinin Katkısı %
Terminal Binası Tüm Sistemler	21.666.666,67	260.000.000	8072	3,1
Terminal Binasında Yer Alan Isıtma - Soğutma Sistemleri	7.250.000	87.000.000	8072	9,28
Bagaj Sistemleri	750.000	9.000.000	8072	89,68
PCA Sistemleri	34.166.666,67	410.000.000	8072	1,97
GPU Sistemleri	2.160.900	25.930.800	8072	31,13
LET Sistemleri	513.750	6.165.000	8072	130,9

4.7 Maliyet Analizi

Bu bölümde tasarlanacak olan fotovoltaik panel santrali için maliyet analizi yapılmıştır. 10.03.2021 tarihli Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası kur verileri baz alınarak finansal kabuller gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.4'te 10.03.2021 tarihli kur verileri gösterilmiştir.

Tablo 4.4 10.03.2021 tarihli kur verileri

ABD doları ($)	Türk Lirası (₺)
1	7,48

Yapılan piyasa araştırması sonrası Tablo 4.5'te maliyet tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 4.5 Maliyet tablosu

Yapılacak İşlemler	**Maliyet ($)**	**Maliyet (₺)**
Fotovoltaik Panel Maliyeti (Toplam)	2.162.944 $	16.178.821,12 ₺
Inverter Maliyeti (Toplam)	360.000 $	2.692.800 ₺
Proje ve Saha Hazırlanması	105.000 $	785.400 ₺
Kablolama Maliyeti	650.000 $	4.862.000 ₺
Konstrüksiyon Maliyeti	750.000 $	5.610.000 ₺
İşçilik + Nakliyat Masrafı	650.000 $	4.862.000 ₺
Bakım-Onarım-Temizleme-Sigorta Maliyeti	125.000 $ / Yıllık	935.000 ₺ / Yıllık
Diğer (Merkezi İzleme Odası-Mühendislik Sistemleri-Scada Sistemleri vs.)	500.000 $	3.740.000 ₺
Toplam Değerlendirme	5.302.944 $	39.666.021,21 ₺

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Fotovoltaik enerji santralleri yenilenebilir enerji kaynaklarının temel yapı taşlarının başında gelecektir. Son 15 yıl baz alındığında fotovoltaik enerji sistemleri fosil yakıtlarının azalması ve çevresel problemlerin giderek artmasıyla beraber hızla büyümektedir. Fakat günümüzde güneş enerjisi vasıtasıyla elde edilen elektrik enerjisi dünyanın kullandığı enerjiye oranla çok küçük bir değere sahiptir. FV sistemlerinin kurulumu diğer yenilenebilir enerji sistemlerine oranla daha ucuz ve kolaydır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar terminal binası üzerine kurulması düşünülen FV enerji santralinin sağladığı faydaları göstermektedir.

Bu tez çalışmasına göre elde edilen ana bulgular şu şekildedir:

- PVsyst simülasyon programı dahilinde yıllık sıcaklık ortalaması 15.21°C olarak belirlenmiştir. Yıl içerisindeki en sıcak ayların Temmuz ve Ağustos olduğu göze çarpmaktadır.
- PVsyst simülasyon programı vasıtasıyla 39.421 m2 alana kurulacak olan FV santralinden yıllık 8072 MWh oranın da enerji üretilmesi tespit edilmiştir.
- PVsyst simülasyon programı ışığında yıllık performans verimi %82.84 olarak tespit edilmiştir.
- Nisan 2019 – Mart 2020 zaman süreci ele alındığında tasarlanan FV santralden elde edilen enerjinin İstanbul Havalimanı terminalinde tüketilen enerjiye %3.1 oranında katkı sağlayacağı tespit edilmiştir.
- Bir yıllık süreç baz alındığında, havalimanı çatısındaki FV enerji santralinden elde ettiğimiz enerjinin İstanbul Havalimanı'nda faaliyet gösteren bagaj sistemlerinde harcanan enerjiye ortalama olarak yılda %89.68 oranında fayda vereceği gözlemlenmiştir.

- Bir yıllık süreçte, FV santralden üretilen enerjinin, İstanbul Havalimanı'nda bulunan özel sistemlerden biri olan PCA sistemlerinin tükettiği enerjiye ortalama %1.97 oranında katkı sağlayacağı tespit edilmiştir.
- Nisan 2019 – Mart 2020 zaman dilimi ele alındığında tasarlanan FV santralden üretilen enerjinin, GPU sistemlerinin tükettiği enerjiye ortalama %31.13 oranında katkı sağlayacağı tespit edilmiştir. Elde edilen enerji, İstanbul Havalimanı'nda 147 adet GPU sisteminden 46 tanesinin tüketmiş olduğu enerji ihtiyacını karşılayacak kapasitedir.
- Bir yıllık zaman diliminde, FV santralinden üretilecek olan enerjinin İstanbul Havalimanı'nda LET sistemlerinin tükettiği enerji miktarından fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yapılan analiz neticesinde en yüksek verim sağlanan aylar olarak Temmuz ve Ağustos ayları olduğu tespit edilmiştir.
- Matematiksel olarak yaklaştığımızda FV santralden üretilen enerjinin İstanbul Havalimanı'nda ki LET sistemlerinin tamamının ve yaklaşık 11 adet GPU cihazının tükettiği enerjiyi rahatlıkla karşılayacağı görülmektedir.
- PVsyst simülasyon programı ışığında FV üretimin yaz aylarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Güneş enerjisi santralleri sera gazı emisyonunu azaltmaya yardımcı olduğu bilinmektedir.
- Havaalanlarındaki FV santrallerin güneş enerjisinin doğada kesinti yaşamaması bakımından şebekeye bağlı olarak çalışması gerekmektedir.
- FV santrallerin bakımı azdır.
- FV panellerin 25 yıla kadar kullanım ömrü bulunmaktadır ve geri kazanılabilir.
- Çatıya yerleştirilecek fotovoltaik paneller sayesinde kablolama metrajı düşecektir.
- Çatıya yerleştirilen fotovoltaik paneller ışınımı büyük ölçüde soğurur ve bir kısmını yansıtır adeta ışınım kalkanı gibi davranıp, yalıtım görevi göreceği için aynı zamanda ısı kayıplarını düşürerek soğutma sistemlerine de katkı

sağlayacaktır. Bu durum enerji tasarrufu açısından katkı sağlayacaktır. Çatıya yerleştirilen FV panellerin terminal binası soğutma sistemine olan katkısı ısı transferi yönünden başka bir çalışma ile incelenebilir.

5.2 Öneriler

Tez çalışması ile hedefe ulaşılmış olup, bu kapsamda yürütülen çalışmadan aşağıda ki öneriler çıkmıştır:

- Eldeki bilgilerin simülasyon programında analizini yapmadan önce uydu ve meteorolojik verilerin tekrardan değerlendirilmesi yapılmalıdır.
- Çevresel kirlenme durumu göz önüne alındığında daha fazla araştırma yapılmalıdır.
- FV santralden meydana gelecek olan enerjinin artacağını ispatlamak için detaylı fizibilite çalışmaları yapılmalıdır.
- İstanbul Havalimanı pistleri terminal binasına yeterince uzaktır ancak yine de ekonomik fizibilite ve güvenlik hususları göz önüne alındığında güneş panellerinin pilotlara parıltı endişesi vermemesi gerekmektedir. Bu sebepten FV panelleri bu husus göz önüne alınarak uygun yerlere yerleşimi yapılmalıdır.
- Havalimanının yakın bölgesinde bulunan geniş ve gölgesiz bölgeler FV santral projeleri için uygun yerlerdir. Ancak bu durumda kablolama metrajı ve maliyet artacaktır.
- Havaalanları geniş ve gölgesiz zorunlu bölgeleri bulunduğu için güneş enerjisi santralleri için ideal bölgelerdir.
- FV santral dizilerinde oluşan kayıplar azaltılmalıdır.
- FV modül verimliliği arttırılmalıdır.
- Işınıma bağlı olarak FV kayıplar azaltılmalıdır.
- Sıcaklığa bağlı olarak FV kayıplar azaltılmalıdır. Fotovoltaik termal sistemler düşünülebilir.
- İnvertör işletme kayıpları azaltılmalıdır.
- İnvertörde oluşan aşırı yüklenme kayıpları azaltılmalıdır.

- İstanbul Havalimanı terminal binası çatısı üzerine yerleştirmeyi tasarladığımız FV enerji santralinin panelleri için terminal binası çatı statik durumu kontrol edilmeli, gerekirse iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

[1] K. Sukumaran, S. ve Sudhakar, “Fully Solar Powered Airport: A case Studay of Cochin International Airport,Journal of Air Transport Management,” pp. 62: 176-188, 2017.

[2] M. G. Malvoni, M. Leggieri, A., Maggiotto, G., Congede, P.M. ve De Giorgi, “Long Term Performance, Losses and Efficiency Analysis of a 960 kWp Photovoltaic System in the Mediterranean Climate, Energy Cenversion and Management,” pp. 145: 169-185, 2017.

[3] B. Mewes, D., Monsalve, P., Gustafsson, I., Hasan, b., Palen, J., Nakakido, R., Capobianchi, E. ve Österlund, “Evaluation Methods for Photovoltaic,” 2017.

[4] M. Ahsan, S., Javed, K., Rana, A.S. ve Zeeshan, “Design and Cost Analysis of 1 kW Photovoltaic System Based on Actual Performance in Indıan Scenario, Perspectives in Science,” pp. 8: 642-644, 2016.

[5] Okello, D., Van Dyk, E.E.,ve Vorster, F.J., “Analysis of Measured and Simulated Performance Data of a 3.2 kWp Grid-connected PV System in Port Elizabeth, South Africa, Enetgy Procedia,” pp. 100: 10–15, 2015.

[6] M. Mona Al, A. ve Emziane, “Performance Analysis of Rooftop PV Systems in Abu Dhabi, Energy Procedia,” pp. 42: 689-697, 2013.

[7] K. Karki, P., Adhikary, B. ve Sherpa, “Comparative Study of Grid-tied Photovoltaic (PV) System in Kathmandu and Berlin Using PVsyst ”, 2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), 24-27 September 2012, Kathmandu-Nepal.,” 2012.

[8] Erbaykal E., “Disaggregate Energy Consumption and Economic Growth: Evidence From Turkey,” 2008.

[9] https://www.myenerjisolar.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-ve-ozellikleri-nelerdir/, 13.03.2021.

[10] http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/alt_ener_kay_ders_notlari .pdf, 13.03.2021.

[11] http://oceanservice.noaa.gov/education/pd/climate/factsheets/whatgreenhouse. pdf, 13.03.2021.

[12] IEA, “Key World Energy Statistics, Paris,.Fransa,” 2009.

[13] http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a8c16d2696b35f9_ek.pdf, 13.03.2021.

[14] A. Kılıç, A. ve Öztürk, *Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı.* İstanbul: Kipaş Dağıtımcılık, 1983.

[15] V. G. Varınca K., “Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri,” 2006.

[16] http://www.retscreen.net/download.php/ang/120/0/Textbook_SWH.pdf, 13.03.2021.

[17] A. Makarova, “Study, Design and Performance Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic System, Bachelor Thesis, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Degree Programme in Environmental Engineering, Vaasa.,” 2017.

[18] http://www.solarabcs.org/cellprocurement/PV_cell.pdf, 15.03.2021.

[19] http://photovoltaics.sandia.gov/docs/PVFEffIntroduction.htm, 17.03.2021.

[20] Özgöçmen A., “Güneş pilleri kullanarak elektrik üretimi,” 2007.

[21] http://www.britannica.com/EBchecked/topic/58017/Antoine-Cesar-Becquerel, 20.03.2021.

[22] http://asia.sharp-solar.com/history/index.html?redirect=on&recountry=tr, 20.03.2021.

[23] Karamanav M., “Güneş enerjisi ve güneş pilleri,” 2007.

[24] http://www.solarbuzz.com/sbqdata.htm, 21.03.2021.

[25] http://www.iea-pvps.org/pv/materials.htm,” [Online]. Available: http://www.iea-pvps.org/pv/materials.htm, 21.03.2021.

[26] J. F., Planning and Installing Photovoltaic Systems, A guide for installers, architects and engineers second edition, Londra, İngiltere. Londra İngiltere, 2008.

[27] “Training Notes,” İstanbul, 2008. [Online]. Available: Training Notes.

[28] http://photochemistry.epfl.ch/EDEY/PV_materials.pdf, 22.03.2021.

[29] http://www2.dupont.com/Products/tr_TR/Tedlar_PVF.html, 23.03.2021.

[30] “PV Üretim Hattı Bilgilendirme Toplantısı,” İstanbul, 2010.

[31] http://www.solarpraxis.de/en/, 24.03.2021.

[32] http://www.pvresources.com/en/history.php, 24.03.2021.

[33] http://www.solarbuzz.com/Technologies.htm, 24.03.2021.

[34] Solarpraxis, “Photovoltaics fot Professional,” 2009.

[35] http://www.eng.tau.ac.il/, 25.03.2021.

[36] N. S., “PV Perspectives, technologies, applications and market prospects, IEA-PVPS,” Zürih, İsviçre, 2009.

[37] R. Y. Karpov V., “Physical modes of thin film PV degradation Department of Physics and Astronomy, The University of Toledo,” 2007.

[38] http://www.firstsolar.com/Images/module_series2_v160w.jpg,

26.03.2021.

[39] D. R., “Organic Solar Cells Organic Electronics Course Presentation International University Bremen,” 2006.

[40] http://solar.sanyo.com/hit.html, 26.03.2021.

[41] http://www.sigmaaldrich.com/etc/medabil/docs/Aldrich/Brochure, 26.03.2021.

[42] A. Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, “Elektrik enerjisi teknolojileri ve enerji verimliliği,” İstanbul, 2013, p. 372.

[43] http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_elecricity/basics/how_pv_system_works.htm, 28.03.2021.

[44] Sandia National Laboratories, *Stand-Alone Photovoltaic Systems A Handbook of Recommended Design Practies*. ABD, 1995.

[45] E. Franklin, “No Title,” The univer., Arizona, 2017, p. 8.

[46] http://www.e-education.psu.edu/ae868/node/872, 28.03.2021.

[47] “Solar Energy System Design, Operation and Installation.”

[48] “Design of an Off-grid Photovoltaic System.”

[49] Url-15, https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=61546&prod Name =GT30J341, 29.03.2021.

[50] S. Chapman, *Elektrik Makinalarının Temelleri. Çağlayan Kitapevi (Çeviri: Akın, E., Orhan, A.)*. 2013.

[51] Url-16, https://libraries.mit.edu/collections/vail-collection/topics/electricity/thevoltaic- pile/, 28.03.2021.

[52] R. Spitzer, C., *The Avionics Handbook. CRC Press*. 2001.

[53] Grs-Batterien., “The World of Batteries- Function, Systems, Disposal. Hamburg.,” 2007.

[54] http://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/1-weather-deisng-inputs/irradiance-andinsolation-2/, 29.03.2021.

[55] “National Renewable Energy Laboratory,” 2012.

[56] http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/atmospheric-effects, 30.03.2021.

[57] National Renewable Energy Laboratory, *Best Practies Handbook for the collection and use of solar resource data for Solar Energy*, Second. 2017.

[58] D. Chaudhary, A., Gupta, S., Pande, “Effects of parital shading on characteristic of PV Panel Using Simscape,” in *5(10), 86*, Internatio., 2015.

[59] F. Ekpenyong, E., Anyasi, “Efect of shading on phovoltiac Cell IOSR Journal Of Electrical And Electronics Engineering,” 2013, p. 8(2),.

[60] S. Treado, “The Effect of Electric Load Profiles on the Performance of Off-Grid Residential Hybrid Renewable Energy Sysytems,” 2015, p. 8(10).

[61] R. Zafarani, “Assessing the Utility of Weather Data for Phovoltaic Power Prediction,” 2018.

[62] A. Atmaca, İ., Yiğit, “Güneş Enerjisi Fotovoltaik Sistemler,” 2018, p. 263.

[63] “The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team.,” 2011.

[64] “International Energy Agency,” 2018.

[65] N. Dubey, S., Jadhav, *Socio-Economic and environmental ımpacts of silicon based Photovoltaic Technologies*. 2013.

[66] http://www.iea-pvps.org/trends/download/index.htm, 31.03.2021.

[67] http://www.solarbuzz.com/Marketbuzz2010-intro.htm, 31.03.2021.

[68] http://www.solarbuzz.com/marketbuzz2010-figures.htm, 31.03.2021.

[69] http://www.pvresources.com/download/AnnualReview_FreeEdition.pdf, 31.03.2021.

[70] http://www.pvresources.com/en/top50pv.php, 31.03.2021.

[71] http://www.superillu.de/aktuell/images/16117753_220a557f83.jpg, 31.03.2021.

[72] http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/EUGlob_ opta_presentation.png, 31.03.2021.

[73] http://repa.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx, 31.03.2021.

[74] http://rega.basbakanlik.gov.tr/main.aspx?home=http://rega.basbakanlik.gov.t r/eskiler/2005/05/20050518.htm&main=http://rega.basbakanlik.gov.tr/ eskiler/2005/ 05/20050518.htm, 31.03.2021.

[75] http://www.ieapvps.org/ar/ar09/Final%20AR%20for%20Web%202009/ turkey %20AR%2009.pdf, 31.03.2021.

[76] http://www.yildiz.edu.tr/~tanriov/RG5.pdf, 31.03.2021.

[77] https://www.igairport.com/tr/iga-hakkinda/biz-kimiz, 31.03.2021.

[78] https://www.businessistanbul.com/, 01.04.2021.

[79] https://www.havaforum.com/istanbul-iklimi-ozellikleri/, 01.04.2021.

[80] https://www.iklim.istanbul/iklim/, 01.04.2021.

[81] https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ISTANBUL, 01.04.2021.

[82] http://www.emo.org.tr/ekler/d4112baba0e8563_ek.pdf, 01.04.2021.

[83] http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/ISTANBUL-REPA.pdf, 01.04.2021.

[84] B. Mermoud, A. ve Wittmer, “PVSyst User’s Manual, https://vdocuments.mx/pvsyst-tutorials.html.” .

[85] http://files.pvsyst.com/help/, 01.04.2021.

[86] https://itwgse.com/wp-content/uploads/old-files/ITW_GSE_AXA_3400_PCA_brochure_UK_130_210_2016.pdf, 01.04.2021.

[87] http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yard%C4%B1mc%C4%B1%20G%C3%BC%C3%A7%20%C3%9Cnitesi%20%28apu%29.pdf, 01.04.2021.

A

TELASUN SOLAR (SUZHOU) TP672M(H)

TALESUN

BISTAR

TP6H72M
TP6H72M(H) **144 half-cell**

390 - 410W

half-cut mono perc



KEY FEATURES

Half-cut cell technology
New circuit design, lower internal current, lower Rs loss

Significantly lower the risk of hot spot
Special circuit design with much lower hot spot temperature

Lower LCOE
2% more power generation, lower LCOE

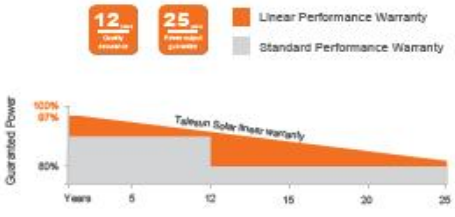
Excellent Anti-PID performance
2 times of industry standard Anti-PID test by TUV SUD

IP68 junction box
High waterproof level

SYSTEM & PRODUCT CERTIFICATES

- IEC 61215 / IEC 61730 / UL 1703
- ISO 9001: 2015 Quality Management System
- ISO 14001: 2015 Environment Management System
- ISO 45001: 2018 Occupational Health and Safety Management Systems

PERFORMANCE WARRANTY



marketing.hq@talesun.com

TALESUN

ELECTRICAL PARAMETERS

Performance at STC (Power Tolerance 0 ~ +3%)

Maximum Power (Pmax/W)	390	395	400	405	410
Operating Voltage (Vmpp/V)	40.0	40.3	40.5	40.7	40.9
Operating Current (Impp/A)	9.70	9.81	9.88	9.96	10.03
Open-Circuit Voltage (Voc/V)	48.7	49.0	49.2	49.3	49.5
Short-Circuit Current (Isc/A)	10.35	10.41	10.48	10.56	10.63
Module Efficiency ηm(%)	19.4	19.6	19.9	20.1	20.4

Performance at NMOT

Maximum Power (Pmax/W)	290	294	298	302	305
Operating Voltage (Vmpp/V)	37.1	37.4	37.6	37.7	37.9
Operating Current (Impp/A)	7.93	7.88	7.94	8.01	8.07
Open-Circuit Voltage (Voc/V)	45.4	45.6	45.8	45.9	46.1
Short-Circuit Current (Isc/A)	8.35	8.40	8.46	8.52	8.58

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 NMOT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Air Mass AM1.5, Wind Speed 1m/s

MECHANICAL SPECIFICATION

Cell Type	Monocrystalline
Cell Dimensions	158.75*158.75mm
Cell Arrangement	144 (6*24)
Weight	22.5kg (49.06lbs)
Module Dimensions	2008*1002*35mm (79.06*39.45*1.38inches)
Cable Length	Portrait 300mm/Landscape 1200mm/Customized
Cable Cross Section Size	TUV: 4mm² (0.006inches²)/UL: 12AWG
Front Glass	3.2mm (0.13inches) AR Coating Tempered Glass
No. of Bypass Diodes	3/6
Packing Configuration (1)	31pcs/carton, 682pcs/40hq
Packing Configuration (2)	31+4pcs/c arton, 726pcs/40hq
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68

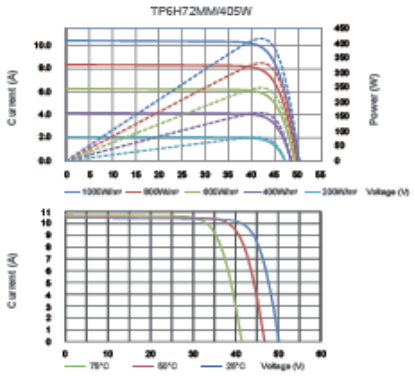
OPERATING CONDITIONS

Maximun System Voltage	1000V/1500V/DC(IEC)
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Maximun Series Fuse	20A
Static Loading	Snow Loading: 5400Pa/ Wind Loading: 2400Pa
Conductivity at Ground	≤0.1Ω
Safety Class	II
Resistance	≥100MΩ
Connector	T01/LJQ-3-CSY/MC4/EV02

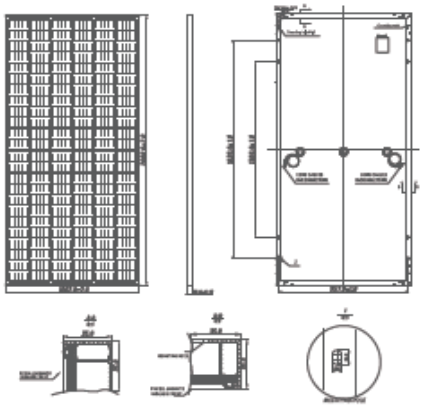
TEMPERATURE COEFFICIENT

Temperature Coefficient Pmax	-0.36%/°C
Temperature Coefficient Voc	-0.26%/°C
Temperature Coefficient Isc	+0.043%/°C
NMOT	43±2°C

I-V CURVE



TECHNICAL DRAWINGS



3030901EN The specifications and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to ongoing innovation, R&D enhancement, Suzhou Talesun Solar Technologies Co., Ltd. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

TALESUN

B

SIEMENS SİNACON PV2000 (WSTECH APS-ES-SERIES)

WSTECH

WSTECH is a Wind & Sun Technologies and Siemens Joint Venture

APS-ES-Series 1500 V_{DC}

Outdoor Energy Storage hybrid inverters, with output power range from 600 kVA up to 5000 kVA.

The APS-Series 1500 V_{DC} outdoor central inverter is the most cost-effective solution for large-scale Energy Storage installations.

The APS is a turnkey solution made for the most demanding environments.

- **Ready for 1500 V_{DC} systems –** Breakthrough technology for the newest industry standards.
- **IP65 outdoor cabinet –** Hermetically sealed against heavy dust, sand and rain.
- **Two redundant cooling systems** ensuring energy production up to 60 °C ambient.
- **Low maintenance heat exchangers –** Easy to clean air-to-air heat exchanger with no filter mats.
- Internal maintenance free **patented air dehumidifier** to avoid condensation.
- **AC circuit breaker** built-in.
- **Optional fuse-protected DC inputs.**
- **Modbus TCP or optional Real-Time Ethernet** communication interfaces.
- **Optional and configurable hybrid system** for storage applications and STATCOM function in the same inverter.

wstech.com

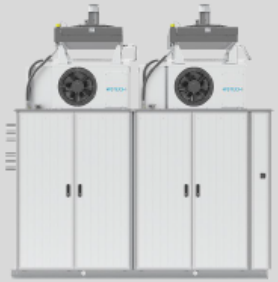
MADE IN GERMANY

1/39

APS-ES-Series 1500 V_{DC}

600 ... 5000 kVA

DATASHEET - INTRODUCTION

Models	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5
Cabinet options				
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4
Nominal grid voltage ($U_{AC,\ nom}$) options	330 V / 360 V / 400 V / 440 V / 480 V / 520 V / 550 V / 575 V / 600 V / 630 V / 660 V / 690 V			
Max. AC apparent power (S_{max}) options	From 600 kVA up to 2500 kVA		From 1800 kVA up to 5000 kVA	
Max. DC voltage ($U_{DC,\ max}$)	1500 V			

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 V_{AC} 600 … 2400 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS600-ES-1-330-5	APS1200-ES-2-330-5	APS1800-ES-3-330-5	APS2400-ES-4-330-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	600 kVA	1200 kVA	1800 kVA	2400 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	600 kW	1200 kW	1800 kW	2400 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	330 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	100 kVA	200 kVA	300 kVA	400 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 V_{AC} 600 … 2400 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS600-ES-1-330-5	APS1200-ES-2-330-5	APS1800-ES-3-330-5	APS2400-ES-4-330-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	483 V / 531 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	610 kW	1220 kW	1829 kW	2439 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 360 V_{AC} 650 … 2600 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS650-ES-1-360-5	APS1300-ES-2-360-5	APS1950-ES-3-360-5	APS2600-ES-4-360-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	650 kVA	1300 kVA	1950 kVA	2600 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	650 kW	1300 kW	1950 kW	2600 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	360 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	108 kVA	217 kVA	325 kVA	433 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 360 V_{AC} 650 … 2600 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS650-ES-1-360-5	APS1300-ES-2-360-5	APS1950-ES-3-360-5	APS2600-ES-4-360-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	527 V / 580 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	661 kW	1321 kW	1982 kW	2642 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 400 V_{AC} 725 … 2900 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS725-ES-1-400-5	APS1450-ES-2-400-5	APS2175-ES-3-400-5	APS2900-ES-4-400-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	725 kVA	1450 kVA	2175 kVA	2900 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	725 kW	1450 kW	2175 kW	2900 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	400 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	121 kVA	242 kVA	363 kVA	483 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 400 V_{AC} 725 … 2900 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS725-ES-1-400-5	APS1450-ES-2-400-5	APS2175-ES-3-400-5	APS2900-ES-4-400-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	585 V / 644 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	737 kW	1474 kW	2210 kW	2947 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 440 V_{AC} 800 … 3200 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS800-ES-1-440-5	APS1600-ES-2-440-5	APS2400-ES-3-440-5	APS3200-ES-4-440-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	800 kVA	1600 kVA	2400 kVA	3200 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	800 kW	1600 kW	2400 kW	3200 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	440 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	133 kVA	267 kVA	400 kVA	533 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 440 V_{AC} 800 … 3200 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS800-ES-1-440-5	APS1600-ES-2-440-5	APS2400-ES-3-440-5	APS3200-ES-4-440-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	643 V / 707 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	813 kW	1626 kW	2439 kW	3252 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 480 V_{AC} 870 … 3480 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS870-ES-1-480-5	APS1740-ES-2-480-5	APS2610-ES-3-480-5	APS3480-ES-4-480-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	870 kVA	1740 kVA	2610 kVA	3480 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	870 kW	1740 kW	2610 kW	3480 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	480 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max\ (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max\ (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC\ (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	145 kVA	290 kVA	435 kVA	580 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 480 V_{AC} 870 … 3480 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS870-ES-1-480-5	APS1740-ES-2-480-5	APS2610-ES-3-480-5	APS3480-ES-4-480-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	702 V / 772 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	884 kW	1768 kW	2652 kW	3537 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 98.0 | 97.9) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	(97.6 | 98.1 | 98.1 | 97.9 | 97.8) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 520 V_{AC} 945 … 3780 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS945-ES-1-520-5	APS1890-ES-2-520-5	APS2835-ES-3-520-5	APS3780-ES-4-520-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	945 kVA	1890 kVA	2835 kVA	3780 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	945 kW	1890 kW	2835 kW	3780 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	520 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	158 kVA	315 kVA	473 kVA	630 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 520 V_{AC} 945 … 3780 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS945-ES-1-520-5	APS1890-ES-2-520-5	APS2835-ES-3-520-5	APS3780-ES-4-520-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	760 V / 836 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	960 kW	1921 kW	2881 kW	3841 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 550 V_{AC} 1000 … 4000 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS1000-ES-1-550-5	APS2000-ES-2-550-5	APS3000-ES-3-550-5	APS4000-ES-4-550-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	1000 kVA	2000 kVA	3000 kVA	4000 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	1000 kW	2000 kW	3000 kW	4000 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	550 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	167 kVA	333 kVA	500 kVA	667 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 550 V_{AC} 1000 … 4000 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS1000-ES-1-550-5	APS2000-ES-2-550-5	APS3000-ES-3-550-5	APS4000-ES-4-550-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	804 V / 884 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	1016 kW	2033 kW	3049 kW	4065 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.6 | 98.4) %	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.6 | 98.4) %	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.6 | 98.4) %	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.6 | 98.4) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.5 | 98.3) %	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.5 | 98.3) %	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.5 | 98.3) %	(98.3 | 98.7 | 98.7 | 98.5 | 98.3) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
EU efficiency	98.6%				Including all inverter losses
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Maximum auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 575 V_{AC} 1045 … 4180 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS1045-ES-1-575-5	APS2090-ES-2-575-5	APS3135-ES-3-575-5	APS4180-ES-4-575-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	1045 kVA	2090 kVA	3135 kVA	4180 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	1045 kW	2090 kW	3135 kW	4180 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	575 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	174 kVA	348 kVA	523 kVA	697 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 575 V_{AC} 1045 … 4180 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS1045-ES-1-575-5	APS2090-ES-2-575-5	APS3135-ES-3-575-5	APS4180-ES-4-575-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	840 V / 924 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	1062 kW	2124 kW	3186 kW	4248 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.5) %	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.5) %	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.5) %	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.5) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.5 | 98.4) %	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.5 | 98.4) %	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.5 | 98.4) %	(98.3 | 98.8 | 98.8 | 98.5 | 98.4) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
EU efficiency	98.7%				Including all inverter losses
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Maximum auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 600 V_{AC} 1090 … 4360 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS1090-ES-1-600-5	APS2180-ES-2-600-5	APS3270-ES-3-600-5	APS4360-ES-4-600-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	1090 kVA	2180 kVA	3270 kVA	4360 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	1090 kW	2180 kW	3270 kW	4360 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	600 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	182 kVA	363 kVA	545 kVA	727 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 600 V_{AC} 1090 … 4360 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS1090-ES-1-600-5	APS2180-ES-2-600-5	APS3270-ES-3-600-5	APS4360-ES-4-600-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	877 V / 965 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	1108 kW	2215 kW	3323 kW	4431 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(98.4 | 98.9 | 98.8 | 98.7 | 98.5) %	(98.4 | 98.9 | 98.8 | 98.7 | 98.5) %	(98.4 | 98.9 | 98.8 | 98.7 | 98.5) %	(98.4 | 98.9 | 98.8 | 98.7 | 98.5) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(98.4 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.4) %	(98.4 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.4) %	(98.4 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.4) %	(98.4 | 98.8 | 98.8 | 98.6 | 98.4) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
EU efficiency	98.7%				Including all inverter losses
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 630 V_{AC} 1140 … 4560 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS1140-ES-1-630-5	APS2280-ES-2-630-5	APS3420-ES-3-630-5	APS4560-ES-4-630-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	1140 kVA	2280 kVA	3420 kVA	4560 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	1140 kW	2280 kW	3420 kW	4560 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	630 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	190 kVA	380 kVA	570 kVA	760 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

111

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 630 V_{AC} 1140 … 4560 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS1140-ES-1-630-5	APS2280-ES-2-630-5	APS3420-ES-3-630-5	APS4560-ES-4-630-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1000 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	920 V / 1012 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	1159 kW	2317 kW	3476 kW	4634 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	(98.4 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
EU efficiency	98.8%				Including all inverter losses
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 660 V_{AC} 1200 … 4800 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS1200-ES-1-660-5	APS2400-ES-2-660-5	APS3600-ES-3-660-5	APS4800-ES-4-660-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	1200 kVA	2400 kVA	3600 kVA	4800 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	1200 kW	2400 kW	3600 kW	4800 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	660 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I'_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	200 kVA	400 kVA	600 kVA	800 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 660 V_{AC} 1200 … 4800 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS1200-ES-1-660-5	APS2400-ES-2-660-5	APS3600-ES-3-660-5	APS4800-ES-4-660-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1100 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	964 V / 1060 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	1220 kW	2439 kW	3659 kW	4878 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.8 | 98.6) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	(98.5 | 98.9 | 98.9 | 98.7 | 98.5) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
EU efficiency	98.8%				Including all inverter losses
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 690 V_{AC} 1250 … 5000 kVA

(I) TECHNICAL DATA

	APS1250-ES-1-690-5	APS2500-ES-2-690-5	APS3750-ES-3-690-5	APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
GRID SIDE					
Max. AC apparent power (S_{max})	1250 kVA	2500 kVA	3750 kVA	5000 kVA	At nominal grid voltage
Nominal AC power ($P_{AC, nom}$)	1250 kW	2500 kW	3750 kW	5000 kW	At (cos ϕ) = 1.0
Number of Apparent Power Units (APU)	1	2	3	4	
Number of independent grids	1		2		
Nominal grid voltage ($U_{AC, nom}$)	690 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC, nom}$				
Nominal grid frequency (f_{nom})	50 Hz				60 Hz option available
Network configuration	IT system				
Max. AC current per APU ($I_{AC, max (APU)}$)	1050 A				
Max. AC current – APS ($I_{AC, max (APS)}$)	1050 A	2 x 1050 A	3 x 1050 A	4 x 1050 A	
Max. short circuit level ($I_{AC, SC (APS)}$)	42 kA				
Short circuit withstand capability (I_{CW})	42 kA, 100ms				
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I''_K)	1060 A	2 x 1060 A	3 x 1060 A	4 x 1060 A	Max. RMS value
Short circuit contribution (I_P)	1560 A	2 x 1560 A	3 x 1560 A	4 x 1560 A	Max. Peak value
Max. load capability	100%				At Operating mode Island grid
Time span overload	0.0 s				At Operating mode Island grid
Asymmetrical load between the phases	208 kVA	417 kVA	625 kVA	833 kVA	At Operating mode Island grid
Power factor (cos ϕ)	0 ind … 1 … 0 cap				Adjustable
AC current distortion (THD)	< 3%				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 690 V_{AC} 1250 … 5000 kVA

(II) TECHNICAL DATA

	APS1250-ES-1-690-5	APS2500-ES-2-690-5	APS3750-ES-3-690-5	APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
DC SIDE					
Independent DC sources	1		2		Depending on configuration
Nominal DC voltage ($U_{DC, nom}$)	1100 V				
Max. DC voltage ($U_{DC, max}$)	1500 V				Depending on application
Min. DC voltage ($U_{DC, min}$)	1008 V / 1109 V				At 100% / 110% nominal grid voltage (*)
Max. DC current ($I_{DC, max}$)	1220 A	2 x 1220 A	3 x 1220 A	4 x 1220 A	
Max. short circuit level ($I_{DC, SC (APS)}$)	6.4 kA / 30 kA / 140 kA (max. 0.5 ms)				Without / With DC fuses / External protection required
Nominal DC power ($P_{DC, nom}$)	1270 kW	2541 kW	3811 kW	5081 kW	
Max. capacity against earthing	2000 µF				For each IT system
GENERAL					
Control strategy	CC-CV				
Efficiency (coupled APUs)	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.8 | 98.7) %	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.8 | 98.7) %	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.8 | 98.7) %	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.8 | 98.7) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
Efficiency (separated APUs)	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.7 | 98.6) %	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.7 | 98.6) %	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.7 | 98.6) %	(98.5 | 99.0 | 98.9 | 98.7 | 98.6) %	At (10 | 30 | 50 | 75 | 100) % power, at $U_{DC, nom}$
EU efficiency	98.8%				Including all inverter losses
Feed-in starting at ($P_{DC, th}$)	200 W	200 W	400 W	400 W	
Standby losses	80 W	90 W	140 W	150 W	
Max. auxiliary power	< 3500 W		< 7000 W		

(*) for further information please have a look
Pac(Udc)➔ Datasheet page 36 ff
Sac(Udc)➔ Additional technical data document

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(III) TECHNICAL DATA

	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
AUXILIARY SUPPLY (EXTERNAL)					
Nominal grid voltage ($U_{AC,\ nom\ (aux)}$)	400 V				3~, phase to phase
Grid voltage range	+/- 10% of $U_{AC,\ nom\ (aux)}$				
Nominal grid frequency ($f_{nom\ (aux)}$)	50 Hz				
Network configuration	TN-S system				
Max. AC current ($I_{AC,\ (aux)}$)	3 x C13A				
Max. short circuit level ($I_{AC,\ SC\ (APS)}$)	6 kA				
Internal buffer time	5.0 s				Only for control supply available

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(I) GENERAL DATA

	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
PARAMETER					
Ambient working temperature	From -10°C up to 60°C (From 14°F up to 140°F)				Others on request
Ambient storage temperature	From -25°C up to 40°C (From -13°F up to 104°F)				
Storage relative humidity	< 80%				Non-condensing
Maximum altitude	1500 m above sea level				Without power derating
Cooling type	Forced air and water cooling				
Degree of protection	IP65				Only when AC connection cover is installed with IP54
Dimensions (L × W × H)	2120 × 1170 × 3760		3690 × 1170 × 3760		Dimensions in millimeters
Weight	< 1525 kg	< 2150 kg	< 3275 kg	< 3900 kg	
Shelter surface	Painted				
Corrosivity category	C4-high				Others on request
Colour	RAL7035				Others on request
Snow load	1,5 kN/m²				
Max. permissible wind speed	70 m/s				

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(II) GENERAL DATA					
	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
EMC and security standards	IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-4 + AMD1, IEC 62109-1, IEC 62109-2.				
CE-conformity	Complies				
Grid connection standards	VDE-AR-N-4110 (Germany), VDE-AR-N-4120 (Germany), Arrêté du 9 juin 2020 (France),C10/11:2019, Synergrid C10/26 homologation (Belgium),CEI 0-16: 2019-04, Allegato A.68 (Italy), Norma Técnica de Supervisión UE 2016/631. Revisión 1.0 (Spain), Portaria n.º73/2020 (Portugal), ENA-EREC G99 (UK), EirGrid Grid Code (Ireland), Vietnam Grid Code, AS 4777-2 (Australia), ABNT NBR 16149/16150 + NDU-015 (Brazil), IEC 62116				
Efficiency standard	IEC 61683				
UL / CSA standards	UL 1741 second edition Rev. September 16, 2020 with IEEE1547:2018, IEEE1547.1: 2020 and SA (SA8, SA9, SA10, SA11, SA12, SA13, SA14, SA15. SA17 and SA18 with SRD Electric Rule No 21 phase 2 and 3 and Hawaiian Rule 14H SRD V1.1) and NFPA70. CSA C22.2 No. 107.1-16 (Reaffirmed 2016) Compliance with CEC Guideline for use of the Performance Test Protocol for Evaluating Inverters Used in Grid-Connected Photovoltaic Systems				To be ordered as an option
Seismic standards	IEEE 693-2005, EN60068-3-3:1993, EN 60068-2-6:2008, EN 60068-2-47:2005				To be ordered as an option

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(I) FEATURES & OPTIONS – APS - ENERGY STORAGE APPLICATION

	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
IP65* outdoor cabinet made for desert installations	F				* except exterior cooling unit
Insulation monitor	F				
Monitored surge arresters on AC side	F				
Status display on the shelter	O				
Air dehumidifier inside the shelter	F				
External heat exchanger for dusty/moist ambient and extreme climatic conditions	F				
Low-Voltage Ride Through (LVRT) handling	F				
Modbus TCP communication interface	F				
Powerlink communication interface (Real-time Ethernet)	O				
Internal data logger	F				
Service access via VNC	F				
FTP server for log log data	F				

(O) – Optional (F) – Feature

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(II) FEATURES & OPTIONS – APS - ENERGY STORAGE APPLICATION

	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	**COMMENTS**
Network Interface	F *)				Network socket
	O *)				Fiber optic multi-mode
	O *)				Fiber optic single-mode
Heating	O				Limited to 40 degrees
Alternative grid voltage range (+/- xx %)	O				Only with external control voltage supply
Grid frequency 60 Hz	O				
Power limitation [kVA]	O				
Area for customer's installations (H x W X D) 400 x 500 x 200 mm	F				Including: 1-phase, 230 V, TN, 1000 VA, network connection
UL certified	O				
Seismic IEEE 693	O				
Island grid functionality	O				Refer to P(Q) diagram for $U_{DC, min}$ requirement

(O) – Optional (F) – Feature (-) – not available (*)) – Only one option possible

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(III) FEATURES & OPTIONS – APS - ENERGY STORAGE APPLICATION

	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	**COMMENTS**
Additional auxiliary output	-		F *)		None
	-		O *)		<u>No transformer:</u> fuse-protected output at APU 3/4 with 63 A (3~, PE)
	-		O *)		<u>With transformer:</u> with internal 8 kVA transformer (3~, N, PE)
AC short circuit level 50 kA	-				
MV transformer cooling interface	O				
Additional overvoltage protection	F				None (only at output of the internal auxiliary transformer
	O				At control interface
	O				At heating interface
Water connection	F				Hose connection
	O				Non-spill connection

(O) – Optional (F) – Feature (-) – not available (*)) – Only one option possible

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(I) FEATURES & OPTIONS – APU - ENERGY STORAGE APPLICATION

	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
DC precharge circuit	F				
AC precharge circuit	O				
Operating mode: CC-CV	F				
Operating mode: STATCOM	O				
Operating mode: Island grid	O				
Fuse-protected DC Inputs NH 3L	O (1…6) / O (1…4)				coupled / separated (incl. Common Mode Filter) APUs
DC-current monitoring	O				
DC disconnector	F				

(O) – Optional (F) – Feature

123

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

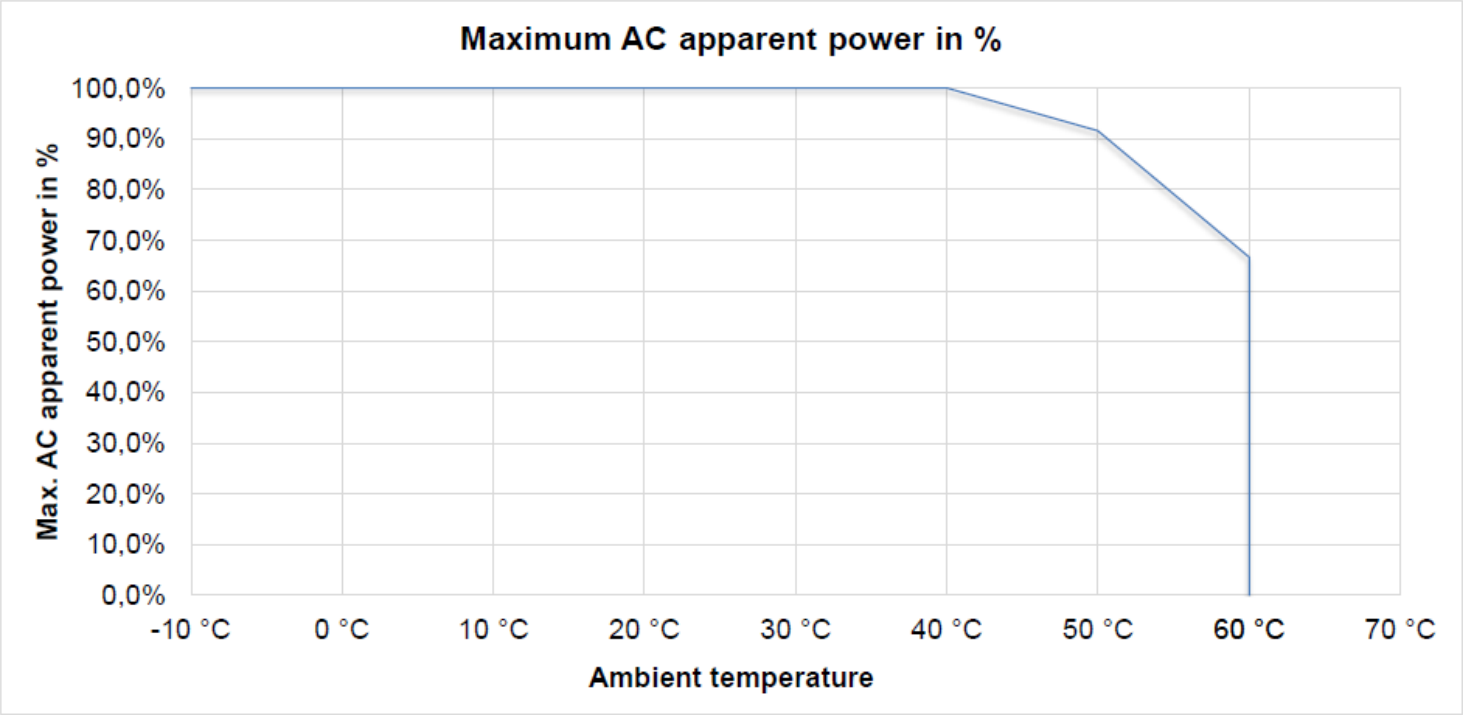
(II) FEATURES & OPTIONS – APU - ENERGY STORAGE APPLICATION

	APS600-ES-1-330-5 APS650-ES-1-360-5 APS725-ES-1-400-5 APS800-ES-1-440-5 APS870-ES-1-480-5 APS945-ES-1-520-5 APS1000-ES-1-550-5 APS1045-ES-1-575-5 APS1090-ES-1-600-5 APS1140-ES-1-630-5 APS1200-ES-1-660-5 APS1250-ES-1-690-5	APS1200-ES-2-330-5 APS1300-ES-2-360-5 APS1450-ES-2-400-5 APS1600-ES-2-440-5 APS1740-ES-2-480-5 APS1890-ES-2-520-5 APS2000-ES-2-550-5 APS2090-ES-2-575-5 APS2180-ES-2-600-5 APS2280-ES-2-630-5 APS2400-ES-2-660-5 APS2500-ES-2-690-5	APS1800-ES-3-330-5 APS1950-ES-3-360-5 APS2175-ES-3-400-5 APS2400-ES-3-440-5 APS2610-ES-3-480-5 APS2835-ES-3-520-5 APS3000-ES-3-550-5 APS3135-ES-3-575-5 APS3270-ES-3-600-5 APS3420-ES-3-630-5 APS3600-ES-3-660-5 APS3750-ES-3-690-5	APS2400-ES-4-330-5 APS2600-ES-4-360-5 APS2900-ES-4-400-5 APS3200-ES-4-440-5 APS3480-ES-4-480-5 APS3780-ES-4-520-5 APS4000-ES-4-550-5 APS4180-ES-4-575-5 APS4360-ES-4-600-5 APS4560-ES-4-630-5 APS4800-ES-4-660-5 APS5000-ES-4-690-5	COMMENTS
Monitored surge arresters on DC side	F				
AC circuit-breaker	F				
DC connection	F				APU pairs coupled on DC
	O				APU pairs separated on DC
Island grid preparation	O				
Insulation monitoring	O *)				None
	F *)				Internal
	O *)				External
	O *)				Positive grounding; Short-circuit level: 5 kA
	O *)				Negative grounding; Short-circuit level: 5 kA

(O) – Optional (F) – Feature (*)) – Only one option possible

APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

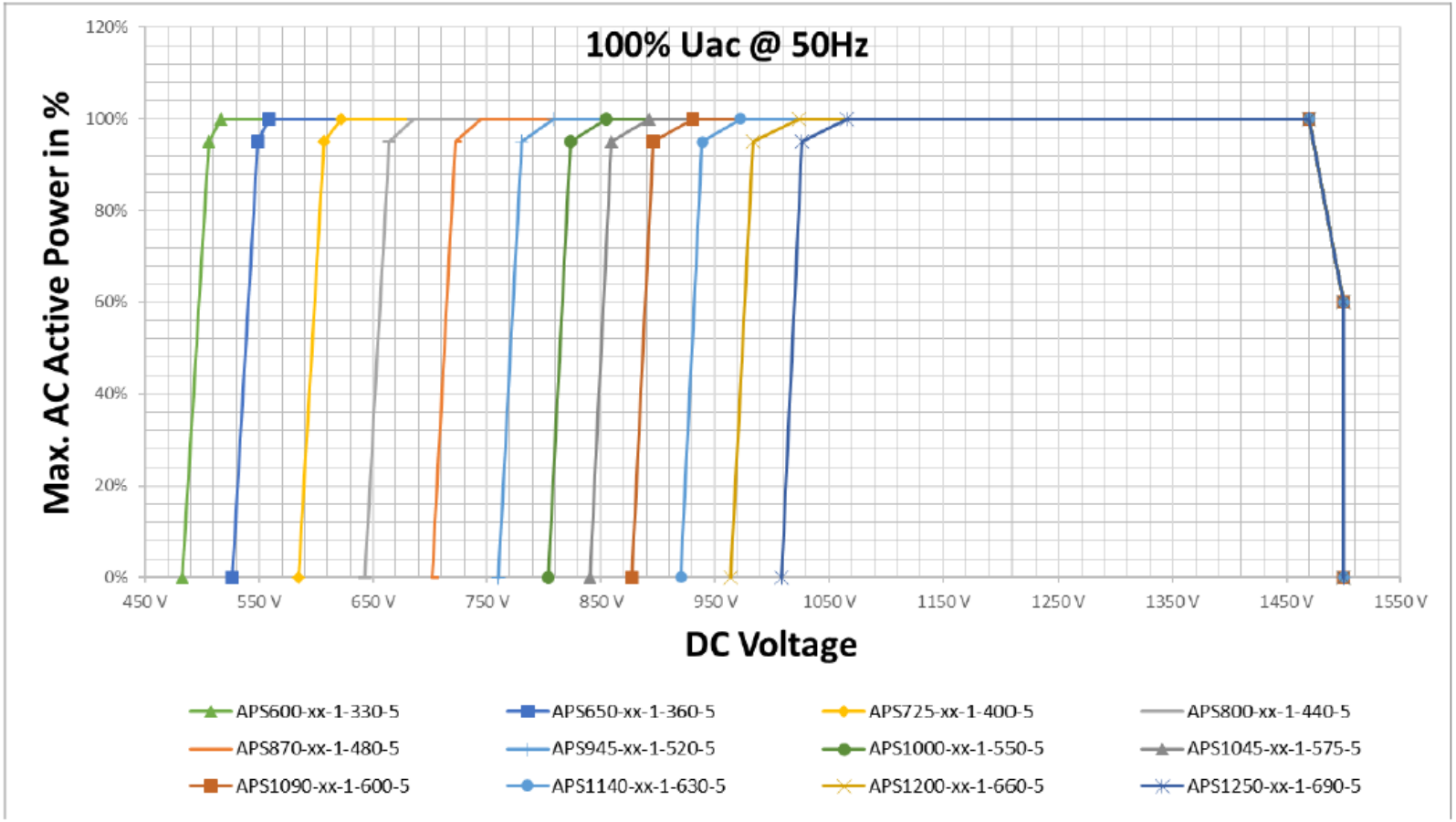
POWER DERATING DEPENDING ON AMBIENT TEMPERATURE



125

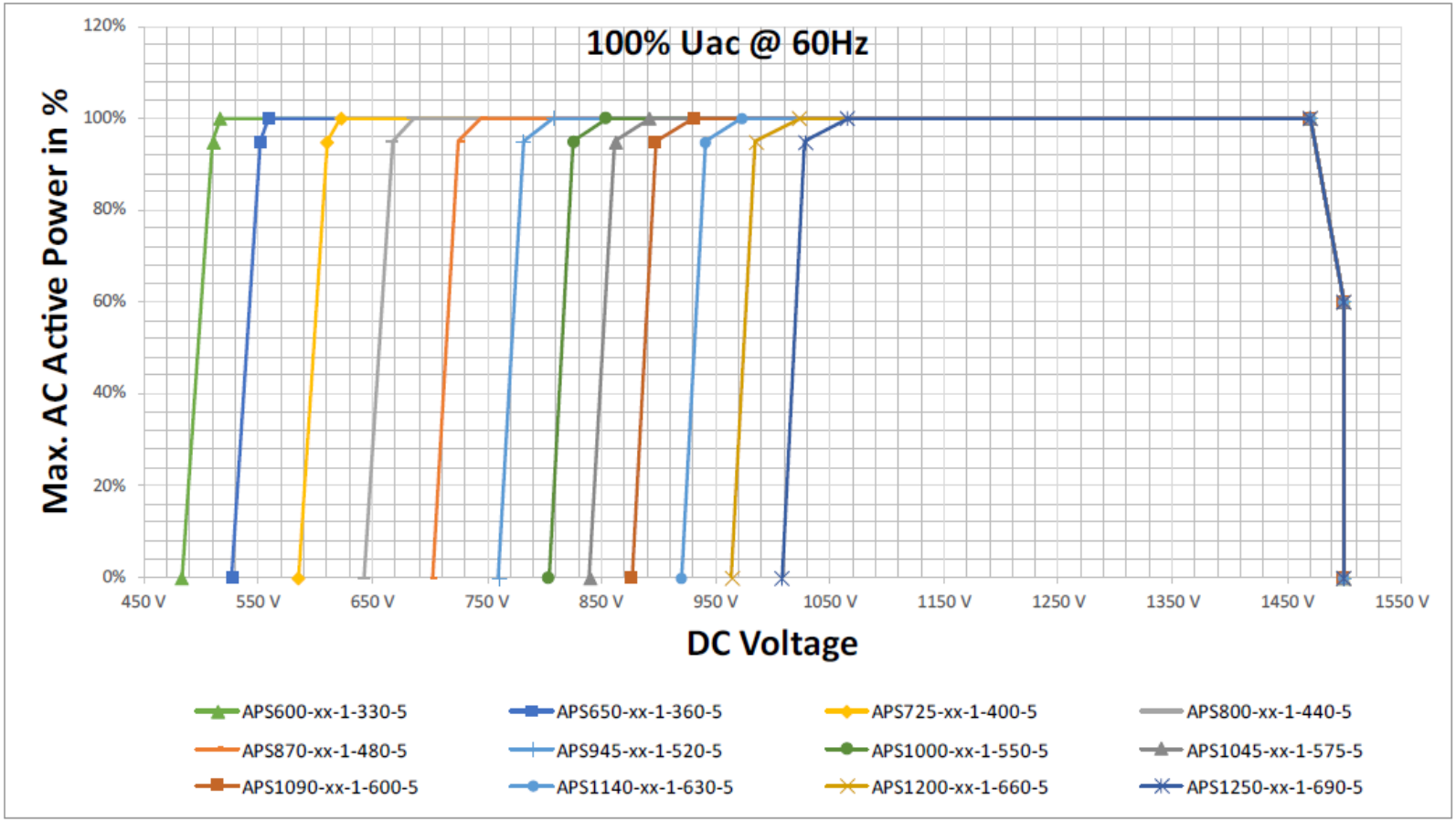
APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

POWER DERATING DEPENDING ON DC VOLTAGE



APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

POWER DERATING DEPENDING ON DC VOLTAGE



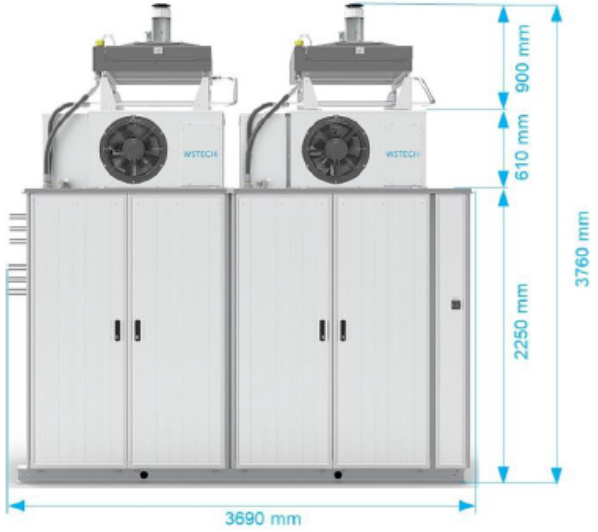
APS-ES-Series 1500 V_{DC} – 330 … 690 V_{AC} 600 … 5000 kVA

(I) MECHANICAL DRAWINGS

Models	APS600-ES-1-330-5	APS1200-ES-2-330-5	APS1800-ES-3-330-5	APS2400-ES-4-330-5
	APS650-ES-1-360-5	APS1300-ES-2-360-5	APS1950-ES-3-360-5	APS2600-ES-4-360-5
	APS725-ES-1-400-5	APS1450-ES-2-400-5	APS2175-ES-3-400-5	APS2900-ES-4-400-5
	APS800-ES-1-440-5	APS1600-ES-2-440-5	APS2400-ES-3-440-5	APS3200-ES-4-440-5
	APS870-ES-1-480-5	APS1740-ES-2-480-5	APS2610-ES-3-480-5	APS3480-ES-4-480-5
	APS945-ES-1-520-5	APS1890-ES-2-520-5	APS2835-ES-3-520-5	APS3780-ES-4-520-5
	APS1000-ES-1-550-5	APS2000-ES-2-550-5	APS3000-ES-3-550-5	APS4000-ES-4-550-5
	APS1045-ES-1-575-5	APS2090-ES-2-575-5	APS3135-ES-3-575-5	APS4180-ES-4-575-5
	APS1090-ES-1-600-5	APS2180-ES-2-600-5	APS3270-ES-3-600-5	APS4360-ES-4-600-5
	APS1140-ES-1-630-5	APS2280-ES-2-630-5	APS3420-ES-3-630-5	APS4560-ES-4-630-5
	APS1200-ES-1-660-5	APS2400-ES-2-660-5	APS3600-ES-3-660-5	APS4800-ES-4-660-5
	APS1250-ES-1-690-5	APS2500-ES-2-690-5	APS3750-ES-3-690-5	APS5000-ES-4-690-5







TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Alkan M. A. , Ulusarslan D. 'İstanbul Havalimanı Toplam Enerji Tüketiminin Fotovoltaik Sistemle Karşılanmasının Fizibilite Çalışması', Uluslararası Lisansüstü Çalışmalar Kongresi, Balıkesir, Türkiye, 17 - 20 Haziran 2021, ss. 1-5.