T.C.

KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİNAYA ENTEGRE FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİN SİMÜLASYON VE GERÇEK ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatma YETGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Ana Bilim Dalı

HAZİRAN-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma YETGİN tarafından hazırlanan "Binaya Entegre Fotovoltaik (PV) Sistemlerin Simülasyon ve Gerçek Üretim Verilerinin Karşılaştırılması" adlı tez çalışması 10/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Doç. Dr. Fatih CANAN	……..
Danışman Doç. Dr. Selçuk SAYIN	……..
Üye Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Fatma YETGİN

10/06/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİNAYA ENTEGRE FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİN SİMÜLASYON VE GERÇEK ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatma YETGİN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk SAYIN

2022 Yıl, 104 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Selçuk SAYIN
Doç. Dr. Fatih CANAN
Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

Dünyada sanayileşmeyle birlikte ortaya çıkan teknolojik gelişmeler ve artan nüfus, enerji talebinin artmasına ve mevcut enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmuştur. Enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan binaların enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük oranda fosil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar kullanılan fosil kaynaklar çevre kirliliğine, sera gazı emisyonlarının artmasına ve iklim değişikliği gibi sorunlara yol açmıştır. Bu sorunların önlenmesi için fosil enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımın yaygınlaştırılması gerekmektedir. Güneş enerjisi ulaşılması kolay, temiz, tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılan fotovoltaik (PV) sistemlerin yaygınlaştırılması temiz bir çevre için en önemli adımdır. Fotovoltaik sistemler ilk yatırım maliyetleri yüksek, verimlilikleri ise çok yüksek olmayan sistemlerdir. Bu nedenle fotovoltaik sistemler kurulmadan önce sistemin enerji üretim potansiyelini ve verimliliğini belirlemek için çeşitli simülasyon araçları kullanılmaktadır. Ancak her binanın gerçek enerji üretim verileri ile simülasyon verileri arasında farklar olmaktadır. Bu çalışmada amaç binaya entegre edilmiş ve işletmeye alınmış bir fotovoltaik sistemin PVsyst simülasyon verileri ile gerçek enerji üretim verilerini karşılaştırmaktır. Bu amaç doğrulusunda Konya ili Beyşehir ilçesinde bulunan mevcuttaki bir fabrika binasının çatısına entegre edilmiş fotovoltaik sistem tez kapsamında incelenmiştir. Fabrika binasının 3 boyutlu simülasyon analizi için PVsyst (Photovoltaic Systems) 7.2.14 simülasyon programı kullanılmıştır. Analizi yapılan fabrika binası ile aynı özelliklerde sistem oluşturmak için kullanılan panel ve invertöre ait marka ve modeller PVsyst programına tanıtılmıştır. Fabrika binasının konumu PVsyst programında işaretlenmiş ve meteoroloji verileri Meteonorm 8 veri tabanından sentetik olarak üretilmiştir. Fabrika binasına ait gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra simülasyon gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulu gücü 939,6 kWp'tir. Simülasyon programının verdiği sonuç raporu üzerinden fabrika binasına ait enerji üretim verileri ve sistem kayıplarının analizi yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada; şebekeye bağlı binaya entegre fotovoltaik sistemin 2021 yılı gerçek enerji üretim verileri ile PVsyst simülasyon programında 3 boyutlu gölgeleme analizi yapılarak elde edilen enerji üretim verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sisteme ait tozlanma ve karlanma kaybı, gölgeleme kaybı, sıcaklık kaybı, kablolama kaybı, modül ve dizi uyumsuzluk kaybı, panel kaybı, invertör kaybı gibi bağımsız değişkenlere değerler verilerek enerji üretimi üzerine etkisi simülasyon sonuçlarından incelenmiştir. Sistemin şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı 1345,1 MWh'tir. Sistemin performans oranı %83,37'dir. Fabrika binasının 2021 yılı enerji üretim verisi 1372,2 MWh'tir.

Gerçek üretim verileri simülasyon verilerinden 27,1 MWh fazla çıkmıştır. Simülasyon sonucundaki üretim verileri ile 2021 yılı enerji üretim değerleri arasında yaklaşık %2'lik bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin, oluşan fark üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, PVsyst, Simülasyon, Şebekeye Bağlı Fotovoltaik (PV) Sistemler, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARISON OF SIMULATION AND REAL PRODUCTION DATA OF BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS

Fatma YETGİN

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk SAYIN

2022, 104 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Selçuk SAYIN
Assoc. Prof. Dr. Fatih CANAN
Assoc. Prof. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

Technological developments and increasing population in conjunction with industrialization have led to an increase in energy demand and depletion of existing energy resources in the world. Fossil energy sources are widely used to meet the energy needs of buildings, which have a large margin in energy consumption. Fossil resources used from past to present have caused to problems such as environmental pollution, a rise in greenhouse gas emissions and climate change. To prevent these problems, it is necessary to reduce the use of fossil energy sources and to expand utilization of eco-friendly renewable energy sources. Solar energy is an easily accessible, clean, sustainable renewable energy source. Spreading the usage of photovoltaic (PV) systems which are, used to convert solar energy into electrical energy, is the most important step for a clean environment. Photovoltaic systems have high initial investment costs and low efficiency. For this reason, before installing photovoltaic systems, various simulation tools are applied to determine the energy production potential and efficiency of it. However, there are differences between the actual energy production data and the simulation data of each building. This study aims to compare the PVsyst simulation data of a photovoltaic system integrated and commissioned in the building with the actual energy production data. For this purpose, the photovoltaic system integrated on the roof of an existing factory building in Beyşehir district of Konya province has been examined within the thesis. PVsyst (Photovoltaic Systems) 7.2.14 simulation program was used for 3D simulation analysis of the factory building. The brands and models of the panel and inverter were inputted in PVsyst program to create the same system as in the analyzed factory building. The location of the factory building was marked in the PVsyst program, and the meteorological data were produced synthetically via the Meteonorm 8 database. After the necessary definitions of the factory building were made, the simulation was carried out. The installed power of the system is 939.6 kWp. The energy production data and system losses of the factory building were analyzed through the result report by the simulation program. In this study, the actual energy production data of the photovoltaic system integrated in the building connected to the network for 2021 and the energy production data by 3D shading analysis in the PVsyst simulation program were compared. By values were given to the independent variables of the system such as dust and snow loss, shading loss, temperature loss, wiring loss, module and string mismatch loss, panel loss, inverter loss, their effect on energy production was examined from the simulation results. The annual energy amount of the system transferring to the network is 1345.1 MWh.

The performance rate of the system is 83.37%. The energy production data of the factory building for 2021 is 1372.2 MWh. The actual production data is 27.1 MWh more than the simulation data. It has been determined that there is a 2% difference between the production data by the simulation and the actual energy production values of 2021. The effect of independent variables on the difference was examined.

Keywords: Solar Energy, PVsyst, Simulation, Grid Connect Photovoltaic (PV) Systems, Renewable Energy

ÖN SÖZ

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamın hazırlanması sürecinde desteklerini esirgemeyen, akademik bilgi, birikim ve tecrübesiyle bana yol gösteren, yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Selçuk SAYIN'a katkılarından dolayı sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamda kaynak olarak kullandığım şebekeye bağlı fotovoltaik sisteme ait verilerin sağlanmasında yardımcı olan fabrika idari personeline göstermiş oldukları iyi niyet ve imkânlardan dolayı teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan, beni yetiştiren, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan başarımın gerçek mimarları değerli annem ve babama, bu stresli süreci benimle yaşayan fedakâr anneme ve her zaman desteklerini hissettiğim kardeşlerime sonsuz teşekkürler…

Fatma YETGİN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖN SÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Çalışmanın Amacı 8
1.2. Çalışmanın Kapsamı 9

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **11**

2.1. Fotovoltaik 11
2.2. Fotovoltaik Hücre Tipleri 12
2.2.1. Monokristal hücreler 12
2.2.2. Polikristal hücreler 13
2.3. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri 13
2.3.1. Fotovoltaik modüller 14
2.3.2. İnvertör (Evirici) 14
2.3.3. Akü 14
2.3.4. Şarj kontrol cihazı 14
2.3.5. Diğer sistem bileşenleri 14
2.4. Fotovoltaik Sistem Türleri 15
2.4.1. Şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler 15
2.4.2. Şebekeye bağlı (On-Grid) sistemler 16
2.5. Fotovoltaik Modül Verimliliğini Etkileyen Parametreler 16
2.6. Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar 20

3. MATERYAL VE YÖNTEM **28**

3.1. Fotovoltaik Simülasyon Programları 28
3.1.1. PVsyst Yazılımı 29
3.1.2. Fotovoltaik Santrallerin Performans Kriterleri 32
3.2. Mevcut Bir Fabrika Binasının PVsyst Simülasyon Yazılımında Modellenmesi 34
3.2.1. Konum 36
3.2.2. Meteorolojik Veriler 37
3.2.3. Yönlendirme 39
3.2.4. Panel ve İnvertörün Sisteme Tanımlanması 40
3.2.4.1. Panel seçimi 41
3.2.4.2. İnvertör seçimi 43
3.2.5. Gölgeleme Analizi 46
3.2.6. Horizon (Ufuk Çizgisi) 51

3.2.7. Fotovoltaik Sistem Kayıpları 52
3.2.7.1. Sıcaklık kaybı (Thermal paramater) 52
3.2.7.2. DC Omik kaybı (Ohmic Losses) 53
3.2.7.3. Modül kalite kaybı, ışık eşikli bozulma ve modül uyumsuzluk kaybı (Module Quality-LID-Mismatch) 54
3.2.7.4. Kirlenme kaybı (Soiling Loss) 55
3.2.7.5. Yansıma kaybı (IAM Losses) 56
3.2.7.6. Yardımcılar (Auxiliaries) 56
3.2.7.7. Yaşlanma kaybı (Aging) 57
3.2.7.8. Kullanılamazlık (Unavailability) 58
3.2.8. Simülasyon 58

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 60

4.1. PVsyst Simülasyon Aracı Bulgularına Göre Şebeke Bağlantılı PV Sistemin Performans Analizi 60
4.2. PVsyst Simülasyon Verileri ile Gerçek Üretim Verilerinin Karşılaştırılması 67
4.3. Parametrelerin Sistem Performansına Etkisinin İncelenmesi 69
4.3.1. Sıcaklık Kaybı (Thermal Parameter) 70
4.3.2. Modül Uyumsuzluk Kaybı (Module Mismatch Losses) 71
4.3.3. Kirlenme Kaybı (Soiling Loss) 72
4.3.4. Yaşlanma Kaybı (Aging) 72

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79

5.1 Sonuçlar 79
5.2 Öneriler 81

KAYNAKLAR 83

EKLER 90

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
BIPV	Building Integrated Photovoltaics (Binaya Entegre Fotovoltaik)
Bkz.	Bakınız
CF	Kapasite Faktörü
CO_2	Karbondioksit
°C	Santigrat derece
DC	Direct Current (Doğru Akım)
E_{AC}	AC Enerji
EJ	Exajoule
EİGM	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GES	Güneş Enerji Santrali
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GHG	Greenhouse Gas (Sera Gazı)
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt saat
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IEC	International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
kWh/m^2	Kilowatt saat / metrekare
kWp	Kilowatt peak
L_C	Dize Kaybı
L_S	Sistem Kaybı
mm	Milimetre
m^2	Metrekare
η_{INV}	İnvertör Verimi
η_{SYS}	Sistem Verimi
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takipçi
MW	Megawatt
MWp	Megawatt-Peak
MWh	Megawatt saat
NZE	Nearly Zero-Energy (Neredeyse Sıfır Enerji)
NZEB	Nearly Zero-Energy Building (Neredeyse Sıfır Enerjili Bina)
NSEB	Net Sıfır Enerjili Bina
OAT	One At A Time

P_0	Standart Test Koşullarında Santralin Kurulu Gücü
PJ	Petajoule
PR	Performance Ratio (Performans Oranı)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
PVsyst	Photovoltaic Systems
STC	Standart Test Koşulları
T	Ton
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TFC	Total Final Consumption (Toplam Nihai Enerji Tüketimi)
TJ	Terajoule
TSKB	Türkiye Sınaî Kalkınma Bankası Anonim Şirketi
TW	Terawatt
TWh	Terawatt saat
V	Volt
Voc	Açık Devre Gerilimi
W	Watt
W/m^2	Watt / metrekare
Wp	Watt peak
Y_A	Dize Verimi
Y_F	Nihai Verim
Y_R	Referans Verim

1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye'de nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, şehirleşme ve ekonomik kalkınmanın devam etmesiyle enerji ihtiyacı da günden güne artmaktadır. Enerji denilince akla gelen savaş, işgal ve kriz gibi olumsuz durumlardan huzurlu ortama geçişteki en önemli etken, dünyada en çok kullanılan fosil enerji kaynaklarının yerine alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Enerjinin çok büyük bir kısmı kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların tüketimindeki artış, çevre üzerinde ciddi etkiye ve mevcut enerji kaynaklarının bir kısmının tükenmesine yol açmaktadır. Bu sorunlar göz önüne alındığında fosil enerji kaynaklarını kullanmak yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmaktadır (Gallardo-Saavedra ve Karlsson, 2018).

Enerji, bir canlı ya da maddenin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Enerji doğrudan ya da dönüştürülerek kullanılabilen, canlıların yaşamasına olanak sağlayan, farklı sektörlerde kullanımı önem arz eden bir yere sahiptir (Berberoğlu, 1982). Kullanımlarına göre; güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, dalga, biyokütle gibi doğal, çevreye zarar vermeyen, azalmayan, tükenmeyen enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları, kullanıldığında geri dönüşü olmayan petrol, kömür, doğal gaz gibi tükenebilen enerji kaynakları ise yenilenemeyen enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015).

Birincil enerji; doğal kaynaklar kullanılarak elde edilen enerji anlamına gelmektedir. Birincil enerji kaynakları, yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklar olarak ikiye ayrılmaktadır. İkincil enerji ise birincil enerji kaynaklarının fiziksel durum değişimi şeklinde dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji türüdür. Bu tür enerjinin ortaya çıkması için birincil enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. İkincil enerji kaynakları, elektrik enerjisi ve hidrojen enerjisidir (Gülay, 2008).

Petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil enerji kaynaklarının kullanılması, küresel ısınma, iklim değişikliği, asit yağmurları, sera gazı emisyonları, ozon tabakasının delinmesi, çevre ve hava kirliliği gibi çevresel sorunların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Fosil yakıtlara bağlılığın azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve geliştirilmesi bu problemlerin çözülmesinde önemli bir adımdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle, dalga, gelgit gibi kaynak sorunu olmayan, tükenmeyen, eksilmeyen, çevreye zarar vermeyen, sürekli olarak yenilenen, doğada kullanıma hazır hâlde bulunan

kaynakların dünyanın enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılması yenilenebilir kaynakların önemini artırmaktadır (Gülay, 2008).

Dünyada enerji ihtiyacının %80'ni fosil yakıtlardan karşılanmakta olup sınırlı olan kaynak rezervlerinin yakın gelecekte tükenmesi beklenmektedir. Enerji kaynakları açısından fakir olan Türkiye'de ise elektrik üretimi için kullanılan kaynakların %85'i ithal edilmektedir (Tezekici, 2005). Türkiye'nin enerjideki dışa bağımlılığını azaltmak, enerji taleplerine cevap vermek, enerji kaynak çeşitliliğini artırmak için şeffaf, tüketicinin korunduğu, çevresel sürdürülebilirliğe önem veren bir enerji sektörü her zaman talep görmüştür. Türkiye coğrafi konumu sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir (Keskin, 2019).

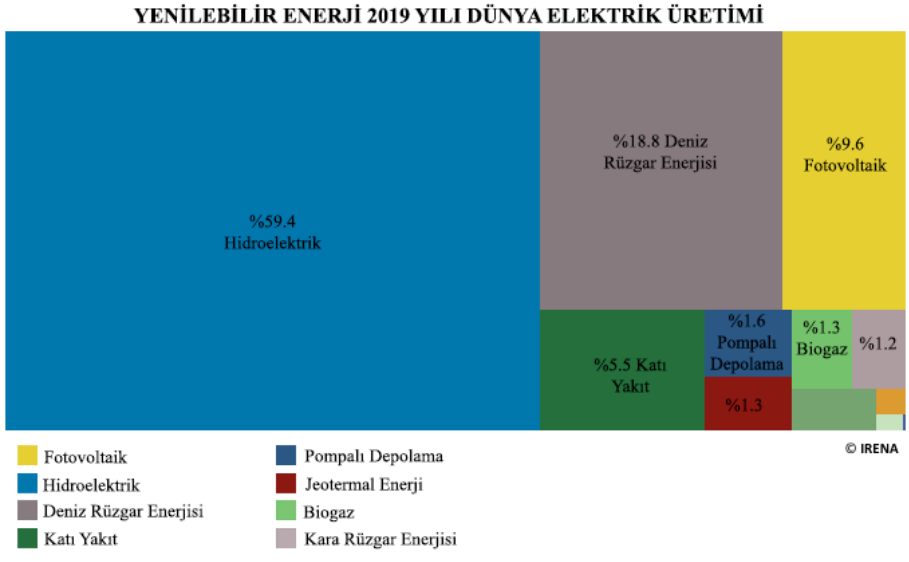
İkincil enerji kaynaklarından elektrik enerjisi, sanayi, ulaşım, tarım ve bina gibi farklı sektörlerde çok çeşitli uygulamalar için gereklidir. Enerji üretimi için kullanılan kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlara alternatif olarak güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle gibi daha temiz yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi, küresel enerji krizinin umut verici çözümlerinden biridir (Yadav ve diğ., 2015).

Güneş'ten Dünya'ya gelen ışınların atmosferde meydana getirdiği enerji miktarı, metrekare (m^2) başına ortalama 1,35 kilowatt (kW) olduğu belirlenmiştir. Buna istinaden 10 m^2 alandan elde edilen güneş enerjisi ise 1 kW civarındadır. Bu hesapla, Dünya'ya gelen Güneş ışınlarının 1 yıldaki enerji miktarı dünyadaki kömür rezervlerinden elde edilecek enerjinin yaklaşık 50 katı olduğu ortaya çıkmıştır (Alemdaroğlu, 2007).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi Dünya'nın en önemli enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, ısıtma ve elektrik ihtiyacının karşılanmasında temiz, çevreci bir enerji kaynağı olduğu için fosil yakıtlara alternatif olarak düşünülmektedir (Yılmaz, 2012). Son yirmi yılda; çevreye zarar vermeyen, kaynağı tükenmeyen, bol ve yaygın olarak bulunan kaynak altyapısı gibi olumlu özellikleri sayesinde yenilenebilir enerjiye dönüş başlamıştır. Tabii ki bunlara ek olarak teknolojik gelişmeler, elverişli politikalar gibi faktörler de yenilenebilir enerjinin hızla gelişmesine yardımcı olmuştur (Liu ve diğ., 2014).

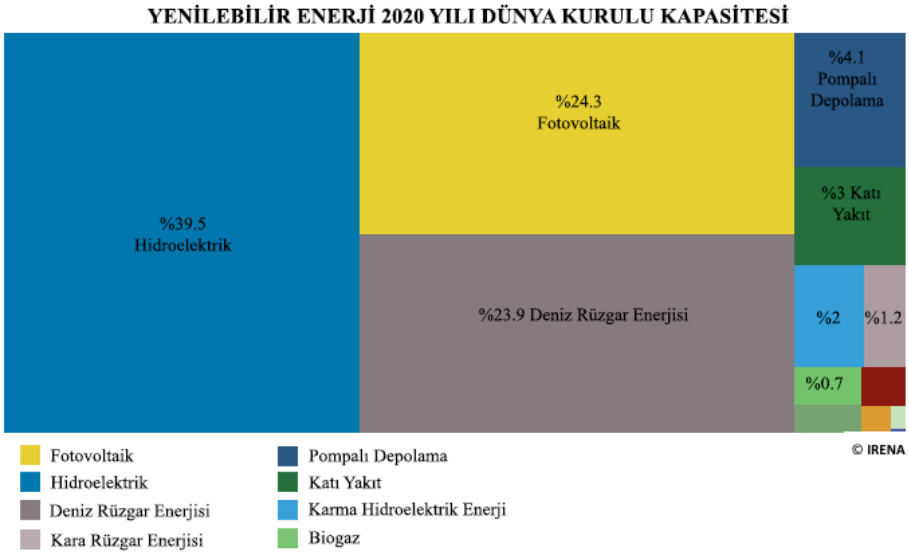
Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) 2019 yılı raporuna göre dünyadaki yenilenebilir enerji teknolojilerinden elektrik üretim verileri Şekil 1.1'de görüldüğü gibi %59,4 hidroelektrik, %18,8 rüzgâr, %9,6 fotovoltaik, %5,5 katı yakıt ve

diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Fotovoltaikler kullanılarak 2019 yılında %9,6'lık payla toplam 678.998,94 Gigawatt saat (GWh) enerji üretimi yapılmıştır (URL-1).



Şekil 1.1. Dünyadaki yenilenebilir enerji teknolojilerinden elektrik üretim verileri (URL-1)

IRENA 2020 yılı verilerine göre dünyadaki yenilenebilir enerji teknolojilerinin kurulu kapasiteler içinde fotovoltaikler 709.673,60 Megawatt (MW)'lık üretim verisi ve %24,3 payıyla ikinci sırada yer almaktadır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Dünyadaki yenilenebilir enerji teknolojilerinin kurulu kapasite verileri (URL-1)

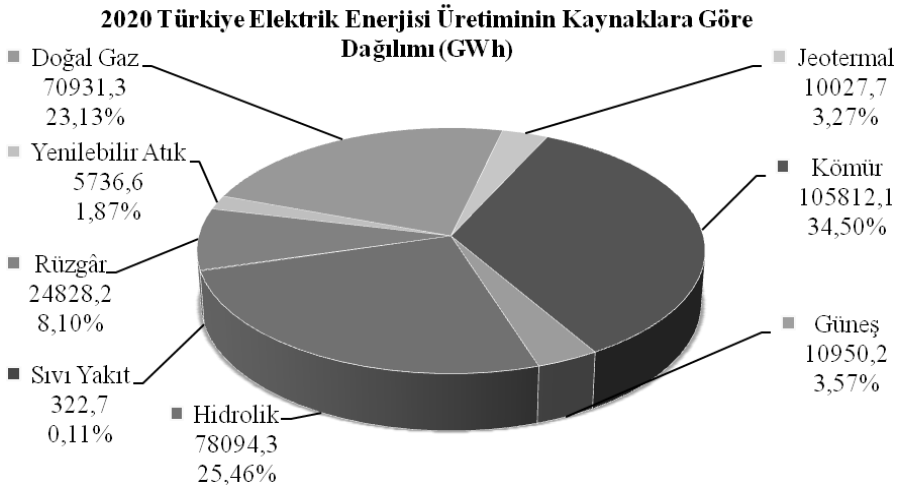
2020 yılında güneş enerji kapasitesi 127 Gigawatt (GW) artarak önceki yıla göre oranı %20 artmıştır. Güneş enerjisinin son 10 yılda elektrik üretimindeki payı sürekli artmıştır. Şu anda yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin %27'sini, toplam elektrik üretiminin ise %3,2'si oluşturmaktadır (URL-2).

2020 yılında küresel elektrik üretiminin %3,2'sini oluşturan fotovoltaik sistemlerden enerji üretimi, 2019 yılına göre 156 Terawatt saat (TWh) artarak 821 TWh'e ulaşmıştır. Bu da %23'lük büyümeye karşılık gelmektedir (URL-3). Fotovoltaik sistemler, 2021 yılında %17 artarak yaklaşık 160 GW'lık kapasite artışıyla yenilenebilir elektrikteki büyümenin güç merkezi olmaya devam etmektedir. Fotovoltaik sistemler, çok sayıda ülkede enerji üretiminde önemli bir role sahiptir. En az 15 ülke, 2020 yılı sonu itibarıyla elektrik talebinin %5'ini karşılayacak fotovoltaik sistem kapasitesine sahiptir (URL-4).

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak 834 milyar kilowatt saat (kWh) elektrik üretimi ile tüm elektrik üretiminin %21'ini karşılamıştır. 2020 yılında ABD'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi 2019 yılına göre %9 artmıştır. Şebeke ölçekli güneş enerjisi üretimi (1 MW'dan büyük projeler) %26, şebekeye bağlı çatı panelleri gibi küçük ölçekli güneş enerjisi üretimi ise %19 artmıştır (URL-5). 2020 yılında ABD, enerji üretiminden en az CO_2 salınımı yapan ülke olmuştur (URL-6). Fotovoltaik sistemlerin enerji üretimdeki payını artırmak, artan enerji talebini karşılamanın yanında enerji sektörünü karbondan arındırmak esas amaçtır (URL-7).

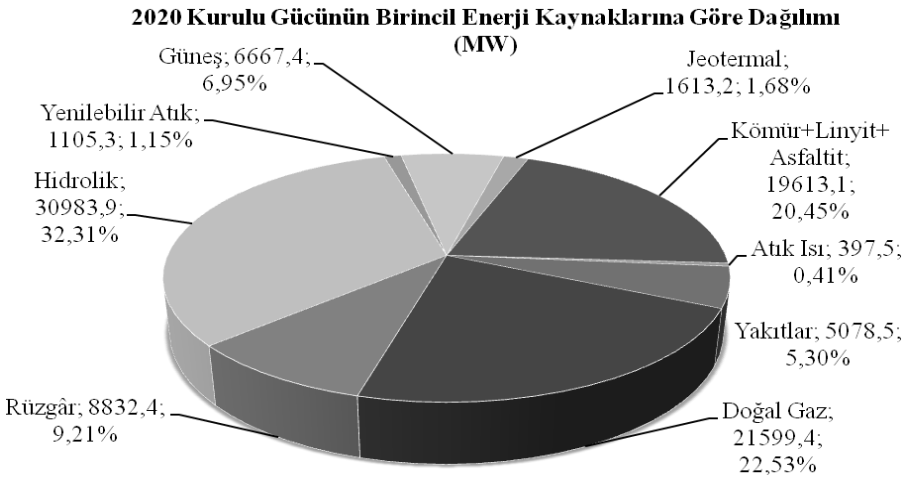
Yenilenebilir enerji, 2026 yılına kadar küresel güç kapasitesindeki artışın neredeyse %95'ini oluşturacak ve fotovoltaik sistemler bu oranın yarısından fazlasını sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kapasitesinin 2026 yılına kadar, 2020 yılındaki seviyesinden %60'ın üzerinde bir artışla 4800 GW'ın üzerine çıkması beklenmektedir (URL-8).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) verilerine göre, 2020 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında toplam 306.703,1 GWh enerji üretimi olmuştur. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.3'te verilmiştir. 2020 yılında en fazla enerji üretimi 105.812,1 GWh ve %34,5 oranıyla kömürden sağlanmıştır. %25,46 ile hidrolik ikinci sırada, %23,13 gibi bir oranla da doğal gaz enerji üretimini üçüncü sırada tamamlamıştır (TEİAŞ, 2020).



Şekil 1.3. 2020 Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Kaynak: TEİAŞ 2020)

2020 yılı Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü 95.890,6 MW'a ulaşmıştır. Bu kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.4'te verilmiştir. Şekilde, yerli kaynak olan hidroliğin %32,31 ile ilk sırada, ithal kaynak olan doğal gazın payının %22,53 gibi yüksek bir miktarda olduğu ve üçüncü sırada yer alan kömürün payı ise %20,45 olup kömürün bir kısmının yerli üretim önemli bir kısmının ise ithal kaynak olduğu bilinmektedir. Tüm bu veriler Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde dışa bağlılığının yüksek olduğunu göstermektedir (TEİAŞ, 2020).



Şekil 1.4. 2020 kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (Kaynak: TEİAŞ, 2020)

2000 yılı itibarıyla Türkiye toplam kurulu gücü 27,3 GW civarında iken 2021 yılı Aralık ayı sonunda 99,82 GW seviyesine ulaşmıştır. 2021 yılı içerisinde 3.549 MW civarında gerçekleşen net kurulu güç artışın 1.171,1 MW'lık kısmı güneş enerjisi santrallerinden (GES) kaynaklanmıştır (URL-9).

Konut, kamu, ticari ve endüstri binaları; aydınlatma, ısınma, soğutma, sıcak su, bilgisayar, elektronik donanım ve yemek pişirme gibi eylemleri yapabilmek için enerjiye ihtiyaç duyar (Polesello ve Johnson, 2016). Binalardaki ısıtma, soğutma ve sıcak su kullanımı küresel enerji tüketiminin yarısını oluşturduğu tahmin edilmektedir. (URL-10).

Dünya genelinde binaların enerji tüketimindeki payı büyüktür. 2019 yılı sektörlere göre toplam nihai enerji tüketim (TFC) verilerine bakıldığında, dünyada konut, ticari ve kamu binaları da dâhil olmak üzere yapı sektörü enerji kullanımının %29'undan sorumludur. ABD'de bu oran %31 iken, Türkiye'de ise konut, ticari ve kamu binalarının toplam enerji tüketimindeki payı %34'ünü kapsamaktadır (URL-11). Dünyada enerji tüketiminin neredeyse üçte birini oluşturan binalar aynı zamanda önemli bir CO_2 emisyon kaynağıdır. Artan nüfus ve refah seviyeleri, binaların günden güne enerji tüketim ve CO_2 emisyon paylarını da artırmaktadır. Dünyada 2019 yılı sektörlere göre CO_2 emisyonlarına bakıldığında yapı sektörü %8'inden sorumludur. Türkiye'de ise bu oran %16'dır (URL-10).

Binalar sera gazı (GHG) emisyonlarının yaklaşık üçte birini oluşturmakta ve herhangi bir işlem yapılmadığı takdirde 2050 yılına kadar bu oranın iki katına çıkması beklenmektedir. Şehirler yapı stokunun ve dünya nüfusunun büyük çoğunluğunu barındırdığından, enerji kullanımının yaklaşık %40'ından fazlasını ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Mevcut yenilebilir enerji teknolojileri yaygın şekilde uygulandığı takdirde düşük karbonlu şehirler oluşturulabilir (Polesello ve Johnson, 2016).

Yapıların, tüm sektörler arasındaki enerji tüketim verilerinin yüksek olması, konutlarda enerji verimliliği, kendi enerjisini üretebilen konutlar, net sıfır enerjili binalar (NSEB) gibi kavramları ortaya çıkarmıştır (Adıgüzel, 2015). Net sıfır enerjili binalar, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak tükettikleri enerji kadar enerji üreten değil, aynı zamanda bina yapım aşamasında her ayrıntıyı dikkate alarak çevreyi kirletmeyen, karbon salınımı yapmayan, yaşam döngüsü içinde akıllı bina uygulamalarını da barındıran sürdürülebilir, çevreci bina olarak tanımlanabilecek yapılardır (Aydın, 2016). Net sıfır enerjili binalar (NSEB) vizyonuna ulaşmak, uygun

maliyetli teknolojilerin geliştirilmesi, bina gereksinimlerinin gözden geçirilmesi, yenilenebilir enerjinin bina tasarımlarına entegrasyonu ve enerji kullanımı için yenilikçi yöntemlerin benimsenmesi gibi stratejilerin izlenmesi gerekecektir. Yapılarda enerjinin bilinçli bir şekilde kullanıldığı teknolojilerin gelişmesiyle enerji etkin tasarımlar ortaya çıkmıştır. Araştırmalar, mevcut teknolojilerin kullanılmasıyla bir binanın enerji tüketimini %30 ila %50 oranında azaltmanın mümkün olduğunu bulmuştur (Pellegrino ve diğ., 2010).

Dünya genelinde enerji verimliliği politikaları sonuçlarını göstermeye başlamıştır. 2000 yılından günümüze kadar Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Çin'de yeni binaların metrekare başına ortalama ısıtma ve soğutma talebi %40'tan daha fazla azalmıştır (URL-12).

Bina enerji yönetmelikleri, 2050 yılına kadar Net Sıfır Emisyon hedeflerine ulaşmak için ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji yoğunluğu kritik öneme sahiptir. Net sıfır hedeflerine ulaşmak için tüm ülkelerin önümüzdeki on yıl içinde zorunlu bina enerji yönetmeliklerini açık bir politika haline getirmesi gerekmektedir (URL-13).

Türkiye'nin Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı kapsamında 2023 yılı için ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacının en az yüzde 15'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasıyla, güneş enerjisinin daha etkin, verimli, teknolojik ve yenilikçi bir biçimde kullanılması planlanmaktadır (Bolat, 2020). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca hazırlanan "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" 19 Şubat 2022 tarihinde Resmî Gazete'de yayınlanmıştır. Yönetmelik değişikliğiyle "Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar" konseptine geçiş, aşamalı olarak zorunlu hale getirilmektedir. Madde 23 birinci fıkrasında yer alan "NSEB niteliğindeki binaların enerji performans sınıfının en az B olması ve binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10'u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması zorunludur" ifadesine geçici madde eklenerek 01.01.2023 tarihinden 01.01.2025 tarihine kadar %10 oranı %5 olarak değiştirilmiştir. Yine aynı maddenin ikinci fıkrasında yer alan "Toplam yapı inşaat alanı 2000 m^2 ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunludur" ifadesindeki "2000 m^2" 01.01.2023 tarihinden 01.01.2025 tarihine kadar "5000 m^2" olarak değiştirilmiştir (T.C. Resmî Gazete, 19 Şubat 2022, Sayı: 31755).

Güneşin tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, kolaylıkla işletilebilmesi, modüler olması, kısa sürede kurulumunun tamamlanıp devreye girmesi, uzun yıllar sorunsuz çalışması, temiz bir enerji kaynağı olması gibi nedenlerden dolayı dünya

çapında fotovoltaik sistemlerle enerji üretimi her geçen gün artmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006). Güneş pilleri olarak da adlandırılan fotovoltaikler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektronik cihazlardır. Fotovoltaik sistemler, son yıllarda maliyet indirimleri ve politika desteği nedeniyle en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir ve gelecekteki küresel enerji üretiminde önemli bir role sahiptir. Son yıllarda fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşması ile elektrik sektörü yenilenebilir enerjinin en parlak zamanını yaşamaktadır (URL-14).

Güneş enerjisinin binalarda etkin kullanımı; çatıda ve bina cephesinde yüzey kaplama elemanı, gölgeleme elemanı ya da ışıklık olarak monte edilen fotovoltaik panellerden enerji üretimi ve çatıya monte edilen güneş kolektörleri aracığıyla sıcak su elde edilmesi şeklinde gerçekleştirilir (Oluklulu, 2001). Son zamanlarda enerji tüketimindeki artıştan ortaya çıkan krizin üstesinden gelmek için ofis binalarının, evlerin, kurumların ve endüstri yapılarının çatısına çatı tipi fotovoltaik sistem kurulması girişimlerinde bulunulmuştur. Bu girişim sadece enerjideki krizi çözmekle kalmayacak, aynı zamanda fosil yakıt kaynaklı sera gazı emisyonlarının zararlı etkilerini de azaltacaktır (Sharma ve Goel, 2017).

Türkiye'de enerji potansiyeli yüksek, yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede aktif kullanılan fotovoltaik sistemlerin yaygınlaştırılması ülke olarak enerjideki dışa bağlılığı azaltmanın yanında oranı yüksek olan CO_2 emisyonlarını azaltmak ve temiz bir çevre bırakmak en büyük hedeftir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Son yıllarda şebekeye bağlı binaya entegre fotovoltaik sistemlerdeki artış, aynı zamanda kurulu güç fotovoltaik sistemlerin de artmasına sebep olmuştur. "Binaya entegre" terimi binaların çatısına ya da cephesine monte edilen fotovoltaik sistemleri ifade etmektedir. Bu tür sistem entegrasyonunun sorunsuz çözülmesi için binanın tasarımı sırasında mimarlar, inşaat mühendisleri ve fotovoltaik sistem tasarımcılarının birlikte çalışmasını gerektirir. Enerji üretim verilerini en yüksek düzeyde elde etmek için kurulum alanının ve sistemin çok iyi değerlendirilmesi gerekir (Makrides, 2010).

Fotovoltaik sistemler ilk yatırım maliyetleri yüksek, verimlilikleri ise çok da yüksek olmayan sistemlerdir. Bu nedenle fotovoltaik sistemler kurulmadan önce sistemin enerji üretim potansiyelini ve verimliliğini belirlemek için çeşitli simülasyon araçları kullanılmaktadır. Bu amaçla fotovoltaik sistem yatırımı yapılmadan önce

fizibilite çalışması yapılmış olmaktadır. Ancak her binanın gerçek enerji üretim verileri ile simülasyon verileri arasında farklar olmaktadır. Tezin problemi gerçek enerji üretim verileri ile simülasyon verileri arasındaki oluşan farkları tespit etmektir. Fotovoltaik sistemin verimini etkileyen iklim verileri, güneş ışınımı, tozlanma, gölgelenme, kablo kayıpları, evirici kayıpları ve uyumsuzluk gibi birçok parametre vardır. Bu çalışmada amaç binaya entegre edilmiş ve işletmeye alınmış bir fotovoltaik sistemin PVsyst simülasyon verileri ile gerçek enerji üretim verilerini karşılaştırmaktır. Karşılaştırma sonucunda ortaya çıkabilecek olası farkların; sıcaklık kaybı, modül uyumsuzluk kaybı, kirlenme ve yaşlanma kaybı gibi bağımsız değişkenlerin sistem performansına etkisini tespit etmektir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma kapsamında; ilk bölümde dünyanın enerji sorunları, kullanılan fosil enerji kaynakları ve çevreye vermiş oldukları zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajlarından bahsedilmiştir. Ayrıca dünyada ve Türkiye'de binaların enerji tüketimindeki rolü ve fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanım olanaklarına değinilmiştir.

İkinci bölümde fotovoltaik tanımı yapılarak, fotovoltaik hücre tipleri, sistem bileşenleri, fotovoltaik sistem türleri ve fotovoltaik sistemin verimini etkileyen parametreler açıklanmıştır. Daha sonra dünyada ve Türkiye'de PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımlarıyla ilgili yapılan çalışmalar ve performans değerlendirmeleriyle ilgili literatür taraması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde dünyada fotovoltaik sistemlerin enerji üretim verilerini tahmin etmede kullanılan simülasyon programlarının öneminden bahsedilmiştir. PVsyst programı tanıtılmış, programın şebekeye bağlı fotovoltaik sistem modellemelerinde nasıl kullanılacağı, veri tabanında yer alan parametreler açıklanmıştır. Ayrıca fotovoltaik sistemlerin performans ve verimliliğini etkileyen faktörlerden bahsedilmiştir. Son olarak mevcut bir fabrikaya ait fotovoltaik sistemin PVsyst yazılım programı kullanılarak 3 boyutlu modellemesi ve simülasyon girdilerine hangi parametrelerin girildiği ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde PVsyst simülasyon programı kullanılarak 3 boyutlu modellemesi yapılan fabrika binasının sonuçları analiz edilmiştir. Fabrika binasının gerçek enerji üretim verileri ile PVsyst simülasyon programından elde edilen veriler

karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan farkı "one at a time" yöntemini kullanarak, her seferinde bir bağımsız değişkeni belirli bir yüzdeyle değiştirerek parametrelerin sistem performansına etkisi incelenmiştir.

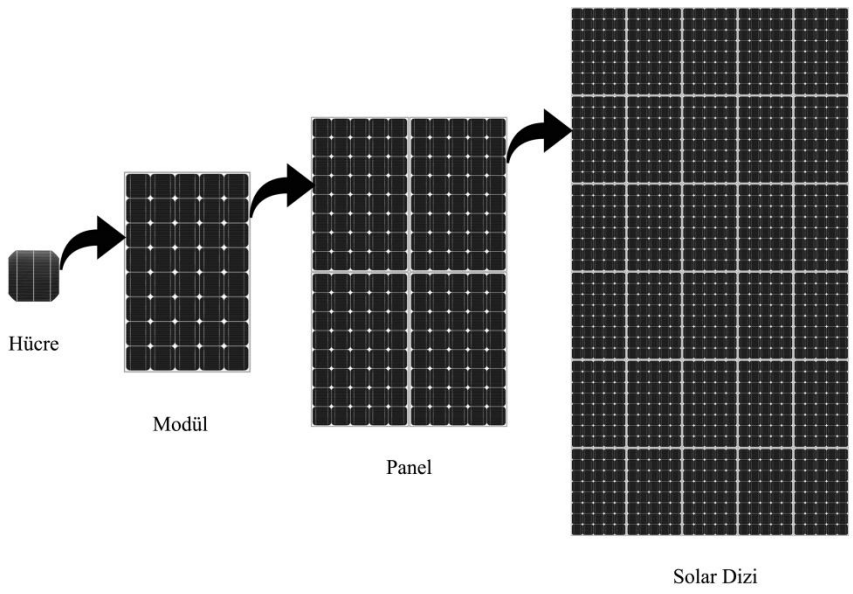
Son olarak sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular değerlendirmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde fotovoltaik sistemi oluşturan bileşenler ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Daha sonra dünyada ve Türkiye'de PVsyst simülasyon aracı kullanılarak yapılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımları ve performans değerlendirmelerini kapsayan tez çalışmaları, makaleler, araştırma yazıları, bildiriler incelenmiştir.

2.1. Fotovoltaik

Fotovoltaik kavramı, ışık anlamına gelen "photo" ve voltaj anlamına gelen "voltaic" kelimelerinin birleştirilmesiyle türetilmiştir (URL-15). Fotovoltaikler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde biçimlendirilebilir. Bir fotovoltaik hücrenin çıkış voltajı yaklaşık olarak 0,5 volt civarındadır. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi hücreler birleşerek modül, modüller birleştirilerek panel ve paneller birleşerek diziler elde edilir. Güneş panelleri talep edilen güce bağlı olarak seri ya da paralel bağlanabilirler. Panellerin güç çıkışından doğru akım elde edilir (Çelebi, 2002).



Şekil 2.1. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve solar dizi

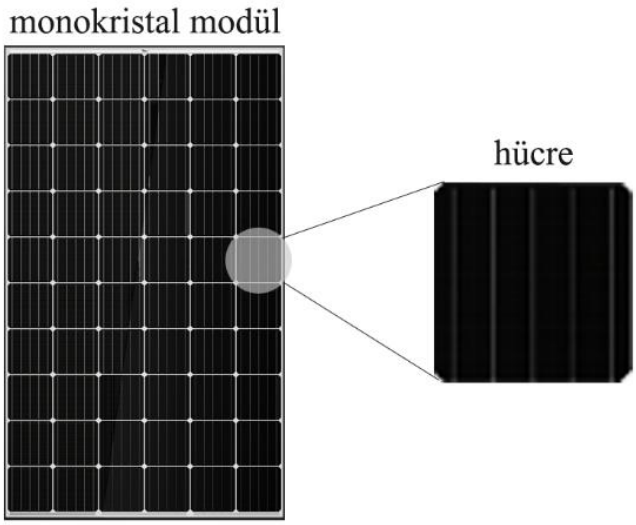
Çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak güç çıkışı arttırılabilir. Modüllerin seri bağlanmasıyla gerilim, paralel bağlanmasıyla modülün sağlayacağı akımın miktarı artırılır. Modüllerin seri-paralel bağlanmasıyla, istenilen güç seviyesi elde edilir (Kumar ve diğ., 2010).

2.2. Fotovoltaik Hücre Tipleri

Fotovoltaik hücreler temel olarak kristal yapılı silikon hücreler (C-Si) ve ince film hücreler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kristal yapılı hücreler de monokristal ve polikristal olmak üzere ikiye ayrılır. Günümüzde kristal silikon hücreler yaklaşık %93 pazar payı ile en yaygın kullanılan teknolojidir. Bu nedenle tez kapsamında sadece kristal yapılı hücrelerden bahsedilmiştir.

2.2.1. Monokristal hücreler

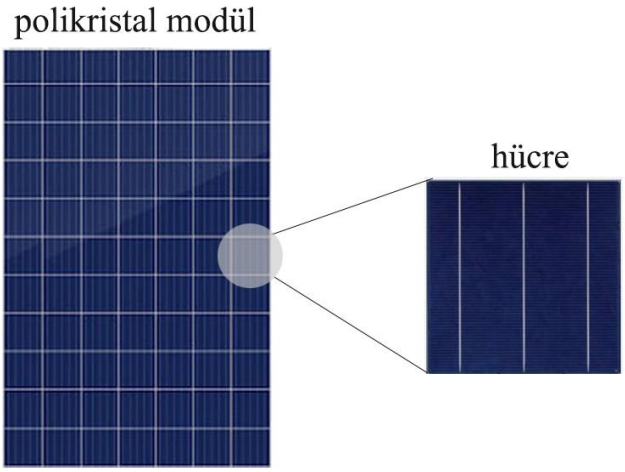
Üretim yöntemleri arasında en eski ve pahalısı olan monokristal yapılı hücreler, yaklaşık 0,5 milimetre (mm) kalınlığında, koyu mavi veya siyah renkte üretilirler (Şekil 2.2.). Mevcut çeşitleri arasında halen en yüksek verimlilik değerine sahiptir. Monokristal yapılı güneş hücrelerinin verimlilik değerleri ortalama %13-%19 arasında değişkenlik göstermektedir (Atlım, 2019; Girgin, 2011).



Şekil 2.2. Monokristal hücre yapısı (URL-16, URL-17)

2.2.2. Polikristal hücreler

Polikristal hücrelerin verimlilik değerleri %11-%15 seviyelerinde, 0,2 mm kalınlığında genellikle mavi veya gri renkte üretilirler (Şekil 2.3.). Polikristal hücrelerde, üretim metodu monokristal hücrelerde olduğu kadar hassasiyet gerektirmediğinden üretim maliyetleri daha düşüktür (Atlım, 2019). Bu durum polikristal hücreleri daha fazla alanda kullanılmasına neden olmuştur. Polikristal hücrelerin maliyeti monokristal hücrelere göre daha düşük olsa da verim bakımından kıyaslandığında polikristal yapının verimi daha düşüktür.



Şekil 2.3. Polikristal hücre yapısı (URL-17, URL-18)

Fotovoltaik sistemlerin enerji üretiminde iki büyük teknik sorun vardır. İlk olarak, enerji üretiminin dönüşüm verimliliğinin düşük olması, ikinci olarak ise, fotovoltaik hücrelerin çıkış gücünün parlaklık ve ortam sıcaklığından etkilenmesidir. Genel olarak, laboratuvar hücresi verimliliği yaklaşık %18-%20, ticari hücre verimliliği yaklaşık %13-%18'dir. Bu sorunların üstesinden gelmek için, fotovoltaik hücrelerin çıkış gücünün maksimum güç noktasını izlemeli, böylece fotovoltaik sisteminin enerji üretim verimliliği arttırmalı ve enerji üretim maliyeti düşürmelidir (Liu ve diğ., 2014).

2.3. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini etkin kullanarak elektrik enerjisi üreten, fotovoltaik modül, invertör, akü, şarj kontrol cihazı gibi bileşenlerden oluşan sistemlerdir (Oluklulu, 2001).

2.3.1. Fotovoltaik modüller

Güneşten gelen ışınımı doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Çok sayıda fotovoltaik pilin birbirine paralel ya da seri bağlanması ile oluşan yapıya fotovoltaik modül adı verilir. Fotovoltaik modüller sistemin en önemli parçasıdır (Oluklulu, 2001).

2.3.2. İnvertör (Evirici)

Fotovoltaik hücreler doğru akım (DC) elektriği üretir. İnvertörler ise fotovoltaik paneller aracığıyla üretilen doğru akımı, alternatif akıma çevirmekte kullanılır (Oluklulu, 2001). İnvertörler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere ikiye ayrılır. Şebekeye bağlı invertörler, şehir şebekesinin gerilim ve frekans değerlerine bağlı olarak çalışırlar. Şebekeden bağımsız invertörler ise fotovoltaik sistemin elektrik üretim parçası olarak çalışırlar (Suda, 2007).

2.3.3. Akü

Güneş ışınımı olduğunda üretilen enerjiyi, enerji üretimi olmadığında kullanmak üzere depolayan sistemlerdir. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerde akü, üretilen enerjiyi depolayan ve sonra kullanılmasını sağlayan araçlardır (Küçükgöze, 2016).

2.3.4. Şarj kontrol cihazı

Fotovoltaik pil ile yük arasındaki gerilimi düzeltmek için kullanılır. Akünün aşırı şarj ya da deşarj olmasını önlerler (Oluklulu, 2001).

2.3.5. Diğer sistem bileşenleri

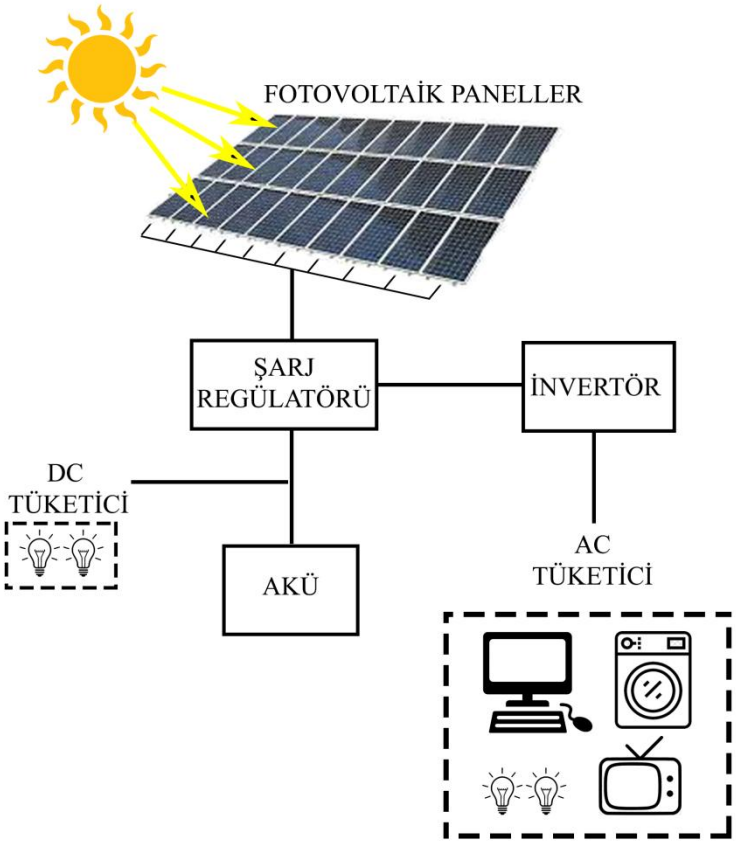
Fotovoltaik sistemler modül, akü, invertör gibi bileşenler dışında elektrik üretebilmek için diyotlar, kablolama, bağlantı kesme elemanları, sigortalar, topraklama elemanları, aşırı akımdan koruma elemanları ve montaj parçaları gibi başka bileşenlere de ihtiyaç duyulmaktadır (Oluklulu, 2001).

2.4. Fotovoltaik Sistem Türleri

Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki farklı sistem olarak uygulanmaktadır.

2.4.1. Şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler

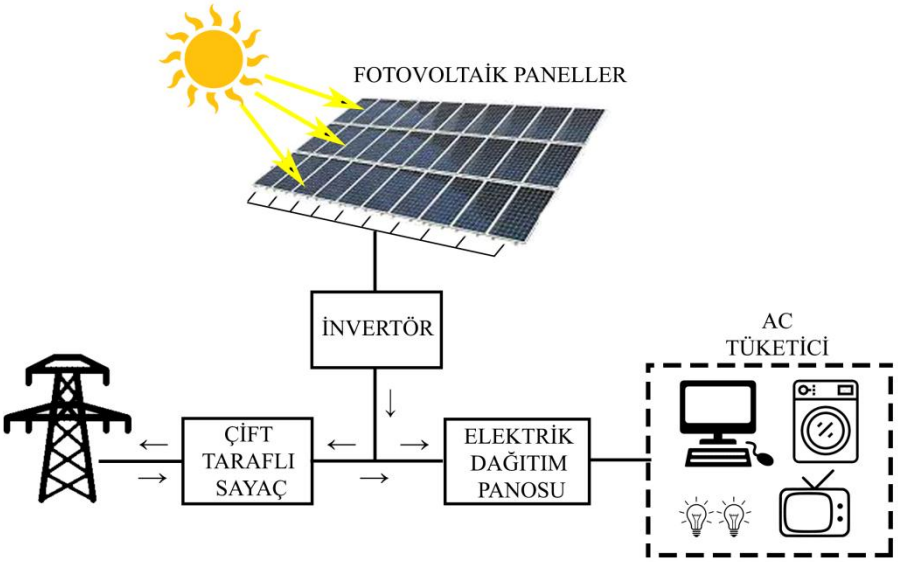
Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler, merkezden uzak kırsal alanlarda ve şebekenin ulaşamadığı yerlerde devreye alınan sistemlerdir. Depolama birimi aküler tarafından depolanan enerji gece gündüz istenildiği zaman kullanılmaktadır (Abamor, 2016). Şekil 2.4'te görüldüğü gibi şebekeden bağımsız sistemler panel, şarj kontrol cihazı, akü, invertör ve DC kablo gibi sistem bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Şebekeden bağımsız enerji depolamalı fotovoltaik sistem

2.4.2. Şebekeye bağlı (On-Grid) sistemler

Şebekeye bağlı sistemler, şebekenin bulunduğu yerlerde direkt şebeke hattına bağlanarak üretilen fazla enerjiyi çift yönlü sayaç vasıtasıyla ana dağıtım şebekesine aktaran, yeterli enerji üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alan sistemlerdir. Çit yönlü sayaç hem şebekeye verilen enerjiyi hem de şebekeden alınan enerji miktarını kontrol etmektedir (Şekil 2.5.). Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde, depolama ünitesi aküye ihtiyaç duyulmaz (Abamor, 2016).



Şekil 2.5. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem

Yenilenebilir enerji kaynağı güneşin, şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler aracılığıyla enerji üretmesi en iyi alternatiflerdendir. Şebekeye bağlı tesislerin performans analizi, yeni sistemlerin tasarlanmasına, kurulmasına, işletilmesine teşvik etmektedir (Kumar, 2015).

2.5. Fotovoltaik Modül Verimliliğini Etkileyen Parametreler

Fotovoltaik sistemlerin kurulumu aşamasında yapılan yanlış uygulama ve hatalar, sistemler devreye alındığında önemli problemlere ve üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Fotovoltaik sistemlerden yüksek performans elde etmek için performans analizi ve verimliliğini etkileyen faktörlerin takibi yapılmalıdır (Şimşek, 2018).

Performans oranı; fotovoltaik sistemlerinin verimliliğini ölçmek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Performans oranı, fotovoltaik sistemde üretilen enerjinin teorik olarak mümkün olan en yüksek enerji üretimine oranıyla bulunur. Sistemin kalitesini ortaya koyar. PV sistem, kayıpları ne kadar düşükse o kadar yüksek performans oranına sahiptir. Performans oranı sistemin yöneliminden ve anlık güneş ışınımdan bağımsızdır (Bilgili, 2017; Deniz, 2013).

Fotovoltaik sistemlerin performansını sıcaklık, tozlanma, karlanma gibi bulunduğu yerel koşullarla ilgili çevresel faktörler etkilemektedir. Gölgelenme, AC ve DC kablo kayıpları gibi faktörler sistem tasarımıyla ilişkilidir. Modüller arasındaki uyumsuzluklar ve evirici kayıpları ise sistemde kullanılan malzemelerin kalitesiyle alakalıdır (Deniz, 2013).

Fotovoltaik sistemin panel eğim açısından kaynaklı kayıpları, modüllerde oluşan ışınım kayıpları, invertör kayıpları, PV bileşenlerinin yapısal ve bulunduğu çevreden kaynaklı kayıpları gibi birçok parametre bulunmaktadır. Sistem bileşenlerinin karakteristik değerleri, coğrafi konumu, çevresinde bulunun yapılar ve sistemin arızaları üretilen enerjiyi etkilemektedir. Fotovoltaik sistemde meydana gelen kayıplar en fazla gölgelemeden, en az kayıp ise AC kablo kayıplarından kaynaklanmaktadır. Sistemin kalitesini ortaya koyan performans oranı kayıpların değerlendirilmesinde önemlidir (Bilgili, 2017).

Fotovoltaik panelden elde edilen enerji miktarı, panelin yüzeyle yaptığı açıya bağlı olarak değişmektedir. Türkiye'de fotovoltaik panellerin optimum yerleştirme açısı 30°'dir. Fotovoltaik diziler, optimum açıda yerleştirildiğinde, açı değişimi 15°'dir. Açı değişimindeki 15°'lik fark için verim azalması %5 alınır (Dağtekin 2012).

Güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açıları ve binanın bulunduğu konumun yıllık güneşlenme değerlerinin bölgeden bölgeye farklılık göstermesi, binaya entegre fotovoltaik sistem tasarımında panelden elde edilecek enerjiyi etkilemektedir. Güneş ışınım şiddetinin düşmesi panel gücünü de düşürmektedir. Enerji üretiminin maksimuma ulaşması için panelin güneye yönlendirilmesi gerekmektedir. Ancak güneydoğu ve güneybatı yönlerinde de uygulama yapılabilir (Turhan ve Çetiner, 2012).

Fotovoltaik panellerin verimini etkileyen bir diğer faktör de gölgelemedir. Maksimum ışın alınması için güneye yönlendirilen panelin bina, ağaç dalı, baca gibi üzerine gölge oluşturan etmenler sistemin verimini düşürmektedir. Bu sebeple sistem tasarımı yapılırken panellerin üzerinde gölge oluşturan elemanlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Çelik, 2002). Arazi veya çatı uygulamalı tesislerde sehpalardaki PV

dizelerin, birbirini gölgelemesi durumu verimi etkilemektedir. Bu sebeple sıralı PV dizelerin arasında bırakılacak mesafeye dikkat edilmelidir. Projelendirme aşamasındaki en önemli adım sistemin gölgeleme analizi yapılmalı ve çözüm yolları aranmalıdır (Atlım, 2019).

Panel verimine etki eden önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır. Panel sıcaklığı ile panel gücü arasındaki ilişki ters orantılıdır. Bu durum sıcaklık artışının fotovoltaik modüllerin gücünü düşürdüğünü göstermektedir. Panellerin her 10°C sıcaklık artışında %1 verimi düşmektedir. Panellerin arka yüzündeki hava akımının sağlanması, fotovoltaik modüllerin ısınmasını en aza indirmektedir (Alaçakır, 1999; Bilgili, 2017). İki fotovoltaik modülün yan yana montaj mesafesi en az 20 mm olmalıdır. Modül ile çatı kaplaması arasındaki mesafe ise en az metal, trapez veya sandviç kaplamalı çatılarda 100 mm olmalıdır (TEDAŞ, 2015).

Kablo kayıpları, fotovoltaik sistemlerde enerji iletimi için kullanılan kablolarda meydana gelen kayıplardır, omik kayıp olarak da adlandırılmaktadır. Kablonun mesafesi, tipi ve akıma bağlı olarak oluşan tüm kablolardaki AC ve DC kayıpları kapsamaktadır. Çatıya entegre fotovoltaik sistemlerde kablolama kayıpları büyük önem taşımaktadır. Oluşan kaybı en az seviyede tutmak için kullanılan kablo kesitlerinin artırılması gerekmektedir (Şimşek, 2018).

Fotovoltaik sistemlerde meydana gelen önemli kayıplardan birisi de uyumsuzluk kayıplarıdır. İki veya daha fazla dizinin ürettiği enerjinin farklı olması modüllerde uyumsuzluk kayıplarını meydana getirmektedir. Bu farklılık kısmi gölgelenme, kirlenme, farklı çalışma sıcaklıkları, farklı ışınım değerleri ya da güneş paneli güç toleransı gibi faktörlerin dizilerde meydana getirdiği kayıplardır. Dizide seri olarak birbirine bağlanan modüllerin güç toleransları arasındaki farklara bağlı olarak uyumsuzluk kayıplarının şiddeti artar ya da azalır (Deniz, 2013; Köprü, 2016).

Panel kayıpları, güneş panellerinde yaşlanma ve güç toleransı sebebiyle meydana gelen kayıplardır. Fotovoltaik sistemlerinde, panellerin kullanım yılı arttıkça yaşlanmadan dolayı meydan gelen kayıplar da artmaktadır. Güneş paneli üreticileri, 25 yıl performans güç garantisi vermektedir. Ayrıca, fotovoltaik sistemlerde güç toleransı yüksek panellerin kullanılması uyumsuzluk kayıplarını daha da artıracağı için, güneş paneli seçiminde güç toleransı düşük olanlar tercih edilmelidir (Demiryürek, 2018).

İnvertör kayıpları, fotovoltaik panellerden elde edilen doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi sırasında ve invertör gücünün doğru hesaplanmaması sonucunda, oluşan kayıplardır. Güneş panellerinin üretebileceği maksimum güç ile invertör gücü eşit veya daha yüksek olacak şekilde seçilmelidir. Standart test koşullarındaki nominal modül gücünün, invertörün nominal AC çıkış gücüne oranı invertör verimini etkiler. Bu durum invertörün, üretilen gücün tamamını şebekeye aktarılmasına engel olabilir. (Demiryürek, 2018; Deniz, 2013).

Tozlanma ve karlanma kayıpları, fotovoltaik modüllerin yüzeylerinin kirlenmesinden oluşan tabakanın modüllere ulaşan ışınım miktarını azaltmasından kaynaklanan kayıptır. Endüstriyel hava kirliliği, yolların tozu, meteorolojik toz taşınımları, egzoz dumanı, kuş pislikleri kirlenmeye sebep olan etkenlerdir. Tozlanma güneş kolektörlerinde güç kaybına neden olmaktadır. Tozlanmadan kaynaklanan kayıplar az yağış alan bölgelerde %15 oranına kadar ulaşmaktadır. Panelin yatayla yapmış olduğu açı 15°'den büyükse yağmurun paneli temizleyeceği varsayılır ve tozlanmadan kaynaklı verim kaybı ise %0,5'le sınırlıdır. Eğer panel açısı %15'ten küçük ve sistemin kurulduğu bölge az yağış alıyorsa verim kayıp oranı bu değerlerin üzerine çıkmaktadır. Yapılan araştırmalara göre tozlanmadan kaynaklı kayıplar nadiren %4'ün üzerine çıkmaktadır. Kar yağışının sıklıkla görüldüğü bölgelerde çatı sistemlerinde %2 karlanma kaybı varsayılabilir (Deniz, 2013).

Fotovoltaik sistemlerin tozlanmadan kaynaklı kayıpları, şehir merkezi dışında olduğunda %1, şehir merkezi olması halinde %2, sanayi bölgesinde ve şehir merkezinde olması durumunda %3 gibi değerler vermek mümkündür (Mutluay, 2016).

Yansıma kayıpları, fotovoltaik modüllere gelen ışınımın bir kısmı hücreler tarafından emilirken bir kısmı da modül yüzeyinden geri yansırlar. Yansıyan ışınımlardan dolayı oluşan kayıplara yansıma kayıpları denir. Fotovoltaik modüllerin yüzeyindeki cam emilmeyi maksimum seviyeye, yansımadan dolayı meydana gelen kayıpları en aza indirmek için temperli bir yapıya sahiptir. Hücreler ise ışığın yansımasını önlemek için yansıma önleyici kaplama (Anti – reflective coating) ile kaplanır (Köprü, 2016).

2.6. Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Fotovoltaik paneller, elektrik üretiminin yanı sıra bina örtüsü ya da alt yapı sistemleri ile bütünleşerek sistemin mimari elemanı durumuna gelebilirler. Binaya entegre fotovoltaik paneller, binanın düşey (cephe) ve yatay (çatı) yüzeylerini tamamlayan birleşen konumundadır. Son zamanlarda çatıya entegre ve binaya entegre fotovoltaik sistemlerin kullanımları oldukça artmıştır (Oluklulu, 2001). Bu bölümde dünyada ve Türkiye'de PVsyst simülasyon aracı kullanılarak enerji üretimi yapan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler üzerine yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Oluklulu Ç. (2001), yaptığı çalışmada dünyada ve Türkiye'de enerji sektörünün gelişimi ve üretim modelleri incelenerek yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisinden yararlanılarak fotovoltaik panellerin binalarda kullanım olanakları araştırılmıştır. Fotovoltaik sistemde kullanılan bileşenler, sistem türleri, avantajları ve dezavantajlarını ifade edilmiştir. Fotovoltaik sistemlerin binalarda uygulama olanakları yapı elemanları şeklinde gruplandırılarak şekil ve çizimler yardımıyla açıklanmıştır.

Çelebi G. (2002), yaptığı çalışmada güneş enerjisi kullanılarak enerji üreten bina kabuğuna entegre fotovoltaik sistemin öneminden bahsedilmiştir. Fotovoltaik sistemlerin tarihçesi, modüllerin yapısı, türleri ve özellikleri incelenmiştir. Düşey yapı kabuğuna entegre fotovoltaik panellerin kullanılması durumunda performansı etkileyen faktörler irdelenmiştir. Bina kabuğunda fotovoltaik panellerin uygulama olanakları biçimsel farklılıklarına göre gruplandırılarak şekiller yardımıyla açıklanmıştır.

Çelik B. G. (2002), yaptığı çalışmada güneşten etkin olarak yararlanmayı olanaklı kılan fotovoltaik modüller incelenmiştir. Mimaride fotovoltaik modül kullanımı ve verimlerini etkileyen faktörler ele alınmıştır. Örnek olarak Eskişehir'in meteorolojik verileri dikkate alınarak, PVsyst 3.11 simülasyon programı aracılığıyla aynı plan tipine sahip 3 farklı model evinin çeşitli yüzeylerine entegre edilen, farklı şekillerde cephe ve çatıda düzenlenmeleri ile Eskişehir iklim şartlarında uygulanabilecek en uygun modül açısı, yön ve verimlilikleri araştırılmıştır.

Yıldız A. (2003), yaptığı çalışmada enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan binalarda güneş enerjisinden aktif ve pasif olarak yararlanma olanakları araştırılmıştır. Güneşten aktif olarak yararlanma olanağı sunan fotovoltaik sistemlerin yapılarda uygulanabilirliği irdelenmiş ve fotovoltaik sistemlerin tasarım sürecinde kullanılan simülasyon yazılımları araştırılmıştır. PVsyst 3.21 simülasyon yazılımı ile bina

cephesine uygulanan fotovoltaik panellerin, Ankara Armada İş ve Alışveriş Merkezi'nin modellemesi yapılarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Karaca Ü. B. ve Uçar S. (2018), yaptıkları çalışmada Burdur'da tek katlı bir konutun çatı ve cephesinde kurulan; çatıdan bağımsız kullanılan, çatı sistemi ile bütünleşik olarak kullanılan, cepheden bağımsız kullanılan ve cephe ile bütünleşik olarak kullanılan olmak üzere bina kabuğunda 4 farklı şekilde fotovoltaik sistemin enerji üretim verileri ele alınmıştır. PV sistemin verimliliği ve kayıpları hesaplanırken "PVGIS Estimation" (PVGIS– Interactive Maps, 2018) adlı program kullanılmıştır. Sonuç olarak 4 farklı sistem içinde en yüksek enerji üretiminin ek strüktür ile çatıda uygulanan PV sistemde olduğu tespit edilmiştir.

Turhan S. ve Çetiner İ. (2012), yaptıkları çalışmada binalarda kullanılan fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen; bina konumu, yönlendirme ve yüzey eğim açısı, gölgelenme, panel tipi, bakım ve temizlik, panellerin arkasında oluşan sıcaklık gibi parametrelerden bahsedilmiştir. Türkiye ve Dünya'da uygulanmış birkaç PV sistem örnekleri incelenmiştir. Çalışmalarındaki verilerin analizi sonucunda, yıllık güneş enerjisi yüksek bölgede, gölgelenmeye karşı önlem alınmış, arka yüzeydeki hava akışı sağlanan, yüksek performanslı yüzey temizliği dikkat edilen doğru eğim açısı ile yerleştirilmiş panellerin, uygulamalarda maksimum performans elde ettiği görülmüştür.

Deniz E. (2013), yaptığı çalışmada fotovoltaik sistemlerde meydana gelen kayıplar açıklanmıştır. Modüllere düşen ışınım kayıpları, bileşenlerde görülmesi muhtemel yapısal, tasarımsal ve çevreden kaynaklanan sistem kayıpları ve invertörlerde görülen kayıplardan bahsedilmiştir. Son olarak da kayıpların fotovoltaik sistemlerin performansı üstündeki etkileri üzerine önerilerde bulunulmuştur.

Sadıkoğlu F. (2018), yaptığı çalışmada Konya Organize Sanayi'de kurulan 1 MWp gücündeki güneş enerjisi santralinde tozlanmanın performans üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Aynı iklim şartlarında ve konumda bulunan temizlik yapılan ve yapılmayan panel gruplarının 1 yıllık enerji üretim değerleri gözlemlenmiş, panel temizliğinin %3,92 performansa katkısının olduğu gözlemlenmiştir. Performans artışının tüm sisteme etkisi, bütün sisteme temizlik yapılması durumunda +%5,65'e çıkabileceği tahmin edilmiştir.

Kandasamy C.P. ve diğ. (2013), yaptıkları çalışmada 1 MW'lık şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerjisi sisteminin simülasyonu PVsyst 5.59 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Enerji üretimi, performans oranı, verimlilik ve maliyet karşılaştırılarak, Tamil Nadu'nun güney bölgesinde şebekeye bağlı güneş enerjisi sisteminin uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Mutluay B. (2016), yaptığı çalışmada fotovoltaik sistem tasarımında kullanılan mevcut yazılımlar incelenmiştir. Fotovoltaik sistem simülasyonu için verdiği sonuçların güvenilirliği bakımından PVsyst programı seçilmiştir. Uygulama, Fırat Üniversitesi İletişim Fakültesi Kampüsü önünde 1MW'lık PV sistem tasarımı için mevcut 20 dönümlük bir arazi üzerinde yapılmıştır. Programda tanımlanması gereken parametreler girilmiş ve simülasyon verileri elde edilmiştir. Yıllık üretim 1757 MWh/yıl, sistem performansı %83 olarak bulunmuştur. Ayrıca tasarlanan tesisin maliyet analizi yapılarak geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Kumar N. M. ve diğ. (2017), yaptıkları çalışmada 100 kWp şebekeye bağlı poli-Si fotovoltaik sistemin performans analizini PVsyst V6.52 simülasyon programını kullanarak simüle etmişlerdir. Simülasyon programının veri tabanı Meteonorm 7.1'den sıcaklık ve güneş radyasyonu değerleri alınarak, kampüsün enerji ihtiyacını karşılamak üzere bir sistem kurulmuştur. Simülasyon sonuçları, fotovoltaik sistemin toplam enerji üretimini, şebekeye verilen enerji verilerini, performans oranının değerlendirmesini içermektedir. Sistemin performans kapasitesinin %80 olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Güven A. F. ve Kılıççı S. (2018), yaptıkları çalışmada Armutlu ilçesi devlet hastanesinin yıllık enerji ihtiyacını fotovoltaik sistem tarafından karşılanması amaçlanmıştır. Fotovoltaik sistem tarafından üretilen enerjinin PVsyst yazılım programıyla analizi yapılmıştır. Bina için uygun olan güneş paneli ve invertör seçimlerinde PVsyst yazılımının veri tabanından yararlanılmıştır. Hastanenin aylık tükettiği enerji ile sistemin aylık ürettiği enerji miktarı karşılaştırıldığında sistem binanın ihtiyaç duyduğu enerjinin %93'ünü karşıladığı görülmüştür.

Aksangör N. N. (2019), yaptığı çalışmada Ankara'da bulunan bir kampüse ait bazı binalarda tasarlanacak fotovoltaik sistemin üretebileceği enerji miktarını ve performans oranının simülasyon ortamında ölçülmesi amaçlanmıştır. Çalışmada PVsyst 6.7.8 simülasyon aracı kullanılmıştır. Tasarlanacak sistem binaların çatı alanları ile sınırlandırılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları IEC 61724 standartlarında belirtilen performans parametrelerine göre değerlendirilerek, tasarlanan fotovoltaik sistemin performans analizi yapılmıştır. Sistemin performans oranı ise %84,1'dir.

Akcan E. ve diğ. (2020), yaptıkları çalışmada Batman'da bulunan bir okulun çatısına uygulanması düşünülen 30 kW'lık çatı tipi fotovoltaik sistem PVsyst yazılım programında modellenerek simülasyonu yapılmıştır. PVsyst programında coğrafi konum işaretlenmiş ve bölgenin meteorolojik verileri Meteonorm 7.2 veri tabanından alınmıştır. Uygulanması düşünülen PV sistemin gerçekleştirilmesi durumunda sistemin üreteceği enerji miktarı, performans oranı ve diğer uyumsuzlardan kaynaklanan kayıplar PVsyst yazılım programı üzerinden değerlendirilmiştir.

Eke R. (2000), yaptığı çalışmada Türkiye'deki fotovoltaik sistemlerin modellemesi yapılarak çalışması esnasında ortaya çıkabilecek performansı etkileyen faktörlere karşı alınması gereken önlemlerden bahsedilmiştir. Ayrıca 3,8 kWp gücündeki şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin PVsyst 3.02 simülasyon programda 1 yıllık simülasyon verileri elde edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları ile gerçekte ölçülen veriler karşılaştırılmış ve ortaya çıkan farklar tartışılmıştır.

Sharma ve diğ. (2013), yaptıkları çalışmada Hindistan'da kurulan 190 kWp fotovoltaik sistemin performans analizi yapılmıştır. Fotovoltaik sistemin yıllık ortalama performans oranı %74, kapasite faktörü %9,27 ve sistem verimliliği %8,3'tür. PVsyst yazılımı kullanılarak santralin ölçülen güneş radyasyonu verileri girilmiş, sistemin simülasyonu yapılmıştır. 2011 yılında santral 154,43 MWh enerji sağlarken, PVsyst tarafından öngörülen toplam yıllık enerji çıkışı 156,40 MWh'dir. PVsyst simülasyon sonuçları ile fotovoltaik sistemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonucundaki tahmini enerji verimi, %1,4'lük bir belirsizlikle ölçülen sonuca yakın çıkmıştır.

Demircan C. (2014), yaptığı çalışmada Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi S bloğundaki kurulu gücü 40,39 kWp olan binaya entegre fotovoltaik (BIPV) sistemin 1 yıllık enerji performansı incelenmiş, fotovoltaik sistem tarafından üretilen gücün miktarı belirlenmiştir. Binanın ihtiyaç duyduğu gücü karşılama oranları belirlenmiştir. 2013 Temmuz-2014 Haziran arasında BIPV sistem sayesinde bina talep edilen gücün yaklaşık %19'u güneş enerjisinden karşılamıştır ve geri kalan %81'i ise şebekeden karşılanmıştır.

Okello D. ve diğ. (2015), yaptıkları çalışmada Güney Afrika'daki Nelson Mandela Metropolitan Üniversitesi'ndeki Açık Hava Araştırma Tesisinde yer alan, 3,2 kWp'lik şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin gerçek üretim verileri ile PVsyst yazılımıyla simüle edilmiş performans verileri karşılaştırılmıştır. 2013 yılında fotovoltaik sistem tarafından üretilen enerji 5757 kWh/yıl iken, ölçülen ve Meteonorm'dan elde edilen hava değişkenleri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon

için 5754, 5771 kWh/yıl verileri elde edilmiştir. Benzer olan simülasyon sonuçlarına rağmen, yerinde ölçülen iklim verileri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonucunun, ölçülen aylık enerji verilerine daha yakın olduğu gözlenmiştir.

Özerdem Ö. ve diğ. (2015), yaptıkları çalışmada Kuzey Kıbrıs'taki ilk şebeke bağlantılı fotovoltaik santral olan 1,2 MW Serhatköy santralinin performansını değerlendirmişlerdir. Serhatköy fotovoltaik santralinin modellenmesinde PVsyst yazılımı kullanılarak simülasyonu yapılmış, yıllık şebekeye enjekte edilecek enerji 2145 MWh çıkmıştır. Santralin simülasyon sonuçları ve fiili tesis üretiminden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, 2012 yılında santral 1985,21 MWh enerji üretimi ile simülasyon verilerine göre %7,47 daha az, 2013 yılında ise santral 2152,36 MWh enerji üretimi ile simülasyona göre %0,32 daha fazla enerji üretimi yaptığı ortaya çıkmıştır.

Haydaroğlu C. ve Gümüş B. (2016), yaptıkları çalışmada Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde kurulu olan 250 kWp'lik güneş enerji santralini PVsyst 6.39 simülasyon programıyla simüle ederek standartlarda belirtilen performans kriterlerine uygunluğu analiz edilmiştir. Ayrıca Aralık 2015-Nisan 2016 arasındaki gerçek üretim verileri ile simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ocak ayı hariç gerçek üretim verileri simülasyon verilerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şimşek S. (2018), yaptığı çalışmada ilk olarak verimliliği etkileyen faktörlerin ve performans parametrelerinin hesaplanmasında kullanılacak metotlardan bahsedilmiştir. Torbalı ve Gölbaşı'nda bulunan güneş enerji santrallerinin performans parametreleri ve verimliliği etkileyen faktörler daha önce verilen metotlar ile hesaplanmıştır. PVsyst yazılımında sahanın modellenmesi ve simülasyonu yapılmıştır. Saha enerji üretim verileri ile simülasyon verileri parametreler üzerinden değerlendirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçların yakın olduğu ortaya çıkmıştır. En fazla kaybın sıcaklıktan kaynaklandığı görülmüştür. Diğer kayıplar tozlanma, yansıma ve dizi uyuşmazlığı kaybı oluşturmuştur.

Keskin A. (2019), yaptığı çalışmada Niğde'de kurulan 1 MW güneş enerjisi santralinin simülasyonu PVsyst yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Fotovoltaik sistemlerin performansını ve verimliliğini etkileyen faktörlerin sistemin performansına etkisi incelenmiştir. Santralin gerçek üretim verileri ile PVsyst simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Gerçekte üretilen enerji üretim verileri, simülasyon verilerinden %1,72 oranında daha fazla çıkmıştır.

Atlım F. (2019), yaptığı çalışmada Balıkesir Bandırma'da arazi uygulamalı Albatur Enerji GES ile çatı uygulamalı Aydın Dülger GES tesislerinin panel eğim açısının sistem verimine etkisi karşılaştırılmıştır. Her iki tesisin PVsyst 6.7.6 programında simülasyonları yapılmıştır. Karşılaştırmanın doğru olabilmesi için tesisler birbirine yakın konumda seçilmiş olup güneş ışınım miktarı, sıcaklık, yükselti gibi faktörlerden kaynaklanan farklılıkların olmamasına dikkat edilmiştir. Tesislerin enerji üretim verileri ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmış Balıkesir için panel eğim açısının güney yönünde 28°–30° arasında uygun olacağı tespit edilmiştir.

Bolat M. ve diğ. (2020), yaptıkları çalışmada 200 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı Lebit Enerji güneş santraline ait bilgiler, PVsyst simülasyon programına girilmiş, veri tabanından alınan veriler ışığında santralin simülasyonu yapılmıştır. Lebit Enerji güneş santraline ait gerçek enerji üretim verileri ile PVsyst simülasyon verileri karşılaştırılmıştır. Simülasyon verileri gerçek üretim verilerinden %0,56'lık bir farkla fazla çıkmıştır. Ayrıca PVsyst simülasyon programının özelliklerinden ve avantajlarından bahsedilmiş, kullanılabilirliğiyle ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Vidal H. ve diğ. (2020), yaptıkları çalışmada 2018 yılında Punta Arenas'ta (Şili) kurulan şebekeye bağlı 8,2 kWp'lik bir fotovoltaik sistem, PVsyst simülasyon yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Sistemin aylık ve yıllık performans değerlendirilmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyonun amacı, fotovoltaik sistemde ölçülen ve PVsyst yazılımında simüle edilen sonuçlar arasında bir karşılaştırma yapmaktır. Karşılaştırma sonucunda fotovoltaik sistemde, PVsyst'deki simüle edilmiş fotovoltaik modelden daha fazla enerji ürettiği gözlemlenmiştir.

Çınaroğlu M. S. ve Nalbantoğlu M. (2021), yaptıkları çalışmada Kilis'de yer alan üç adet güneş enerjisi santrali ile bu santrallerin PVsyst 7.1. simülasyon programında modellenerek sistemlerin analizleri yapılmıştır. Santrallere ait üç yıllık enerji üretim verileri ile PVsyst 7.1. simülasyon raporunda yer alan üretim verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma neticesinde; elde edilen verilerin birbirlerine yakın ancak santral enerji üretim verilerinin daha az olduğu görülmüştür. Meydana çıkan farkların; gerçekleşen hava olayları, bulutlu günler, değişen hava sıcaklığı, panel üzerinde biriken toz ve kar gibi etkenlerden kaynaklanabileceği tespit edilmiştir.

Srivastava R. ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada Hindistan'ın kuzeyinde bulunan üniversitenin park entegreli şebekeye bağlı fotovoltaik santralin bir yıllık performans değerlendirmesi ICE 61724 standartlarına göre yapılmıştır. Kısmi gölgelemeli PV santralin PVsyst ve PV*SOL yazılımlarında gerçek bir 3 boyutlu ortam

oluşturularak simülasyonu yapılmıştır. Gerçek tesis sonuçları ile bu iki yazılımdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, gölgelemenin etkisiyle yazılım sonuçları gerçek sistem sonuçlarıyla eşleşmediği görülmüştür.

Oluklulu (2001) ve Çelebi (2002) çalışmalarında güneş enerjisini kullanarak enerji üreten fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanım olanaklarından bahsetmişlerdir. Oluklulu (2001) çalışmasında fotovoltaik sistemin çatıda ve bina düşey kabuğunda uygulanma şekillerini anlatmış, Çelebi (2002) ise sadece bina düşey kabuğunda olan kullanım şekillerinden bahsetmiştir. Her iki çalışmada da uygulama, şekiller ve çizimlerle anlatılmıştır. Çelik (2002), Yıldız (2003) ve Karaca (2018) ise mimaride uygulanan fotovoltaik modülleri örnek bina üzerinde değerlendirmişlerdir. Yıldız (2003) cephede uygulanan panelleri PVsyst simülasyon yazılımı ile modelleyerek performansını analiz etmiştir. Çelik (2002) ise fotovoltaik modüllerin verimini etkileyen faktörleri ele alarak PVsyst simülasyon yazılımında çatıda ve cephede en uygun modül açısı ve yönünü araştırmıştır. Karaca (2018) ise tek katlı konutun çatı ve cephesine uygulanan fotovoltaik sistemin 4 farklı durumdaki enerji üretim verilerini ele alarak, en verimli sistemi tespit etmiştir. Fotovoltaik sistemin verimliliği ve kayıpları PVGIS simülasyon programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Turhan (2012), Deniz (2013) ve Sadıkoğlu (2018) yapmış oldukları çalışmalarında, fotovoltaik sistemlerin enerji üretim verilerini ve performansını etkileyen çeşitli faktörleri konu başlığı olarak ele almış ve ayrıntılı olarak incelemişlerdir.

Kandasamy (2013), Mutluay (2016), Kumar (2017), Güven (2018), Aksangör (2019) ve Akcan (2020) yapmış oldukları çalışmalarında sistemin enerji üretim verilerini PVsyst simülasyon programının farklı versiyonlarını kullanarak elde etmişlerdir. Çalışmalarındaki amaç seçilen bölgede kurulacak olan fotovoltaik sistemin uygulanabilirliği, sistemin üreteceği enerji miktarı, meydana gelen kayıplar, performans oranı ve maliyet analiziyle ilgili değerlendirmeler yapmışlardır.

Eke (2000), Okello (2015), Özerdem (2015), Haydaroğlu (2016), Şimşek (2018), Keskin (2019), Atlım (2019), Bolat (2020), Vidal (2020), Çınaroğlu (2021) ve Srivastava (2021) yapmış oldukları çalışmalarında kurulu olan fotovoltaik sistemin üretmiş olduğu enerji verileri ile 3 boyutlu modellemelerde en çok kullanılan PVsyst yazılımıyla elde edilen simülasyon verilerini karşılaştırmışlardır. Srivastava (2021), yapmış olduğu çalışmada PVsyst'ın yanında PV*SOL yazılımını da kullanmıştır. Karşılaştırmalar neticesinde sonuçların birbirinden farklı çıktığı gözlemlenmiştir.

Okello (2015) ve Şimşek (2018) çalışmalarında elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğunu tespit etmiştir. Haydaroğlu (2016), Keskin (2019) ve Vidal (2020)'nin çalışmasında ise gerçekte üretilen enerji verilerinin simülasyon verilerinden daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bolat (2020) ve Çınaroğlu (2021)'de ise simülasyon verileri daha fazla çıkmıştır. Tüm bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan farklılıkların kaynakları tartışılmıştır.

Şimdiye kadar yapılmış çalışmalar incelendiğinde, fotovoltaik sistemlerin gerçek enerji üretim verileri ile PVsyst simülasyon programı kullanılarak tahmin edilen enerji verilerinin karşılaştırılması alanında çalışmalar bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının farkı ise gerçek enerji üretim verileri ile tahmin edilen enerji verilerinin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkabilecek olası farkların nelerden kaynaklanabileceğini, "one at a time" yöntemi kullanılarak bağımsız değişkenler aracığıyla belirlemektir. Böylece literatürde oluşan eksikliği dolduracak, kaynak oluşturabilecek bir çalışma yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada incelenen; Konya ili Beyşehir ilçesinde faaliyet gösteren 4.788,72 kWp kurulu güce sahip tesisin enerji ihtiyacının yaklaşık %30'u, şebekeye bağlı fotovoltaik sistem ile karşılanmaktadır. Mevcut binaya entegre fotovoltaik sistemin 1 Ocak 2021 - 31 Aralık 2021 tarihleri arasındaki gerçek enerji üretim verileri ile PVsyst 7.2.14 simülasyon programı materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmanın yöntemi olarak ise fabrika binasına ait elektriksel ve teknik bilgiler PVsyst 7.2.14 simülasyon programına girilerek, binanın 3 boyutlu modellemesi yapılmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Fabrika binasının bir yıllık enerji üretim verileri ile PVsyst 7.2.14 yazılım programında elde edilen simülasyon verileri karşılaştırılarak arada oluşan farklılıklar ve farklılıklara neden olabilecek etkenler analiz edilmiştir. Ayrıca sistemin performans analizi de yapılmıştır.

3.1. Fotovoltaik Simülasyon Programları

Güneş enerjisini etkin kullanmaya imkân sağlayan fotovoltaik (PV) sistemler, her geçen gün artan kullanım imkânları ile binalarda da uygulanmaya başlanmış, mimarlar tarafından uygun çözümler geliştirilmesi gereken bir tasarım kriteri olarak ortaya çıkmıştır. Fotovoltaik modüllerin binalara entegrasyonu ve binanın enerji etkinliğinin arttırılması için tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken birçok karmaşık parametre bulunmaktadır. Bu karmaşık parametreleri bir arada değerlendiren ve binaların enerji üretimini hesaplayabilen birçok simülasyon programı geliştirilmiştir (Yıldız, 2003).

Yatırımcılar, tesisin beklenen enerji çıktısını (kWh) hesaplamak için simülasyon programı kullanırlar. Program seçimi, tahmin edilen ve ölçülen verilerin ne kadar uyumlu olduğu yargısına dayanmalıdır. Kullanımda mevcut birçok program olmasına rağmen, en iyi simülasyon programı, enerji çıktısını doğru tahmin edebilen programdır (Sharma ve diğ., 2013).

Simülasyon programları fotovoltaik sistemlerin enerji tahminlerinde önemli bir yere sahiptir. Sistemlerin uzun vadede yüksek performans göstermesi için performans analizi ve enerji verimliliğini etkileyen faktörlerin takip edilmesi gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerin kurulum aşamasında yapılan yanlış uygulamalar, çok büyük üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Fotovoltaik sistemlerden yüksek performans elde

etmek için enerji verimliliği ve performans analizini etkileyen faktörlerin rutin takibi yapılmalıdır (Şimşek, 2018).

Simülasyon programları fotovoltaik sistemlerin çalışma davranışlarını analiz eden ve enerji üretim verilerini tahmin edebilen önemli programlardır. Simülasyon yazılımları kullanılarak 3 boyutlu tasarlanan sistemlere, programda yerleştirilen paneller aracılığıyla panellerin yerleşim yönü, açısı, konumu ve üzerine düşen gölgenin analizleri yapılabilmektedir (Ceylan, 2017).

Dünya genelinde fotovoltaik sistemi ve performansı için kullanılan ücretli ya da ücretsiz çok sayıda simülasyon programı bulunmaktadır. Bu programlar içerisinde en çok kullanılanlar, PV*SOL, RETScreen, TRNSYS, HOMER, INSEL, PVSYST yazılımlarıdır (Tutaşı, 2018).

PVsyst yazılımı farklı alternatiflere sahip olması, konum, meteorolojik verileri ve fotovoltaik sistem elemanlarını altyapısında barındırması, fotovoltaik sistemlerde bulunan kayıpların ayrıntılı olarak sisteme aktarılması, 3 boyutlu çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının analiz edilebilmesi ve fizibilite maliyet analizinin yapılabilmesi bu programın tercih edilmesinde en önemli etkendir (Bolat, 2020).

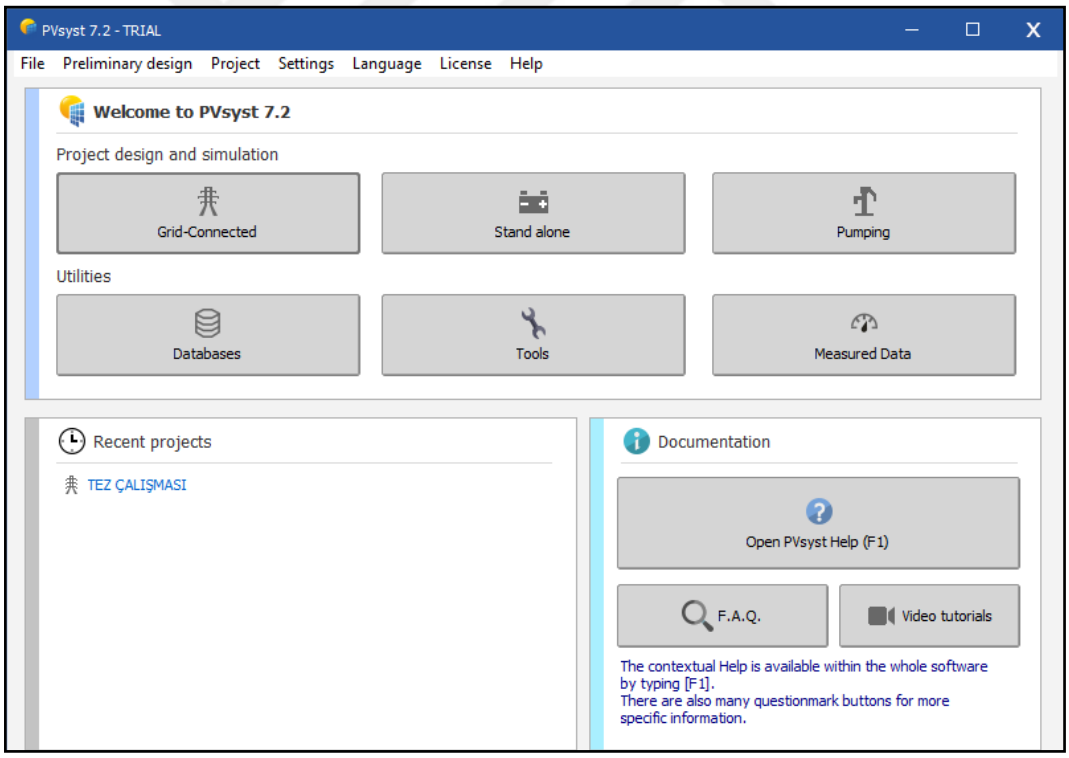
Yapılan araştırmalar ve kaynak taraması sonucunda bu tez çalışmasında, 3 boyutlu modelleme için PVsyst yazılımı tercih edilmiştir. Bir sonraki bölümde PVsyst yazılımı ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.1.1. PVsyst Yazılımı

PVsyst programı, İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, pompa ve DC üretim sistemlerinin tasarımlarının yapılıp sonuçlarının incelenmesi amacıyla kullanılan simülasyon programıdır. Mimarlar, mühendisler ve araştırmacılar tarafından proje geliştirmek adına kullanıcı dostu bir yaklaşımla tasarlanmıştır. PVsyst, tüm dünyadaki farklı alanlar için geniş bir meteorolojik veri tabanına sahiptir. Ayrıca, yazılımda kayıtlı olmayan siteler için ölçülen verilerin manuel olarak eklenmesini sağlar. Sonuçları, belirli tablolar ve grafikler içeren tam bir rapor şeklinde sunar, veriler diğer yazılımlarda kullanılmak üzere dışa aktarılabilir. Sonuçları elde etmek için, yazılıma bazı girdiler sağlanması gerekir (Yadav, 2015).

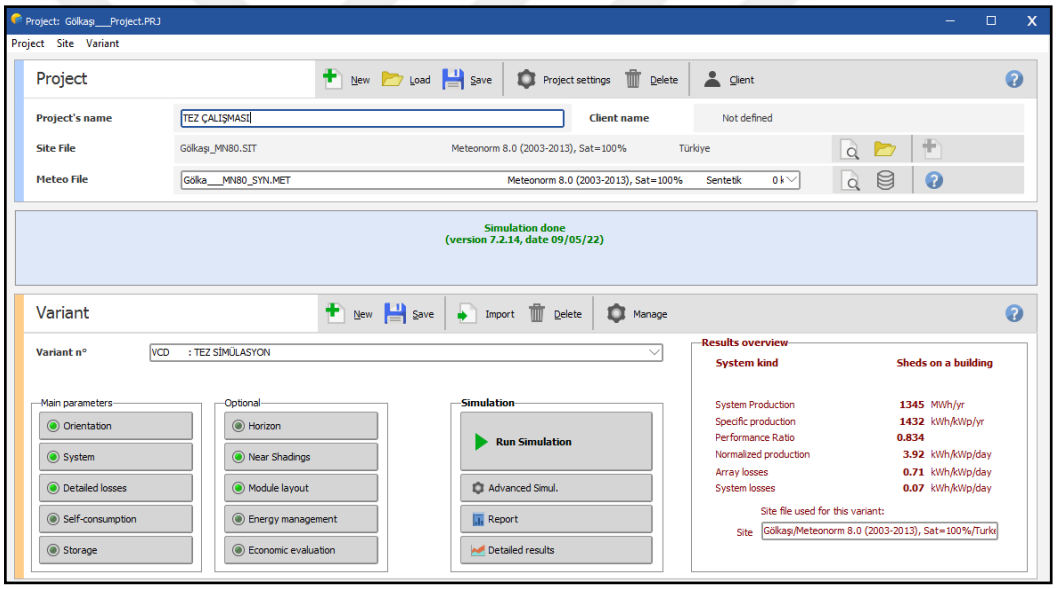
PVsyst dünya üzerinde en yaygın kullanılan analiz programı olmasının yanında, birçok parametreyi veri tabanında barındırdığı için en güvenilen program olarak da bilinmektedir. Veri tabanında konum, meteorolojik veriler, panel açısı ve yönü, panel ve invertör özellikleri, panellerin yıllık güç düşümü oranları, ayrıntılı güneş ışınım değerleri, gölgeleme analizleri, bölge kirlilik oranları, yer yansıma oranları (albedo), şebeke özellikleri, kablo mesafeleri gibi detaylar bulunmaktadır. Yapılan araştırmalara göre PVsyst'tan elde edilen sonuçlar ile sahadan elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla ilgili çok az çalışma yapılmıştır (Girgin, 2011).

Bu çalışmada PVsyst simülasyon programının 7.2.14 sürümü kullanılmıştır. Yazılımın kullanıcı ara yüzü Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu sayfadan "grid-connected" (şebekeye bağlı), "stand-alone" (şebekeden bağımsız), "pumping" (pompalama) gibi proje tasarım ve simülasyon bölümlerine erişim sağlanabilmektedir. Ayrıca araçlar kısmından ise "databases" (veri tabanları), "tools" (araçlar) ve "measured data" (ölçülen veriler) gibi diğer pencerelere de ulaşılabilir.



Şekil 3.1. PVsyst 7.2.14 yazılımı kullanıcı ara yüzü

Şekil 3.2'de verilen sistem girdileri bölümüne, kullanıcı ara yüzünde yer alan "grid-connected" sekmesinden ulaşılabilmektedir. İlk olarak konum ve hava durum dosyalarının tanımlandığı "project" bölümü yer almaktadır. Konum ve hava durumu dosyaları sisteme tanımlandığında alt kısımda yer alan ana parametreler sekmesi aktif duruma gelmektedir. Ana parametreler bölümünde panel eğim açısı ve azimut açılarının belirlendiği "orientation", fotovoltaik panel ve invertör seçimleri, sayıları ve yerleşimlerinin belirlendiği "system", kayıp parametreleri için "detailed losses" bölümü ve üç boyutlu gölgelendirme analizi için "near shadings" sekmesi bulunmaktadır. Tüm bu sekmeler altındaki gerekli değerler sisteme tanımlanıp 3 boyutlu gölgeleme analizi yapıldığında "run simulation" sekmesi aktif hale gelmektedir. Son olarak simülasyon sekmesiyle sistemin üretilebileceği enerji tahmini ve simülasyon sonuçları rapor şeklinde sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Fotovoltaik sistem girdileri bölümü

3.1.2. Fotovoltaik Santrallerin Performans Kriterleri

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin performansını analiz etmek için IEC 61724 standardı kapsamında Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından performans parametreleri geliştirilmiştir. Fotovoltaik sistem performansının tanımlanmasında kullanılan birçok parametre vardır (B. Standard, 1998). Bunlar;

Referans verim (Y_R); belirli bir düzleme düşen toplam güneş ışınımının H_T (kWh/m^2) referans ışınıma G (1kW/m^2) oranıdır. İdeal şartlarda elde edilebilecek enerjiyi belirtir ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır (Haydaroğlu, 2016; Keskin, 2019).

$$Y_R = H_T \text{ (kWh/m}^2\text{)} / G \text{ (1 kW/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Dizi verimi (Y_A) ; bir fotovoltaik diziden belirli bir periyotta (günlük, aylık, yıllık) elde edilen enerjinin $E_{(DC)}$ (kWh), kurulu güç değerine P_0 (kWp/gün) bölünmesiyle hesaplanır. Birimi kWh/kWp/gün'dür (Haydaroğlu, 2016; Keskin, 2019).

$$Y_A = E_{(DC)} \text{ (kWh)} / P_0 \text{ (kWp/gün)} \quad (2)$$

Nihai verim (Y_F) ; normalize edilmiş enerji üretimi olarak tanımlanır. Belirli bir periyotta (günlük, aylık, yıllık) PV modüllerden elde edilen enerjinin invertör çıkışındaki elde edilen AC enerji değeri E_{AC} (kWh), santralin standart test koşullarında kurulu güç değerine P_0 (kWp/gün) oranıdır ve birimi kWh/kWp/gün'dür (Aksangör, 2019; Keskin, 2019).

$$Y_F = E_{AC} \text{ (kWh)} / P_0 \text{ (kWp/gün)} \quad (3)$$

Performans oranı (PR); nihai veriminin (Y_F) referans verime (Y_R) oranıdır. Performans oranı kullanılabilir enerjinin hiç kayıp yaşanmayacak ideal fotovoltaik sistemin ürettiği enerjiye oranıdır. Farklı bölgelere kurulumu yapılmış fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerjinin karşılaştırılması için kullanılır. PV dize verimin referans verime bölünüp 100 ile çarpılmasıyla da hesaplanır (Keskin, 2019).

$$PR = Y_F / Y_R \quad (4)$$

$$PR = (Y_A / Y_R)\times 100 \quad (5)$$

Kapasite faktörü (CF): Santralde üretilen toplam enerjinin (kWh), teorik olarak PV panelde elde edilebilecek en yüksek enerji değerine oranıdır. E_{AC} üretilen toplam enerji değeri, P_0 kurulu PV gücünü ifade etmektedir.

$$CF= E_{AC} / (365\times 24\times P_0) \quad (6)$$

İnvertör Verimi (η_{INV}); invertör verimi, invertör çıkış gücünün (AC) giriş gücüne (DC) oranıdır (Keskin, 2019).

$$\eta_{INV} = P_{AC} / P_{DC} \quad (7)$$

Sistem Verimi (η_{SYS}); Fotovoltaik modül veriminin (η_{PV}), invertör verimi (η_{INV}) ile çarpılmasıyla elde edilir (Keskin, 2019).

$$\eta_{SYS} = \eta_{PV} \times \eta_{INV} \quad (8)$$

Dize kaybı (L_C); sistemin üretilen referans verim (Y_R) ile dize verim (Y_A) arasındaki farktır (Haydaroğlu, 2016).

$$L_C=Y_R-Y_A \quad (9)$$

Sistem kaybı (L_S): Dize verim (Y_A) ile nihai verim (Y_F) arasındaki farktır (Haydaroğlu, 2016).

$$L_S=Y_A-Y_F \quad (10)$$

3.2. Mevcut Bir Fabrika Binasının PVsyst Simülasyon Yazılımında Modellenmesi

Konya ili Beyşehir ilçesinde 37°45' kuzey enlemi ve 31°40' doğu boylamında bulunan, 315.304,79 m^2'lik tapu alanına sahip bu çalışmada A, B, C, D olarak adlandırılan 4 farklı binadan oluşan fabrikanın çatısına şebekeye bağlı fotovoltaik sistem kurulmuştur. Şekil 3.3'te Google Earth görüntüsü verilen tesiste bulunan D binası ilk kez Ağustos 2018'de, diğer binalara ait sistem ise Ağustos 2020'de enerji üretimine başlamıştır.

Şekil 3.3. Fabrika Google Earth görüntüsü (URL-19)

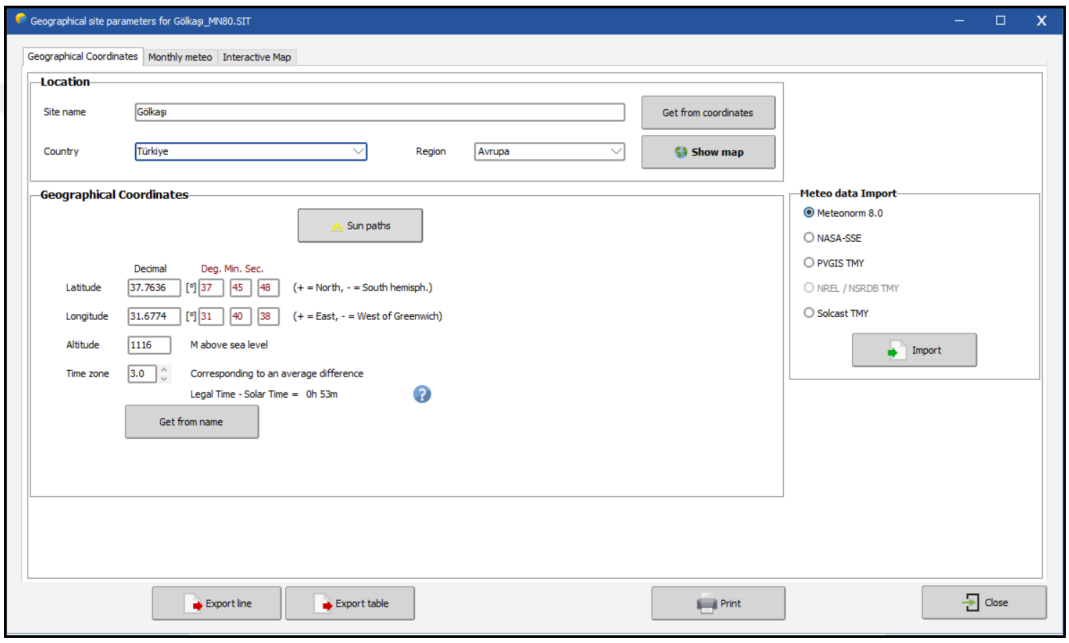
Sistem, binaların çatı alanlarıyla sınırlandırılarak iki farklı yöne 12° eğimle çatıya entegre paneller ile tasarlanmıştır. Tesis 4.778,72 kWp kurulu gücünde toplam 17736 adet 270 W gücünde yerli üretim Gazioğlu Solar Enerji marka polikristal panel ve toplam 74 adet Huawei marka invertörden oluşmaktadır. İnvertörlerin 72 tanesi 60 kW, 2 tanesi 30 kW kullanılmıştır. A binasının tüm çatı yüzeyinin fotovoltaik panellerle kaplanması ve binaya ait enerji üretim verilerinin elde edilmesinden dolayı bu çalışmada A binası kullanılmıştır. Binanın 3 boyutlu modellemesi PVsyst 7.2.14 simülasyon programı kullanılarak yapılmış ve enerji üretim verileri analiz edilmiştir.

Şekil 3.4. Fabrika fotovoltaik sistem görünümü

Şekil 3.5. A binasına ve invertörlere ait görünüm

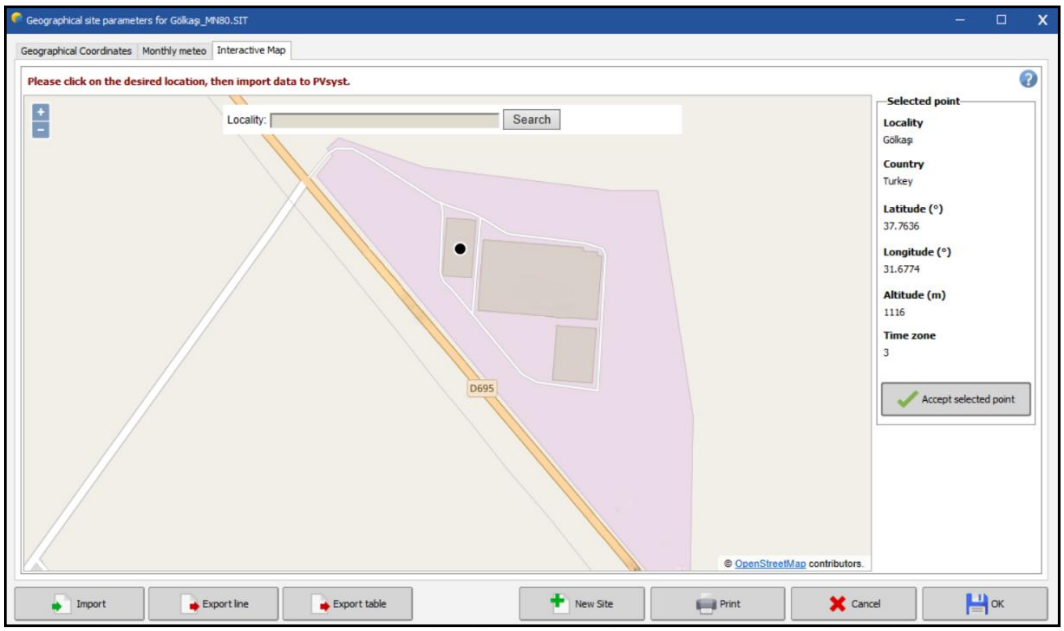
3.2.1. Konum

Sistem girdileri kısmında verilen (Bkz. Şekil 3.2.) "project" bölümünde yer alan "site file" sekmesinden fabrikanın konum bilgileri girilmektedir. Simülasyon programında coğrafi alanın seçim yapıldığı "choose site" kısımda yer almayan fabrikanın koordinatları sisteme tanımlanmıştır. Koordinatları 37°45'48" kuzey enlemi ve 31°40'38" doğu boylamı olan fabrikanın coğrafi konum parametreleri "geographical coordinates" sekmesi altında açılan pencerede PVsyst programına elle tanımlanmış ve "get from coordinates" sekmesiyle getirtilmiştir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Fabrika coğrafi koordinatlarının sisteme tanımlanması

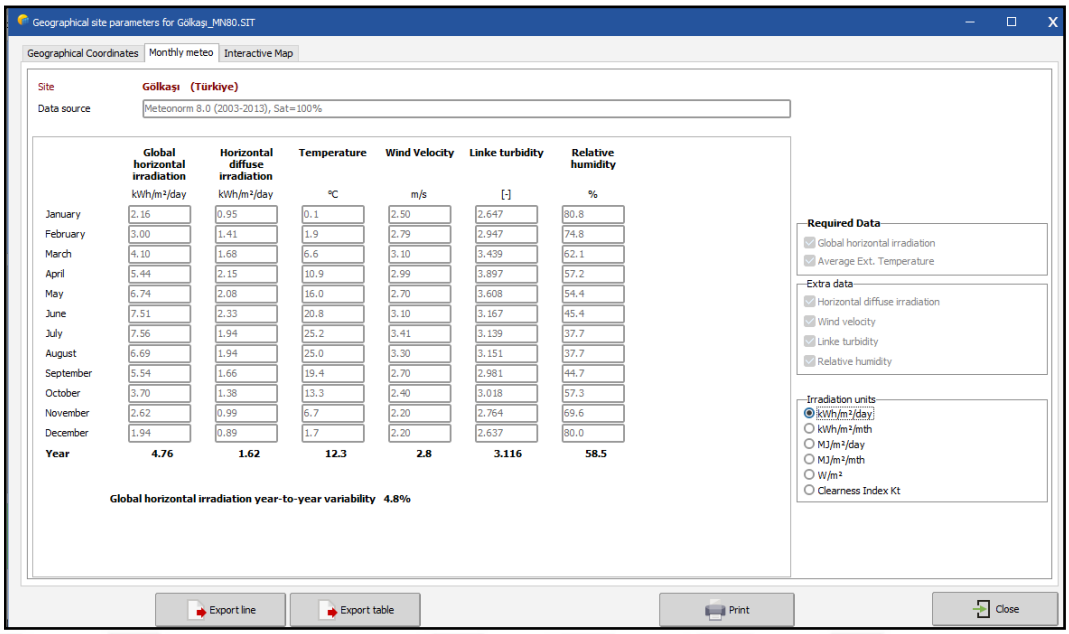
Koordinatları sisteme tanımlanan fabrikanın konumu "interactive map" sekmesi altında Şekil 3.7'de görüldüğü gibi harita üzere işaretlenmiştir. Tesisin konumu işaretlendikten sonra "accept selected point" sekmesine tıklanılarak konum bilgisi sisteme kaydedilmiştir.



Şekil 3.7. Fabrika konumunun PVsyst üzerinde belirlenmesi

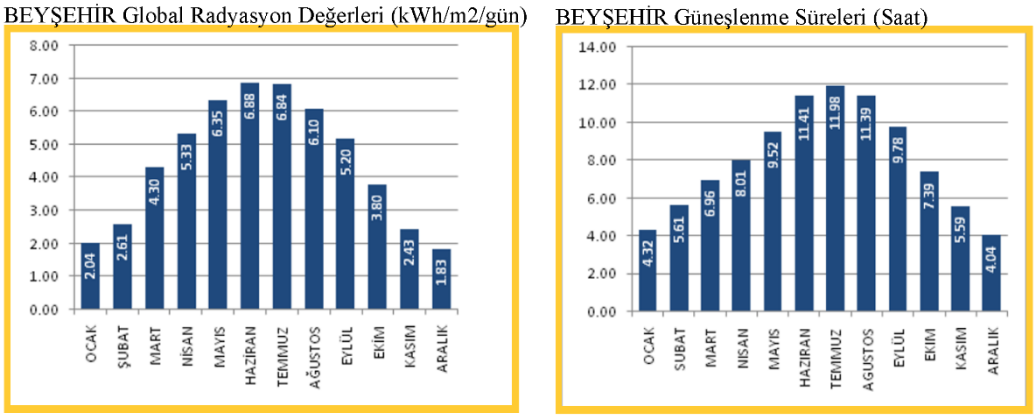
3.2.2. Meteorolojik Veriler

Fabrika binasının bulunduğu konuma ait meteorolojik veriler PVsyst simülasyon programının veri tabanında bulunmamaktadır. Konuma ait meteorolojik veriler "databases" bölümünde Şekil 3.6'da gösterilen "geographical coordinates" sekmesi altında "meteo data import" kısmından "import" edilerek Meteonorm 8.0 üzerinden 2003-2013 yılları arasında uydulardan elde edilen veriler sentetik olarak üretilmiştir. Şekil 3.8'de gösterildiği üzere "monthly meteo" sekmesi altında yörenin yatay düzleme düşen aylık küresel ışınım ve ortalama sıcaklık değerleri içe aktarılmıştır.



Şekil 3.8. Meteonorm 8.0 kullanılarak aktarılan aylık ortalama sıcaklık ve ışınım değerleri

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (EİGM), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) üzerinden alınan yöreye ait aylara göre ışınım değerleri ve güneşlenme saatleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir (URL-20).

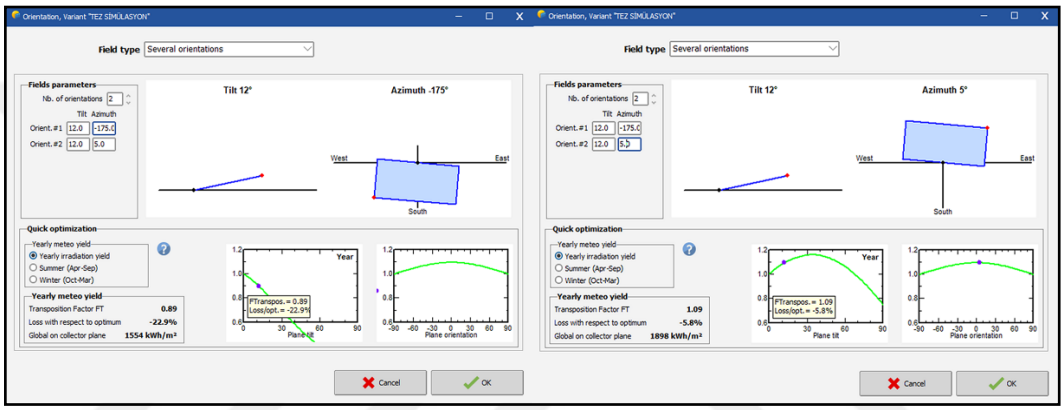


Şekil 3.9. EİGM verilerine göre Beyşehir'e ait küresel radyasyon değeri ve güneşlenme süresi (URL-20)

Verilerin yıllık ortalamalarına bakıldığında Meteonorm veri tabanında 4,76 kWh/m²/gün olan değer EİGM verilerinde 4,48 kWh/ m²/gün'dür. Simülasyon aracının sağladığı meteoroloji verileri ile EGİM'den sağlanan veriler arasında çok fark olmadığı görülmüştür.

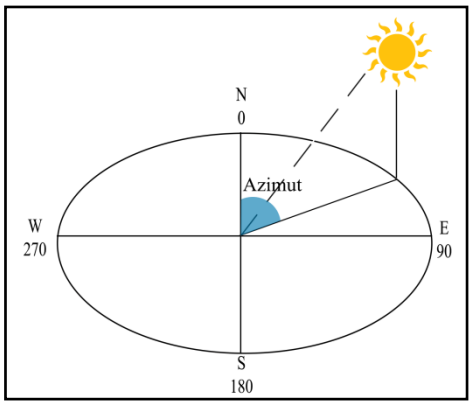
3.2.3. Yönlendirme

Kullanılan güneş panelinin alan tipi, eğim açısı ve azimut açısının sisteme tanımlandığı bölümdür. İki farklı yönelime sahip sistem için, sistem girdileri kısmında (Bkz. Şekil 3.2.) "orientation" sekmesine girilerek alan tipi, panelin kurulu olduğu yüzey ile yaptığı açı ve azimut açıları tanımlanmıştır. Yönlendirme sayfasında, alan tipi "several orientations" farklı yönlendirme seçeneği seçilerek eğim ve azimut açıları sisteme tanımlanmıştır. Yön#1 için eğim açısı 12° ve azimut açısı -175°, Yön#2 için eğim açısı 12° ve azimut açısı 5° olarak girilmiştir (Şekil 3.10.).



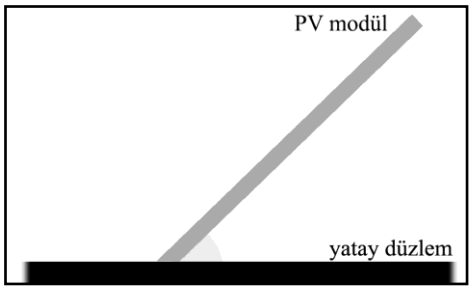
Şekil 3.10. Saha tipi, eğim ve azimut açılarının belirlenmesi

Azimut Açısı; Azimut açısı, güneş ışınları ile kuzey güney arasındaki açıdır. Kuzey yarım kürede öğle vakti güneş tam güneyde olup azimut açısı 0°, güney yarım kürede ise öğle vakti tam kuzey yöndedir.



Şekil 3.11. Azimut açısı

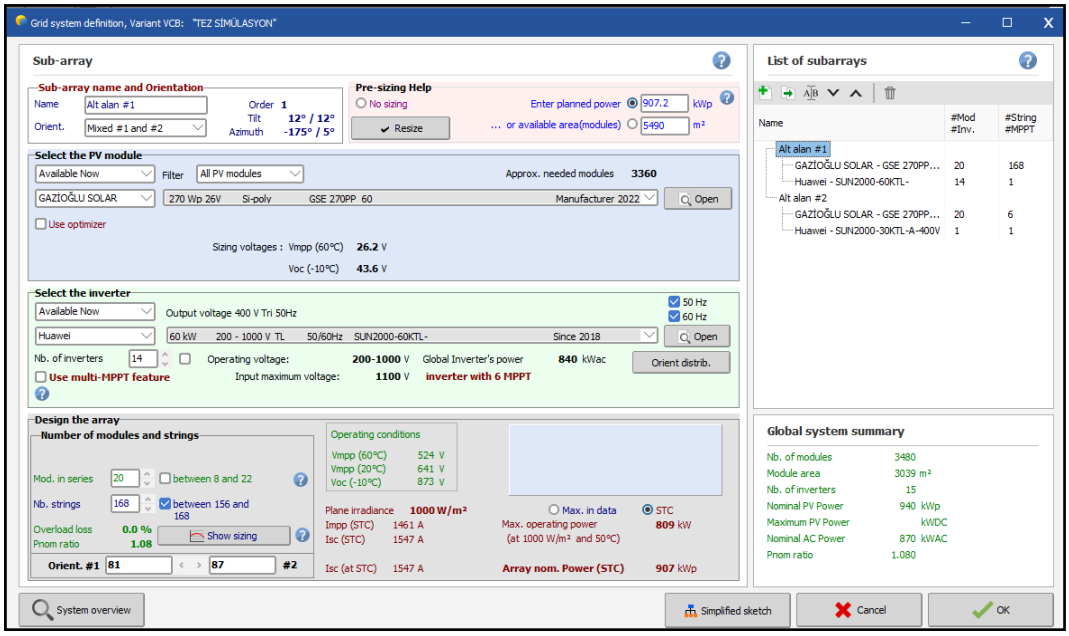
Modül Açısı (Tilt); Fotovoltaik modülün yüzey ile yaptığı açıdır. Modülün eğim açısı sistemin verimini etkileyen önemli parametrelerden biridir.



Şekil 3.12. PV modül açısı

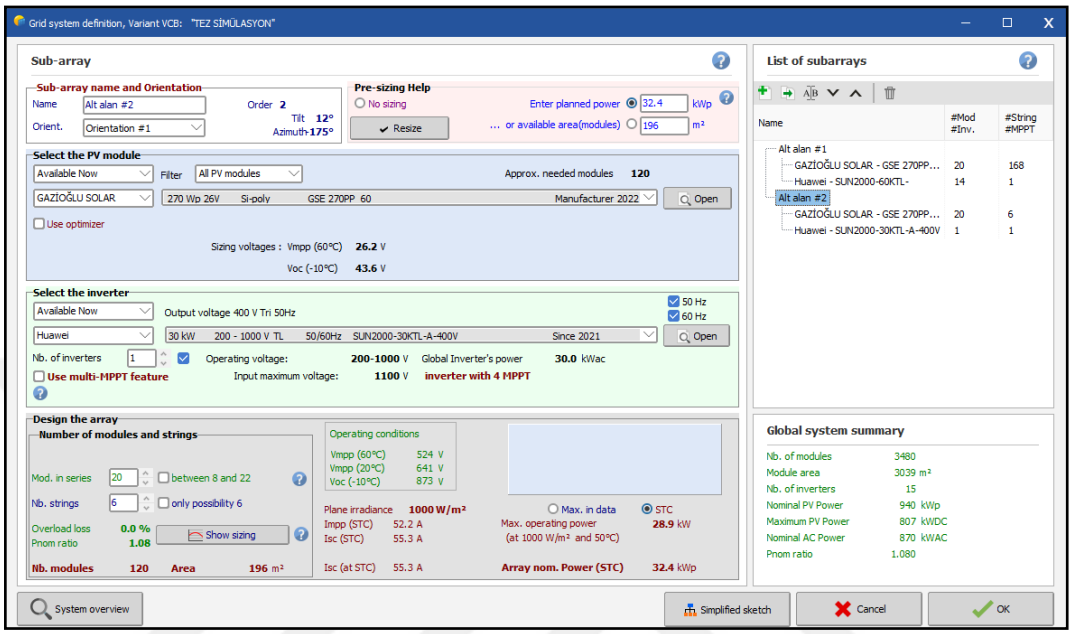
3.2.4. Panel ve İnvertörün Sisteme Tanımlanması

Proje yönetim sayfasında (Bkz. Şekil 3.2.) sistem girdileri bölümünde, sistemin detaylı olarak tanımlandığı fotovoltaik panel ve invertör seçimleri, sayıları ve yerleşimlerinin belirlendiği "system" sekmesi yer almaktadır. "System" penceresinde alt alan#1 ve alt alan#2 şeklinde iki farklı alan oluşturularak güneş paneli, invertör ve seri-paralel dizilere ait bilgiler bu alt alanlara tanımlanmıştır (Şekil 3.13.a, 3.13.b).



Şekil 3.13.a. Alt alan#1'de PV modül ve invertör seçimlerinin yapıldığı "sistem" bölümü

Şekil 3.13.a'da görüldüğü üzere alt alan#1 için, panel eğim açısı 12° ve azimut açısı 5°/-175° olan 270 W gücünde toplam 3360 adet yerli üretim Gazioğlu Solar Enerji marka polikristal panel ve 14 adet 60 kW gücünde Huawei marka invertör kullanılmıştır.



Şekil 3.13.b. Alt alan#2'de PV modül ve invertör seçimlerinin yapıldığı "sistem" bölümü

Şekil 3.13.b'de görüldüğü üzere alt alan#2 için, panel eğim açısı 12° ve azimut açısı -175° olan 270 W gücünde toplam 120 adet yerli üretim Gazioğlu Solar Enerji marka polikristal panel ve 1 adet 30 kW gücünde Huawei marka invertör kullanılmıştır. Tasarlanan sistem de toplam 3480 adet panel, 14 adet 60 kW ve 1 adet 30 kW olmak üzere toplam 15 adet invertör kullanılmıştır.

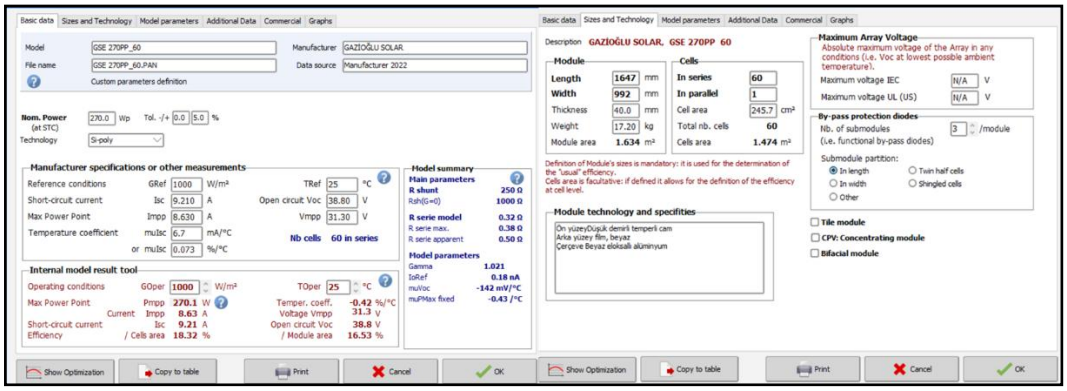
3.2.4.1. Panel seçimi

Fotovoltaik sistemde toplam 3480 adet 270 Wp gücünde, Gazioğlu Solar Enerji marka, GSE 270 PP serili polikristalli panel kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de Standart Test Koşulları (STK) (25°C hücre sıcaklığında AM 1,5 aralığıyla 1000 W/m2 ışıma) altında elektriksel verileri, mekanik verileri ve sıcaklık katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Gazioğlu Solar Enerji 270 Wp panel özellikleri (URL-21)

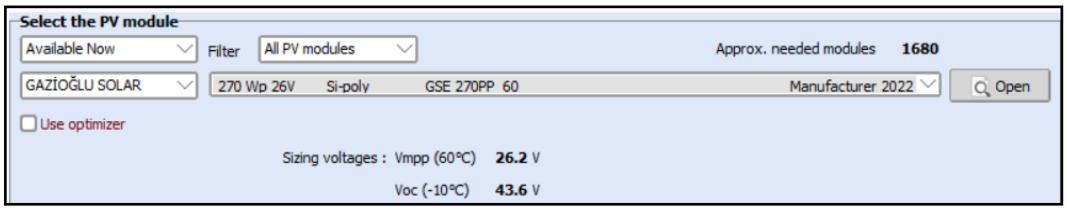
ELEKTRİKSEL VERİLER (STK)			
Maksimum Güç (Pmax)		270 Wp	
Açık Devre Gerilimi (Voc)		38.8 V	
Kısa Devre Akımı (Isc)		9.21 A	
Max Güç Gerilimi (Vmpp)		31.3 V	
Max Güç Akımı (Impp)		8.63 A	
Modül Verimi (%)		%16,62	
MEKANİK VERİLER		**SICAKLIK KATSAYILARI**	
Hücre Tipi	Polikristal	SÇK	46 °C
Hücre Sayısı	60	Pmax	-0.43%/K
Panel Uzunluğu	1647 mm	Voc	-0.31 %/K
Panel Genişliği	992 mm	Isc	0.073 %/K
Panel Kalınlığı	40 mm		
Ağırlık	17.2 kg		

Gazioğlu Solar Enerji marka modül, PVsyst yazılımının veri tabanında yer almadığı için kullanıcı ara yüzü sayfasındaki (Bkz. Şekil 3.1.) "databases" kısmından "PV modüles" sekmesi seçilerek Çizelge 3.1'de verilen özellikler sisteme tanımlanmıştır (Şekil 3.14.). Ana verileri ve boyutları girilen panel, sistemin PV modül seçim kısmında oluşturulmuştur.



Şekil 3.14. Panele ait özelliklerin tanımlandığı pencere

Veri tabanına tanımlanan modül, sistem kısmında Şekil 3.15'te yer alan "select the PV module" penceresinden üretici firma ve gücü girilerek seçimi tamamlanmıştır.



Şekil 3.15. Panel seçim ekranı

Şekil 3.16'da verilen boyutları 62 m*123 m olan A binasının tam yönü kuzey-güney olmamakla birlikte 12° eğimli sandviç panel çatı yüzeyine fotovoltaik modüller yerleştirilmiştir. 12 adet yüzeye çatıyla modül arasında 10 cm boşluk olacak şekilde her yüzeyde dikey yöne 5*58=290 olmak üzere toplam 3480 adet modül yerleşimi yapılmıştır.

Şekil 3.16. Fotovoltaik modüllerin çatı görünümü

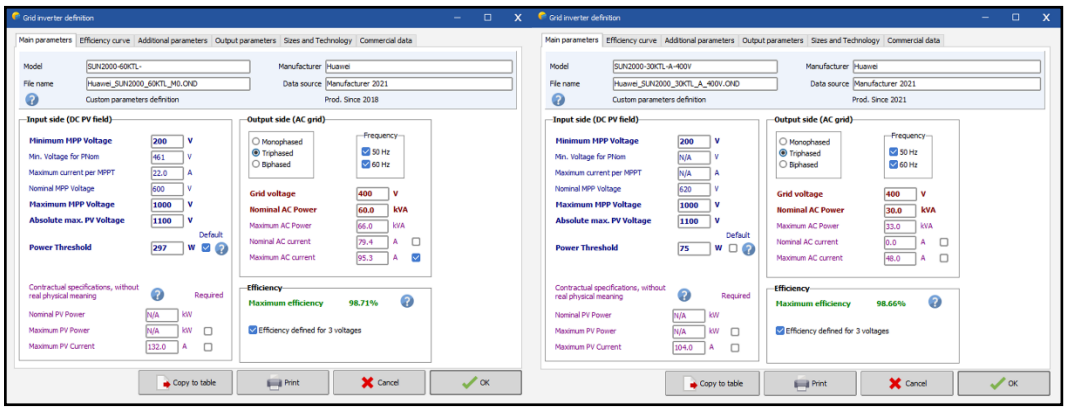
3.2.4.2. İnvertör seçimi

Fotovoltaik sistemde; Huawei marka 14 adet 60 kW gücünde SUN2000-60KTL serili ve 1 adet 30 kW gücünde SUN2000-33KTL serili invertör kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de 30 kW ve 60 kW gücünde invertörlerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Huawei 30 kW ve 60 kW invertör özellikleri (URL-22, URL-23)

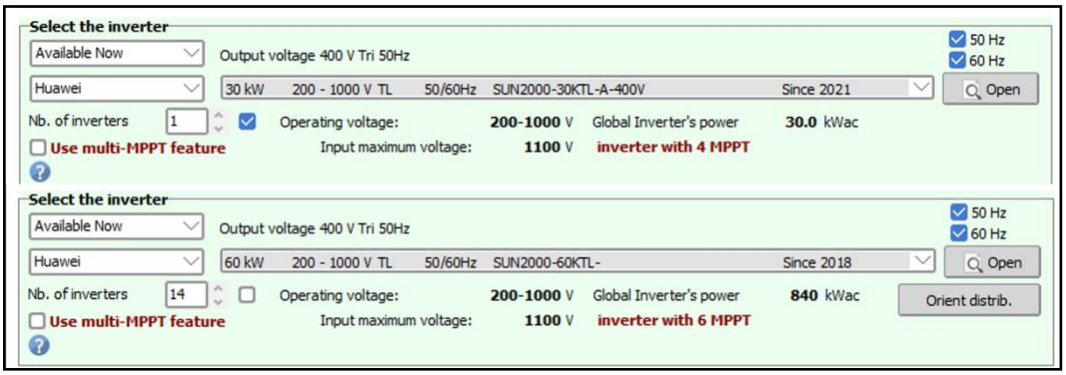
	HUAWEİ 30 kW SUN2000-33KTL-A	**HUAWEİ 60 kW SUN2000-60KTL-M0**
		GİRİŞ
Maks. DC Kullanılabilir Güç	33900 W	67400 W
Maks. Giriş Gerilimi	1100 V	1100 V
Maks. Giriş Akımı	22 A	22 A
Maks. Kısa Devre Akımı	30 A	30 A
Başlangıç Gerilimi	200 V	200 V
MPPT Çalışma Gerilim Aralığı	200 V-1000 V	200 V-1000 V
Giriş Anma Gerilimi	400Vac	380/400Vac
Maks. Giriş Sayısı	8	12
MPPT Sayısı	4	6
		ÇIKIŞ
Anma AC Aktif Gücü	30 kW	60 kW
Maks. AC Aktif Güç	33 kVA	66 kVA
Çıkış Anma Gerilimi	230 V/ 400 V	230V / 400V
Çıkış Anma Akımı	@400Vac	79.4A @480Vac
Maksimum Çıkış Akımı	48.A@400Vac	95.3A @400Vac
Anma Frekansı	50/60 Hz	50/60 Hz
Ağırlık	62 kg	74 kg

Huawei marka invertör PVsyst yazılımının veri tabanına yer almadığı için kullanıcı ara yüzü sayfasındaki (Bkz. Şekil 3.1.) "databases" kısmından "grid inverter" sekmesi seçilerek Çizelge 3.2'de verilen özellikler sisteme tanımlanmıştır (Şekil 3.17.). Ana verileri girilen invertör sistemin veri tabanında invertör seçim kısmında oluşturulmuştur.



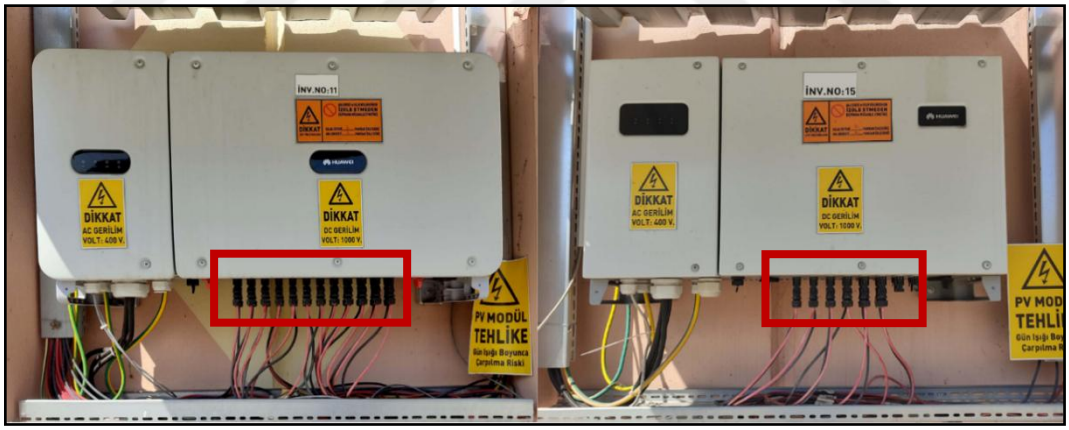
Şekil 3.17. İnvertöre ait özelliklerin tanımlandığı pencere

Veri tabanına tanımlanan invertör, sistem kısmında Şekil 3.18'de yer alan "select the inverter" penceresinden üretici firma ve gücü girilerek seçimi tamamlanmıştır.



Şekil 3.18. İnvertör seçim ekranı

60 kW gücünde bir invertöre 20 seri 12 paralel toplam 240, 30 kW gücünde bir invertöre 20 seri 6 paralel toplam 120 panel bağlanmıştır. Şekil 3.19'da görüldüğü gibi panel gruplarının invertörlere bağlantıları görülmektedir. 60 kW invertöre 12 adet panel grubun, 30 kW invertöre ise 6 adet panel grubun bağlantısı yapılmıştır.



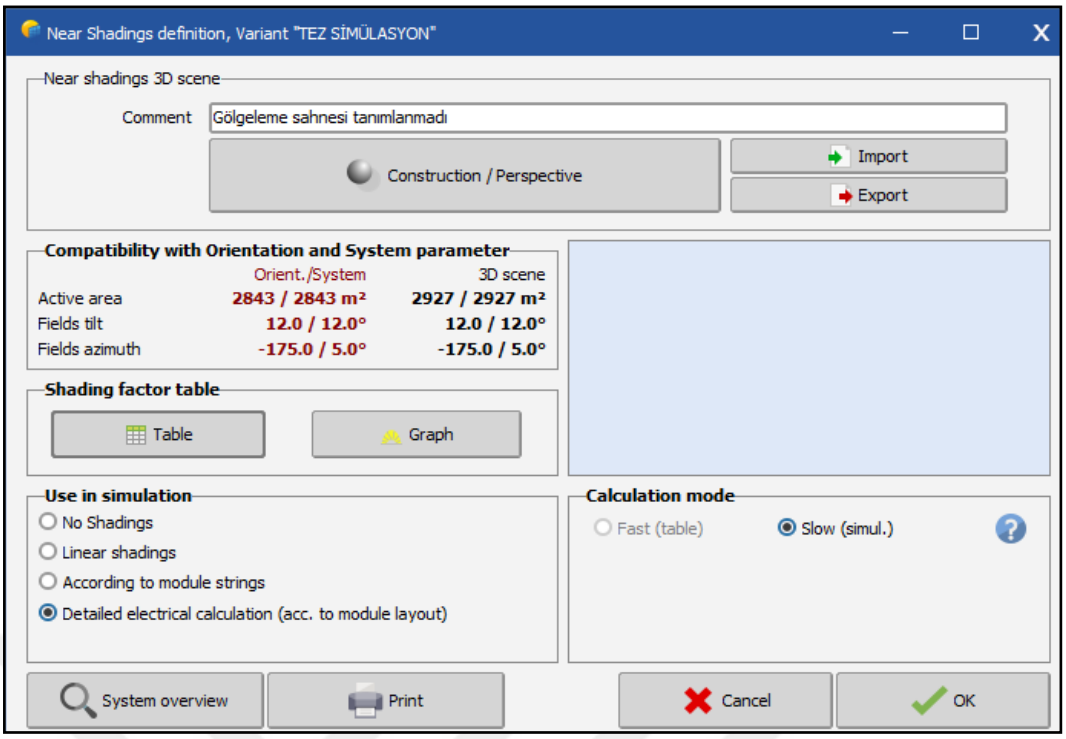
Şekil 3.19. 60 kW ve 30 kW invertörlere panellerin giriş bağlantıları

A binasının çatı yüzeyine yerleştirilen toplam 3480 adet fotovoltaik modülden elde edilen enerji, 15 adet invertör aracığıyla binanın enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif akıma dönüştürülerek GES Pano 2'de toplanmaktadır (Şekil 3.20).

Şekil 3.20. GES Pano 2 ye ait görünüm

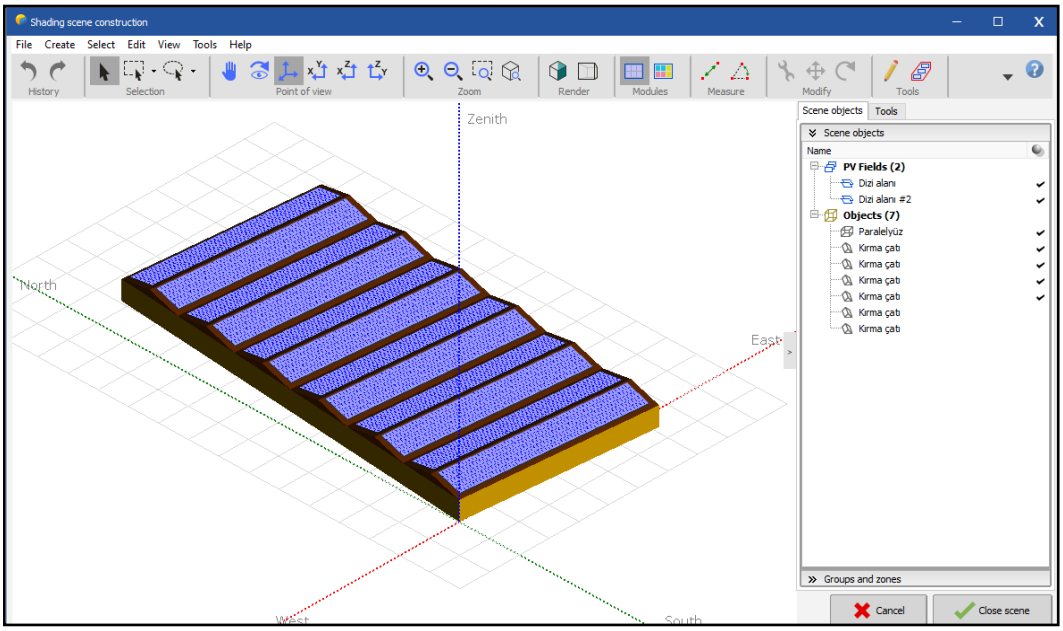
3.2.5. Gölgeleme Analizi

PVsyst simülasyon programında binanın yakın gölgeleme analizi 3 boyutlu tasarımı vasıtasıyla güneşin konumuna göre yapılmaktadır. Binanın 3 boyutlu tasarımı proje yönetim sayfasında (Bkz. Şekil 3.2.) sistem girdileri bölümünde, "near shading" sekmesi seçilerek açılan pencereden "construction/perspective" kısmından yapılmaktadır. Sayfada aynı zamanda "shading factor table" kısmından gölgeleme faktörünün hesaplanması ve "use the simulation" kısmından ise 4 farklı gölgeleme seçimi yapılmaktadır. Bunlar "no shadings", "linear shadings", "according to module strings", "detailed electrical calculation" şeklindedir (Şekil 3.21.).



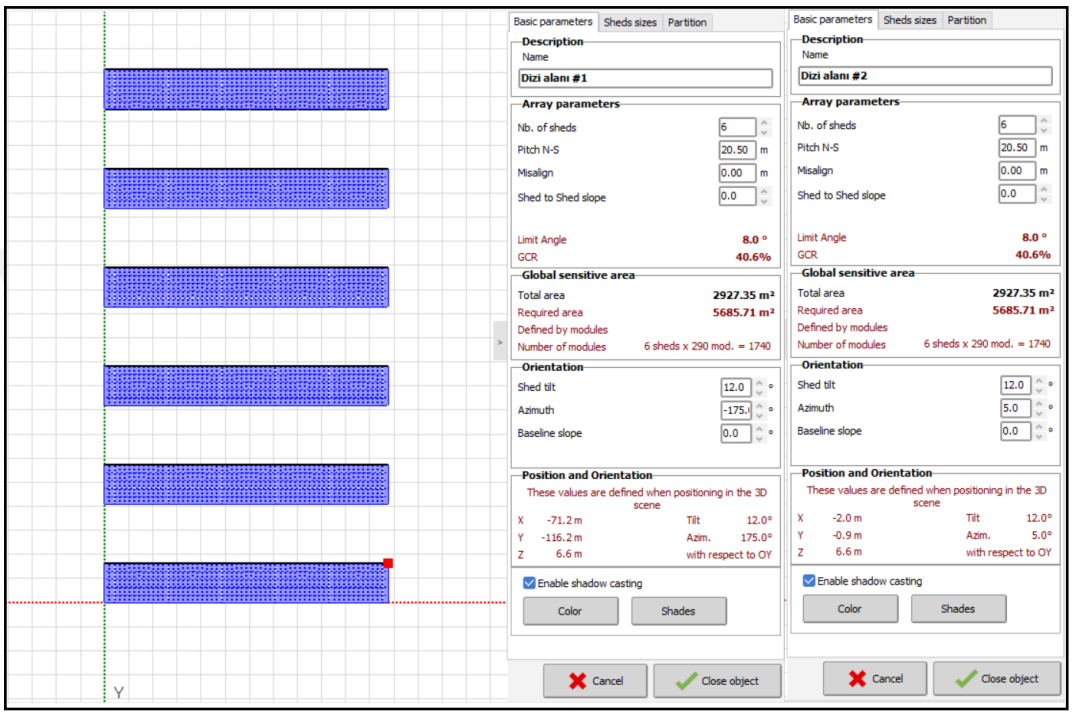
Şekil 3.21. 3 boyutlu bina tasarımının ve gölgeleme analizin tanımlandığı pencere

Şekil 3.21'de verilen pencereden "construction perspective" sekmesi seçilerek A binasının 3 boyutlu tasarımı yapılmıştır. Açılan pencerenin "create" sekmesinden "elemantary shading object" kısmından 62*123 boyutlarında bina ve 6 adet beşik çatı oluşturulmuştur. Yine "create" sekmesinin "array of tables" kısmından iki farklı yönelimde fotovoltaik diziler oluşturulmuştur (Şekil 3.22.).



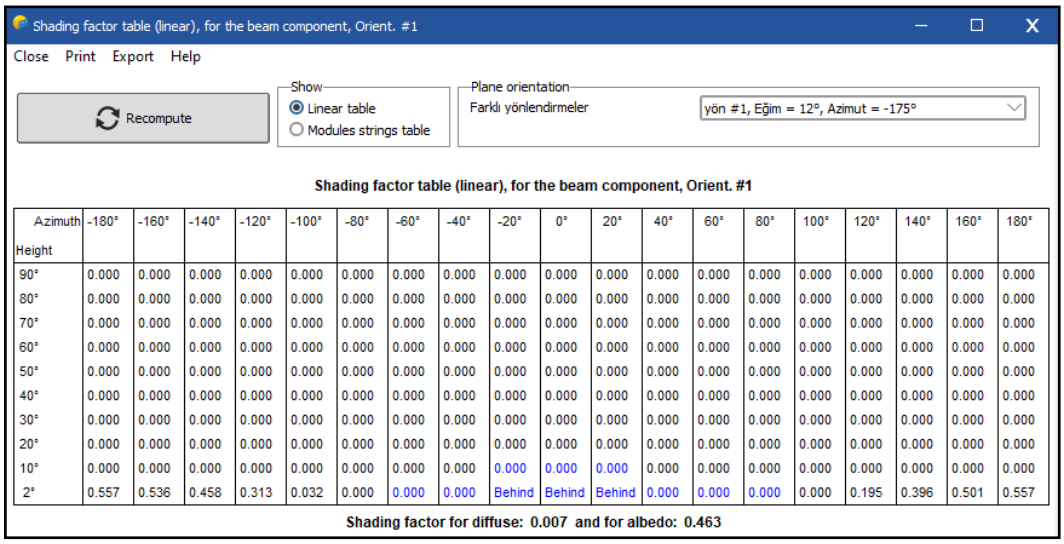
Şekil 3.22. A binasının 3 boyutlu gölgeleme sahnesi

İki farklı yönelim için toplam 12 adet dizi vardır. Her dizide yatay eksende 58, dikey eksende 5 adet panel olmak üzere 290 adet panel yerleştirilmiştir. Azimut açısı 5° olan yönelim için 6 adet dizi ve her diziye 290 adet modül yerleştirildiği için 1740 panel, azimut açısı -175° olan yönelim için 6 adet dizi ve her diziye 290 adet modül yerleştirildiği için 1740 adet panel kullanılmıştır. Sistem de toplam 3480 adet panel yerleşimi yapılmıştır (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. Panel sayılarının ve dizi boyutlarının tanımlandığı gölgeleme sahnesi

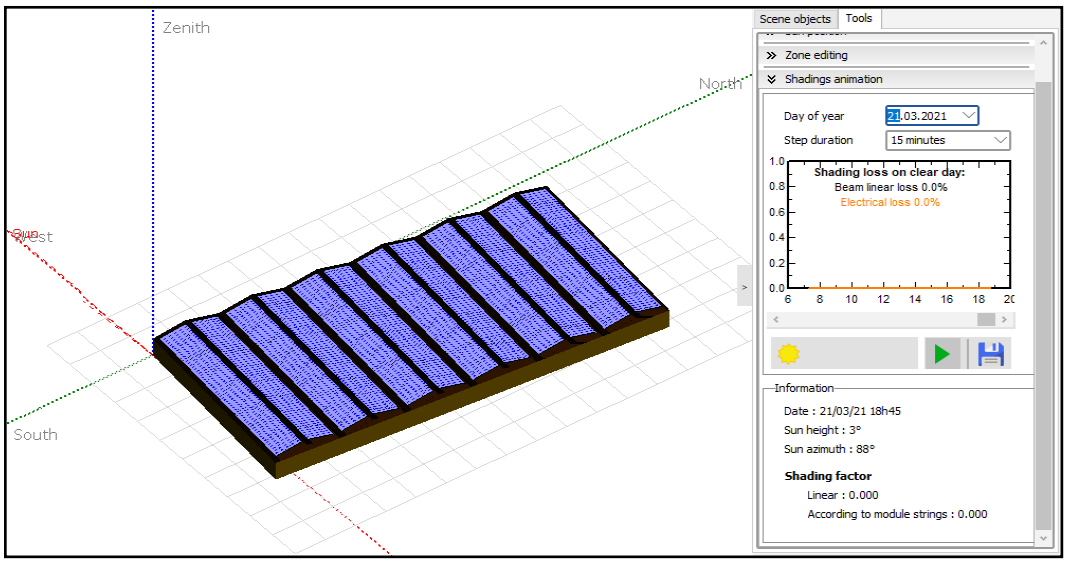
A binasının mevcuttaki boyutlarında ve fotovoltaik sistemde kullanılan panel sayısında oluşturulan 3 boyutlu gölgeleme sahnesi tamamlanarak sahne kapatılmıştır. (Bkz. Şekil 3.21.) "shading factor table" kısmından gölgeleme faktörünün hesaplanması yapılmıştır (Şekil 3.24.). Sistemde fotovoltaik modül yerleşimi yapıldığı için simülasyon "detailed electrical calculation" sekmesine göre, düzenlemeye göre detaylı elektrik hesaplaması yapılmıştır.



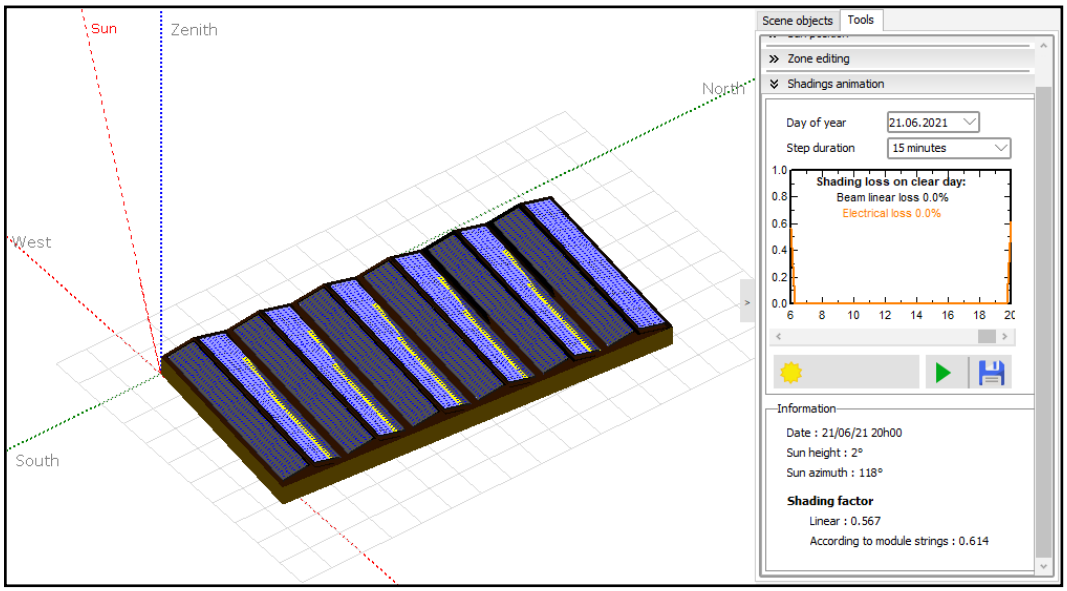
Azimuth / Height	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2°	0.557	0.536	0.458	0.313	0.032	0.000	0.000	0.000	Behind	Behind	Behind	0.000	0.000	0.000	0.000	0.195	0.396	0.501	0.557

Şekil 3.24. PVsyst gölgeleme faktörü tablosu

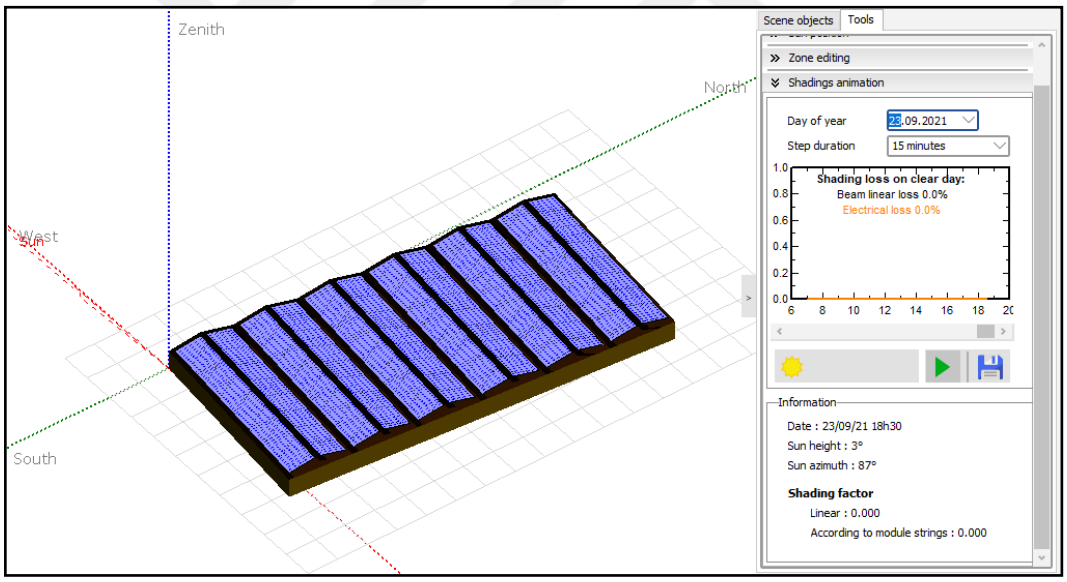
Şekil 3.24'teki gölgeleme faktörü tablosuna baktığımızda güneş yüksekliği 10° ve altında olduğu durumlarda sistemde gölge oluştuğu gözlemlenmiştir. Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı günden güne ve gün içerisindeki zamana göre değişmektedir. Güneş ışınları yaz aylarında öğle saatlerinde yatay yüzeyle kış aylarına göre daha yüksek açı yapmaktadır. Yazın dik gelen ışınımlar kışın daha dar açıyla düşmektedir. Bu sebeple gölgeleme analizini 21 Aralık'ta (en düşük güneş yükseklik açısının olduğu gün) yapmak en iyi sonucu vermektedir. Binanın yönelimi ve PV modüllerin yerleşimine göre 21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül ve 21 Aralık tarihlerindeki gölgeleme sahneleri Şekil 3.25.(a.b.c.d.)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.25.a. 21 Mart tarihli gölgeleme analizi yansıma ve elektrik kaybı

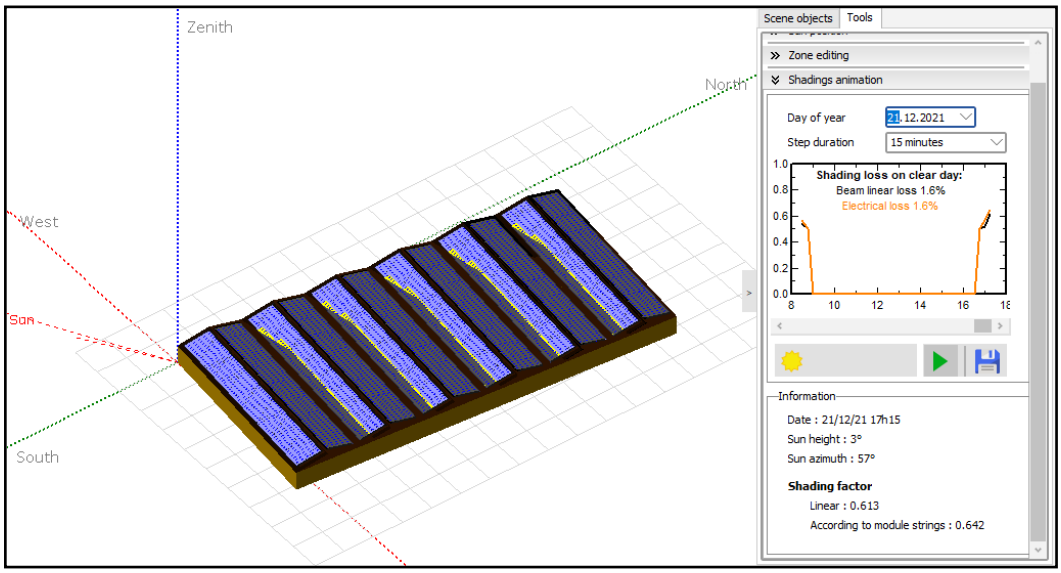


Şekil 3.25.b. 21 Haziran tarihli gölgeleme analizi yansıma ve elektrik kaybı



Şekil 3.25.c. 21 Eylül tarihli gölgeleme analizi yansıma ve elektrik kaybı

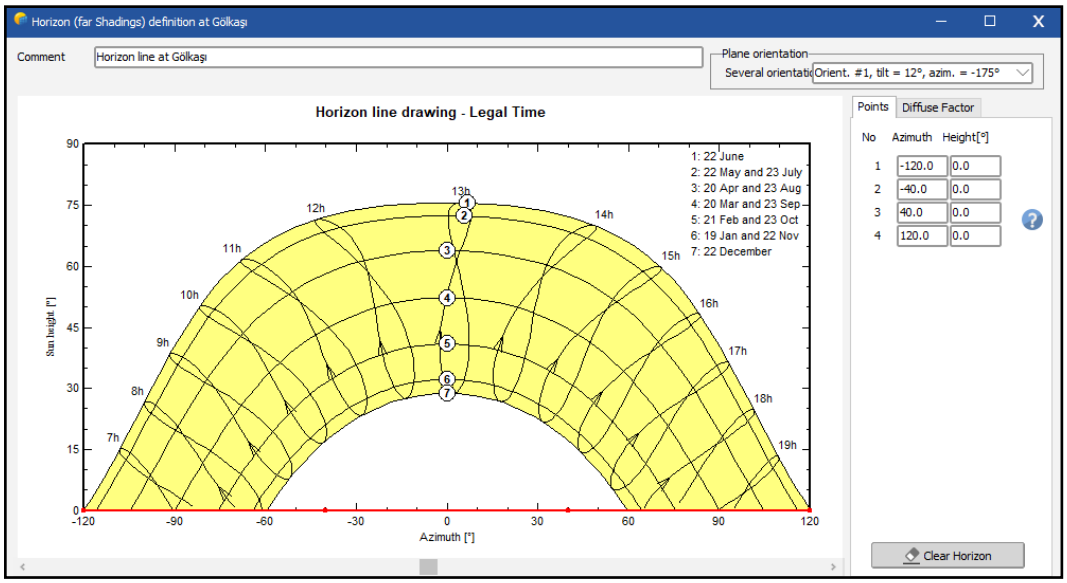
Şekil 3.25.(a,b,c,)'de 3 farklı tarihteki gölgeleme analizleri verilmiştir. Bu tez çalışmasında en iyi sonucu veren 21 Aralık tarihli gölgeleme analizi kullanılmıştır. 21 Aralık tarihinde yapılan gölgeleme analizinde yansıma ve elektrik kaybı %1,6 hesaplanmıştır (Şekil 3.25.d).



Şekil 3.25.d. 21 Aralık tarihli gölgeleme analizi yansıma ve elektrik kaybı

3.2.6. Horizon (Ufuk Çizgisi)

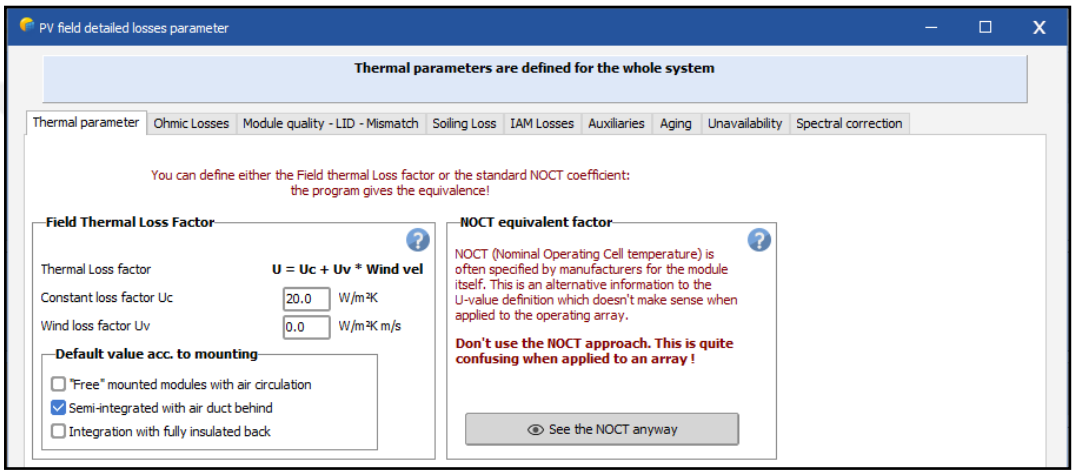
Horizon ufuk çizgisinin tanımlandığı kısımdır. Sistem girdileri kısmında (Bkz. Şekil 3.2.) "horizon" sekmesi kısmından tanımlanmaktadır. Uzak gölgeleme olarak da adlandırılır. Bölge için ufuk çizgisi değerleri PVsyst programında yer alan değerler kabul edilmiştir (Şekil 3.26.).



Şekil 3.26. Bölgeye ait ufuk çizgisi bilgileri

3.2.7. Fotovoltaik Sistem Kayıpları

Fotovoltaik sistem için gerekli tüm bilgiler tanımlandıktan sonra sisteme ilişkin detaylı kayıplar sistem girdileri kısmında (Bkz. Şekil 3.2.) "detailed losses" sekmesine girilerek sistem performansını etkileyen detaylı kayıp parametreleri tanımlanmıştır. Şekil 3.27'de açılan pencerede PV sistem için kayıp parametreleri "thermal parameter", "ohmic losses", "module quality – LID - mismatch", "soiling loss", "IAM losses", "auxiliaries", "aging", "unavailability" ve "spectral correction" şeklinde farklı alt sekmekler bulunmaktadır.

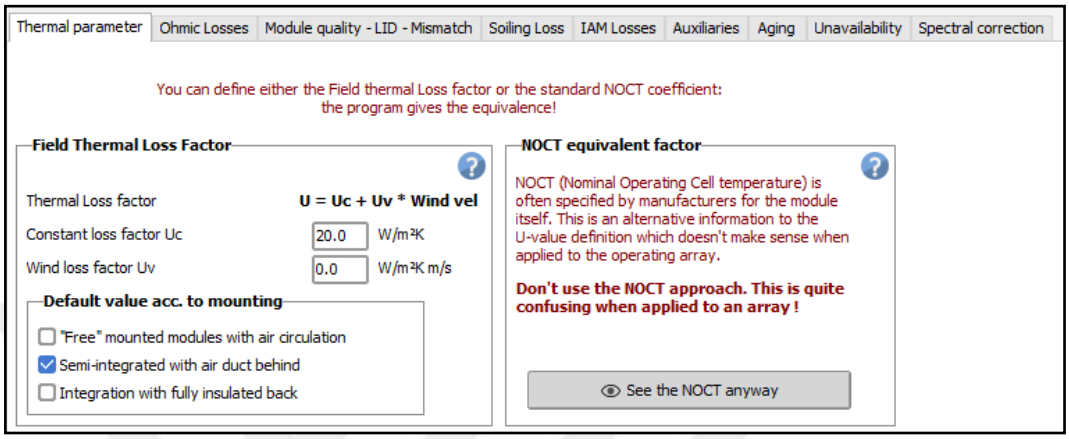


Şekil 3.27. Sistem kayıp parametrelerinin tanımlandığı pencere

3.2.7.1. Sıcaklık kaybı (Thermal paramater)

Sıcaklık fotovoltaik sistemdeki performansı etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Fotovoltaik sistem bileşenlerinin sıcaklık ölçüm değerleri mevcut değil ise, PVsyst U_C parametresinin U_V parametresi "0" olması koşulu ile seçilebileceğini önermektedir. Her tarafında hava sirkülasyonu olan ayaklı sistemler için U_C parametresi "29 W/m^{2}K" olarak, eğer rüzgâr estiğinde modüllerin arka tarafında ısı alışverişi yok ve rüzgârı kısıtlı bir şekilde alıyorsa, U_C parametresi "15 W/m^{2}K" olarak, rüzgâr estiğinde modüller rüzgârı hava kanalları sayesinde alıyorsa PVsyst programında Uc parametresi "20 W/m^{2}K" olarak alınabilmektedir (URL-24).

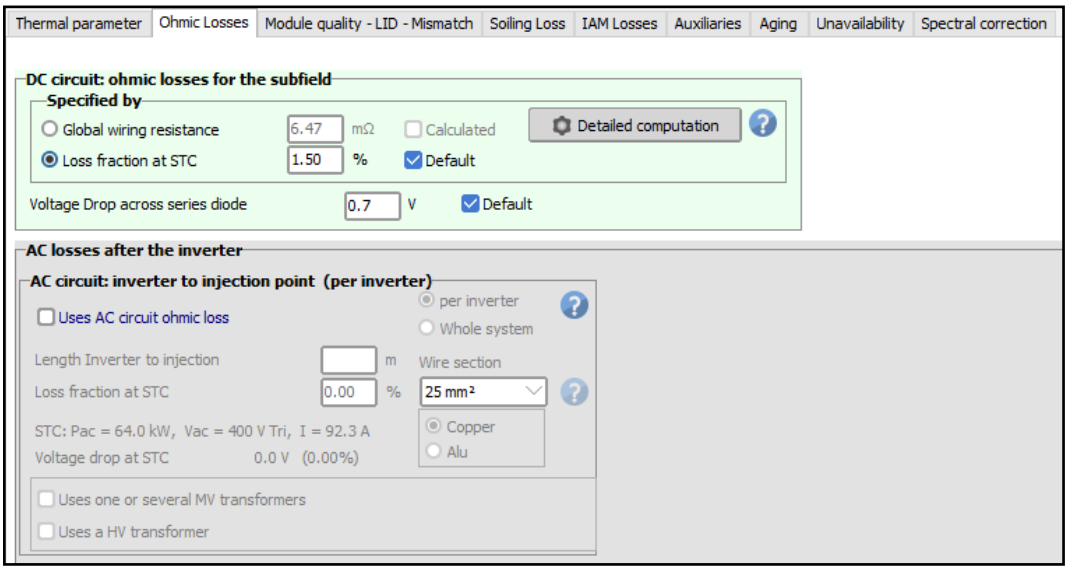
Kayıpların sisteme tanımlandığı "detailed losses" sekmesinde "thermal parameter" kısmında sıcaklık parametresi "semi-integrated with air duct behind" olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, çatıya entegre fotovoltaik sistem tasarımında sıcaklık ölçüm değerleri bulunmadığı için; modüllerin rüzgârı hava kanaları sayesinde aldığı varsayılarak U_C parametresi "20 W/m^{2}K" olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.28.).



Şekil 3.28. Sistemin sıcaklık kayıp değerinin tanımlanması

3.2.7.2. DC Omik kaybı (Ohmic Losses)

Modül ve invertör arasında bağlantıyı sağlayan DC kabloların enerji varken akıma karşı gösterdiği direnç sebebiyle meydana gelen kayıplardır. Modüller arasındaki DC kabloların ortalama uzunluğu, modül ile invertör arasındaki kabloların kesiti ve uzunluğu ve modül ile DC toplama kutusu arasındaki uzunluk gibi detaylı bilgiler biliniyorsa ayrıntılı bir şekilde "DC omik kayıp" yüzdesi hesaplanabilmektedir (Keskin, 2019). STC gücüne göre varsayılan güç kayıp oranı %1,5'tur (URL-24). Fabrika binasının kablo kesitleri ve uzunlukları ile ilgili detaylı bilgiye ulaşılamadığından "DC omik kayıp" varsayılan değer olan %1,5 kabul edilmiştir. İnvertörden sonraki AC kayıpları ise aynı şekilde detaylı bilgiye ulaşılamadığı için tanımlanmamıştır (Şekil 3.29.).



Şekil 3.29. Sistemin DC omik kayıp değerinin tanımlanması

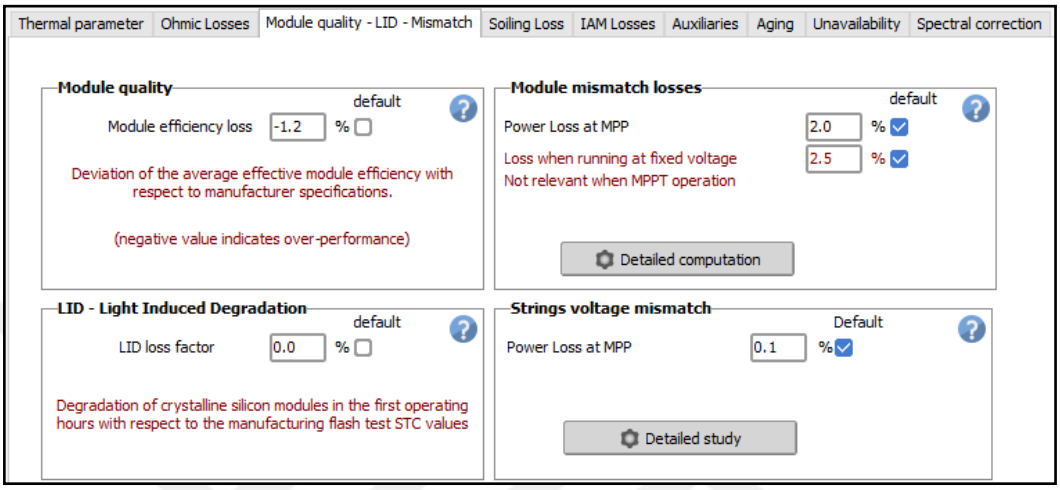
3.2.7.3. Modül kalite kaybı, ışık eşikli bozulma ve modül uyumsuzluk kaybı (Module Quality-LID-Mismatch)

Modül kalite kaybında PVsyst, fotovoltaik modül üreticisinin toleransına göre değerler arasındaki farkın dörtte birini seçecektir. Örneğin, %-3...+3 ile %1,5 ve %0...+3 ile %-0,75 (kazancı temsil eden negatif kayıp değeri) olacaktır (URL-24). PVsyst programı varsayılan değer olarak %1,3'lük bir kaybı öngörmektedir.

Işık eşlikli bozulma (LID) kristal modüllerin güneşe ilk maruz kalış saatlerinde ortaya çıkan bir performans kaybıdır. LID etkisi sadece geleneksel p-tipi bor katkılı silikon güneş hücrelerinde ortaya çıkar. N-tipi katkılı silikon güneş hücrelerinde ve ince film gibi diğer teknolojiler ışık eşikli bozulmadan etkilenmez. Modüller üzerindeki LID etkisi hakkında veri elde etmek çok zordur. Üründen ürüne de değişiklik gösterdiği için, ışık eşlikli bozulma PVsyst tarafından varsayılan olarak önerilmez. PVsyst programı varsayılan değer olarak %2'lik bir kaybı öngörmektedir (URL-24).

Uyumsuzluk kaybı, her bağımsız alt modülün tüm Pmpp'lerinin toplamı ile dizinin sonuçta ortaya çıkan I/V özelliklerinin Pmpp'si arasındaki fark olarak tanımlanır. Bir dizi modülde, en düşük akımın tüm dizinin akımını yönlendirmesinden kaynaklanmaktadır. PVsyst programı varsayılan olarak, Mpp'deki güç kayıpları için %2, sabit voltaj kullanımları için %2,5'luk bir kaybı öngörmektedir (URL-24).

Bu çalışmada fabrika binasında kullanılan modüllerin tolerans değeri -0/+5 Wp olduğu için tolerans değerleri arasındaki farkın dörtte biri %-1,25, modül kalite kayıp değeri olarak belirlenmiştir. Işık eşikli bozulma (LID) %0,0 alınmıştır. Modül uyumsuzluk kaybı varsayılan değer olan %2 ve sabit voltaj kaybı %2,5 ve dize gerilim uyuşmazlığı varsayılan değer %0,1 kabul edilmiştir (Şekil 3.30.).

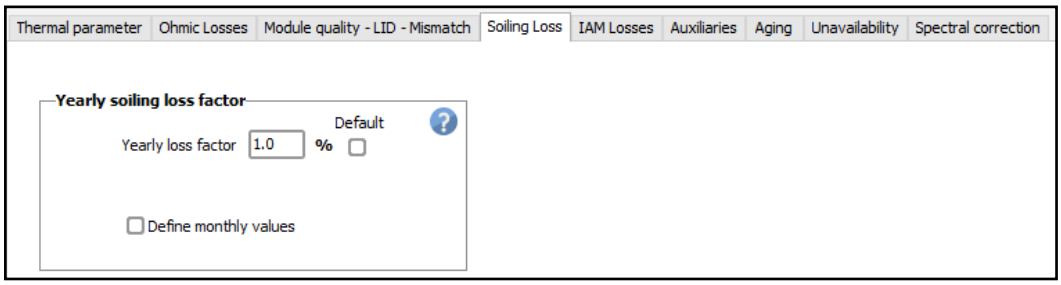


Şekil 3.30. Sistemin modül kalitesi, LID ve dizi uyuşmazlığı kayıp değerinin tanımlanması

3.2.7.4. Kirlenme kaybı (Soiling Loss)

Sistem üzerindeki tozlanma veya kirlenmenin sistem performansına etkisi, fotovoltaik sistemin bulunduğu ortam ve bölgenin yağmur alma koşullarına göre değişen bir durumdur. Güneş panellerinin verimli ve sağlıklı çalışabilmesi için tesiste belirli zaman aralıklarında bakım talimatları uygulanmaktadır. Panellerin temizlik ve bakımları kışın; aralık, ocak, şubat, mart aylarında ayda bir, diğer aylar 2 haftada bir olmak üzere ayda iki kez yapılmaktadır (EK-6). Tüm panellerin yüzey temizliği bir teçhizat yardımıyla toz ve verimi düşürecek herhangi maddeden arındırılacak şekilde su ile yapılmaktadır. Temizlik yapılırken aynı zamanda paneller, panellerin kabloları ve soket yerlerinin hasar kontrolleri de yapılmaktadır. Ayrıca panel gruplarının ürettiği enerji değerleri de belirli aralıklarla kontrol edilerek arıza tespiti yapılmaktadır. Bu kontroller sistemin enerji üretiminin devamlılığını sağlamaktadır.

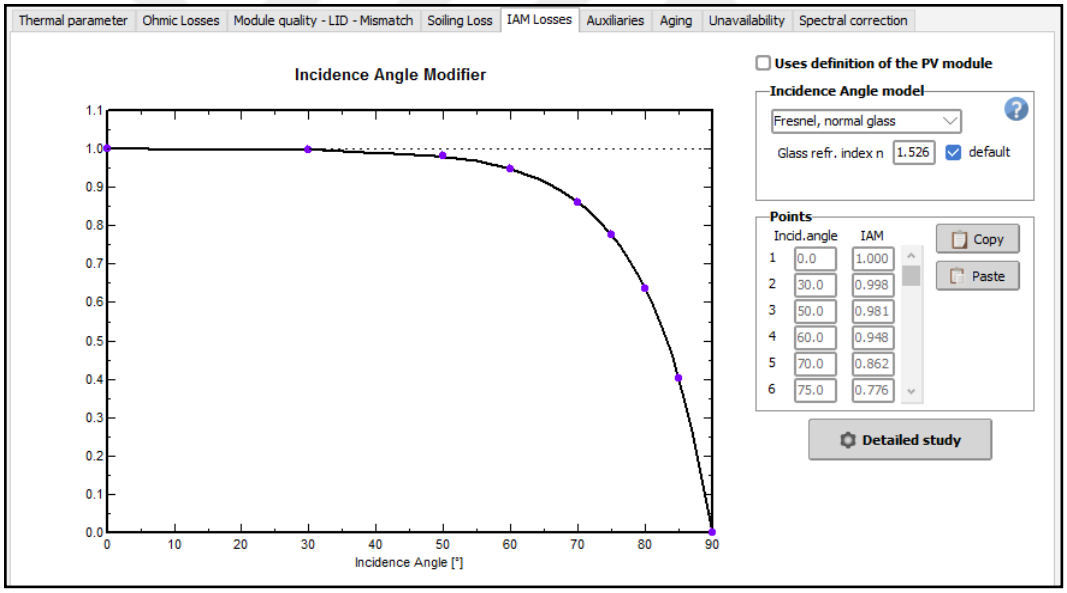
PVsyst programında kirlenme kaybı aylık ya da yıllık olarak girilebilmektedir. Fotovoltaik sistemlerin tozlanmadan kaynaklı kayıpları, şehir merkezi dışında olduğunda %1 olarak alınmaktadır. Tesis şehir merkezinin dışında yer aldığı ve düzenli olarak temizlik yapıldığı için kirlenme kaybı yıllık %1 kabul edilmiştir (Şekil 3.31.).



Şekil 3.31. Sistemin kirlenme kayıp değerinin tanımlanması

3.2.7.5. Yansıma kaybı (IAM Losses)

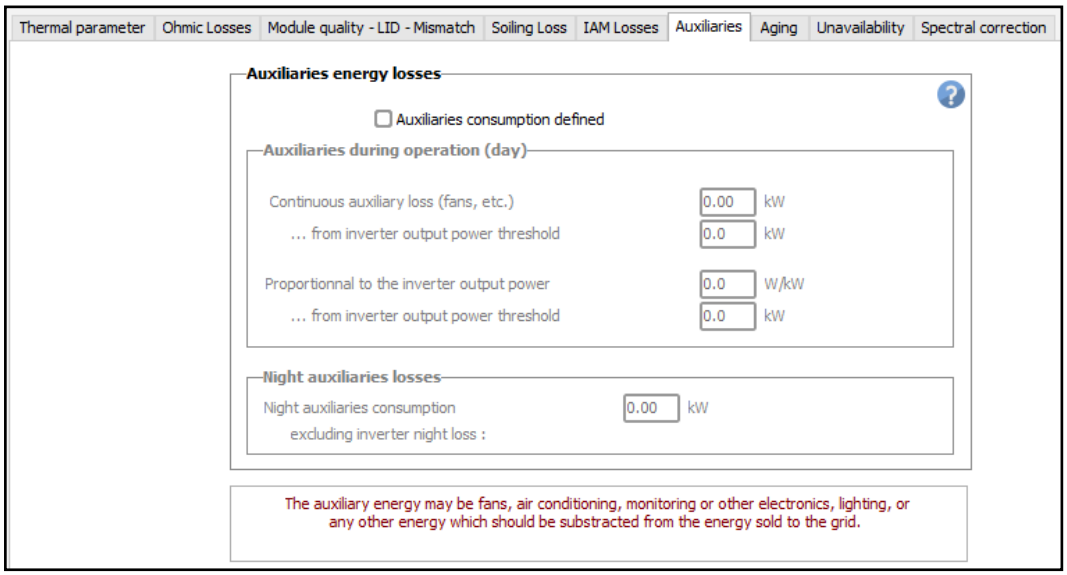
Fotovoltaik hücrelerin yüzeyine gelen ışıma, yansımalardan dolayı azalmaktadır. Güneş ışınlarının fotovoltaik modülün her farklı malzeme yüzeyinden yansıması sonucunda oluşan kayıptır. PVsyst programında yıllık yansıma kayıp değeri "fresnel, normal cam" tekniğiyle hesaplanmış varsayılan değer kabul edilmiştir (Şekil 3.32.).



Şekil 3.32. Sistemin yansıma kayıp değerinin tanımlanması

3.2.7.6. Yardımcılar (Auxiliaries)

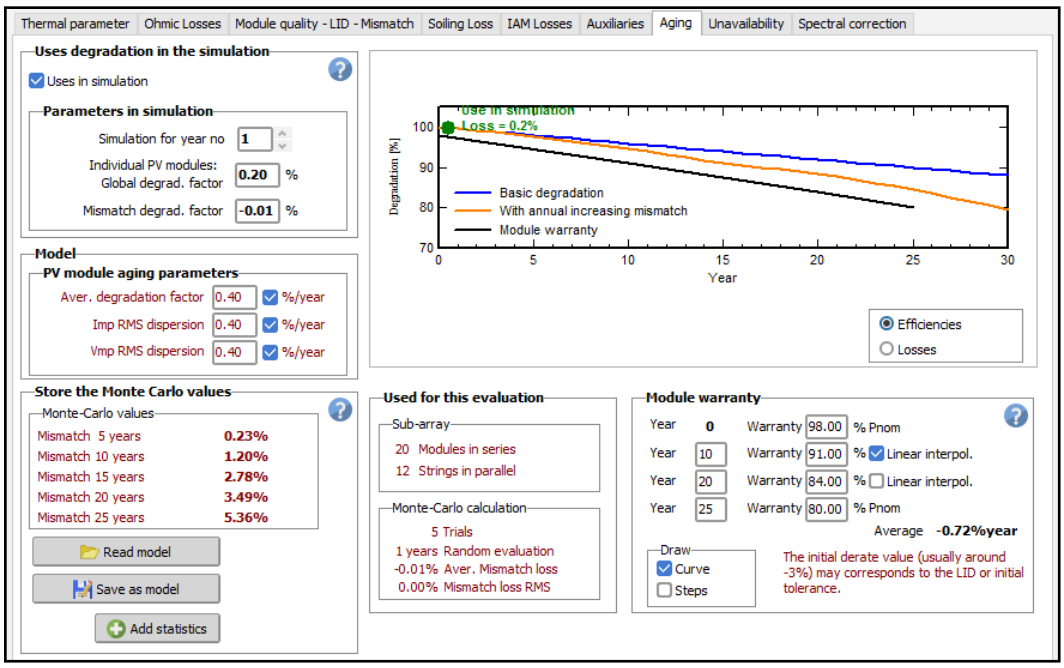
Fotovoltaik sistemde kullanılan harici donanım elemanlarından (klima, aydınlatma, bilgisayar vb.) kaynaklanan kayıplar "auxiliaries energy losses" sekmesi ile tanımlanmaktadır. Fabrikada kullanılan donanımlar belirlenemediği için bu çalışmada bu kayıp değeri tanımlanmamıştır (Şekil 3.33.).



Şekil 3.33. Sistemin yardımcılardan kaynaklanan kayıp değerinin tanımlanması

3.2.7.7. Yaşlanma kaybı (Aging)

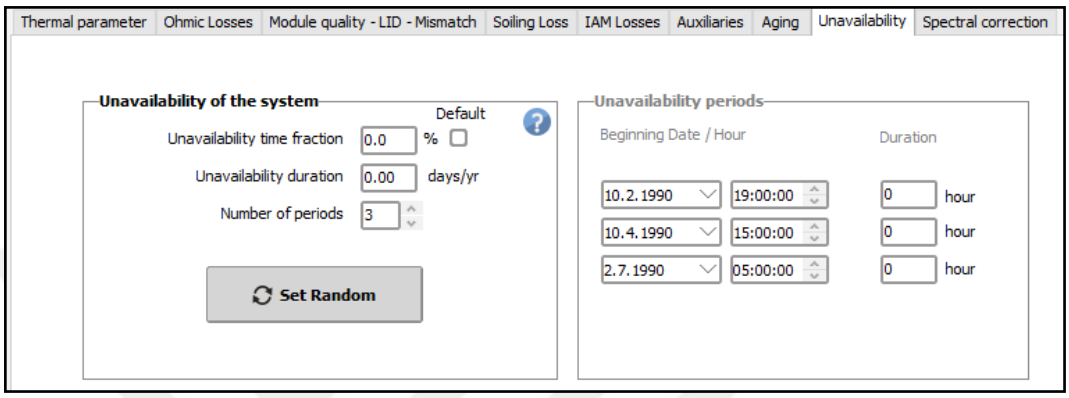
Fotovoltaik sistemlerde yaşlanma aşamalı olarak verimlilik kaybına sebep olmaktadır. Gazioğlu Solar Enerji panellere 25 yıl lineer performans garantisi vermektedir. PVsyst'a ortalama bir bozulma oranı tanımlanmaktadır. Tesis Ağustos 2020 yılında devreye alındığı için yapılan simülasyonda yaşlanma faktörü 1 yıl %0,20 kabul edilmiştir (Şekil 3.34.).



Şekil 3.34. Sistemin yaşlanma kayıp değerinin tanımlanması

3.2.7.8. Kullanılamazlık (Unavailability)

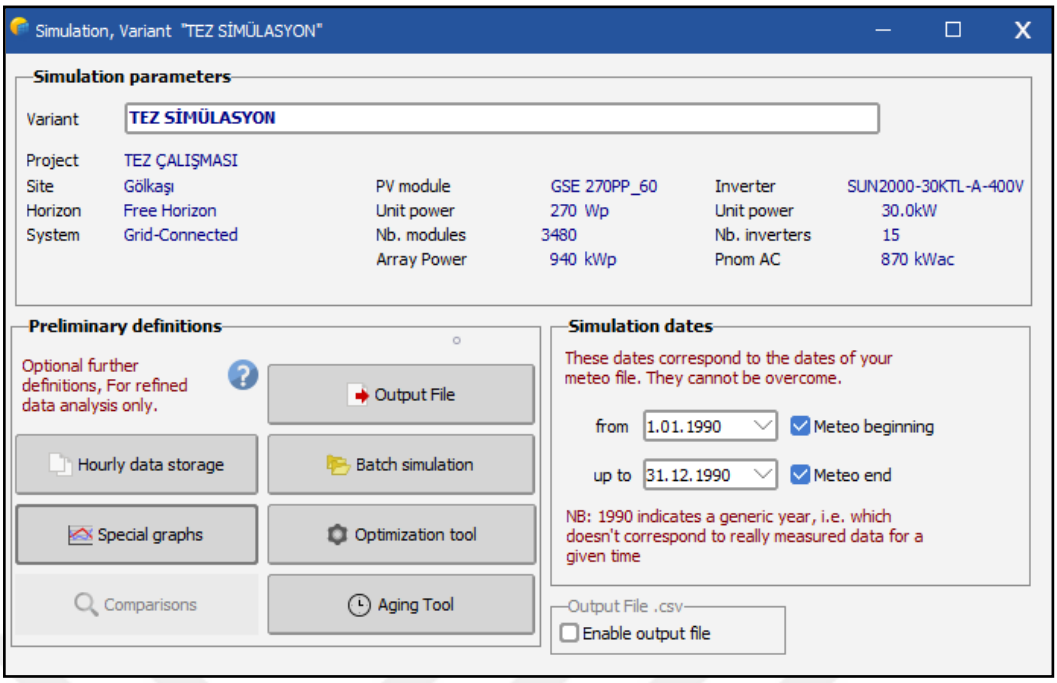
Fotovoltaik sistemde arıza ve bakım sebebiyle üretimin durmasından kaynaklanan kayıplardır. Tesisin üretim yapamadığı süreler tespit edilemediği için, "unavailability of the system" bölümünden PVsyst programında herhangi bir değer tanımlanmamıştır (Şekil 3.35.).



Şekil 3.35. Sistemin kullanılamazlık kayıp değerinin tanımlanması

3.2.8. Simülasyon

PVsyst simülasyon programının ara yüzünde fabrika binasına ait konum bilgileri, meteoroloji verileri, modül yönelim ve açıları, panel ve invertör sayıları, güçleri, marka ve dizi sayıları belirlenerek sistemin 3 boyutlu tasarımı yapılmıştır. 3 boyutlu tasarımı yapılan fabrika binasının performansını etkileyen detaylı kayıp parametreleri de tanımlanmıştır. Tüm girdileri tanımlanan projenin simülasyon kısmı aktif hale gelmiştir. Çalışmanın son aşaması olan "run simulation" işlemiyle sistemin simülasyonu yapılmış ve raporlama işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.36.). Sisteme ait raporlama kısmına "report" sekmesiyle ulaşılmaktadır. Simülasyon aracının verdiği rapor, sistemin değerlendirilmesi ve performans analizi için kullanılmak üzere alınmıştır. Simülasyon aracından alınan tasarlanan sisteme ait rapor EK-3'te verilmiştir.



Şekil 3.36. Simülasyonun yürütüldüğü pencere

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

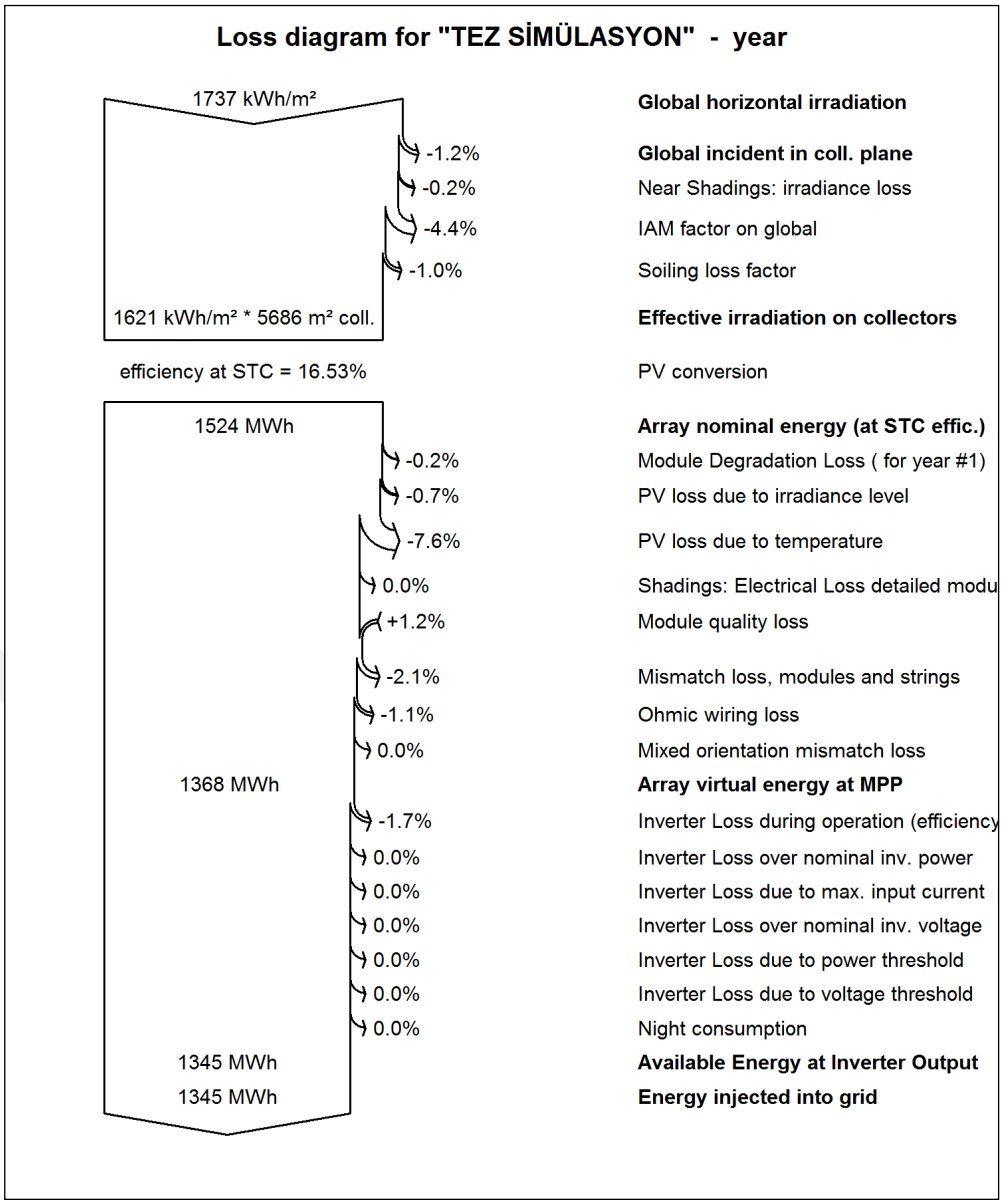
Yapılan bu çalışmada PVsyst 7.2.14 simülasyon yazılımı kullanılarak mevcutta olan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin enerji üretim verileri simülasyon ile elde edilmiştir. Sistemin temel bileşenleri paneller ve invertörler aracığıyla üretilen enerji fabrikanın toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %30'unu karşılamaktadır. Fabrika, fotovoltaik sistemin hafta içi ürettiği enerji kadarını kullanırken karşılayamadığı kısmını şebekeden almakta, hafta sonu ise ürettiği enerjiyi şebekeye satmaktadır. Simülasyon aracının sisteme ait bulguları IEC 61724 standartlarına göre değerlendirilerek performans analizi yapılmıştır.

4.1. PVsyst Simülasyon Aracı Bulgularına Göre Şebeke Bağlantılı PV Sistemin Performans Analizi

Mevcuttaki fabrikaya ait fotovoltaik sistemin tasarımında kullanılan tüm öğelere bağlı kalınarak fabrika binası PVsyst simülasyon yazılımında 3 boyutlu modellemesi yapılmış ve simülasyonu alınmıştır. Simülasyon sonucunda, sistemin aylık ve yıllık enerji üretim verileri, enerji kayıp yüzdeleri, panel yüzeyine gelen ışınım miktarı, ortalama sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Ayrıca IEC 61724 standartlarına göre sistemin performans parametreleri elde edilmiş ve performans analizi yapılmıştır.

Yapılan simülasyon sonucunda elde edilen yıllık kayıp diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir. Diyagramda görüldüğü üzere yatay düzleme gelen yıllık küresel ışınım miktarı 1737 kWh/m²'dir. Fotovoltaik paneller, binanın çatı eğimine bağlı olarak 12°'lik açıyla yerleştirilmiştir. Panel yüzeyine gelen ışınım miktarı %1,2 azalmıştır. Yapılan 3 boyutlu modellemeye göre panellerde oluşan gölgelenmeden kaynaklanan kayıp %0,2 olarak kaydedilmiştir. Yansımadan kaynaklanan kayıp %4,4, tozlanmadan ve karlanmadan kaynaklanan kayıp ise %1 olarak ölçülmüştür. Geneli optik kayıplar olarak tanımlanabilecek bu kayıplar toplandığında seçili coğrafi konumda panel yüzeyine gelen etkin ışınım yıllık 1621 kWh/m² olmuştur.

Tasarlanan fotovoltaik sistemde kullanılan fotovoltaik panelin standart test koşulları altındaki verimi %16,53'tür. Panel verimi ile alakalı olarak üretilebilecek enerjinin %16,53'ü fotovoltaik dönüşüme uğramış ve bunun sonucunda panel dizisindeki nominal enerjisi 1524 MWh olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. PVsyst yazılımından elde edilmiş yıllık kayıp diyagramı

Fotovoltaik panel özelliklerinden kaynaklanan kayıplar dizi kayıpları olarak tanımlanmıştır. 1 yıl sonrası için modül bozulma kaybı %0,2, ışınım kaybı %0,7, ısıl kayıp %7,6, dizi uyuşmazlığı kaybı (mismatch) %2,1, DC omik kayıp %1,1'dir. Toplamda %11,7'lik dizi kayıpları sonucunda, MPP'de varsayılan dizi enerjisi olarak tanımlanan dizi çıkışındaki enerji miktarı 1368 MWh olarak belirlenmiştir.

İnvertör ve şebekeye bağlantılarıyla ilgili kayıplar ise sistem kayıpları olarak tanımlanmıştır. İnvertör kayıpları %1,7 olarak hesaplanmıştır. İnvertör çıkışındaki kullanılabilir enerji 1345 MWh olarak belirlenmiştir. Tüm kayıpların sonucunda 1 yıl boyunca santralden yılda 1345 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.

Çizelge 4.1. PVsyst detaylı sistem kayıpları

TEZ SİMÜLASYON
Detailed System Losses

	ShdElec kWh	ModQual kWh	MisLoss kWh	OhmLoss kWh	EArrMPP kWh	InvLoss kWh
January	0.000	-681.806	1208	358	55922	1020
February	0.000	-865.861	1533	505	70971	1128
March	0.000	-1294.528	2293	959	105904	1689
April	0.000	-1631.417	2889	1424	133259	2099
May	0.000	-2031.444	3598	2037	165677	2764
June	0.000	-2116.667	3749	2332	172420	2964
July	0.000	-2151.111	3810	2452	175142	3153
August	0.000	-1916.611	3394	2047	156178	2857
September	0.000	-1573.194	2786	1497	128365	2189
October	0.000	-1117.583	1979	834	91415	1531
November	0.000	-775.944	1374	459	63591	1068
December	1.325	-604.417	1071	290	49600	916
Year	1.325	-16760.583	29683	15192	1368444	23377

Çizelge 4.1'de elektrik gölgeleme kaybı, modül kalite kazancı, modül uyumsuzluk kaybı, omik kablolama kaybı ve invertör kaybı gibi aylık ortalama sistem kayıpları kWh cinsinden gösterilmektedir.

- Elektrik gölgeleme kaybı "ShdElec" sadece Aralık ayında 1325 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir.
- Modül kalite kazancı "ModQual" toplam 16760,58 kWh/yıl'dır. En fazla kazanç Temmuz ayında, en az ise Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.
- Modül uyumsuzluk kaybı "MisLoss" toplam 29683 kWh/yıl'dır. En fazla kayıp 3810 kWh ile Temmuz ayında, en az ise Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.
- Omik kablo kaybı "OhmLoss" toplam 15192 kWh/yıl'dır. En fazla kayıp Temmuz ayında, en az ise Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.
- Maksimum Güç Noktasında dizi enerjisi "EArrMPP", 1368444 kWh'yıl'dır. En fazla kayıp Temmuz ayında, en az ise Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.
- Toplam invertör kaybı "InvLoss" ise 23377 kWh/yıl'dır. En fazla kayıp 3153 kWh ile Temmuz ayında, en az ise 916 kWh ile Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. PVsyst genel sonuç çizelgesi

TEZ SİMÜLASYON
Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	ratio
January	67.0	29.50	0.09	66.2	60.0	55922	54902	0.883
February	84.0	39.60	1.92	83.0	76.6	70971	69843	0.896
March	127.2	52.20	6.64	125.8	118.5	105904	104216	0.881
April	163.3	64.50	10.86	161.5	153.5	133259	131161	0.864
May	209.0	64.50	15.96	206.7	197.7	165677	162912	0.839
June	225.3	69.90	20.77	222.6	213.0	172420	169456	0.810
July	234.3	60.20	25.24	231.7	221.8	175142	171990	0.790
August	207.5	60.20	24.97	205.1	195.9	156178	153321	0.796
September	166.3	49.90	19.43	164.3	155.1	128365	126175	0.817
October	114.6	42.90	13.26	113.2	105.3	91415	89885	0.845
November	78.5	29.80	6.72	77.5	70.5	63591	62523	0.858
December	60.2	27.70	1.73	59.5	53.5	49600	48684	0.871
Year	1737.2	590.90	12.36	1717.0	1621.3	1368444	1345067	0.834

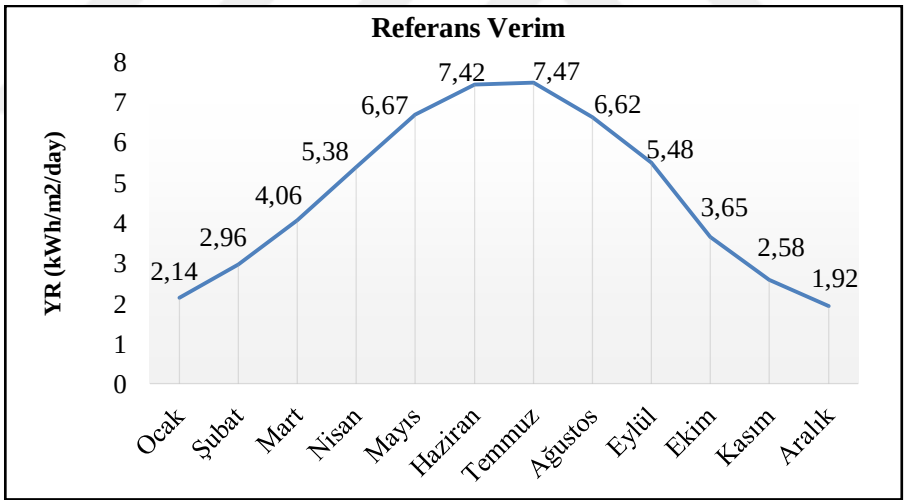
Çizelge 4.2'de aylık küresel ışıma, ortalama sıcaklık değerleri, panel yüzeyindeki etkin ışıma, dizilerdeki enerji miktarı ve şebekeye aktarılan enerji miktarı ile performans oranları ve bu değerlerin yıllık düzeyde karşılıkları verilmiştir.

- "GlobHor" sütununda küresel yatay ışıma değerleri verilmektedir. En yüksek ışınım değeri 234,3 kWh/m^2 Temmuz ayında iken en düşük yatay ışıma değeri 60,2 kWh/m^2 Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.
- "GlobEff" kirlenme, gölgelenme, optik kayıp etkili genel ışıma değeridir. En yüksek değer Temmuz ayında 221,8 kWh/m^2 iken, 53,5 kWh/m^2 ile en düşük değere Aralık ayında ulaşılmıştır.
- "EArray" fotovoltaik dizinin çıkışındaki etkin enerjiyi göstermektedir. Aylık üretim bazında en az üretim Aralık ayında 49,6 MWh iken, en fazla üretim Temmuz ayında 175,1 MWh olduğu tespit edilmiştir
- "E_Grid" şebekeye verilen invertör ve kablo kaybından sonra elde edilen enerjiyi vermektedir. Bu değer en yüksek Temmuz ayında 172 MWh iken, en düşük Aralık ayında 48,7 MWh olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. PVsyst aylara göre performans parametreleri

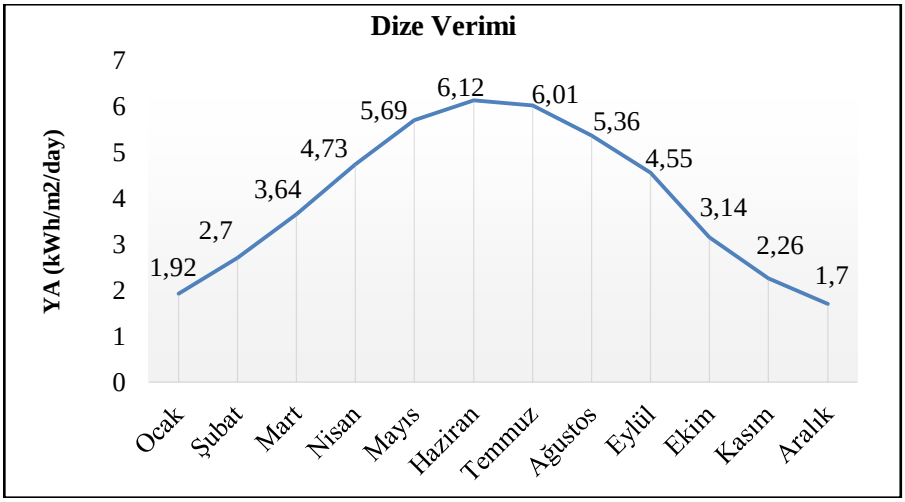
	Referans verim Y_R (kWh/m^2/day)	Dize verimi Y_A (kWh/m^2/day)	Nihai verim Y_F (kWh/m^2/day)	Performans oranı PR (Y_F/Y_R)
Ocak	2,14	1,92	1,88	0,883
Şubat	2,96	2,70	2,65	0,896
Mart	4,06	3,64	3,58	0,881
Nisan	5,38	4,73	4,65	0,864
Mayıs	6,67	5,69	5,59	0,839
Haziran	7,42	6,12	6,01	0,810
Temmuz	7,47	6,01	5,90	0,790
Ağustos	6,62	5,36	5,26	0,796
Eylül	5,48	4,55	4,48	0,817
Ekim	3,65	3,14	3,09	0,845
Kasım	2,58	2,26	2,22	0,858
Aralık	1,92	1,70	1,67	0,871
Ortalama	4,70	3,99	3,92	0,834

PVsyst simülasyon sonuçlarının kıyaslanmasını sağlayacak performans parametreleri; referans verimi Y_R, dize verimi Y_A, nihai verim Y_F ve performans oranı PR Çizelge 4.3'te verilmiştir.



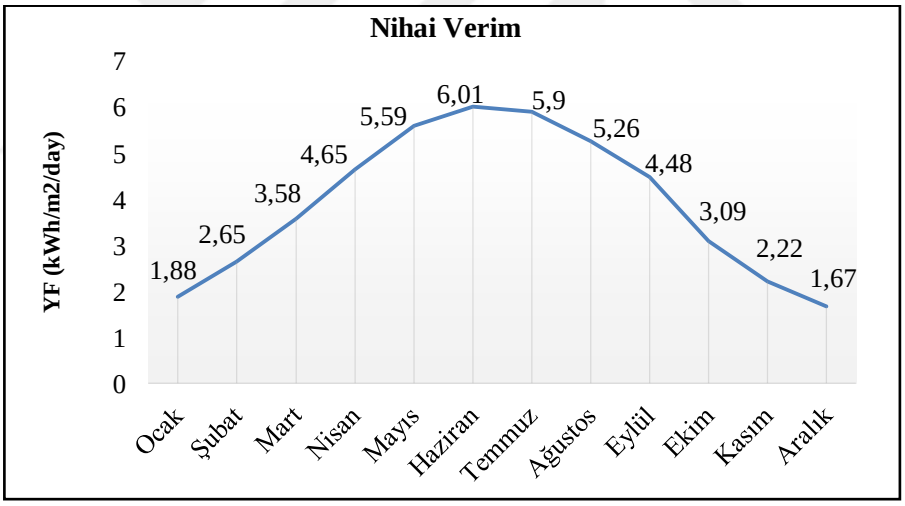
Şekil 4.2. Referans verimin aylara göre değişimi

Simülasyondan elde edilen referans verimin ortalama değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Grafiğe göre en yüksek referans verime 7,47 kWh/m^2/day ile Temmuz ayında, en düşük ise 1,92 kWh/m^2/day ile Aralık ayında ulaşılmıştır.



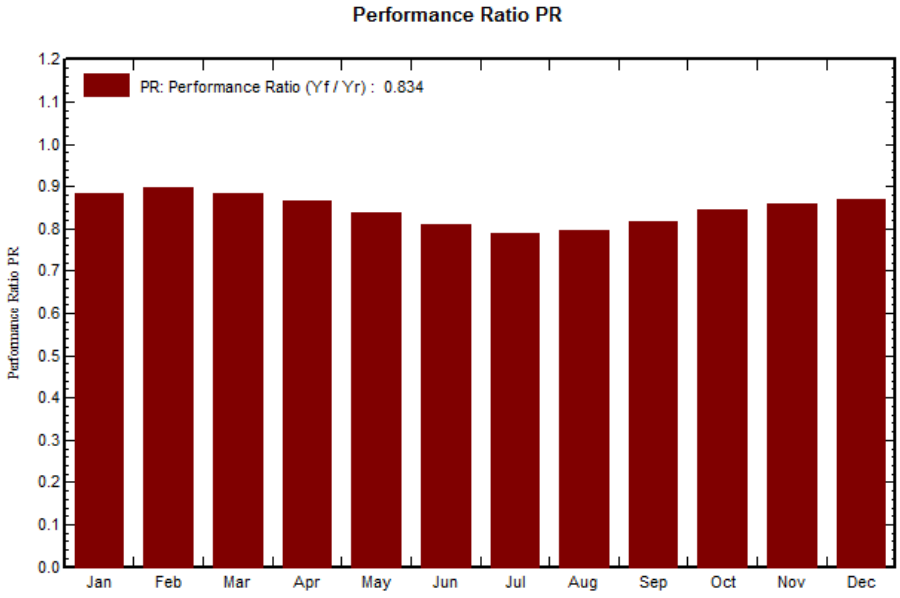
Şekil 4.3. Dize verimin aylara göre değişimi

Dize verimin aylara göre değişimi, Şekil 4.3'te verilmiştir. Dize verimin 6,12 kWh/m^2/day değeriyle en yüksek Haziran ayında, 1,70 kWh/m^2/day değeriyle ise en düşük Aralık ayında ulaşmıştır.



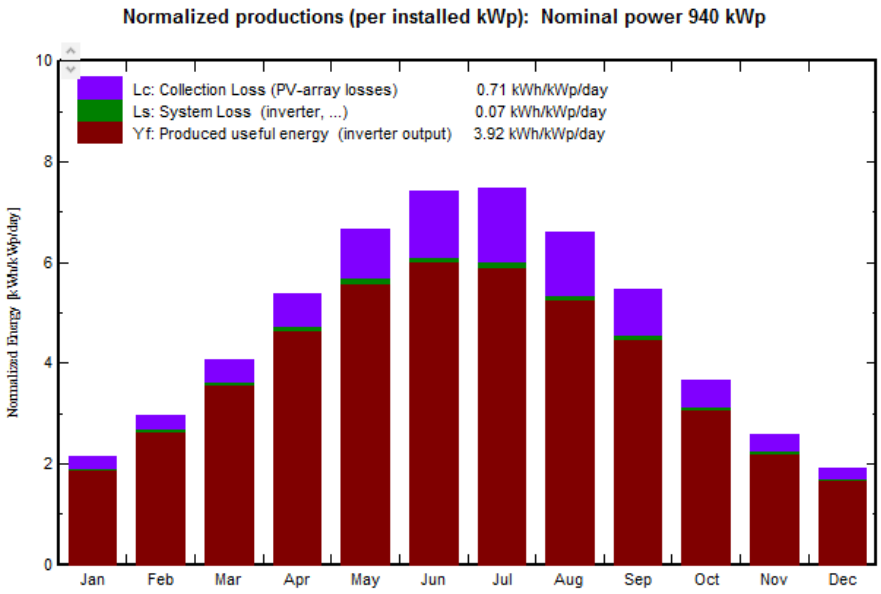
Şekil 4.4. Nihai verimin aylara göre değişimi

Nihai verimin aylara göre değişimi, Şekil 4.4'te verilmiştir. En yüksek nihai verim de dize verim gibi 6,01 kWh/m^2/day değeriyle Haziran ayında, en düşük değere ise Aralık ayında ulaşılmıştır.



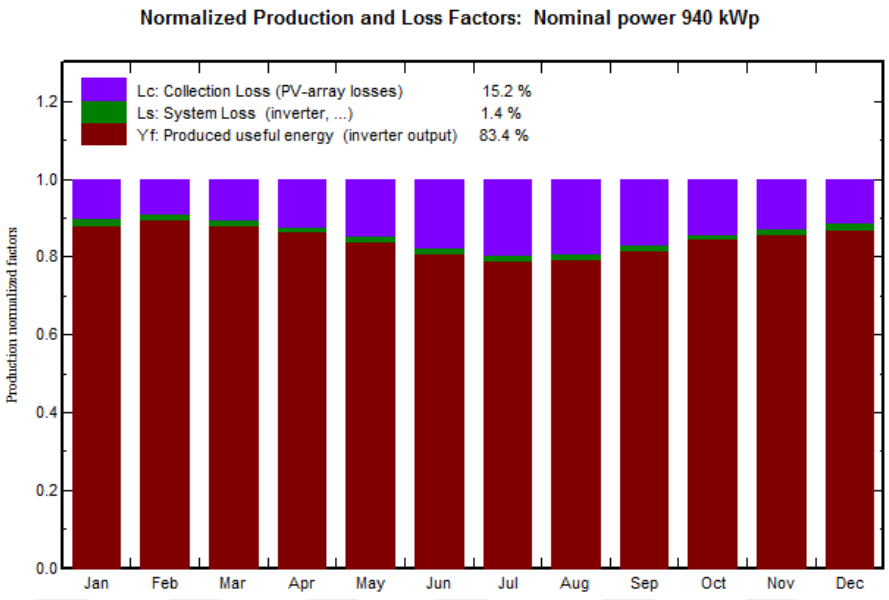
Şekil 4.5. Aylara göre performans oranı

Şekil 4.5'te sistemin yıllık performans oranını vermektedir. Performans oranı en yüksek %89,6 ile Şubat ayında, en düşük ise %79,0 ile Temmuz ayında görülmüştür. Yıllık performans oranı ise %83,4'tür. Şekilde de görüleceği üzere sıcaklık artışına bağlı olarak yaz aylarında sistem performansı düşmekte, kış aylarında yükselmektedir.



Şekil 4.6. Günlük nihai verim, dize ve sistem kayıplarının aylara göre değişimi

Şekil 4.6'da sistemin normalize üretim grafiği verilmektedir. İnvertör çıkışında elde edilen faydalı enerji 3,92 kWh/kWp/day'dir. L_c kolektör kayıpları 0,71 kWh/kWp/day, L_s sistem kayıpları ise 0,07 kWh/kWp/day değerini göstermektedir. En yüksek üretilen enerji (invertör çıkışı) Haziran ayında, en düşük ise Aralık ayında, dizi ve sistem kayıplarında ise en fazla kayıp Temmuz ayında olmuştur.



Şekil 4.7. Normalize enerji üretimi ve kayıpların aylara göre değişimi

Şekil 4.7'de sistemin normalize üretim ve kayıp grafiği verilmektedir. Normalize sistem üretimi %83,4'tür. En düşük sistem üretimi Temmuz ayında, en fazla dizi kaybı ise yine Temmuz ayında olmuştur.

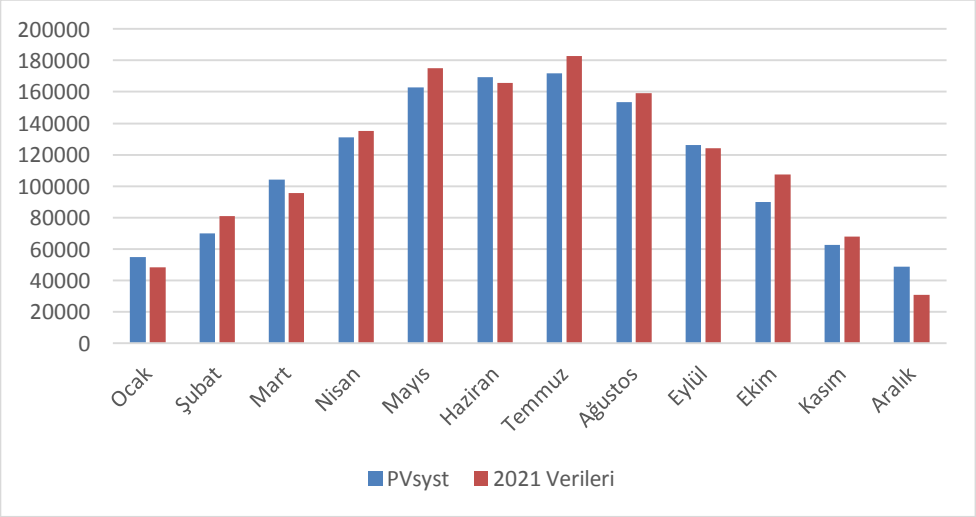
4.2. PVsyst Simülasyon Verileri ile Gerçek Üretim Verilerinin Karşılaştırılması

Fabrika binasına ait gerçek enerji üretim verileri (EK-5) ile PVsyst simülasyon programı kullanılarak elde edilen simülasyon verileri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; fabrika binasının 1 yıl boyunca toplamda 1372,2 MWh enerji üretmesine karşılık, PVsyst simülasyon sonuçlarına göre 1 yılda toplam 1345,1 MWh enerji üretebileceği öngörülmüştür. Gerçek enerji üretim verileri ile simülasyon verileri arasında 27,1 MWh fark bulunmaktadır. Böylece fabrikaya ait 2021 enerji üretim verileri PVsyst simülasyon verilerine göre %2 daha fazla çıkmıştır. Bu da fabrika binasının öngörülen üretim verilerinden daha yüksek bir performans gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.4. Fabrika binasının 2021 yılı üretim verileri ve PVsyst simülasyon verileri

	PVsyst Simülasyon Verileri (kWh)	2021 Yılı Gerçek Üretim Verileri (kWh)	Gerçekleşme Oranı %
Ocak	54902	48148	%87,69
Şubat	69843	80966	%115,92
Mart	104216	95611	%91,74
Nisan	131161	134995	%102,92
Mayıs	162912	174954	%107,39
Haziran	169456	165612	%97,73
Temmuz	171990	182800	%106,28
Ağustos	153321	159199	%103,83
Eylül	126175	124143	%98,38
Ekim	89885	107230	%119,29
Kasım	62523	67969	%108,71
Aralık	48684	30586	%62,82
TOPLAM	1345068	1372213	%102,01

Gerçek üretim verileri ile simülasyon verileri karşılaştırıldığında Şubat, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos, Ekim ve Kasım aylarında gerçek enerji üretim verileri simülasyon verilerinden yüksek iken; Ocak, Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarında ise simülasyon verileri fabrika binasının gerçek üretim verilerinden daha yüksek çıkmıştır. Fabrika binasında en fazla üretim 182,800 MW ile Temmuz ayında, en düşük üretim ise 30,586 MW ile Aralık ayında olmuştur. Bu durumun sebebi de en fazla ışımanın Temmuz ayında, en az ışımanın ise Aralık ayında elde edilmesidir.



Şekil 4.8. Fabrika binasının 2021 yılı üretim verileri ile PVsyst simülasyon verilerinin karşılaştırılması

Fabrika binasının üretim verileri ile simülasyon verileri arasındaki fark, en az Eylül ayında iken, en fazla Aralık ayında oluşmuştur (Şekil 4.8.). Aralık ayında meydana gelen bu fark, bölgenin iklim şartlarının sert olması ve yağan karın uzun süre panellerinde kalmasından kaynaklanmış olabilir.

4.3. Parametrelerin Sistem Performansına Etkisinin İncelenmesi

Parametrelerin sistem performansına etkisini tespit etmek için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. En basit ve yaygın kullanılan yöntem, "one at a time (OAT)" diğerlerini sabit tutarken her seferinde bir parametreyi belirli bir yüzdeyle değiştirerek yaklaşmaktır. Bu yöntem ile sonuç değişimindeki etkili parametreler elde edilebilir. Bu tür analizler, tüm parametre dağılımı için değil, yalnızca seçilen nokta tahminlerine göre hassasiyeti ele aldığı için "yerel" hassasiyet analizi yöntemlerinden biridir (Hamby, 1994).

Hassasiyet analizi, model sonucundaki çeşitliliğinin niteliksel veya niceliksel olarak model girdisindeki farklı varyasyon kaynaklarına nasıl paylaştırılabileceğinin incelenmesidir. Hassasiyet analizindeki girdi faktörünü ölçüm hataları, bilgi eksikliği veya mekanizmaların yanlış anlaşılması gibi birçok belirsizlik kaynağı oluşturmaktadır (Harputlugil ve diğ., 2011). Hassasiyet analizi; çıktıda en fazla değişkenliğe katkıda bulunan girdi parametrelerini, önemsiz parametreleri ve birbiriyle etkileşime giren parametreleri belirlemek için gereklidir (Mountford, 2017).

Hassasiyet analizi literatürde "yerel" (local) hassasiyet analizi ve "küresel" (global) hassasiyet analiz olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır (Harputlugil, 2013). Yerel hassasiyet analizi, her seferinde bir yaklaşımı izler, daha basittir, bağımsız olduğu varsayılan parametrelere sahiptir. Küresel hassasiyet analizi ise rastgele örnekleme gerektirir, yüksek derecede karmaşıklığa sahiptir, parametreler arasındaki olası korelasyonlar (bağımlılıklar) hakkında bilgi sağlar (Harputlugil ve Bedir, 2016).

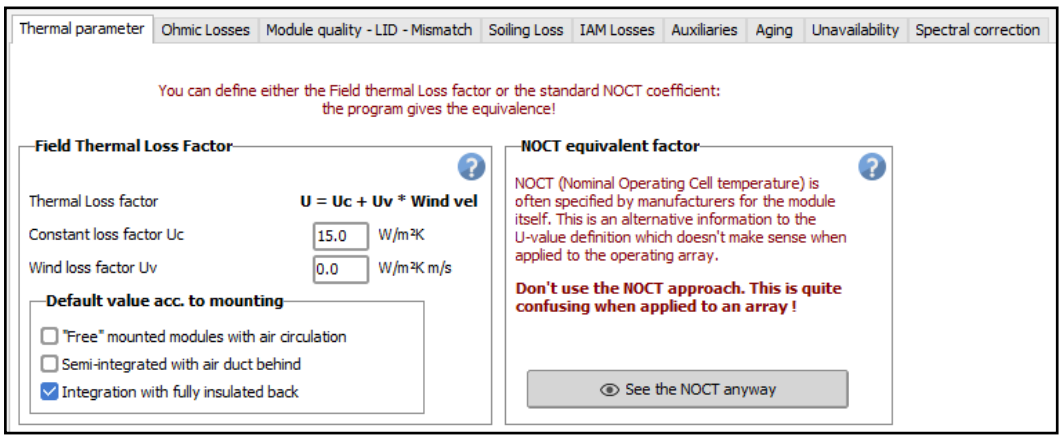
Bu çalışma kapsamında fotovoltaik sistemin 1 yıllık enerji üretim verileri ile simülasyon verilerinin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan farkın "one at a time" yöntemi ile sıcaklık, kablolama, modül uyumsuzluk, kirlenme, yansıma ve yaşlanma gibi kayıp parametrelerinin sonuç üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Fotovoltaik sistemin enerji verimliliğini doğrudan ya da dolaylı etkileyen parametrelerin sistem performansına etkisinin belirlenmesinde bu yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada da "one at a time" tekniği ile kayıp parametrelerinden sıcaklık, modül uyumsuzluk, kirlilik

ve yaşlanma gibi bağımsız değişkenlere değerler verilerek sonuç çıktısı üzerinde etkileri analiz edilmiştir.

4.3.1. Sıcaklık Kaybı (Thermal Parameter)

Modül sıcaklığı, fotovoltaik sistem performans ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Fotovoltaik panelin performansı modül sıcaklığı ile ters orantılıdır. Sıcaklık artışı modül sıcaklığını da artırır, bu da üretilen enerji miktarının azalmasına sebep olduğundan daha önce bahsetmiştik. PVsyst, ısıl kayıplar için fotovoltaik sistemde ölçülen güvenilir veriler olmadığında rüzgâr kayıp faktörü Uv parametresi "0" alınması koşuluyla varsayılan değerler önermektedir. Eğer modüllerin arka kısmında rüzgârın alışını sağlayacak hava kanalı olmadan çatıya montajı yapılmışsa U_C parametresi "15 W/m^{2}K " olarak, rüzgâr estiğinde modüller rüzgârı hava kanalları sayesinde alıyorsa Uc parametresi "20 W/m^{2}K" olarak alınabildiği PVsyst ara yüzünde ifade edilmiştir (URL-24).

Bu tez çalışmasında sıcaklık kayıp değeri tanımlanırken, sistemdeki panellerin rüzgâr estiğinde rüzgârı hava kanalları sayesinde aldığı varsayılarak Uc parametresi "20 W/m^{2}K" olarak alınmıştır. Fakat fotovoltaik sistemde sıcaklık kaybının ölçümüyle ilgili sistem olmadığı için bu durum belirsizlik oluşturmaktadır. Parametrelerin sistem performansına etkisi incelenirken, bağımsız değişken olarak sıcaklık kayıp değeri Şekil 4.9'da gösterildiği üzere "15 W/m^{2}K" alınarak sistemin simülasyonu yapılmış yeni veriler elde edilmiştir.

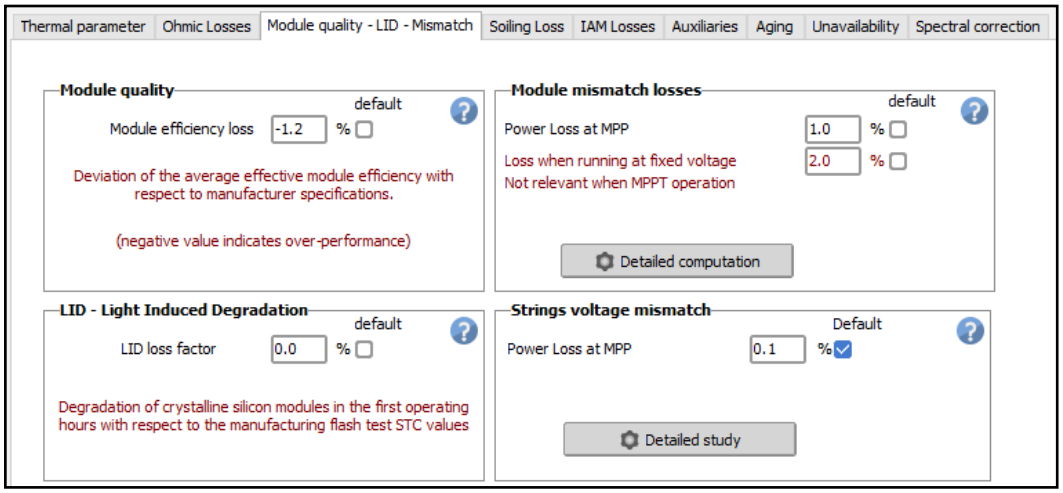


Şekil 4.9. Fabrika binasının sıcaklık kayıp değeri

4.3.2. Modül Uyumsuzluk Kaybı (Module Mismatch Losses)

Fotovoltaik sistemlerde bulunan panellere güneş ışınlarının gelme açısının farklılaşması ve gölgelenme etkisinden dolayı ışınım oranları değişmektedir. Bu durum modüllerdeki akım ve gerilimin farklı olmasına sebep olmaktadır. Dizi uyuşmazlığına bir hücre veya modülde oluşan en düşük akımın tüm dizi akımını yönlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Uyumsuzluk kaybı, giriş parametresi olarak belirtilmesi gereken ve simülasyon sonucunda sabit bir kayıp olarak son kayıp diyagramında üretilen enerji miktarını etkilemektedir. PVsyst tarafından önerilen varsayılan değer önceki sürümlerde Pmpp %1 ve sabit voltaj kullanımları için iki katı %2 olarak belirlenmiştir. Ama uyumsuzluk kayıpları için "mutlak bir değerin" olmadığı PVsyst belgelerinde bildirilmektedir (URL-24).

Bu tez çalışmasında, modül uyumsuzluk kayıpları PVsyst'ın varsayılan olarak önerdiği şekilde Pmpp için %2 ve sabit voltaj kullanımları için %2,5 tanımlanarak simülasyon yapılmıştır. Fakat uyumsuzluk kayıplarıyla ilgili detaylı hesaplama yapılmadığı için parametrelerin sistem performansına etkisi incelenirken bağımsız değişken olarak uyumsuzluk kayıp değeri Pmpp %1 ve sabit voltaj kullanımları için %2 değeri tanımlanarak yeniden simülasyon verileri elde edilmiştir (Şekil 4.10.).

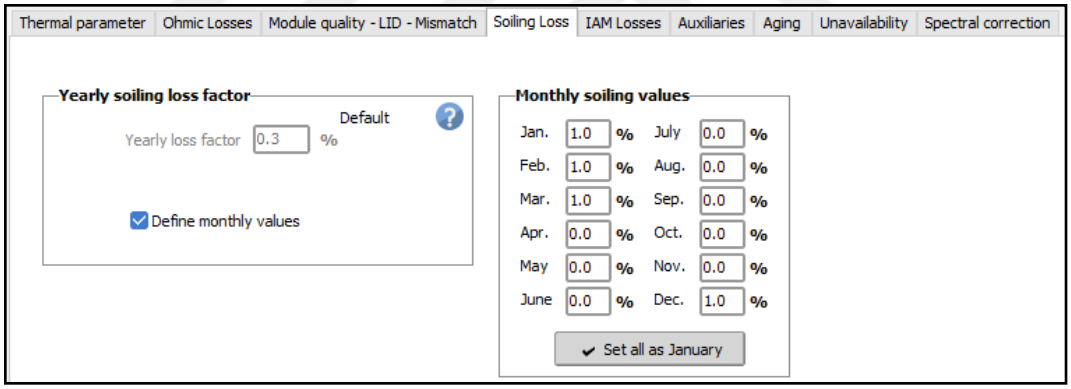


Şekil 4.10. Fabrika binasının modül uyumsuzluk kayıp değeri

4.3.3. Kirlenme Kaybı (Soiling Loss)

Kirlenme kaybı, fotovoltaik modüllerin tozlanmaya bağlı olarak ışınım miktarının azalmasına bu durumda üretilen enerji miktarını azaltmaktadır. PVsyst programında kirlenme kaybı yıllık ya da "define monthly values" seçeneği seçilerek, aylık olarak ayrı ayrı da girilebilmektedir. PVsyst varsayılan olarak yıllık %3'lük bir kaybı öngörmektedir.

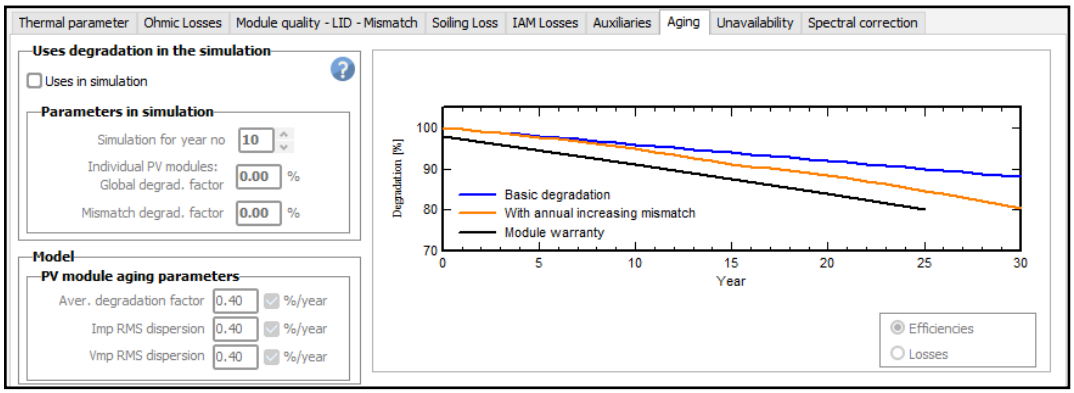
Bu tez çalışmasında fabrika binası yerleşim sınırlarının dışında yer almasından dolayı yıllık kirlenme kaybı %1 tanımlanmış ve bu değere göre simülasyonu alınmıştır. Fakat modüllerin yıllık kirlenme kaybını ölçecek bir düzenek bulunmadığından dolayı bu kayıp yüzdesi kesin değildir. Modüllerin temizlikleriyle ilgili kış aylarında ayda bir diğer aylar ayda iki kez temizlik yapıldığıyla ilgili bilgilere dayanarak aralık, ocak, şubat, mart aylarında kirlenme kaybı %1, diğer aylar %0 girilmiştir (Şekil 4.11.). Parametrelerin sistem performansına etkisi incelenirken bağımsız değişken olarak sistemin yıllık kirlenme kaybı %0,3 olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.11. Fabrika binasının kirlenme kayıp değeri

4.3.4. Yaşlanma Kaybı (Aging)

Fotovoltaik modüllerde yaşlanma, sistemin enerji üretiminde verimlilik kaybına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında, sistemin kurulumu Ağustos 2020 de tamamlandığı için yaşlanma kaybı 1 yıllık %0,2 tanımlanmış ve simülasyonu alınmıştır. Kullandığımız 1 yıllık toplam enerji verilerinde sistem henüz bir yılını tamamlamadığı için parametrelerin sistem performansına etkisi incelenirken bağımsız değişken olarak sistemin yıllık yaşlanma kaybı "uses in simulation" seçimi kaldırılarak %0 olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Fabrika binasının yaşlanma kayıp değeri

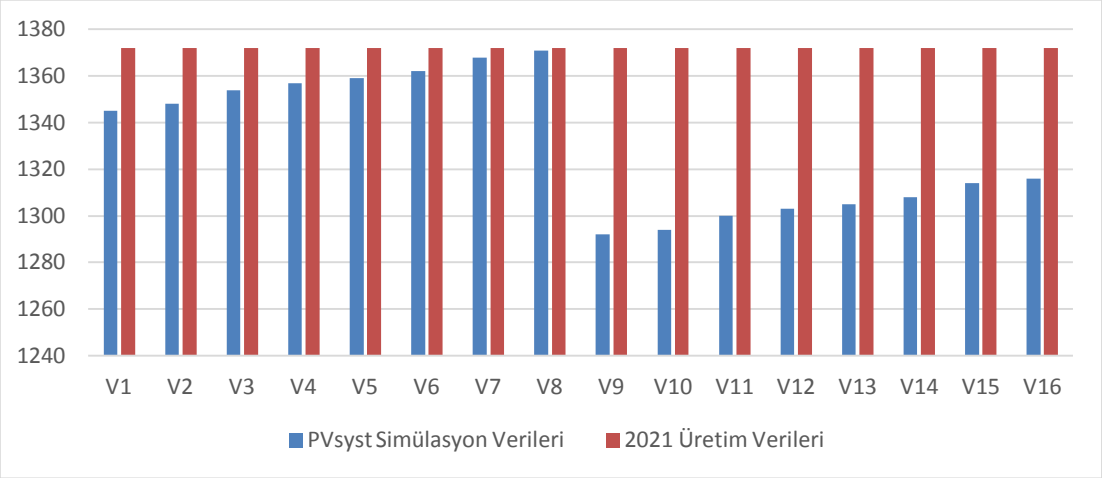
Bu tez çalışmasında yapılan simülasyonda, kayıp parametrelerinin etkisini değerlendirmek için belirlenen 4 bağımsız değişkene 2 farklı değer verilerek elde edilen 16 farklı varyasyonun sonuçları ve performans oranları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Sıcaklık kaybı için "15-20", modül uyumsuzluk kaybı için "%2/2.5-%1/2", kirlilik kaybı için "%1-%0.3" ve yaşlanma kaybı için "0.2-0" alternatif değerleri kullanılmıştır. V1 varyasyonu tez çalışmasında PVsyst simülasyon programına tanımlanan kayıp değerleri ve elde edilen sonuçtur.

Çizelge 4.5. Bağımsız değişkenlere verilen alternatif değerler ve elde edilen enerji üretim verileri

	Sıcaklık Kaybı	**Modül Uyumsuzluk Kaybı**	**Kirlenme Kaybı**	**Yaşlanma Kaybı**	**Enerji Üretimi**	**Performans Oranı (PR)**
V1	20	%2 / %2,5	%1	1 yıl %0,20	1345	%83,4
V2	20	%2 / %2,5	%1	0	1348	%83,5
V3	20	%2 / %2,5	%0,3	1 yıl %0,20	1354	%84
V4	20	%2 / %2,5	%0,3	0	1357	%84,1
V5	20	%1 / %2	%1	1 yıl %0,20	1359	%84,2
V6	20	%1 / %2	%1	0	1362	%84,4
V7	20	%1 / %2	%0,3	1 yıl %0,20	1368	%84,8
V8	20	%1 / %2	%0,3	0	1371	%85
V9	15	%2 / %2,5	%1	1 yıl %0,20	1292	%80,1
V10	15	%2 / %2,5	%1	0	1294	%80,2
V11	15	%2 / %2,5	%0,3	1 yıl %0.20	1300	%80,6
V12	15	%2 / %2,5	%0,3	0	1303	%80,8
V13	15	%1 / %2	%1	1 yıl %0,20	1305	%80,9
V14	15	%1 / %2	%1	0	1308	%81,1
V15	15	%1 / %2	%0,3	1 yıl %0,20	1314	%81,4
V16	15	%1 / %2	%0,3	0	1316	%81,6

Çizelgede sıcaklık kayıp değeri Uc "20" olarak tanımlanan, diğer kayıp parametrelerinin ise alternatif değerler kullanılarak oluşturulan V2'den V8'e kadar ki

varyasyonlardan elde edilen sonuçların, tezde kullanılan V1 varyasyonundan fazla ve gerçek üretim verisine yaklaştığı görülmektedir. V1 varyasyonundan farklı olarak, sıcaklık kayıp değeri Uc'nin "15" olarak tanımlandığı V9 varyasyonunda ise simülasyon sonucunun tezde kullanılan sonuçtan daha az olduğu gözlemlenmiştir. V9'dan V16'ya kadar olan simülasyon sonuçlarındaki üretim verileri her varyasyonda artmış fakat yine de V1 varyasyonunun üretim verisinden az çıkmıştır.



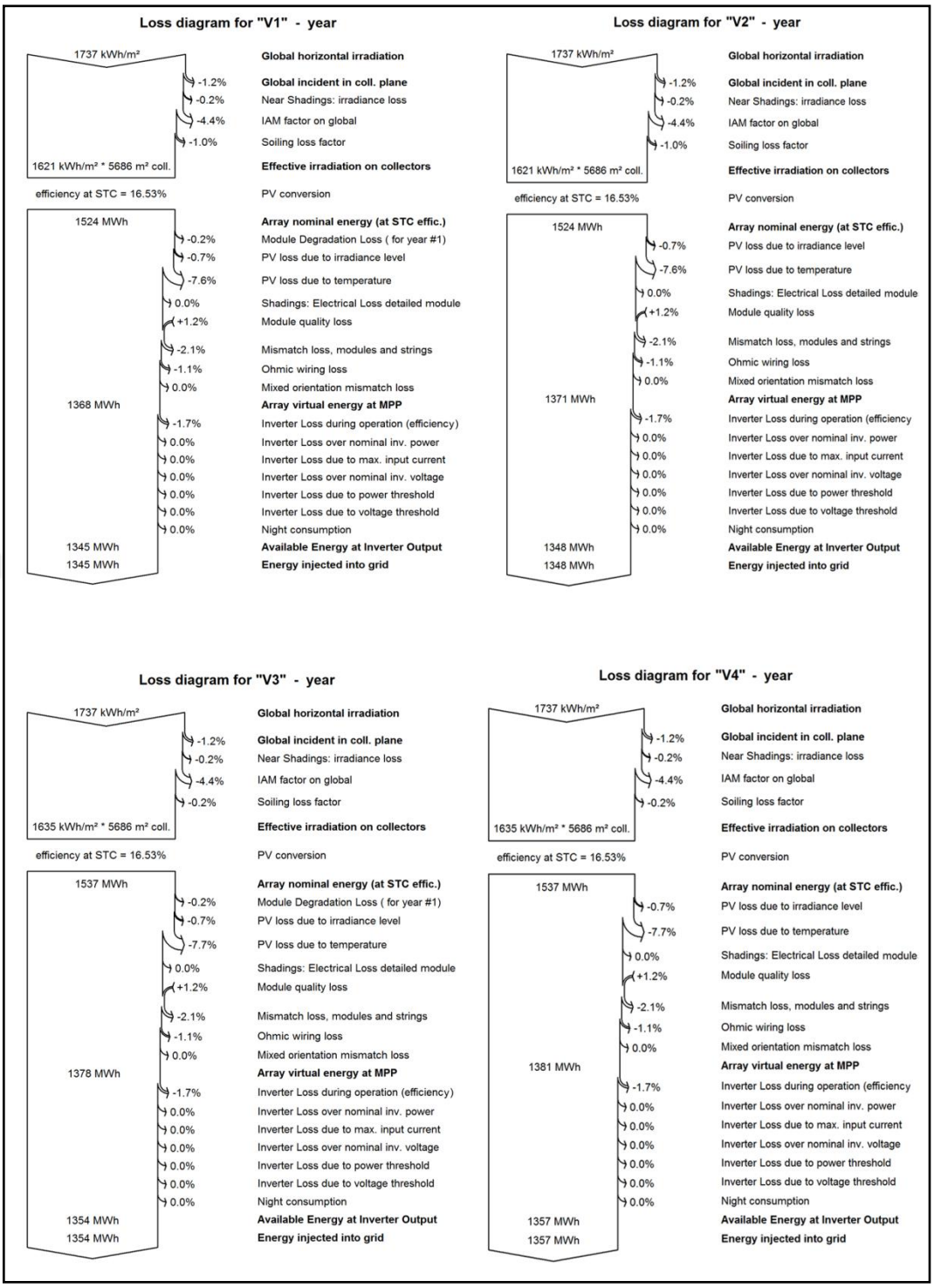
Şekil 4.13. Elde edilen simülasyon verileri ile gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması

Bağımsız değişkenlere verilen alternatif değerlerle elde edilen üretim verilerinin gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması Şekil 4.13'te yapılmıştır. V1'den V8'e kadar simülasyon sonuçları artmış ama gerçek enerji üretim verisini geçememiştir.

Çizelge 4.6. 2021 üretim verileri ile elde edilen varyasyonlar arası fark

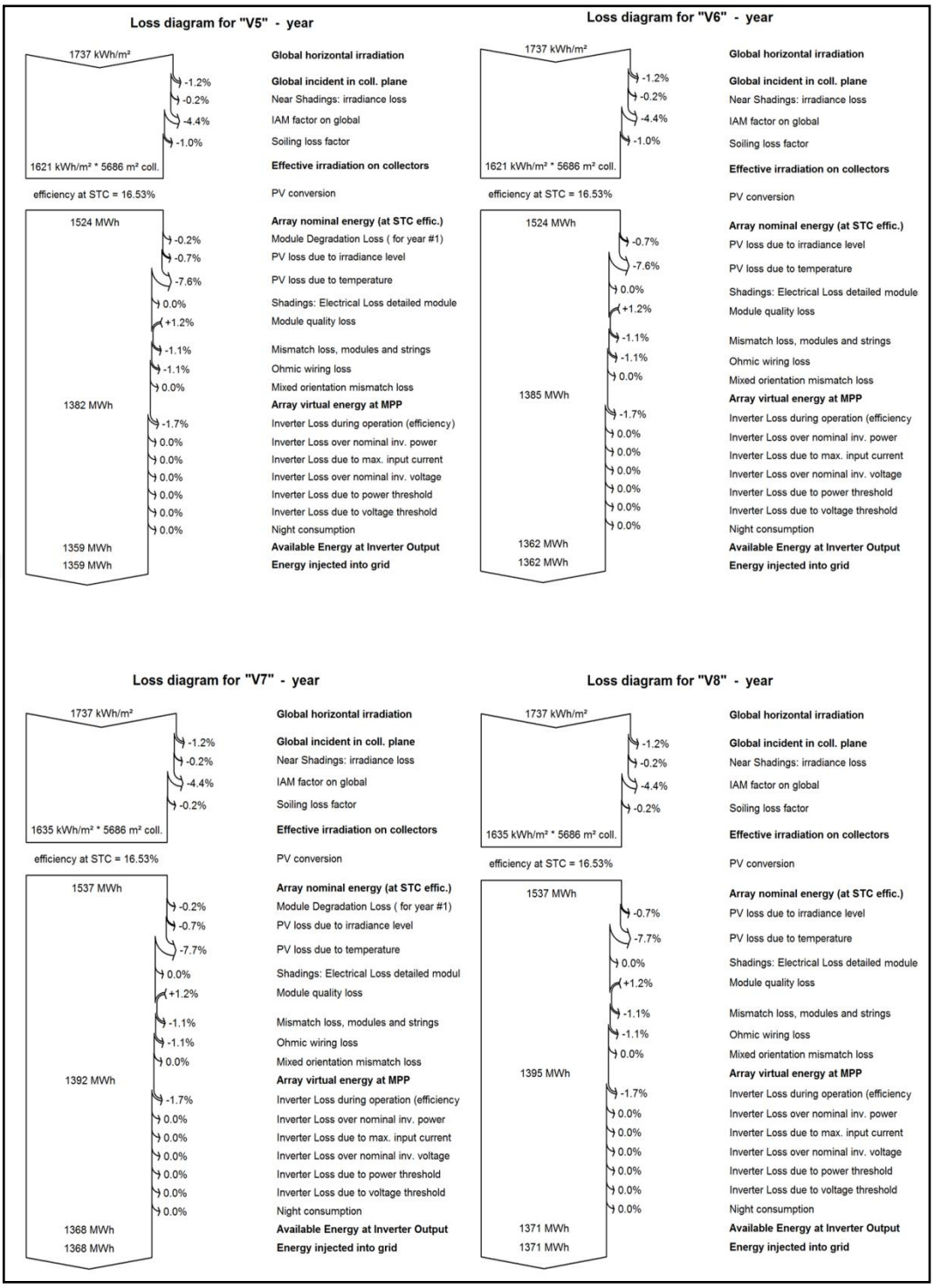
	V1	**V2**	**V3**	**V4**	**V5**	**V6**	**V7**	**V8**
2021 Üretim Verileri (MWh)	1372	1372	1372	1372	1372	1372	1372	1372
PVsyst Verileri (MWh)	1345	1348	1354	1357	1359	1362	1368	1371
Fark %	%2	%1,78	%1,34	%1,10	%0,95	%0,73	%0,29	%0,07
	V9	**V10**	**V11**	**V12**	**V13**	**V14**	**V15**	**V16**
2021 Üretim Verileri (MWh)	1372	1372	1372	1372	1372	1372	1372	1372
PVsyst Verileri (MWh)	1292	1294	1300	1303	1305	1308	1314	1316
Fark %	%6,19	%6,02	%5,53	%5,29	%5,13	%4,89	%4,41	%4,25

Tez çalışmasında yapılan simülasyon sonucu ile gerçek üretim verisi arasında %2'lik bir fark olduğu daha önce belirtilmiştir. Çizelge 4.6'da verilen oranlara bakıldığında, gerçek üretim verisine en yakın %0,07 ile V8 varyasyonunda, en uzak ise %6,19 oran ile V9 varyasyonunda ulaşılmıştır.



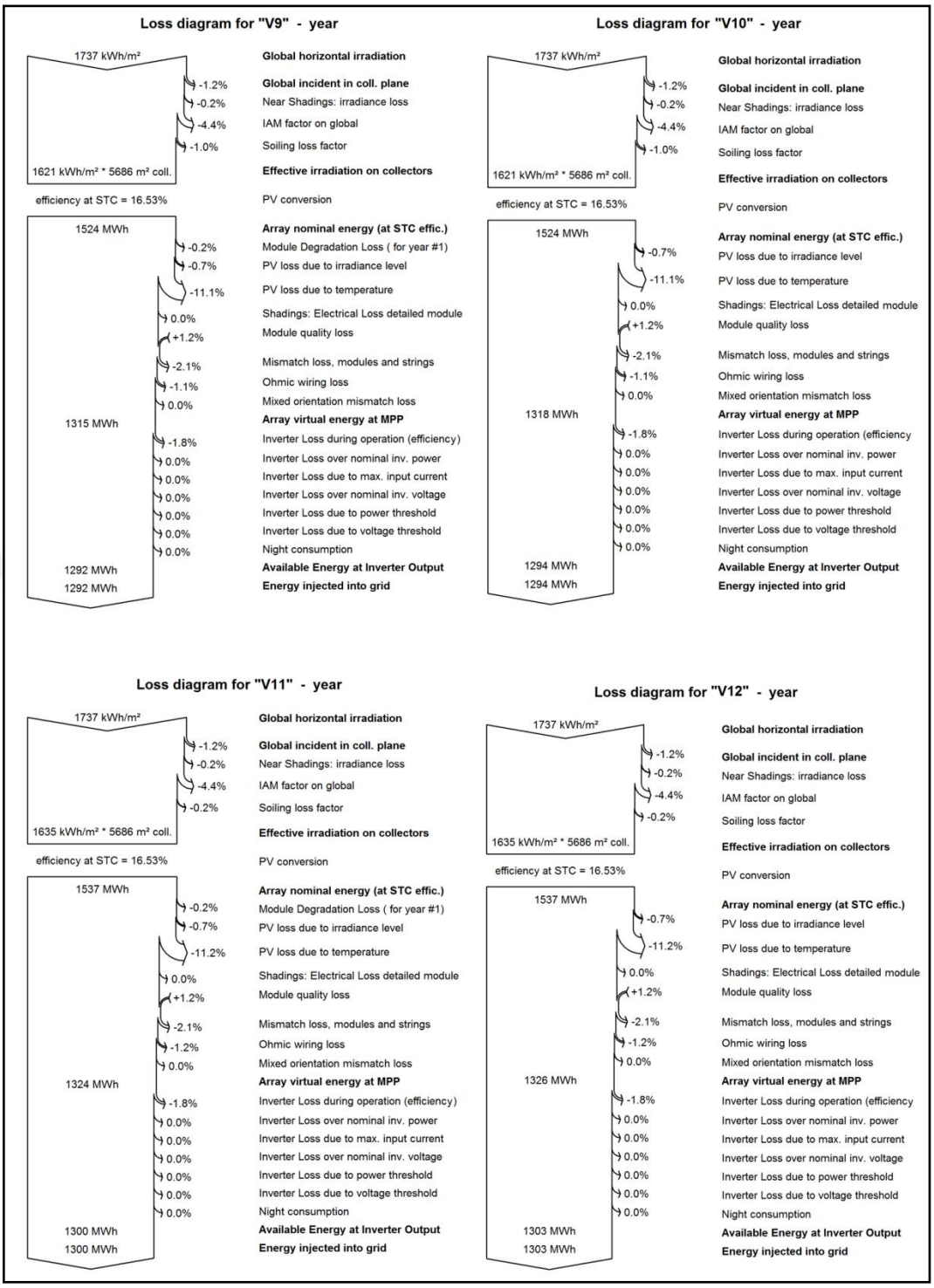
Şekil 4.14. Bağımsız değişkenlere verilen yeni değerlerden elde edilen simülasyon sonuçları

Şekil 4.14'te V2 kayıp diyagramında, yaşlanma kaybının tanımlanmamış olması yıllık enerji üretim verisini 3 MWh, V3 kayıp diyagramında ise kirlenme kaybı %0,2 olması üretim verisini 9 MWh artırmıştır. V4 diyagramında ise kirlenme kaybının %0,2 ve yaşlanma kaybının %0 olmasından dolayı 1357 MWh enerji üretimi olmuştur.



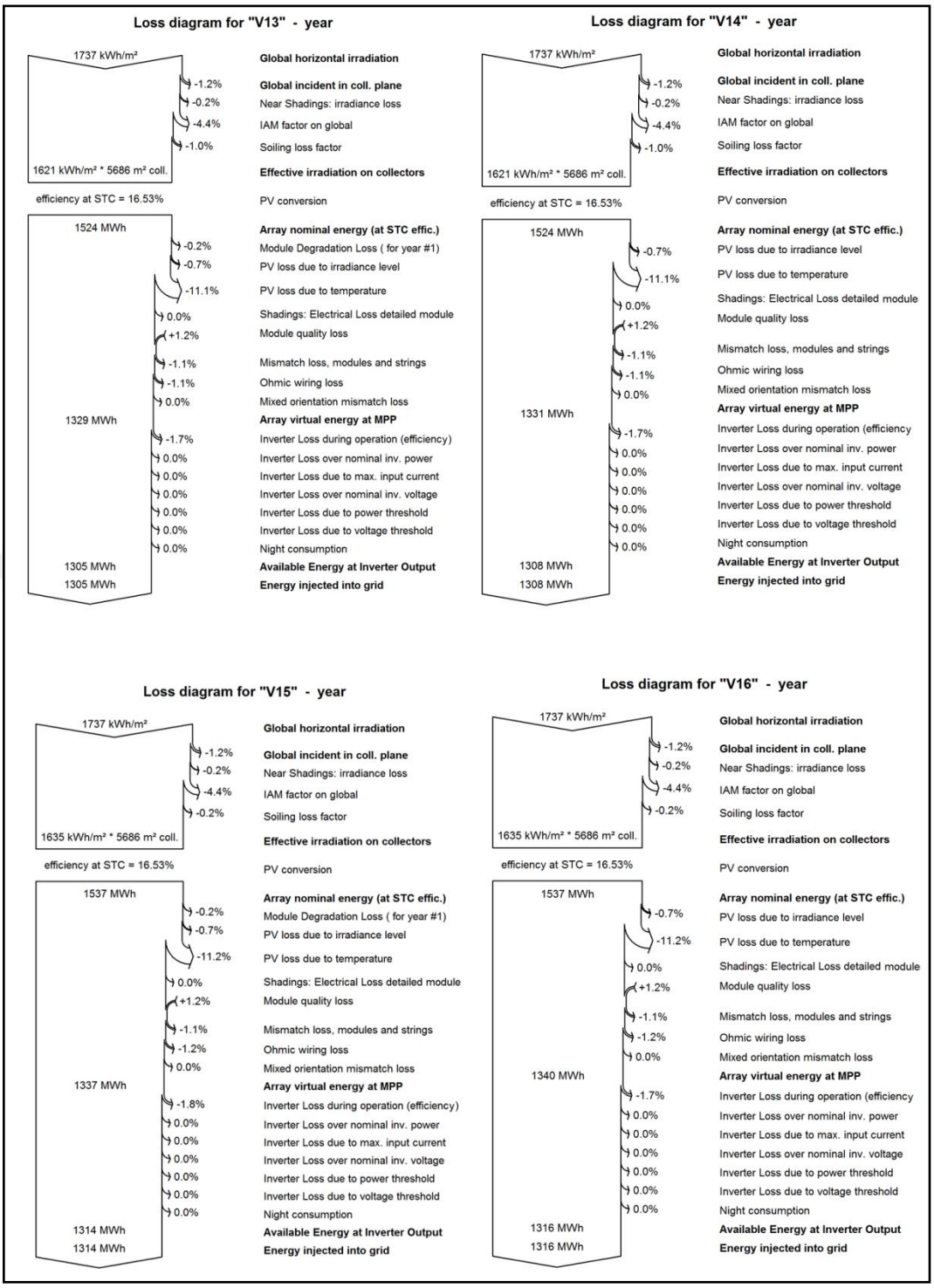
Şekil 4.15. Bağımsız değişkenlere verilen yeni değerler ile elde edilen simülasyon sonuçları

Şekil 4.15'te V5-V8 varyasyonlarının kayıp diyagramında görüldüğü üzere modül uyumsuzluk kaybı %1,1 olması tüm diyagramlarda üretim verilerini artırmıştır. V8 kayıp diyagramında elde edilen 1371 MWh yıllık enerji üretim verisi ile gerçek üretim verisine en yakın varyasyon olmuştur.



Şekil 4.16. Bağımsız değişkenlere verilen yeni değerler ile elde edilen simülasyon sonuçları

Şekil 4.16'da V9-V12 varyasyonlarının kayıp diyagramında görüldüğü üzere sıcaklık kayıp değeri Uc'nin simülasyonda "15" olarak tanımlanması, sıcaklık kaybının %11 civarında olmasına neden olmuştur. Tüm diyagramlarda enerji üretim verileri düşmüştür.



Şekil 4.17. Bağımsız değişkenlere verilen yeni değerler ile elde edilen simülasyon sonuçları

Şekil 4.17'de V13-V16 varyasyonlarının kayıp diyagramında görüldüğü üzere sıcaklık kayıp değeri Uc'nin simülasyonda "15" olarak tanımlanması, sıcaklık kaybının %11 civarında olmasına neden olmuştur. Modül uyumsuzluk kaybı %1,1 olması tüm diyagramlarda V9-V12'ye göre üretim verilerini artırmıştır. Fakat gerçek üretim verileri ile aralarında %4 civarında fark bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji hayatımızda vazgeçilmez bir unsurdur. Dünyada ve Türkiye'de artan nüfus, enerji tüketiminin artmasına, mevcutta olan fosil enerji kaynakların tükenmesine ve en önemlisi çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan yapıların sayıları da her geçen gün artmaktadır. Yapılar ısınma, soğutma, aydınlatma gibi ihtiyaçlarını gidermek için kullandıkları fosil enerji kaynaklarıyla hem hava kirliliğine hem de kaynakların tükenmesi gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu ve benzeri birçok sorun ülkeleri tükenmeyen, kirletmeyen, temiz yenilenebilir enerji kaynağı arayışına yönlendirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan ve enerji potansiyeli yüksek güneş enerjisinden binaya entegre fotovoltaik sistemler ile aktif olarak yararlanmak mümkündür. Fotovoltaik sistemler ilk yatırım maliyetleri yüksek sistemlerdir. Bu nedenle fotovoltaik sistemler kurulmadan önce sistemin enerji üretim potansiyelini ve verimliliğini belirlemek için çeşitli simülasyon araçları kullanılmaktadır. PVsyst simülasyon yazılımı da bu programlardan biridir. Ancak her binanın gerçek enerji üretim verileri ile simülasyon verileri arasında farklar olmaktadır. Farkların oluşmasında, bölgenin iklimsel verilerindeki değişikler, panellerin kirlenme oranlarının belirlenememesi, panellerin çalışma sıcaklığının artması, kablo kesitlerinde meydana gelen kayıpların belirlenememesi ve gölgelenme gibi birçok parametre etkilidir.

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada mevcut bir tesisin çatısına kurulmuş olan ve Ağustos 2020'den beri üretim verileri kaydedilen güneş enerjisi santralinin gerçek değerleri ve özellikleri PVsyst 7.2.14 simülasyon programına tanımlanarak simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda sistemin enerji üretim verileri, kayıp verileri ve sistemin performansını analiz etmek için kullanılan IEC 61724 standardına göre tanımlanmış performans parametreleri elde edilmiştir.

Simülasyon sonuçları analiz edildiğinde referans verimin en yüksek değerine Temmuz ayında, nihai verim ve dize verimin en yüksek değerine ise Haziran ayında ulaşıldığı tespit edilmiştir. En düşük performans oranı değerine Temmuz ayında ulaşıldığı belirlenmiştir. En yüksek ışıma değerinin Temmuz ayında olmasına rağmen

en düşük performans oranının yine Temmuz ayında meydana gelmesi sıcaklığın panel verimini düşürmesinden kaynaklanmaktadır.

Simülasyon sonucunda sistemde meydana gelen kayıp parametreleri incelendiğinde (Bkz. Şekil 4.1.) en fazla kaybın sıcaklık nedeniyle olduğu görülmektedir. Sıcaklık kayıp değeri %7,6'dır. Sıcaklık kaybı verimi etkileyen önemli parametrelerden biridir. Sıcaklık kaybını sırasıyla yansıma kaybı, dizi uyuşmazlığı kaybı, invertör kaybı, DC omik kablolama kaybı ve tozlanma kaybı izlemektedir.

Gölgeleme, fotovoltaik panellerin verimini etkileyen önemli parametrelerdendir. Fabrika çevresinin açık olması ve panel üzerinde gölgeleme yapan bina, ağaç, baca, elektrik direği gibi faktörlerin olmaması verimi olumlu yönde etkilemektedir. Fabrika binasının gölgeleme kayıp analizi PVsyst programında yapılmıştır. A binası kuzey güney doğrultusunda yer aldığı için, paneller %12 eğimle kuzey güney yönünde yerleştirilmiştir. Kuzeye bakan paneller de belli zaman aralığında gölgelenme meydana gelmektedir.

Tozlanma kaybı analizi için fabrika binasında tozlanma etkisini ölçecek bir sistem bulunmadığı için fotovoltaik sistem simülasyonu yapılırken tozlanma kayıp değeri, tesis şehir merkezinin dışında yer aldığı ve düzenli olarak temizlik yapıldığı için kirlenme kaybı yıllık %1 olarak tanımlanmıştır. Sistemin kirlenme kaybı %1 çıkmıştır.

Sonuçların analizinden gerçekleşme oranının %62,18 ile en düşük Aralık ayında, en yüksek %119,29 ile Ekim ayında gerçekleştiği görülmektedir. Simülasyonda öngörülen üretim verileri ile gerçekleşen üretim verileri karşılaştırıldığında, simülasyonda tahmin edilenden %2 oranında daha yüksek bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Sonuçlardan da görüldüğü üzere simülasyon verileri ile fabrika binasının 2021 yılı üretim verileri arasında çevresel etmenlerden dolayı farklılıklar oluşmaktadır. Sıcaklık, ışıma, rüzgâr, tozlanma, karlanma, gölgeleme gibi faktörlerin yerinde ölçüm verileri bulunmadığı için simülasyon çalışmasında bazı kayıp parametreleri için programın sunduğu değerler varsayılan kabul edilmiştir. Bundan dolayı simülasyon sonuçları ile gerçek üretim sonuçları tam olarak örtüşmemektedir. Genel olarak yıllık üretim sonuçları değerlendirildiğinde birbirine yakın sonuçların olduğu gözlemlenmiştir.

Tesisin bulunduğu konuma ait 2021 yılı iklim verileri bulunmadığı için Meteonorm veritabanından elde edilen 10 yıllık iklim verilerinin ortalaması alınarak simülasyon yapılmıştır. 2021 yılı iklim verilerinin 10 yıllık tahminden farklı olma

olasılığının bulunması simülasyon sonuçlarını gerçek üretim verilerinden farklılaştırabilmektedir.

Fabrika binasının 1 yıllık enerji üretim verileri ile simülasyon verilerinin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan %2'lik farkın hangi kayıp parametrelerinden kaynaklanabileceğini tespit etmek için "one at a time" yöntemi kullanılmıştır. Sonuç çıktıları incelendiğinde, sıcaklık kaybında Uc değerinin "15 W/m^2K" alınması enerji üretim verisini çok düşürdüğü görülmüştür.

Parametrelerin sistem performansına etkisi incelenirken, V8 varyasyonunda Uc değerinin "20 W/m^2K", modül uyumsuzluk kaybı için "%1-%2", kirlenme kaybı için "%0,3" ve yaşlanma kayıp değerinin "0" tanımlanması, sonuç çıktısında enerji üretim verisini artırmış 1371 MWh enerji üretimi olmuştur. Bu simülasyon sonucu ile gerçek enerji üretim verisine en yakın değer elde edilmiştir.

Okello ve diğ. (2015), Haydaroğlu ve Gümüş (2016), Keskin (2019), Vidal ve diğ. (2020), Bolat ve diğ. (2020), Çınaroğlu ve Nalbantoğlu (2021), yapılan çalışmaların ortak özelliği kurulu fotovoltaik sistemin üretim verileri ile PVsyst simülasyon programında elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bolat (2020) ve Çınaroğlu (2021)'in yapmış oldukları çalışmalarında simülasyon verileri gerçek üretim verilerden fazla çıkmıştır. Diğer çalışmalarda ise gerçek veriler simülasyon verilerinden fazla çıkmıştır. Gerçek veriler ile simülasyon verileri arasında çıkan farkın nelerden kaynaklanabileceği ile ilgili yorumlarda bulunulmuş fakat bununla ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, gerçek üretim verileri ile simülasyon verileri arasında oluşan farkın hangi parametrelerden kaynaklanabileceğini tespit etmek için "one at a time" her seferinde bir değişkenin belirli bir yüzdeyle değiştirilmesi yöntemi kullanılmıştır. Konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmanın olmaması literatürdeki eksik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, kayıp parametrelerinin simülasyon sonucu üzerindeki etkisinin tespiti alanında yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır.

5.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynağı Güneş'in ve fotovoltaik sistemlerin önemine dikkat çekilmiştir. Güneş enerji potansiyeli yüksek Türkiye için fotovoltaik sistemler kullanılarak enerji üretiminin yaygınlaşması amaçlanmıştır.

Fotovoltaik sistem tasarımlarından önce sistemin enerji üretim potansiyeli ve verimliliğinin belirlenmesinde kullanılan simülasyon aracı PVsyst'ın gerçeğe yakın sonuçlarından bahsedilmiştir. PVsyst simülasyon yazılımının gerçeğe yakın sonuçlar ortaya koyması güvenilir bir program olduğunu göstermektedir. Ayrıca PVsyst fotovoltaik sistemin toplam kurulum maliyet analizinin yapılmasında ve geri ödeme süresinin tespitinde büyük öneme sahiptir.

Fotovoltaik sistemin 1 yıllık gerçek üretim verileri ile PVsyst simülasyon programının yıllık toplam üretim verileri arasında farklılık olmasına rağmen birbirine yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak aylık enerji üretim sonuçlarında farklılıklar oluşabilmektedir. Bu farklılıklar sistemdeki kayıpların tam olarak hesaplanamamasından kaynaklanmaktadır. Aylık üretim verilerini gerçeğe daha yakın tahmin edebilmek için tesisin kurulu olduğu bölgeye ait sıcaklık, ışınım, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve toz parametreleri ile ilgili mümkün olduğunca fazla veriye ihtiyaç vardır.

Fotovoltaik sistemin verimini etkileyen ışınım, sıcaklık, rüzgâr hızı ve toz parametrelerinin tespiti için düzenek kurulması gerekmektedir. Işınım miktarını ölçmek için PV modüllerin çıkışlarına piranometre bağlayarak ışınım miktarı elde edilebilir. Sıcaklık kaybını en aza indirmek adına modüllere sıcaklık takip sensörü montajı yapılarak sıcaklık kaynaklı arızalara önlem alınabilir.

Fotovoltaik sistemlerin enerji üretim sürecinde modüllerde meydana gelen tozlanma ya da arıza durumları tüm seri bağlı modüllerin performansını etkilemekte ve sisteme zarar vererek modül kullanım ömrünü azaltmaktadır. Tozlanma kaybının tespiti için iki adet aynı özelliklere sahip modülün, belirli zaman aralığında bir tanesinin periyodik temizliğine dikkat edilmesi, diğerinin ise temizlenmeden enerji ölçüm değerleri kaydedilirse tozlanma etkisi tespit edilebilir.

Fotovoltaik sistemin panel optimum eğim açı değerinin hesaplanması ve belirlenmesi sistemin verimini artıracaktır. Yüksek performanslı paneller için güneş ışınlarının panel yüzeyine dik bir açıyla gelmesi gerekmektedir. Türkiye'de bulunduğu enleme göre panellerin optimum eğim açısı 35°-40° arasında farklılık göstermektedir. Fabrika binasının modül eğim açısının bu aralıkta bir değer alması üretilen enerji miktarını artıracağı düşünülmektedir.

Yüksek performanslı fotovoltaik sistemler için, sistemin performansına ve verimliliğine etki eden faktörlerin düzenli takibinin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Abamor, S., 2016, Şebeke bağlantılı fotovoltaik enerji santrallerinin elektrik güç kalite parametrelerinin izlenmesi ve analizi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.

Adıgüzel, E., Javani, N., 2015, Güneş termal enerjili ve fotovoltaik destekli neredeyse sıfır enerjili binaların enerji ve ekonomik açıdan incelenmesi, *Teskon 2015 Bildiriler Kitabı*, 1237-1252.

Akcan, E., Kuncan, M. ve Minaz, M.R., 2020, PVsyst yazılımı ile 30 kW şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.

Aksangör N.N., 2019, Ankara şartlarında bir fotovoltaik sistemin PVsyst programı yardımı ile performans analizi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Alaçakır, B., 1999, Didim'de kurulan şebeke bağlantılı güneş pili sisteminin tanıtılması ve performansının incelenmesi, *Güneş Günü Sempozyumu*, Kayseri.

Alemdaroğlu, N., 2007, Enerji sektörünün geleceği, alternatif enerji kaynakları ve Türkiye'nin önündeki fırsatlar, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, Yayın No: 2007-29, İstanbul.

Atlım, F., 2019, Balıkesir ilindeki PV sistemlerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.

Aydın, Ç., Aydın, C., 2016, Konaklama sektöründe enerji kullanımı ve sıfır enerjili binalar kavramı, *8. Lisansüstü Turizm Öğrencileri Araştırma Konferansı,* Nevşehir, 34-47.

B. Standard, 1998, Photovoltaic system performance monitoring- Guidelines for measurement, data exchange and analysis, in *BS EN* vol. 61724,

Berberoğlu, N., 1982, Türkiye'nin ekonomik gelişmesinde elektrik enerjisi sorunu, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, No:245/165, Eskişehir.

Bilgili, M. E. ve Dağtekin, M., 2017, Fotovoltaik piller ile elektrik üretiminde uygun eğim açısının ve yıllık oluşan enerji farkının belirlenmesi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (6) 156-167.

Bolat, M., Arifoğlu, U. ve Demiryürek, H. K., 2020, Lebit enerji güneş santralinin PVsyst programı ile analizi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (3), 1351-1363.

Ceylan, O., 2017, Fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta.

Çelebi, G., 2002, Bina düşey kabuğunda fotovoltaik panellerin kullanım ilkeleri, *Gazi Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi,*17 (3,) Ankara.

Çelik, B.G., 2002, Fotovoltaik modüllerin mimaride uygulama olanakları-Eskişehir için bir örnek çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir.

Çınaroğlu, M.S., Nalbantoğlu, M., 2021, Şebekeye bağlı üç adet fotovoltaik enerji santralinin PVsyst programı ile analizi; Kilis örneği, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (2), 675-687.

Demircan, C., 2014, 40,5 kWp kurulu güçteki fotovoltaik güç sisteminin binaya katkısının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla.

Demiryürek, H. K., 2018, 200 kwp kurulu güçteki lebit enerji güneş santralinin pvsyst ile tasarımı ve üretim değerleri ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisan Tezi, Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Deniz, E., 2013, Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar, *III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, İzmir.

Eke, R., 2000, Fotovoltaik (PV) güç sistemlerinde performansın modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla.

Farrou, I., Kolokotroni M., Santamouris M., 2012, A method for energy classification of hotels: A case-study of Greece, *Energy and Buildings, 55,* 553-562.

Gallardo-Saavedra, S. and Karlsson, B., 2018, Simulation, validation and analysis of shading effects on a PV system, *Solar Energy,* 170, 828-839.

Girgin, M. H., 2011, Bir Fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Enerji Enstitüsü,* İstanbul.

Gülay, A. N., 2008, Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin geleceği ve Avrupa Birliği ile karşılaşma, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü,* İzmir.

Güneş, O., 2019, Binaya ekleme fotovoltaik sistemlerin bir konut binası çatısında uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Enerji Enstitüsü,* İstanbul.

Güven, A. F. ve Kılıççı, S., 2018, Armutlu Devlet Hastanesi'nin enerji ihtiyacının güneş enerjisiyle karşılanması ve maliyet analizi, *9th International Conference Of Strategic Research On Scientific Studies And Education (Icosresse)* 2018, 131-140.

Hamby, D. M., 1994, A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models, *Enviromental Monitoring and Assessment*, v.32, 135-154.

Harputlugil, G.U., Hensen, J., Çelebi, G., 2011, A prospect to develop thermally robust outline design and to explore its applicability to the different climate necessities of Turkey, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 6 (1), 76-85.

Harputlugil, G. U., 2013, Yüksek Performanslı Bina Tasarımında Bir Süreç İyileştirme Yöntemi Olarak Hassasiyet Analizi, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir.

Harputlugil, G. U., Bedir M., 2016, Effects of occupant behavior on the energy performance of dwellings: a sensitivity analysis, *Journal of Architectural and Planning Research* 33 (2): 159–178.

Haydaroğlu, C. ve Gümüş, B., 2016, Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendisilk Dergisi*, *7*(3), 491–500.

Kandasamy, C. P., Prabu, P., Niruba, K., 2013, Solar potential assessment using PVSYST software, *International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy* (ICGCE), 667-672.

Karaca, Ü. B. ve Uçar, S., 2018, Konut çatı ve cephelerinde farklı fotovoltaik sistem uygulamalarının değerlendirilmesi, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 65-76.

Keskin, A., 2019, Niğde ili güneş enerji santrali modellemesi ve performans parametreleri değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Keskin, E., 2012, Türkiye iklim koşullarında fotovoltaik güç sistemlerinin tasarımı ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Koç, E. ve Kaya, K., 2015, Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu, *Mühendis ve Makine*, 56(668), 36-47.

Köprü, M. A., 2016, Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Kumar, N. M., Kumar, M. R., Rejoice, P. R., and Mathew, M., 2017, Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool, *Energy Procedia*, 117, 180-189.

Kumar, A., Kumar, K., Kaushik, N., Sharma, S., Mishra, S., 2010, Renewable energy in India: Current status and future potentials, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, (8), 2434-2442.

Küçükgöze, O. M., 2016, Erzincan ilinde güneş enerjili elektrik üretim sisteminin ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Erzincan.

Liu, Y., Li, M., Ji, X., Luo, X., Wang, M., & Zhang, Y., 2014, A comparative study of the maximum power point tracking methods for PV systems, *Energy Conversion and Management, 85*, 809-816.

Makrides, G., Zinsser, B., Norton, M., Georghiou, G.E., Schubert, M., Werner, J.H., 2010, Potential of photovoltaic systems in countries with high solar ırradiation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14,(2), 754-762.

Mountford, G. L., Atkinson, P. M., Dash, J., Lankester, T., & Hubbard, S., 2017, Sensitivity of vegetation phenological parameters: from satellite sensors to spatial resolution and temporal compositing period. In *Sensitivity Analysis in Earth Observation Modelling*, 75-90.

Mutluay, B., 2016, Bir fotovoltaik güç santrali tasarımının sistem simülasyonu ve tekno ekonomik fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Elazığ.

Okello, D., Van Dyk, E.E., Vorster, F.J., 2015, Analysis of measured and simulated performance data of a 3.2 kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa, *Energy Conversion and Management*, 100, 10–15.

Oluklulu, Ç., 2001, Güneş enerjisinden etkin olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik modüller, boyutlandırılmaları ve mimaride kullanım olanakları üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Özerdem, Ö.C., Tackie, S., Biricik, S., 2015. Performance Evaluation of Serhatköy (1.2 MW) PV Power Plant, *İEEE* 3(5).

Pellegrino, J., Fanney, A., Persily, A., Domanski, P., Healy, W. and Bushby, S., 2010, Measurement science roadmap for net-zero energy buildings, *Technical Note (NIST TN), National Institute of Standards and Technology,* Gaithersburg, MD

Polesello, V. ve Johnson, K., 2016, Energy-efficient buildings for low- carbon cities, *ICCG, No. 47/Mar*.

Sharma, V., Kumar, A., Sastry, O.S., & Chandel, S.S., 2013, Performance assessment of different solar photovoltaic technologies under similar outdoor conditions, *Energy, 58*, 511-518.

Sharma, V. ve Chandel, S.S., 2013, Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India, *Energy, 55*, 476-485.

Sharma R., Goel S., 2017, Performance analysis of a 11.2 kWp roof top grid-connected PV system in Eastern India, *Energy Reports*, 3, 76-84.

Suda, C., 2007, 25,6 kWp gücündeki şebekeye bağlı binaya entegre fotovoltaik güç sisteminin üç yıllık performansının parametrelere göre değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla.

Srivastava, R., Tiwari, A.N. ve Giri, V.K., 2021, Performance evaluation of parking integrated grid-connected photovoltaic system located in Northem İndia. *Environ Dev Sustain* 23, 5756-5775

Şimşek, S., 2018, Fotovoltaik sistemlerde verimliliği etkileyen faktörlerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

T.C. Resmî Gazete, 19 Şubat 2022, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 31755, Ankara, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220219-2.htm, Erişim Tarihi: 9.03.2022

TEDAŞ, 2015, Lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamında 50 kwe kadar güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesislerinin tip şartnamesi, Erişim Tarihi: 19.03.2022

Tezekici, S., 2005, Türkiye'de enerji sektörü ve elektrik enerjisi talep projeksiyonu (kaynaklar politikalar), Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü,* İstanbul.

Turhan, S. ve Çetiner, İ., 2012, Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi, *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Bursa.

Tutaşı, C.C., 2018, Güneş enerjisinden ısı ve elektrik eldesinin tekno-ekonomik simülasyonu: örnek bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Varınca, K.B., Gönüllü, M. T., 2006, Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma, UGHEK, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir.

Vidal, H., Rivera, M., Wheeler, P., ve Vicencio, N., 2020, The analysis performance of a grid-connected 8.2 kwp photovoltaic system in the patagonia region. *Sustainability, 12(21),* 1-16.

Yadav, P., Kumar, N., & Chandel, S. S., 2015, Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst. *In 2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC),*0358-0363, IEEE.

Yıldız, A., 2003, Fotovoltaik modüllerin binalarda kullanımı ve PVsyst 3.21 yazılımı ile bir binanın simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Yılmaz, M., 2012, Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi, *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi,* 4(2), 33-54.

(URL-1):https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies, Erişim Tarihi: 10.01.2022

(URL-2): https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy.html, Erişim Tarihi: 10.01.2022

(URL-3): https://www.iea.org/reports/solar-pv, Erişim Tarihi: 9.01.2022

(URL-4): Renewables 2021 Global Status Report, https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf, Erişim Tarihi:11.01.20222

(URL-5): https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=50622, Erişim Tarihi: 9.01.2022

(URL-6): https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=50626, Erişim Tarihi: 9.01.2022

(URL-7): https://www.iea.org/topics/system-integration-of-renewables, Erişim Tarihi: 9.01.2022

(URL-8): https://www.iea.org/news/renewable-electricity-growth-is-accelerating-faster-than-ever-worldwide-supporting-the-emergence-of-the-new-global-energy-economy, Erişim Tarihi: 9.01.2022

(URL-9): TSKB Enerji Görünümü 2021, https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf, Erişim Tarihi:23.01.2021

(URL-10):https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=TURKEY&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector, Erişim Tarihi: 9.03.2022

(URL-11):https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=CO2Industry, Erişim Tarihi: 9.03.2022

(URL-12): https://www.iea.org/articles/net-zero-by-2050-hinges-on-a-global-push-to-increase-energy-efficiency, Erişim Tarihi: 7.01.2022

(URL-13): https://www.iea.org/reports/building-envelopes, Erişim Tarihi: 7.01.2022

(URL-14): https://www.irena.org/solar, Erişim Tarihi: 21.11.2021

(URL-15): https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics, Erişim Tarihi: 28.11.2021

(URL-16): https://st.myideasoft.com/idea/ix/10/myassets/products/023/280-w-watt-gunes-paneli.png?revision=1630565464 Erişim Tarihi:01.01.2022

(URL-17): https://docplayer.biz.tr/2768659-Yenilenebilir-fotovoltaik-enerji.html Erişim Tarihi:02.01.2022

(URL-18): http://turkish.monocrystalline-solarpanel.com/sale-13200608-320w-72-cells-polycrystalline-or-monocrystalline-solar-panel.html, Erişim Tarihi:2.01.2022

(URL-19): https://earth.google.com/web/@37.7628774,31.68015087,1146.5189239a, 780.92192812d,35y,0.00000151h,0.17280977t,0.00000427r, Erişim Tarihi:9.03.2022

(URL-20):Beyşehir Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası. https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/42.aspx, Erişim Tarihi:26.03.2022

(URL-21): Gazioğlu Solar Enerji, 270 W panel, http://www.gazioglusolar.com.tr/pdf/gse_poly_60_5BB_265_280.pdf, Erişim Tarihi:27.03.2022.

(URL-22):Huawei 30 kW invertör, https://www.3de3enerji.com.tr/wp-content/uploads/2019/08/huawei-SUN2000-33KTL-A-trifaze-inverter.pdf, Erişim Tarihi:27.03.2022.

(URL-23): Huawei 60 kW invertör, https://solaravm.com/images/uploaded/HUAWEI%20PDF/Huawei-SUN2000-60KTL-Solaravm-Datasheet.PDF, Erişim Tarihi:27.03.2022.

(URL-24): https://www.pvsyst.com/help/, PVsyst 7.2 Help Manuel, Erişim Tarihi:20.04.2022

EKLER

EK-1 Simülasyonda Kullanılan Polikristal Modülün Özellikleri

GSE PolyPower
GSE 265 - 280 PP

gazioğlu solar enerji

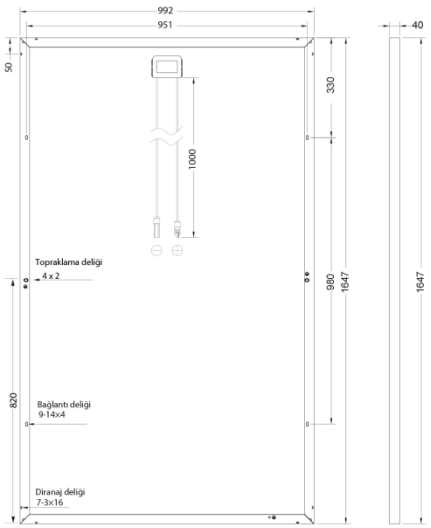
		GSE 265 PP	GSE 270 PP	GSE 275 PP	GSE 280 PP
Maksimum güç	P_{max}	265 Wp	270 Wp	275 Wp	280 Wp
Açıkdevre gerilimi	U_{oc}	38.6 V	38.8 V	39.0 V	39.2 V
Maksimum güç noktası gerilimi	U_{mpp}	31.1 V	31.3 V	31.5 V	31.7 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	8.96 A	9.21 A	9.29 A	9.37 A
Maksimum güç noktası akımı	I_{mpp}	8.53A	8.63 A	8.74 A	8.84 A
Modül verimliliği	η_m	16.31 %	16.62 %	16.92 %	17.14 %

*STK: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANS @ 800 W/m², NOCT, AM 1.5

Maksimum güç	P_{max}	196.1 Wp	199.8 Wp	203.5 Wp	207.8 Wp
Açıkdevre gerilimi	U_{oc}	34.5 V	34.6V	34.9 V	35.2 V
Maksimum güç noktası gerilimi	U_{mpp}	28.3 V	28.4 V	28.5 V	28.6 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	7.17A	7.27A	7.37 A	7.47 A
Maksimum güç noktası akımı	I_{mpp}	6.93 A	7.03 A	7.14 A	7.26A

Düşük ışıma koşullarında panel belirtilen verimlilik değerlerinden farklılık gösterebilir.



Ölçüler mm cinsindendir.

KULLANILAN MALZEMELER

Hücre adedi	60
Hücre tipi	Polykristal
Hücre ebadı	156.75 mm x 156.75 mm
Ön yüzey	Düşük demirli temperli cam
Arka yüzey	film, beyaz
Çerçeve	Beyaz eloksallı alüminyum
Bağlantı kutusu	IP67
Konektör	MC4 uyumlu

EBAT / AĞIRLIK

Uzunluk	1647 mm
Genişlik	992 mm
Kalınlık	40 mm
Ağırlık	17.2 kg

Isıl Karakteristikler

SÇK	46 °C
I_{sc}	0.073 %/K
U_{oc}	-0.31 %/K
P_{mpp}	-0.43 %/K

Optimum entegrasyon parametreleri

Güç sıflandırması	-0 Wp / +5 Wp
Maksimum sistem voltajı	1000 V
Maksimum ters akım	25 A / 15 A
Yayılı yük/ Dinamik yük	5.4 / 2.4 kN/m²
Diyot adedi	3
Çalışma aralığı	-40°C'den +85°C'ye

Gazioğlu Solar Enerji ürün kalitesini Türkiye'de kurmuş olduğu son teknolojiye sahip üretim hattıyla sağlamaktadır.

Panellerimiz Kiwa tarafından test edilip sertifikalandırılmıştır ve yine Kiwa tarafından periyodik olarak kontrol edilmektedir.

GSE PolyPower serisi ürünlerimiz pozitif güç toleranslıdır. Ürünlerimizin tamamı standart test koşullarında ölçülür ve müşterilerimize +5 Wp'ye kadar pozitif güç toleranslı sunulur.

Solar panellerimiz 25 yıl lineer performans garantisi ve 10 yıl işçilik garantisi altındadır. Lineer performans garantisi 25 yılı kapsamaktadır. Gazioğlu Solar Enerji 25 yılın sonuna kadar ilk yıl 3%, geri kalan yıllar maksimum 0.7%'lik performans düşüşünü taahhüt eder.

Gazioğlu Solar Enerji ürünlerde değişiklik yapma hakkını saklı tutar.

EK-2 Simülasyonda Kullanılan 30 kW İnvertör Özellikleri

SUN2000-33KTL-A

Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-33KTL-A
Efficiency	
Max. Efficiency	98.6%
European Efficiency	98.4%
Input	
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	250 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	620 V
Number of Inputs	8
Number of MPP Trackers	4
Output	
Rated AC Active Power	30,000 W
Max. AC Apparent Power	33,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	30,000 W
Rated Output Voltage	230 V / 400 V, 3W + N + PE;
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	43.3 A
Max. Output Current	48 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth + APP
RS485	Yes
USB	Yes
Monitoring BUS (MBUS)	Yes
General Data	
Dimensions (W x H x D)	930 x 550 x 283 mm (36.6 x 21.7 x 11.1 inch)
Weight (with mounting plate)	62 kg (136.7 lb.)
Operating Temperature Range	-25 °C ~ 60 °C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol Helios H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + OT Connector
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116
Grid Code	IEC 61727, VDE-AR-N-4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, C10/11, EN 50438-Turkey, ABNT

EK-2 Simülasyonda Kullanılan 60 kW İnvertör Özellikleri

Smart String Inverter (SUN2000-60KTL-M0)

HUAWEI

Teknik Özellikler	SUN2000-60KTL-M0
Verim	
Maksimum Verim	%98.9 @480Vac; %98.7 @400Vac
Avrupa Verimi	%98.7 @480Vac; %98.5 @400Vac
Giriş	
Maksimum DC Kullanılabilir Güç	67,400 W
Maksimum Giriş Gerilimi	1,100 V
MPPT Başına Maksimum Giriş Akımı	22 A
MPPT Başına Maksimum Kısa Devre Akımı	30 A
Başlangıç Gerrilimi	200 V
MPPT Çalışma Gerilimi Aralığı	200 V~1,000 V
Giriş Anma Gerilimi	600V @380/400Vac; 720V @480Vac
Maksimum Giriş Sayısı	12
MPPT Sayısı	6
Çıkış	
Anma AC Aktif Gücü	60,000 W
Maksimum AC Görünür Güç	66,000 VA
Maksimum AC Aktif Güç (cosϕ=1)	66,000 W
Çıkış Anma Gerilimi	220V / 380V, 230V / 400V varsayılan, 3W+N+PE; 3W+PE ayarlanabilir 277V/480V, 3W+PE
Çıkış Anma Akımı	91.2A @380Vac, 86.7A @400Vac, 72.2A @480Vac
Anma Frekansı	50 Hz / 60 Hz
Maksimum Çıkış Akımı	100A @380Vac, 95.3A @400Vac, 79.4A @480Vac
Ayarlanabilir Güç Faktörü	0.8 LG ... 0.8 LD
Maksimum Toplam Harmonik Bozulma	< 3%
Koruma	
DC Ayırıcı Ünitesi	Var
Anti-Islanding Koruması	Var
DC Ters Polarite Koruması	Var
Fotovoltaik Dizi Hata Tespiti	Var
DC Parafudr	Tip II
AC Parafudr	Tip II
İsolasyon Tespiti	Var
Kaçak Akım Görüntüleme	Var
Haberleşme	
Ekran	LED Uyarı Lambaları, Bluetooth + APP
RS485	Var
USB	Var
PLC	Var
Genel Bilgiler	
Ölçüler (Genişlik x Yükseklik x Derinlik)	1075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inç)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 lb.)
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Soğutma	Doğal Konveksiyon
Maksimum Rakım	4,000 m
Bağıl Nem	0~100%
DC Konnektör	Amphenol Helios H4
AC Konnektör	Su Geçirmez PG Terminal + OT Konnektör/Kıskaç
Çevresel Koruma Sınıfı	IP65
Topoloji	Transformatörsüz

Always Available for Highest Yields

http://solar.huawei.com

EK-3 Fabrika binasının PVsyst 7.2.14 simülasyon sonuç raporu

PVsyst V7.2.14
VCD, Simulation date:
09/05/22 09:10
with v7.2.14

Project: TEZ ÇALIŞMASI
Variant: TEZ SİMÜLASYON

Project summary

Geographical Site	Situation		Project settings	
Gölkaşı	Latitude	37.76 °N	Albedo	0.20
Turkey	Longitude	31.68 °E		
	Altitude	1116 m		
	Time zone	UTC+3		

Meteo data
Gölkaşı
Meteonorm 8.0 (2003-2013), Sat=100% - Sentetik

System summary

Grid-Connected System
Simulation for year no 1

Sheds on a building

PV Field Orientation		Near Shadings	User's needs
Fixed planes	2 orientations	Detailed electrical calculation	Unlimited load (grid)
Tilts/azimuths	12 / -175 ° 12 / 5 °	acc. to module layout	

System information

PV Array		Inverters	
Nb. of modules	3480 units	Nb. of units	15 units
Pnom total	940 kWp	Pnom total	870 kWac
		Pnom ratio	1.080

Results summary

Produced Energy	1345 MWh/year	Specific production	1432 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	83.37 %

Table of contents

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

PVsyst TRIAL

EK-3 Fabrika binasının PVsyst 7.2.14 simülasyon sonuç raporu (devamı)

PVsyst V7.2.14
VCD, Simulation date:
09/05/22 09:10
with v7.2.14

Project: TEZ ÇALIŞMASI
Variant: TEZ SİMÜLASYON

General parameters

Grid-Connected System — **Sheds on a building**

PV Field Orientation

Orientation		**Sheds configuration**		**Models used**	
Fixed planes	2 orientations	Nb. of sheds	12 units	Transposition	Perez
Tilts/azimuths	12 / -175 ° 12 / 5 °	Several orientations		Diffuse	Perez, Meteonorm
				Circumsolar	separate

Horizon	**Near Shadings**	**User's needs**
Free Horizon	Detailed electrical calculation acc. to module layout	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

Array #1 - Alt alan #1
Mixed orient.
#1/2: 81/87 strings
Tilt/Azimuth 12/-175 °
12/5 °

PV module		**Inverter**	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	GSE 270PP_60	Model	SUN2000-60KTL-
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	270 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	3360 units	Number of inverters	14 units
Nominal (STC)	907 kWp	Total power	840 kWac
Modules	168 Strings x 20 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>30°C)	66.0 kWac
Pmpp	809 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.08
U mpp	554 V		
I mpp	1461 A		

Array #2 - Alt alan #2
Orientation #1
Tilt/Azimuth 12/-175 °

PV module		**Inverter**	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	GSE 270PP_60	Model	SUN2000-30KTL-A-400V
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	270 Wp	Unit Nom. Power	30.0 kWac
Number of PV modules	120 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	32.4 kWp	Total power	30.0 kWac
Modules	6 Strings x 20 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>55°C)	33.0 kWac
Pmpp	28.91 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.08
U mpp	554 V		
I mpp	52 A		

Total PV power		**Total inverter power**	
Nominal (STC)	940 kWp	Total power	870 kWac
Total	3480 modules	Number of inverters	15 units
Module area	5686 m²	Pnom ratio	1.08
Cell area	5130 m²		

PVsyst TRIAL

EK-3 Fabrika binasının PVsyst 7.2.14 simülasyon sonuç raporu (devamı)

PVsyst V7.2.14
VCD, Simulation date:
09/05/22 09:10
with v7.2.14

Project: TEZ ÇALIŞMASI
Variant: TEZ SİMÜLASYON

Array losses

Array Soiling Losses
Loss Fraction 1.0 %

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

Serie Diode Loss
Voltage drop 0.7 V
Loss Fraction 0.1 % at STC

Module Quality Loss
Loss Fraction -1.2 %

Module mismatch losses
Loss Fraction 2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.1 %

Module average degradation
Year no 1
Loss factor 0.4 %/year
Mismatch due to degradation
Imp RMS dispersion 0.4 %/year
Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

IAM loss factor
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

DC wiring losses

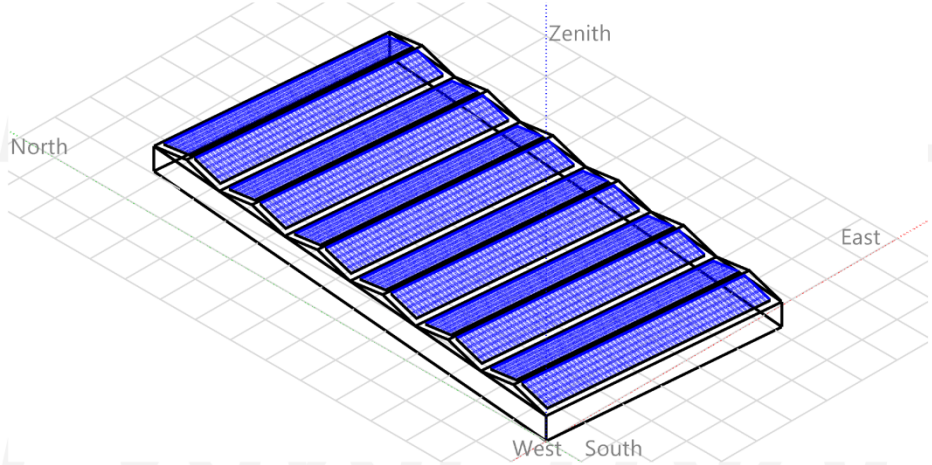
Global wiring resistance 6.2 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #1 - Alt alan #1
Global array res. 6.5 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #2 - Alt alan #2
Global array res. 181 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Near shadings parameter

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



EK-3 Fabrika binasının PVsyst 7.2.14 simülasyon sonuç raporu (devamı)

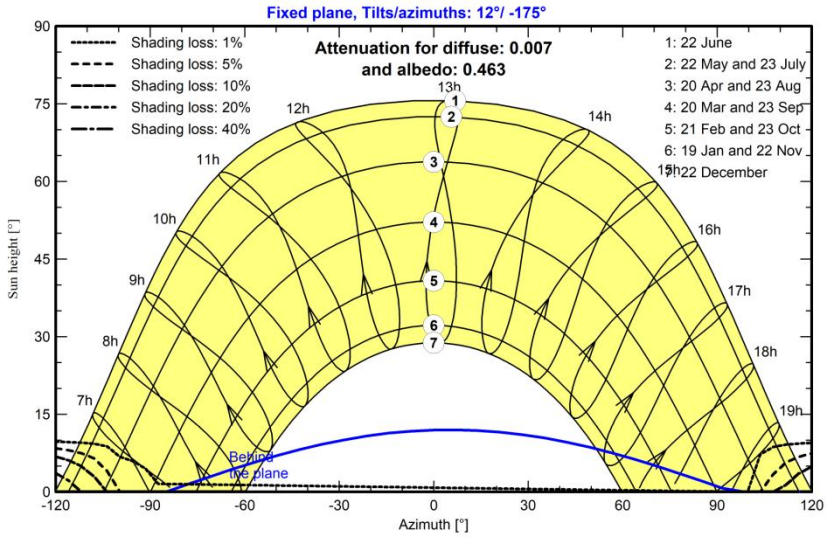
PVsyst V7.2.14
VCD, Simulation date:
09/05/22 09:10
with v7.2.14

Project: TEZ ÇALIŞMASI
Variant: TEZ SİMÜLASYON

Iso-shadings diagram

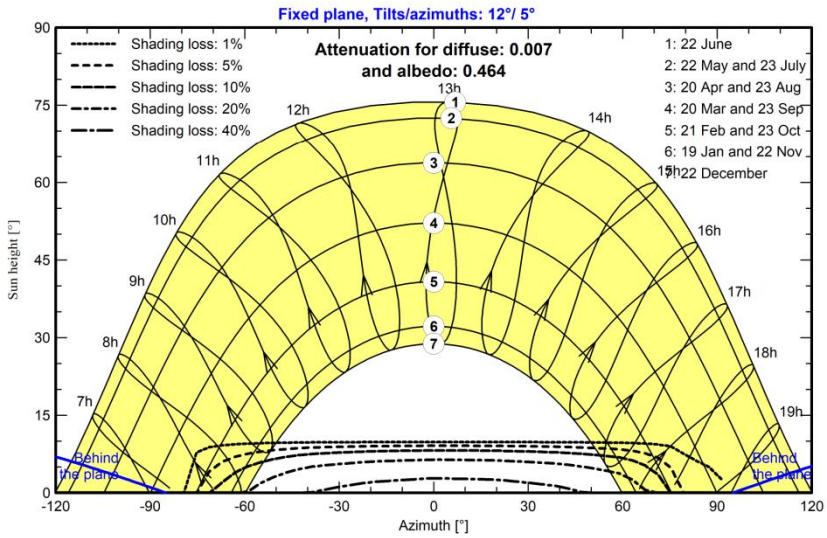
Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 12°/ -175°



Orientation #2

Fixed plane, Tilts/azimuths: 12°/ 5°



EK-3 Fabrika binasının PVsyst 7.2.14 simülasyon sonuç raporu (devamı)

PVsyst V7.2.14
VCD, Simulation date:
09/05/22 09:10
with v7.2.14

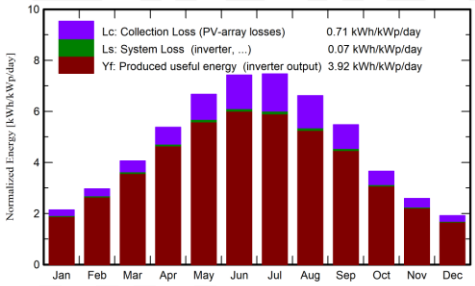
Project: TEZ ÇALIŞMASI
Variant: TEZ SİMÜLASYON

Main results

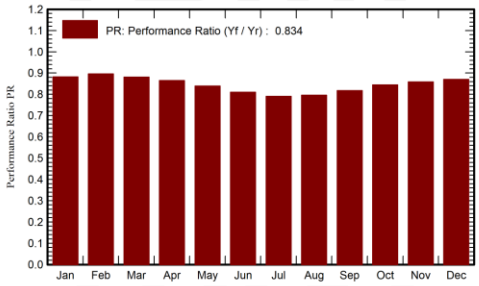
System Production

Produced Energy	1345 MWh/year	Specific production	1432 kWh/kWp/year
		Performance Ratio PR	83.37 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



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 ratio
January	67.0	29.50	0.09	66.2	60.0	55.9	54.9	0.883
February	84.0	39.60	1.92	83.0	76.6	71.0	69.8	0.896
March	127.2	52.20	6.64	125.8	118.5	105.9	104.2	0.881
April	163.3	64.50	10.86	161.5	153.5	133.3	131.2	0.864
May	209.0	64.50	15.96	206.7	197.7	165.7	162.9	0.839
June	225.3	69.90	20.77	222.6	213.0	172.4	169.5	0.810
July	234.3	60.20	25.24	231.7	221.8	175.1	172.0	0.790
August	207.5	60.20	24.97	205.1	195.9	156.2	153.3	0.796
September	166.3	49.90	19.43	164.3	155.1	128.4	126.2	0.817
October	114.6	42.90	13.26	113.2	105.3	91.4	89.9	0.845
November	78.5	29.80	6.72	77.5	70.5	63.6	62.5	0.858
December	60.2	27.70	1.73	59.5	53.5	49.6	48.7	0.871
Year	1737.2	590.90	12.36	1717.0	1621.3	1368.4	1345.1	0.834

Legends

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

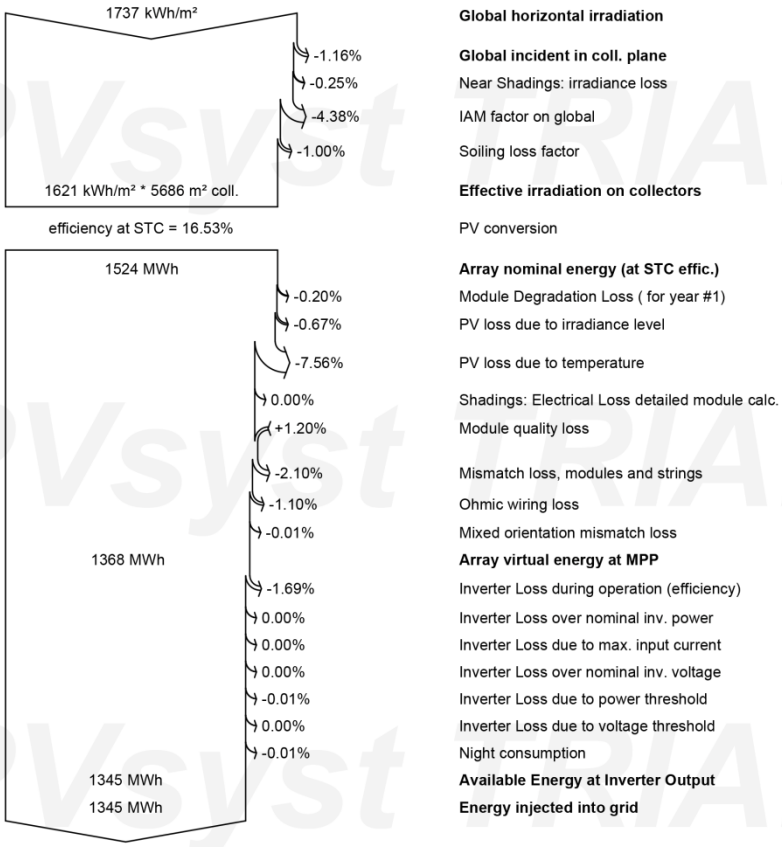
PVsyst TRIAL

EK-3 Fabrika binasının PVsyst 7.2.14 simülasyon sonuç raporu (devamı)

PVsyst V7.2.14
VCD, Simulation date:
09/05/22 09:10
with v7.2.14

Project: TEZ ÇALIŞMASI
Variant: TEZ SİMÜLASYON

Loss diagram



PVsyst TRIAL

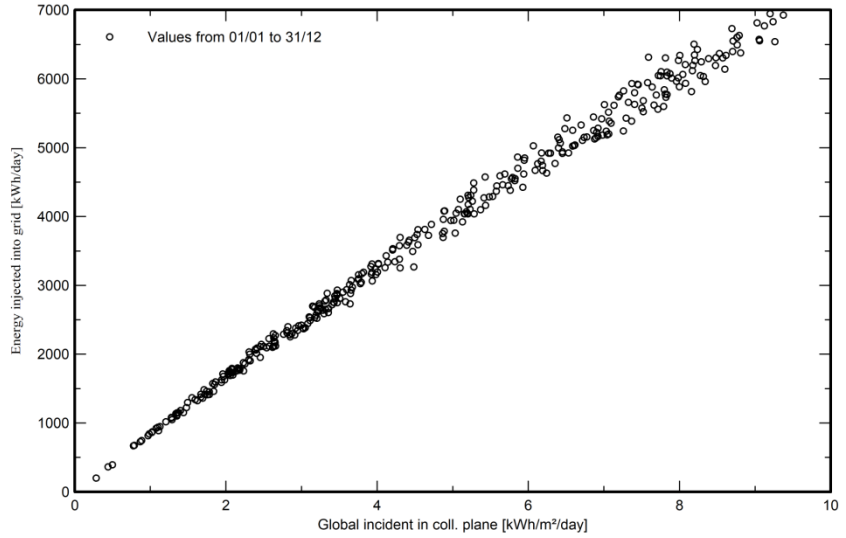
EK-3 Fabrika binasının PVsyst 7.2.14 simülasyon sonuç raporu (devamı)

PVsyst V7.2.14
VCD, Simulation date:
09/05/22 09:10
with v7.2.14

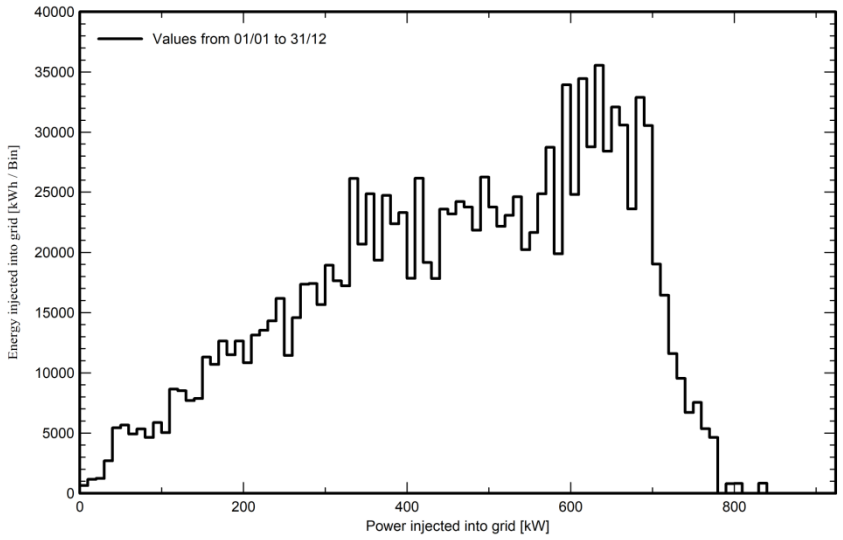
Project: TEZ ÇALIŞMASI
Variant: TEZ SİMÜLASYON

Special graphs

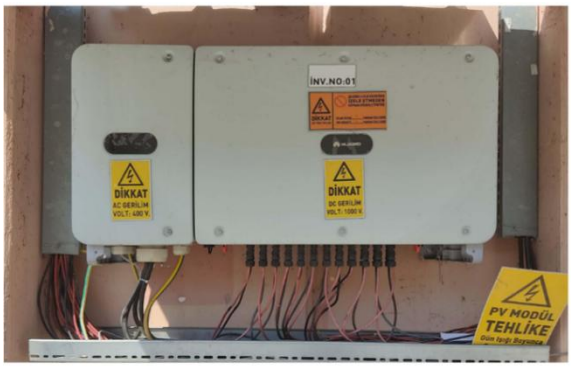
Günlük giriş / çıkış diyagramı

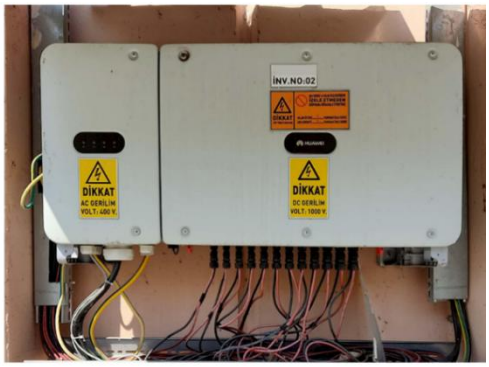


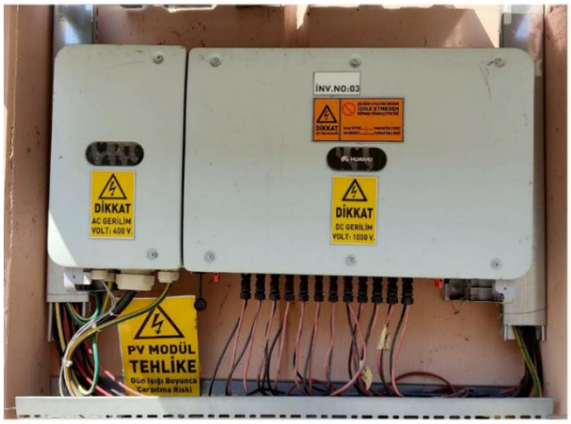
Sistem çıkış gücü dağılımı

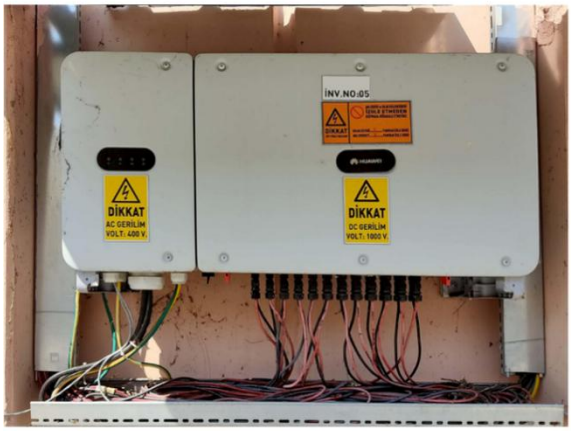


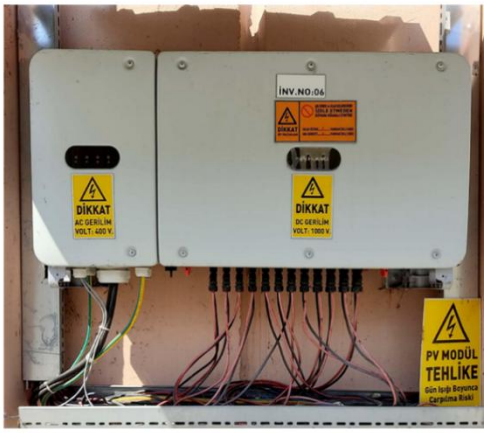
EK-4 Fabrika binasına ait 15 adet invertör görüntüleri

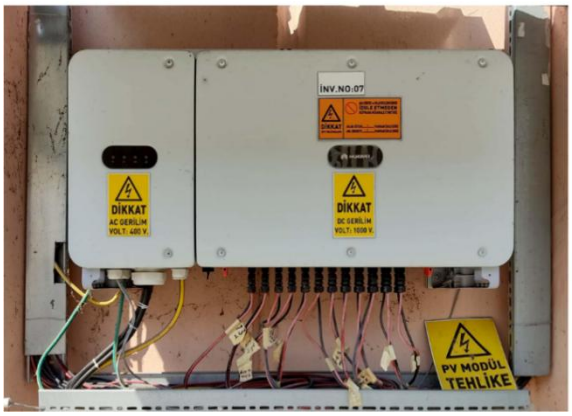


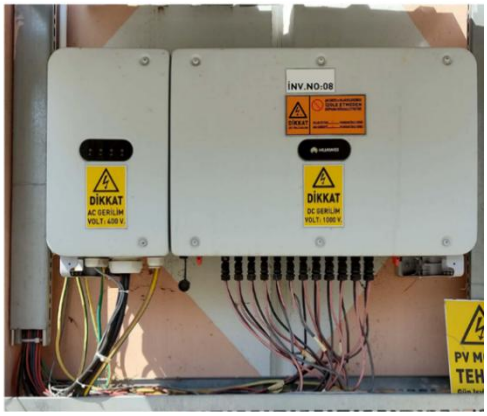




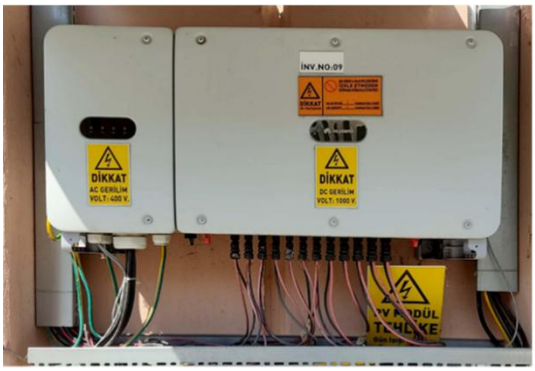


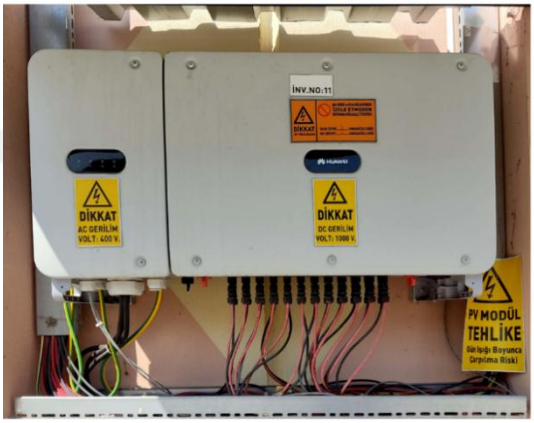


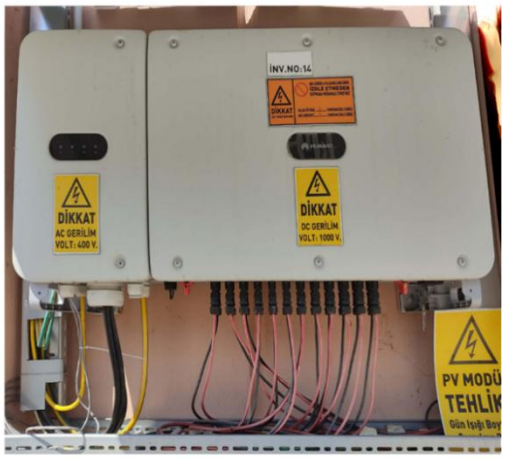


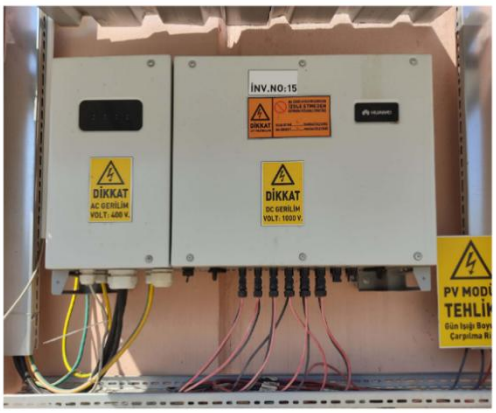


EK-4 Fabrika binasına ait 15 adet invertör görüntüleri (devam)









EK-5 Fabrika binası 2021 yılı enerji üretim verileri invertör ekran görüntüsü

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 97713.31(kWh)
Currency: 97713.3(€)

GES 2/ 1

Time	Yield(kWh)
2021-01	3839.80
2021-02	5157.92
2021-03	6345.50
2021-04	9601.97
2021-05	12271.88
2021-06	11378.27
2021-07	12668.27
2021-08	11302.79
2021-09	9063.18
2021-10	8214.03
2021-11	5402.48
2021-12	2467.22

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 92077.88(kWh)
Currency: 92077.9(€)

GES 2/ 2

Time	Yield(kWh)
2021-01	3031.23
2021-02	5301.74
2021-03	6385.74
2021-04	9165.41
2021-05	12013.69
2021-06	11455.39
2021-07	12624.12
2021-08	10881.40
2021-09	8270.97
2021-10	6890.85
2021-11	4198.61
2021-12	1858.73

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 94775.86(kWh)
Currency: 94775.9(€)

GES 2/ 3

Time	Yield(kWh)
2021-01	3403.22
2021-02	5402.33
2021-03	6499.29
2021-04	9309.14
2021-05	12027.79
2021-06	11353.68
2021-07	12563.79
2021-08	11021.31
2021-09	8627.66
2021-10	7534.04
2021-11	4832.95
2021-12	2200.66

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 94363.60(kWh)
Currency: 94363.6(€)

GES 2/ 4

Time	Yield(kWh)
2021-01	3428.74
2021-02	5970.19
2021-03	6561.35
2021-04	9238.69
2021-05	11955.71
2021-06	11198.72
2021-07	12338.01
2021-08	10817.20
2021-09	8488.48
2021-10	7431.48
2021-11	4776.36
2021-12	2158.67

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 92656.16(kWh)
Currency: 92656.2(€)

GES 2/ 5

Time	Yield(kWh)
2021-01	2996.93
2021-02	5213.40
2021-03	6550.57
2021-04	9200.94
2021-05	12013.61
2021-06	11550.00
2021-07	12706.43
2021-08	10951.22
2021-09	8352.68
2021-10	6964.66
2021-11	4256.60
2021-12	1899.12

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 100165.34(kWh)
Currency: 100165.3(€)

GES 2/ 6

Time	Yield(kWh)
2021-01	3881.04
2021-02	6501.28
2021-03	6960.83
2021-04	9688.98
2021-05	12342.22
2021-06	11491.32
2021-07	12733.65
2021-08	11305.78
2021-09	9087.91
2021-10	8218.78
2021-11	5472.36
2021-12	2481.19

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 89146.28(kWh)
Currency: 89146.3(€)

GES 2/ 7

Time	Yield(kWh)
2021-01	2816.05
2021-02	5228.07
2021-03	6414.62
2021-04	8889.80
2021-05	11644.78
2021-06	11255.65
2021-07	12310.38
2021-08	10477.08
2021-09	7932.47
2021-10	6516.31
2021-11	3908.62
2021-12	1752.45

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

2021

Energy Yield: 97577.70(kWh)
Currency: 97577.7(€)

GES 2/ 8

Time	Yield(kWh)
2021-01	3573.67
2021-02	6083.48
2021-03	6837.70
2021-04	9475.56
2021-05	12204.32
2021-06	11408.37
2021-07	12643.80
2021-08	11162.20
2021-09	8854.47
2021-10	7869.03
2021-11	5143.46
2021-12	2321.64

Energy Yield (60 kW)

E-Day | E-Month | E-Year | History

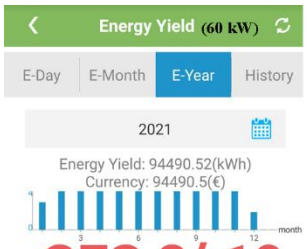
2021

Energy Yield: 94603.84(kWh)
Currency: 94603.8(€)

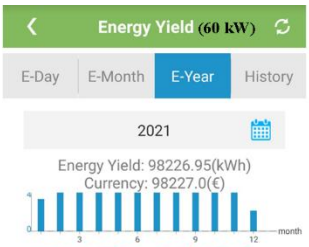
GES 2/ 9

Time	Yield(kWh)
2021-01	3271.64
2021-02	5786.16
2021-03	6652.67
2021-04	9321.06
2021-05	12114.78
2021-06	11436.57
2021-07	12602.57
2021-08	10934.50
2021-09	8530.85
2021-10	7311.41
2021-11	4587.85
2021-12	2053.78

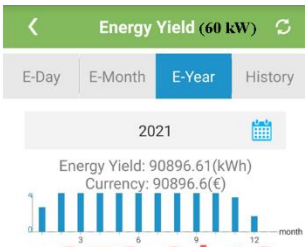
EK-5 Fabrika binası 2021 yılı enerji üretim verileri invertör ekran görüntüsü (devam)



Time	Yield(kWh)
2021-01	3192.36
2021-02	5678.35
2021-03	6880.48
2021-04	9263.34
2021-05	12030.27
2021-06	11510.44
2021-07	12672.01
2021-08	10961.49
2021-09	8488.55
2021-10	7240.16
2021-11	4530.08
2021-12	2042.99

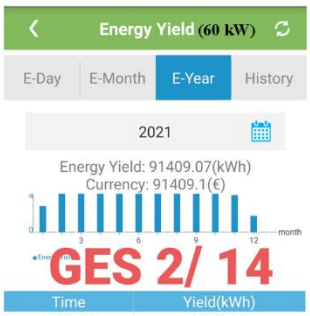


Time	Yield(kWh)
2021-01	3735.64
2021-02	5879.65
2021-03	6840.10
2021-04	9585.95
2021-05	12289.57
2021-06	11460.48
2021-07	12683.14
2021-08	11166.66
2021-09	8936.65
2021-10	7999.81
2021-11	5281.05
2021-12	2368.25



Time	Yield(kWh)
2021-01	2823.39
2021-02	5313.20
2021-03	6485.43
2021-04	9043.12
2021-05	11948.19
2021-06	11455.19
2021-07	12564.52
2021-08	10739.41
2021-09	8118.13
2021-10	6644.97
2021-11	3977.11
2021-12	1783.95

Time	Yield(kWh)
2021-01	3737.02
2021-02	6377.49
2021-03	7133.39
2021-04	9583.33
2021-05	12176.78
2021-06	11483.03
2021-07	12700.22
2021-08	11133.70
2021-09	8944.12
2021-10	8075.82
2021-11	5328.70
2021-12	2414.88



Time	Yield(kWh)
2021-01	3038.16
2021-02	4758.26
2021-03	5980.21
2021-04	9119.15
2021-05	11928.38
2021-06	11439.19
2021-07	12640.38
2021-08	10909.36
2021-09	8366.19
2021-10	7007.68
2021-11	4316.55
2021-12	1905.56

Time	Yield(kWh)
2021-01	1379.14
2021-02	2314.74
2021-03	3082.92
2021-04	4508.41
2021-05	5992.12
2021-06	5735.25
2021-07	6349.06
2021-08	5435.19
2021-09	4080.77
2021-10	3311.11
2021-11	1956.04
2021-12	877.26

EK-6 Güneş panelleri bakım talimatı

	GÜNEŞ PANELLERİ BAKIM TALİMATI	DÖKÜMAN NO : TL.TKN.168 REVİZYON NO : 00 REVİZYON TARİHİ : 00.00.0000 SAYFA NO : 1/1 İLK YAYIN TARİHİ : 01.07.2020

1.AMAÇ

Güneş panellerinin **enerji verimli** ve sağlıklı çalışabilmesi için yapılan bakımların düzenli yapılabilmesini sağlamaktır.

2.KAPSAM

Bu talimat bütün Güneş Panellerini kapsamaktadır.

3.TANIMLAR

4.SORUMLULAR

Bu talimatın uygulanmasından Elektrik Bakım Ustası sorumludur.

5.İLGİLİ DÖKÜMANLAR
5.1.Güneş Panelleri Periyodik Bakım ve Temizlik Takip Kartı
5.2.EnYS Bakım Kriterleri Formu

6.TALİMAT DETAYI

6.1. Güneş Panelleri Temizlik ve Bakımı kış ayları hariç 2 haftada bir, kış aylarında ise (Aralık, Ocak, Şubat, Mart) ayda bir defa yapılır.

6.1.1. Tüm güneş panellerinin yüzeyleri ilgili teçhizat yardımı ile, üretim verimini düşürebilecek her türlü yabancı madde ve tozdan arındırılacak şekilde temizlenir.

6.1.2. Panellerin kabloları ve soket bağlantı yerlerinde gözle görülebilir bir hasar olup olmadığı kontrol edilir.

6.1.3. Panellerin sabitlenmesinde kullanılan kelepçelerin sağlamlığı kontrol edilir. Gevşek olanlar sıkıştırılır.

6.1.4. Panel gruplarının ürettiği DC gerilim değerleri elektrikçi personel tarafından kontrol edilir. Yanlış değer ölçülen gruplardaki bağlantılarda veya panellerdeki arıza tespit edilerek giderilir.

6.1.5. GES Panolarının temizliği yapılır.

6.1.6. Tüm işlemler sonucunda ilgili GES Panosundaki "Güneş Panelleri Periyodik Bakım ve Temizlik Takip Kartı" imzalanarak, bakımlar periyodik olarak takip edilir. (EnYS Bakım Kriterleri Formu)

KONTROLLÜ KOPYA

HAZIRLAYAN :	ONAYLAYAN :