

KÜTAHYA İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR
GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Zeynep ATALAY AYRAN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Yılmaz ASLAN

Temmuz– 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Zeynep Atalay Ayran'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralının Ekonomik Analizi" başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

11/07/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU
Anabilim Dalı Başkanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Prof. Dr. Yılmaz ASLAN
Danışman, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Yılmaz ASLAN
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Celal YAŞAR
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Eyyüp GÜLBANDILAR
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 7 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.



Prof. Dr. Yılmaz ASLAN



Zeynep ATALAY AYRAN



KÜTAHYA İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Zeynep ATALAY AYRAN

Elektrik – Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz ASLAN

ÖZET

Bu çalışmada, Kütahya ilinde güneş enerji potansiyeli ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve Kütahya iline ait güneş enerji potansiyeli Metereoloji Genel Müdürlüğünden alınan genel bilgiler ile farklı meteorolojik sitelerden alınan sanal verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Uygulama olarak, Kütahya Belediyesi tarafından, İnköy mahallaesi, Suluöz mevkiinde, Şehzade Park içerisinde yer alan lisanssız 336 kWh güce sahip Güneş Enerji Santrali (GES) için farklı tipte fotovoltaik (FV) paneller kullanılarak, elektrik üretiminin sağlanacağı bir sistem tasarımı ve bu sistemin ekonomik analizi yapılmıştır.

Şehzade Park GES'in farklı tipte FV panel tipleri kullanılarak benzetim çalışması, PVsyst; "Photovoltaic Systems Software (FV Sistem Yazılımı)" programında yapılmıştır. Kullanılan programda elde edilen sonuçlar ile bir yıllık enerji üretiminden elde edilen gerçek sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlave olarak Kütahya Belediyesi tarafından inşası düşünülen 500 kWe güce sahip Evliya Çelebi GES'in, PVsyst V6.78 programı ile benzetimi yapılmış ve yıllık olarak olası enerji üretim değerlerinin analizi de yapılmıştır.

Tez çalışmasında, GES için kullanılması gereken FV panel tipinin belirlenmesi, en verimli eğim açısı ve iklimsel açıdan FV panellerin etkilenmeleri gibi tercih sebepleri ile inverter tipi seçimi konusunda değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç olarak GES santralinin yatırım geri dönüşüm yılı hesabı yapılmış ve bu hesap doğrultusunda santrallerin ekonomik olarak analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: FV Paneller, FV Sistem Benzetimi, Güneş Enerjisi, Güneş Enerji Santrali (GES).

**A RESEARCH ON THE SOLAR ENERGY POTENTIAL IN KUTAHYA PROVINCE
AND THE ECONOMIC ANALYSIS OF AN EXAMPLARY SOLAR ENERGY
STATION**

Zeynep ATALAY AYRAN

Electrical- Electronics Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yılmaz ASLAN

SUMMARY

In this study, studies on solar energy potential in the province Kütahya were conducted and has been compared with the general information obtained from the General Directorate of Meteorology and the real data obtained from different meteorological sites. As an application, a system design and economic analysis of the electricity generation by using different types of photovoltaic (PV) panels for the unlicensed 336 kWh power station at Şehzade Park of İnköy neighborhood of the city of Kütahya were operated by Kütahya Municipality.

Simulation studies of Şehzade Park SPP by using different types of PV panel types on PVsyst; “Photovoltaic Systems Software have been carried out. The results obtained from the program have been compared with the actual results obtained from one-year energy production. In addition, the 500 kw power of Evliya Çelebi SPP, which is planned to be built by Kütahya Municipality, was simulated with the PVsyst V6.78 program and the possible energy production values were analyzed annually.

In the thesis, the selection of inverter type has been evaluated with the reasons of preference such as such as the most efficient inclination angle and climatic effects of PV panels on determination of PV panel type to be used for SPP. As a result, the pay-back time of the SPP plant was studied, and economic analysis of the plants were carried out.

Keywords: PV Panels, PV System Simulation, Solar Energy, Solar Power Plant (SPP).

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen ve tüm değerli katkılarıyla yol gösteren başta danışman hocam Prof. Dr. Yılmaz ASLAN'a teşekkür ederim.

Kütahya Belediyesi, Kültür Sosyal Müdürü Mehmet ZENCİ'ye ve Şehzade parkı GES Projesi uygulamasında yüklenici firma Kıraç Otomasyon Elektrik Elektronik Sistemleri Sanayi Ticaret Ltd. Şti.'nde görevli, değerli meslektaşım Fehmi DURU'ya teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda benzetim programında da kullanmış olduğum meteorolojik verilerin temininde her türlü teknik destek sağlayan SOLARGİS firmasında görevli İsmet VEZİROĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca, aileme çalışmalarımda gösterdikleri anlayış ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK GÜNEŞ TEKNOLOJİSİ)	6
2.1. Tek Kristalli (Monokristal) Güneş Pilleri	6
2.2. Çok Kristalli (Polikristal) Güneş Pilleri.....	6
2.3. İnce Film Güneş Pilleri.....	6
2.3.1. Amorf Silisyum İnce Film Güneş Pili.....	7
2.3.2. Bakır İndiyum Diseleneid İnce Film Güneş Pili	7
2.3.3. Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pili	7
2.4. Nanofotovoltaik Güneş Pilleri (NanoFV).....	8
2.5. FV Güneş Paneli Eşdeğer Elektrik Devresi	8
2.6. Dünyada Güneş Enerji Potansiyeli	10
2.6.1. Türkiye’de güneş enerji potansiyeli	10
2.6.2. Kütahya ili enerji potansiyeli	12
3. ŞEHZADE PARK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TANITIMI VE KURULUM	
AŞAMALARI.....	16
3.1. PVsyst V6.78 Benzetim Programı	21
3.2. Şehzade Park Güneş Enerji Santrali FV Panel Eğim Açısının PVsyst V6.78 Benzetim Programı İle Belirlenmesi.....	23

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4. ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PERFORMANS	
PARAMETRELERİ.....	25
4.1. Şehzade Park Güneş Enerji Santralinin PVsyst Benzetim Programı ile Enerji Üretiminin Değerlendirilmesi	27
4.1.1. İnce film (CdTe) FV panel ile PVsyst v6.78 programında benzetimi ve değerlendirilmesi.....	27
4.1.2. Monokristal FV panel ile PVsyst v6.78 programında benzetimi ve değerlendirilmesi.....	34
4.1.3. Polikristal FV panel ile pvsyst v6.78 programında benzetimi ve değerlendirilmesi.....	39
4.2. Evliya Çelebi Ges'nin PVsyst V6.78 Benzetim Programı İle Enerji Üretiminin Değerlendirilmesi	47
5. ŞEHZADE PARK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN EKONOMİK ANALİZİ.....	52
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR DİZİNİ	66

EKLER

- Ek-1: Şehzade Park GES Enerji Üretim Verilerini Kullanabilmek İçin İzin Talep Evrağı
- Ek-2: Şehzade Park GES Enerji Üretim Verilerini Kullanabilmek İçin İzin Talep Evrağına İlgili Müdürlüğün İzin Evrağı
- Ek-3: Kütahya İli İçin TEİAŞ Bilgi Ve Belge Talebi Hakkında Evrak
- Ek-4: Şehzade Park GES'nde Kullanılan FV Panele Ait Katalog
- Ek-5: Şehzade Park GES'nde Kullanılan İnvertere Ait Katalog Bilgi
- Ek-6: Şehzade Park GES İçin Farklı Benzetim Programından Elde Edilen Raporlar
- Ek-7: Evliya Çelebi GES'nde Kullanılan İnvertere Ait Katalog
- Ek-8: Evliya Çelebi GES İçin Farklı Benzetim Programından Elde Edilen Raporlar

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye 'de kurulu güce göre enerji kaynakları dağılımı.	1
2.1. FV panel eşdeğer elektrik devresi.	8
2.2. Kütahya İli güneş enerjisi potansiyel haritası.	13
3.1. Çelik konstrüksiyonların montajı için hazırlanan beton kalıplar.	17
3.2. Çelik konstrüksiyon montajları.	18
3.3. Montajı tamamlanmış FV paneller.	19
3.4. Şehzade Park GES transformatör odası.	19
3.5. Şehzade Parkı GES uydu görüntüsü.	20
3.6 19 Nisan 2019 tarihindeki anlık enerji üretim değerleri.	20
3.7. PVsyst 6.78 ara yüzü.	21
3.8. PVsyst V6.78 Programında inverter ve FV panel seçimi.	22
3.9. PVsyst V6.78 Programı şebekeye bağlı FV sistem modeli.	23
3.10. Farklı eğim açıları kullanılarak yıllık olarak şebekeye aktarılan enerji oranları.	24
4.1. Referans (Y_r), dize (Y_a) ve nihai (Y_f) Verim.	30
4.2. Aylara göre performans oranı (PO) değişimi.	31
4.3. Sistem kayıp diyagramı.	32
4.4. Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları.	33
4.5. Referans (Y_r), dize (Y_a) ve nihai (Y_f) Verim.	35
4.6 Aylara göre performans oranı (PO) değişimi.	36
4.7. Sistem kayıp diyagramı.	37
4.8. Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları.	38
4.9. Referans (Y_r), dize (Y_a) ve nihai (Y_f) Verim.	41
4.10. Aylara göre performans oranı (PO) değişimi.	41
4.11. Sistem kayıp diyagramı.	42
4.12. Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları.	43
4.13. Farklı FV panel tipleri için şebekeye aktarılan enerji.	44
4.14. Farklı FV panel tipleri için dize verimi (Y_a).	45
4.15. Farklı FV panel tipleri için dize kayıpları (L_c).	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.16. Farklı FV panel tipleri için performans oranı (PO).....	46
4.17. Normalize üretim faktörleri (Lc, Ls ve Yf).	49
4.18. Performans oranı (PO).	50
4.19. Sistem kayıp diyagramı.	51
5.1. Benzetim programı ve santral enerji üretim değerleri.....	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (https://www.mgm.gov.tr/).....	11
2.2 Türkiye'de bazı illere ait (2004-2018 yıllarına ait ortalama güneş radyasyon miktarı (kwh/m ²) (https://www.mgm.gov.tr/).....	11
2.3. Kütahya ili toplam güneş radyasyon miktarı (kWh/m ²) ve toplam güneşlenme süreleri (Saat).....	14
2.4. Aylık toplam güneş radyasyon verileri (kWp/m ²).....	15
3.1. Lisanssız elektrik üretimi için TEDAŞ başvuru dökümanları.....	16
4.1. A firmasına ait ince film FV panel detaylı özellikleri.....	28
4.2. D Firmasına merkez inverterin detaylı özellikleri.....	29
4.3. Benzetim Programında elde edilen aylara göre ışım, enerji ve sıcaklık değerleri.....	30
4.4. Detaylı sistem kayıpları.....	33
4.5. B firmasına ait ince film FV panel detaylı özellikleri.....	34
4.6. Benzetim Programında elde edilen aylara göre ışım, enerji ve sıcaklık değerleri.....	35
4.7. Detaylı sistem kayıpları.....	38
4.8. C firmasına ait ince film FV panel detaylı özellikleri.....	39
4.9. Benzetim programında elde edilen aylara göre ışım, enerji ve sıcaklık değerleri.....	40
4.10. Detaylı sistem kayıpları.....	43
4.11. Üç farklı FV panel için- PO (Performans Oranı), KF (Kapasite Faktörü) ve verim.....	47
4.12. E Firmasına ait string (dizi) inverter detaylı özellikleri.....	48
4.13. Benzetim programında elde edilen aylara göre ışım, enerji ve sıcaklık değerleri.....	48
5.1. Şehzade Park GES'nin üretim verileri.....	52
5.2. Şehzade Park GES'nin üretim verileri (280 kWp kapasite için sınırlandırılmış şebekeye aktarılan enerji).....	53
5.3. Şehzade Park GES'nin günlük şebekeye aktarılan enerji miktarı (kWh).....	55
5.4. Şehzade Park GES'nin günlük şebekeye aktarılan enerji miktarı (kWh).....	56
5.5. Şehzade Park GES'nin 2019 yılına ait günlük şebekeye aktarılan enerji miktarı (kWh).....	57
5.6. Yıllara göre aylık toplam üretim miktarı ekonomik verileri.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Şehzade Park GES'nin farklı panel tipleri için aylık kazanç cetveli (TL).	59
5.8. Farklı FV panellerin kurulu güce göre maliyet hesapları.....	59
5.9. Şehzade Park GES'nin ilk yatırım maliyet si.	60
5.10. Farklı FV panel tipleri için Şehzade Park GES'nin ilk yatırım maliyet si.	61
5.11. Şehzade Park GES'nin yıllık gider cetveli.	61
5.12. Farklı FV panel tipleri için Şehzade Park GES'nin geri dönüşüm süreleri.....	62
5.13. Şehzade Park Güneş Enerji Santrali yatırım geri dönüşüm yılı hesabı.	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
kWh	Kilowatt saat
MWh	Megawatt saat
Wp	Peak Watt (pik DC güç)
We	İnverter çıkışındaki AC güç
R_s	Seri direnç
R_p	Paralel direnç
I_{pil}	Pil akımı
I_e	Elektron akımı
I_h	Boşluk akımı
I_d	Diyot akımı
q	Elektron yükü
V_D	Diyot uçları arasındaki potansiyel fark
m	İdalite faktörü
k	Boltzman gaz sabiti ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)
T	Hücre sıcaklığı (K)
I_{fv}	FV panel akımı
V_{fv}	FV panel gerilimi
N_p	Güneş pili paralel kol sayısı
N_s	Güneş pili seri bağlantı sayısı
V_m	Modül gerilimi
I_m	Modül akımı
I_0	Panel doyma akımı
I_{ref}	Referans akım
E_g	Diyot bant genişliği
I_{ph}	Foton akımı
E_A	FV hücresi enerji çıkışı
\mathcal{T}	Gün sayısı
\mathcal{T}_r	Gün, ay, yıl kayıt aralığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$E_{A,g}$	FV dizesinin günlük ortalama DC enerjisi
$E_{TU,g}$	Şebekeye aktarılan enerji
$E_{USE,FV,g}$	Kullanılan enerji
Y_a	Dize verimi
Y_r	Referans verimi
Y_f	Nihai verim
H	Belirli bir yüzeye gelen güneş ışınımı
G	Referans ışınım
E_{AC}	Sistemin ürettiği AC güç
H_t	Sisteme gelen ışınım
A_a	Sistemin yüzey alanı
L_c	Dize kaybı
L_s	Sistem kayıpları
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
GES	Güneş Enerji Santrali
HES	Hidroelektrik Enerji Santrali
IEA	Uluslar Arası Enerji Ajansı
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
FV	Fotovoltaik
CFV	Concentrated Photovoltaics (Yoğunlaştırılmış FV Teknolojisi)
CVS	Concentrated Solar Power (Yoğunlaştırılmış Güneş Santrali)
PVsystem	Photovoltaic Systems Software (FV Sistem Yazılımı)
EPDK	Elektrik Piyasa Düzenleme Kurumu
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
OEDAŞ	Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş.
OSAS	Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin Uzaktan İzleme Yazılımı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

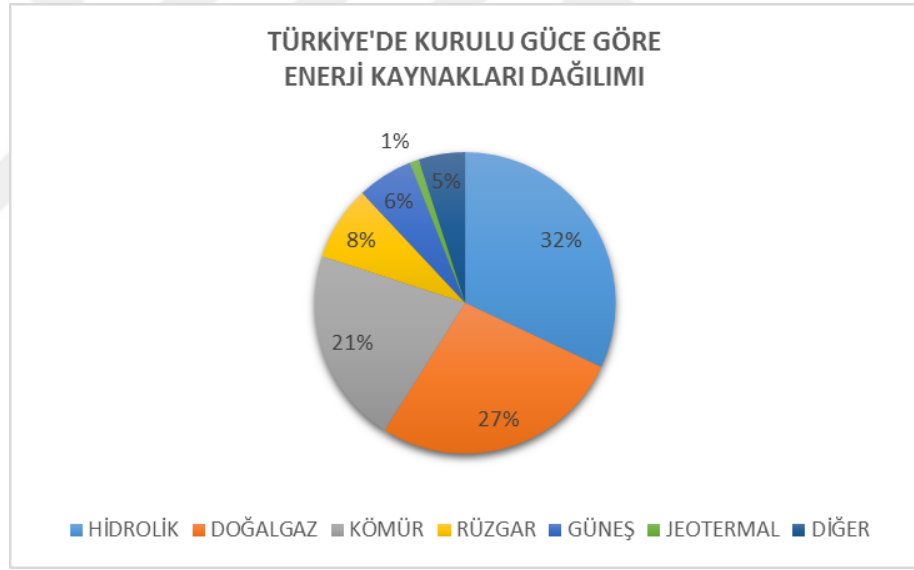
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SOLARGİS	Weather Data And Software For Solar Power Investments (Güneş Enerjisi Yatırımları İçin Hava Durumu Verileri ve Yazılımı)
MPPT	Maximum Power Print Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
<i>PO</i>	Performans Oranı
<i>KF</i>	Kapasite Faktörü
CdTe	Kadmiyum Tellür



1. GİRİŞ

Ülkemizde ve Dünya ülkelerindeki hızlı nüfus artışı, ekonomik gelişmeler ve teknoloji çağının gerekliliğinden dolayı enerjiye talep her geçen gün artmaktadır. Elektrik Enerjisi Tüketimi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre 2016 yılına göre 2017 yılında %5,6 artarak 294,9 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak 295,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretiminin 2023 yılında tahmini senaryoya göre yıllık ortalama %4,8 artışla 385 TWh'e ulaşması beklenmektedir. Yine Elektrik Enerjisi Tüketimi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla ülkemizin kurulu gücü 87.139 MW'a ulaşmış bulunmaktadır (Koç ve Şenel, 2013).

2018 yılı ilk yarısı sonunda, kurulu gücümüzün enerji kaynaklarına göre dağılımı Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye 'de kurulu güce göre enerji kaynakları dağılımı.

Literatürde Güneş Enerjisi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Güçlü çalışmasında, Dumlupınar Üniversitesinin tüm kampüs alanında yer alan aydınlatma armatürlerinin yaklaşık kurulu gücünü hesap edip, şebekeye bağlı (On-Grid) güneş

enerji sistemi ile elektrik enerjisinin sağlanmasını projelendirmiştir. Projelendirdiği sistem üzerinde proje maliyet analizlerini yapmıştır. Fakat 2009 yılı içerisinde panel ve inverter maliyetlerinin çok yüksek olması ve kullanılan armatürlerin sodyum buharlı 250 W armatür olmasından dolayı kurulu güç oldukça fazla çıkmış, dolayısıyla yaptığı çalışmanın ekonomik açıdan uygulanabilirliğini uygun bulmamıştır. Ancak on yıl içerisinde panel fiyatlarının yarıya düşmesi düşüncesiyle ve armatürlerin LED armatürler ile değiştirildikten sonra sistemin daha uygulanabilir olduğunu savunmuştur (Güçlü, Temmuz 2009).

Köse çalışmasında, 1-10 kW arasında on adet şebekeden bağımsız, 15-45 kW arasında altı adet şebekeye bağlı sistem için farklı senaryolar oluşturmuş ve bu senaryoların ekonomik analizlerini yapmıştır (Köse, Haziran 2010).

Girgin çalışmasında, 36 farklı FV sistemin enerji üretim değerlendirilmesini ve ekonomik analizini yapmış, enerji üretimlerini incelemek amacıyla PVsyst programını kullanarak birden fazla meteorolojik veri ile benzetim gerçekleştirmiştir. Ayrıca güneş santrali kurulacak sahayı detaylı olarak incelemiş ve panel yerleşimini farklı deneysel çalışmalar ile incelemiştir. Yaptığı deneylerin sonucu olarak en verimli panel eğim açısını 30^0 olarak değerlendirmiştir. Farklı senaryolar için tasarladığı sistemlerin ekonomik analizlerini de çalışmasında belirtmiştir (Girgin, Ocak 2011).

Beyoğlu çalışmasında, iki farklı güneş enerji sistemi için panellerin saha yerleşimlerini incelemiştir. FV Panelleri sabit eksenli yerleşim ve çift eksenli yerleşim sistemlerine göre incelemiştir. Yaptığı deneyler neticesinde de çift eksenli sistemin sabit eksenli sisteme göre %39 oranında daha verimli olduğunu ortaya koymuştur. Fakat bu sistem Güneş enerji santrallerinde kurulum maliyetlerini artıracığı için çift eksenli güneş takip sisteminin, güneş enerji santralinin kurulum yeri ve kurulacak bölgenin iklim şartlarına göre tercih edilmesi gerekliliğinden bahsetmiştir (Beyoğlu, Haziran 2011).

Ayaz çalışmasında, farklı panel tipleri ile (monokristal, polikristal ve ince film) gerçek ortam şartları altında İstanbul ilinde MATLAB Simulink Programı kullanarak FV modelleme oluşturmuş ve simulink ortamında oluşturduğu FV modeli için ışınım, sıcaklık vb. materyalleri dikkate alarak FV Panel yerleşimleri için uygun değer eğim açısını belirlemeye çalışmıştır. Yaptığı deneysel çalışma neticesinde, İstanbul ili için ışınım verileri dikkate alındığında uygun eğim açısı değeri yıllık 38^0 olarak, sıcaklık verilerini dikkate aldığında ise uygun eğim açısı değeri

26⁰ olarak hesap etmiştir. Ayrıca ince film bir FV Panel için hesapladığında ise uygun eğim açısı değerinin 22⁰ olması sonucuna ulaşmıştır. Böylece yaptığı çalışmada uygun değer eğim açısı değerinin, birçok faktöre göre değişebileceğini bu sebeple kurulacak Güneş Santrallerinde FV Panel yerleşimleri için sıcaklık, ışınım, panel tipleri vb. birçok özelliğin dikkate alınarak uygun eğim açısının hesaplanması ve hesaplanan bu açığa göre FV yerleşimin yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur (Ayaz, Mayıs 2012).

Sharma ve Chandel çalışmalarında, Hindistan'da kurulu bulunan şebekeye bağlı 190 kWp'lik Güneş Enerji Santralinin performans analizini PVsyst benzetim programıyla gerçekleştirmişlerdir. Benzetim programıyla elde ettikleri sonuçları gerçek veriler ile karşılaştırmışlardır. Aylık olarak yaptıkları ölçümlerde en fazla güneş radyasyonu alan 105,95 kWh/m² ile Eylül ayı olduğu için GES'nin bu ayda maksimum üretim yaptığını, en az güneş radyasyonu alan ayın ise Ocak ayı olduğunu, GES'nin Ocak ayında enerji üretiminin en az olduğunu ortaya koymuşlardır. Kurulu Santralin performans değerinin yıllık olarak %55 ile %83 değerleri arasında değiştiğini, ortalama performansının %74'lük bir değere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarına ilaveten GES'inde FV Panellerin eğim açısını takip eden bir sistem ile montajı yapılırsa santrale ekonomik olarak fayda sağlayacağını öneminden bahsetmişlerdir (Sharma ve Chandel, Nisan 2013).

Padmavathi ve Daniel çalışmalarında, Hindistan'ın Karnataka eyaletinde kurulu bulunan 3 MWh'lik şebekeye bağlı GES'nin performans analizini gerçekleştirmişlerdir. 2010 yılında performans analizini yaptıkları GES'inde meydana gelen inverter arıza kayıpları sebebiyle Ağustos ve Kasım aylarında performansının %60'dan az olduğunu ortaya koymuşlar ve enerji üretiminin 818 MWh olduğunu tahmin etmişlerdir. Bir sonraki yıl GES'nin inverter arıza kayıpları azaldığında gerçek üretim verileri ile karşılaştırdıklarında, performansının % 70 oranına çıktığını ortaya koymuşlardır (Padmavathi ve Daniel, Ekim 2013).

Ekici ve Gülten çalışmalarında, Elazığ ilinde teras çatısında kurduklarını varsaydıkları şebeke bağlantılı 27 kWp gücündeki FV sistemin PVsyst 6.2.2 paket programında benzetimini yapmışlar ve yıllık üretim değerlerini farklı 16 eğim açısı ile tasarlamışlardır. En iyi elektrik üretimini 42 811 kWp olarak bulmuşlar ve çalışmalarının sonucu olarak Elazığ ili için uygun eğim açısının değerinin 32⁰ olduğunu ortaya koymuşlardır (Ekici ve Gülten, Mayıs 2015).

Kumar ve Sudhakar çalışmalarında, Hindistan'ın Ramagundam kasabasında kurulu bulunan 10 MW gücündeki şebekeye bağlı güneş enerji santralinin FV-GIS programında benzetimini yapmışlar ve gerçek sonuçların benzetim verilerine yaklaştığını belirtmişlerdir. FV-GIS Programında hesaplanan enerji, Aralık ayında maksimum değerinde 1589 MW/saat olduğunu, en az üretimin ise Temmuz ayında 926 MW/saat seviyesinde olduğunu hesaplamışlardır (Kumar ve Sudhakar, Eylül, 2015).

Ekici ve Gülten çalışmalarında, Elazığ ilinde herhangi bir apartmanın çatısında şebekeye bağlı bir FV sistemin kurulduğunu varsayarak PVsyst 6.2.6 programında benzetimini yapıp, üretilen enerjiyi hesap etmiş ve performans analizi yapmışlardır. PVsyst 6.2.6 programın benzetiminde kullanabilmek için Elazığ iline ait aylık ortalama toplam ve yayılı güneş radyasyon değerlerini MATLAB programında yazdıkları bir yazılım ile bulmuşlardır. PVsyst 6.2.6 programında gücü 100 Wp, 15 dizi-18 adet seri bağlı modülden oluşan (toplam 270 panel) şebekeye bağlantılı FV sistemde 60 W gücünde iki adet inverter kullanmışlar ve FV sistemi 0°'den başlayıp 5°'lik aralıklar ile 75° 'ye kadar 16 farklı eğim açısıyla simülasyonu yapıp, en yüksek elektrik enerjisinin üretiminin 42811 kWh olması için en iyi eğim açısının 30° olduğunu ispat etmişlerdir. Fakat tekrardan 10 derecelik aralıklar ile tekrar tarama yaptıklarında yıllık uygun değer eğim açısının, Elazığ ili için 32° olduğunu tespit etmişler, 32° eğim açısıyla kurulu FV sistemin yıllık üretiminin ise 42832 kWh olarak bulmuşlardır. Yaptıkları çalışmalarına ilaveten maksimum elektrik enerjisinin üretilebilmesi için FV Panel uygun değer eğim açısının yıllık, mevsimlik ve aylık olarak hesaplatılmasının gerekliliğini ortaya koymuşlardır (Ekici ve Gülten, Mayıs, 2015).

Akar çalışmasında, Ankara ili Haymana ilçesinde kurulmuş bulunan 1150 kWp/ 1100 kW güçteki güneş enerji santralinde, FV panelin katalog değerlerine göre MATLAB simulink programında bir model oluşturmuştur. Oluşturduğu modele göre paneldeki ışığa verileri doğrultusunda akım gerilim değerlerinin artış gösterdiğini, fakat gerilim artışının akım artışına oranla daha az olduğunu ispat etmiştir. Bu çalışmaya ilaveten kurulu güneş santralinin mevcut üretim verilerine göre ekonomik analizi yapılmış ve bu değerlendirme sonucu santralin yaklaşık 7 yıl içinde kendisini amorti edebileceğini ispat etmiştir (Akar, Mayıs, 2016).

Haydaroğlu ve Gümüş çalışmalarında, 250 kWp'lik şebeke bağlantılı Güneş Enerji Santrali için, PVsyst V6.39 benzetim programında; 250 Wp gücünde 1000 adet FV modülü 30°

eğim açısı ve 0^0 derece azimuth açısı ile güneş panellerini konumlandıklarını düşünerek bu sistemde 1 adet 10 kW, 8 adet 30 kW gücünde inverter kullanıldığını varsayıp simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Tüm çalışmalarının sonucu olarak santralin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen küresel ışınım miktarını 1668 kWh/m^2 olarak hesaplamışlardır. FV Panellere sabit eğim açısını 30 derece aldıklarında yüzeye gelen ışınımını %11,7 arttığını ispatlamışlardır. Dize kayıplarını %14,9, inverter kayıplarını ise %1,8 olarak hesaplamışlardır. Santrallerinin ise yılda yaklaşık 380,6 MWh üretebileceğini tespit etmişlerdir (Haydaroglu ve Gümüş, Eylül 2016).

Ölmez çalışmasında, Türkiye'nin güneş enerji potansiyelini araştırmış olup, güneş enerjisi santrallerinin hangi bölgelerde kurulmasının daha uygun olacağına dair çalışmalar yapmış ve güneş enerji santrali kurulacak bölgelerde ekonomiklik analizleri yapmıştır. Çalışmalarına ilaveten; ilerleyen yıllarda kurulması planlanan güneş enerji santralleri için ikincil frekans kontrolünün, santralin performansına etkileri üzerine araştırmasını yapmıştır (Ölmez, Nisan 2017).

Kumar ve arkadaşları çalışmalarında, 323 adet 310 Wp güce sahip Polikristal FV modül ve her biri 20 kW güce sahip 5 adet inverter kullanarak 100 kWp kurulu güçteki şebekeye bağlı güneş enerji santralini tasarlayıp, PVsyst V6.78 programında simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonunu gerçekleştirdikleri santral yıllık 165,38 MWh ürettiğini 161,6 MWh kadarının da şebekeye aktarılabilirliğini hesaplamışlardır ve GES'nin yıllık performansının %80 oranında olduğunu tespit etmişlerdir (Kumar vd., Mart 2017).

Sağlam çalışmasında, Ülkemizin altı farklı şehrinde yer alan (Adana, Osmaniye, Niğde, Mersin, Karaman, Konya) Güneş Enerji Santralleri için PVsyst programında benzetim çalışmalarını yapıp bir yıllık üretim verileri ile benzetim programından elde edilen enerji üretim verilerini karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışma neticesinde üç şehirde bulunan GES'nin benzetim sonuçlarının, gerçek sonuçlara yakın olduğunu tespit etmiş ve diğer üç şehirde bulunan GES'nin enerji üretim verileri benzetim programından elde edilen enerji üretim verileri arasındaki farkın %6 ile %12 arasında olduğunu tespit etmiştir (Sağlam, 2018).

2. GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK GÜNEŞ TEKNOLOJİSİ)

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürebilen yarı iletken maddelerden oluşmaktadır. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verim ile elektriğe dönüştürülebilmektedir. Verimliliği %10'un altında olan güneş pilleri verimli ve ekonomik sayılmazlar. Güç çıkışını arttırabilmek için çok sayıda güneş pili birbirine seri veya paralel durumda bağlanabilir. Bu vesileyle, güçleri watt'tan megavatlara ulaşabilen sistem tasarımları yapılabilir (Öztürk, 2012).

Güneş pili çeşitleri dört farklı teknolojiye oluşur. Bunlar monokristal, polikristal yapı teknolojisi, ince film teknolojisi ve nano teknoloji olarak sıralanmaktadır.

2.1. Tek Kristalli (Monokristal) Güneş Pilleri

Tek kristal silisyum malzemesi güneş pilinin üretiminde de kullanılan malzemelerden biridir. Fakat üretim maliyeti oldukça yüksek olması sebebiyle çok kristal malzemenin daha çok kullanılmasına sebep olmuştur. Silisyum elementinin güneş enerji sistemlerinde fazlaca kullanılmasının nedenleri; silisyumun elektriksel, optik ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojilerinden başarılar sağlanmış olumasıdır (Kantaroglu, Temmuz 2010).

2.2. Çok Kristalli (Polikristal) Güneş Pilleri

Çok kristalli güneş pilleri, tek kristal silisyum yapı ile aynı özelliklere sahiptir. Damarların büyüklükleri kristal yapılar ile orantılıdır. Çok kristalli malzemenin elektriksel özellikleri, küçülen damar ile doğru orantılı olarak bozulur ve bu sebeple ulaşılabilecek verim tek kristalli yapıya göre daha düşük olur. Fakat çok kristalli üretim teknolojileri üretim maliyeti açısından daha düşüktür ve bu sebeple Güneş Enerji Santrallerinde kullanımı yaygındır (Sayın ve Koç, 2011).

2.3. İnce Film Güneş Pilleri

İnce film cihazlar çok az materyal gerektirmesi sebebiyle üretim kolaylığı açısından üstünlüğe sahiptir. Ticari olarak oldukça yaygın kullanılan ince film hücreler genelde amorf

silikondan yapılmaktadır. Fakat düşük üretim giderleri sebebiyle çok kristal bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellür hücrelerde daha çok tercih edilmektedir (Koç ve Ark. , 2007).

2.3.1. Amorf Silisyum İnce Film Güneş Pili

Amorf silisyum gibi malzemeler tam olarak bir kristal yapı oluşturmazlar. Bu nedenle çok sayıda yapısal bağlanma hataları içermektedirler. Daha önceleri amorf silikon malzemenin elektriksel özellikleri, yalıtkan olarak değerlendirilmekte idi ve kristal silikon veya yarı iletken malzemelerin özelliklerini göstermediği düşünülmüştür. Fakat daha sonraki seneler içerisinde amorf silikonun FV cihazlarda kullanılabilceği düşünülmüştür. Günümüzde ise güç ihtiyacı az olan cihazlar için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Amorf silikon FV panellerin laboratuvar ortamında verimlilikleri %13 ‘den daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Akman ve Ark. ,2013).

2.3.2. Bakır İndiyum Diselenid İnce Film Güneş Pili

Periyodik cetvelde yer alan 1. 3. ve 6. elementlerin üçünün veya daha fazlasının bir araya gelmesiyle oluşur. Bu bileşik yarı iletkenin soğurma katsayıları fazlaca yüksektir. Bakır İndiyum Diselenid (CIS) , çok yüksek soğurganlığa sahip olup ilk 1 µm kalınlığında katmanında gelen güneş ışınımı %99’unu soğurur. Bu özelliğe ilaveten malzemenin dış ortam testlerinde kararlılığı oldukça iyi olduğu kanıtlanmıştır. Bakır İndiyum Diselenid (CIS) hücrelerin laboratuvar ortamında verimliliği %14 ‘ten yüksek olduğu ispat edilmiştir (Ayaz, 2012).

2.3.3. Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pili

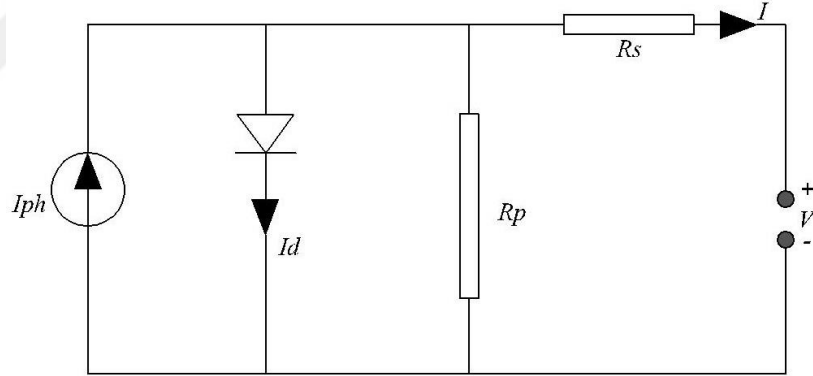
Kadmiyum tellür (CdTe), periyodik cetvelin ikinci grubunda bulunmakta olan kadmiyum (Cd) elementi ile altıncı grubunda bulunan tellür (Te) elementinin birleşimiyle ortaya çıkmaktadır. Bant boşluğu ve ideal durumda soğurganlığı oldukça yüksektir. Yüksek soğurganlık özelliği yanı sıra ince film büyültme teknolojisinin birçoğu ile kolay şekilde üretilebilmesi, geniş yüzey alana sahip güneş pili üretimi amacıyla, CdTe birleşik yarı iletken malzemeyi ön plana çıkartmaktadır. CdTe ince film paneller elektriksel olarak yüksek dirence sahip olduğu bilinmektedir ve tüm bu özellikler sebebiyle CdTe ince film paneller kullanımı ön plana çıkmaktadır (Sağlam, 2018).

2.4. Nanofotovoltaik Güneş Pilleri (NanoFV)

Nanofotovoltaik güneş pilleri, Nano-mikro kristal yapıda yüksek verimli güneş hücrelerini kapsamaktadır. Yapılarında bulunan hidrojen amorf silikon ve geçirgen iletken teknolojisine göre diğer panel tiplerine göre %8-%10 daha verimli oldukları bilinmektedir. Nanometryaller kimyasal, fiziksel ve optik özellikler açısından oldukça iyidir. Bu sebeplede FV paneller için geleceğin teknolojisi olacaktır (Akman vd., 2013).

2.5. FV Güneş Paneli Eşdeğer Elektrik Devresi

Şekil 2.1’de FV panelin eşdeğer elektrik devresi gösterilmektedir. Güneş paneli, doğrultucu bir diyota paralel bağlanmış bir akım kaynağı olarak varsayabiliriz. Devrede yer alan R_s ve R_p güneş panelinin verimini etkileyen seri ve paralel dirençler olarak tanımlanabilir. R_s , yarı iletken iç direnci ve bağlantı noktalarındaki direnç olarak tanımlanmakla birlikte, R_p ise kaçak akımları temsil eden paralel direnç olarak tanımlanabilir (Yılmaz vd.,2012).



Şekil 2.1. FV panel eşdeğer elektrik devresi.

Şekil 2.1.’deki FV panel eşdeğer elektrik devresine Kirchhoff’un akımlar yasası uygulanırsa eşitlik (2.1) elde edilir.

$$I_{pit} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.1)$$

Diyot akımı, p-n fonksiyonundan fotonlar tarafından harekete geçirilen elektronlar ve boşluklar tarafından oluşturulan akımların toplamıdır. İletim bandındaki boşluk akımlar Boltzman dağılımı ile elektron akımı ve boşluk akımları, eşitlik (2.2) ve (2.3)’teki gibi tanımlanır.

$$I_e = I_{e0} \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

$$I_h = I_{h0} \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Diyot akımı ise, eşitlik (2.4)'te tanımlanmıştır.

$$I_D = I_e + I_h = I_0 \left(e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

Diyot akımı I_D , diyotun mutlak sıcaklığı, gerilim ve yük tarafından çekilen akıma göre değişkenlik göstermektedir. Denklemlerde; q elektron yükü ($1,602 \times 10^{-19}$ J/V), V_D diyotun uçları arasındaki potansiyel fark, m idealite faktörü, k Boltzman gaz sabiti ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K), T hücre sıcaklığı (K) göstermektedir. Şekil 2.1.'deki devreye Kirchhoff'un gerilimler kanunu uygulanarak eşitlik (2.8)'de gösterildiği gibi kaynak akımı elde edilir.

$$I_D = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_D}{m \cdot k \cdot T}} - 1 \right) = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V_D + I \cdot R_s)}{m \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (2.5)$$

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_s} = \frac{(V_{pv} + I \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (2.6)$$

Daha önce verilen eşitlik (2.1)'de denklemde Kirchhoff'un akımlar yasası;

$$I_{pil} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad \text{olduğundan,}$$

$$I_{pil} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I \cdot R_s)}{m \cdot k \cdot T}} \right) - \frac{(V_{pv} + I \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (2.7)$$

$$I_{pil} = I_{ph} \cdot (1 + C_0(T - 300)) - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V_{pv} + I \cdot R_s)}{m \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (2.8)$$

Güneş pilleri, N_p sayıda paralel kollardan oluşmaktadır. Her bir N_p kol, N_s sayıda güneş pili ile birbirine seri bağlanmıştır. Birbirine seri bağlı güneş pillerinin toplam gerilim değeri, aynı akım değeri için her bir güneş pilinin geriliminin birbirine eklenmesiyle bulunur. Birbirine paralel bağlı güneş pillerinin toplam akım değeri, aynı gerilim değerleri için, aynı gerilim değerleri için üretilen akım değerlerinin toplanmasıyla bulunmaktadır. Modül uçlarındaki gerim V_m ve modül akımı I_m eşitlik (2.9) ve (2.10)'da gösterilmiştir.

$$V_m = N_s \cdot V_y \quad (2.9)$$

$$I_m = N_p \cdot I_y \quad (2.10)$$

Sıcaklığın etkisine bağlı olarak bir FV panelin doyma akımı eşitlik (2.11)'deki gibi hesaplanır.

$$I_0 = I_{ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{ref}}\right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b}\right) \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c}\right)\right] \quad (2.11)$$

I_{ref} referans akımı, E_g diyot bant genişliği olmak üzere, Foton akımı, eşitlik (2.12)'deki gibi hesaplanır.

$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha \cdot (T_c - 25)] \frac{G}{G_{ref}} \quad (2.12)$$

(2.11) ve (2.12)'de yer alan denklemlerinde hesaplanan I_{ph} ve I_0 değerleri (2.8) eşitliğinde gösterilen değerler yerine yazılırsa güneş panelinin üretmiş olduğu akım hesap edilir.

2.6. Dünyada Güneş Enerji Potansiyeli

Dünyada güneş en önemli enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerji teknolojileri iki farklı başlık altında toplanmaktadır. Bunlardan biri FV sistemler, bir diğeri ise ısı güneş teknolojileridir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

2.6.1. Türkiye'de güneş enerji potansiyeli

Ülkemiz, bulunduğu coğrafi konum itibarıyla güneş enerji potansiyeli açısından birçok ülkeye göre daha avantajlı durumdadır. Ülkemizde T.C. Enerji Bakanlığı verilerine göre ortalama bir senelik 2741 saat (günlük 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m² yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) tespit edilmektedir. Çizelge 2.1.'de Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin bölgere göre dağılımı gösterilmektedir. Çizelgeye göre Türkiye'nin en çok güneş alan bölgelerinde ilk sırada Güneydoğu Anadolu bölgesi, ikinci sırada Akdeniz bölgesi ve üçüncü sırada ise Doğu Anadolu bölgesi gelmektedir (Cebeci, 95, 2017).

Çizelge 2.2.'de ise Türkiye'de bazı illerin 2018 yılı ortalama güneş radyasyonu verilmektedir. Çizelge 2.2.'de verilen bilgiler doğrultusunda en yüksek güneş radyasyonuna sahip ilimiz Antalya en az güneş radyasyonuna sahip ilimiz ise Trabzon'dur.

Çizelge 2.1. Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (<https://www.mgm.gov.tr/>).

Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (2004-2018)	
BÖLGE	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)
AKDENİZ	1606,51
GÜNEYDOĞU	1573,05
DOĞU ANADOLU	1559,87
EGE	1546,02
İÇ ANADOLU	1536,39
MARMARA	1404,23
KARADENİZ	1398,36

Çizelge 2.2. Türkiye'de bazı illere ait (2004-2018 yıllarına ait ortalama güneş radyasyon miktarı (kwh/m²) (<https://www.mgm.gov.tr/>).

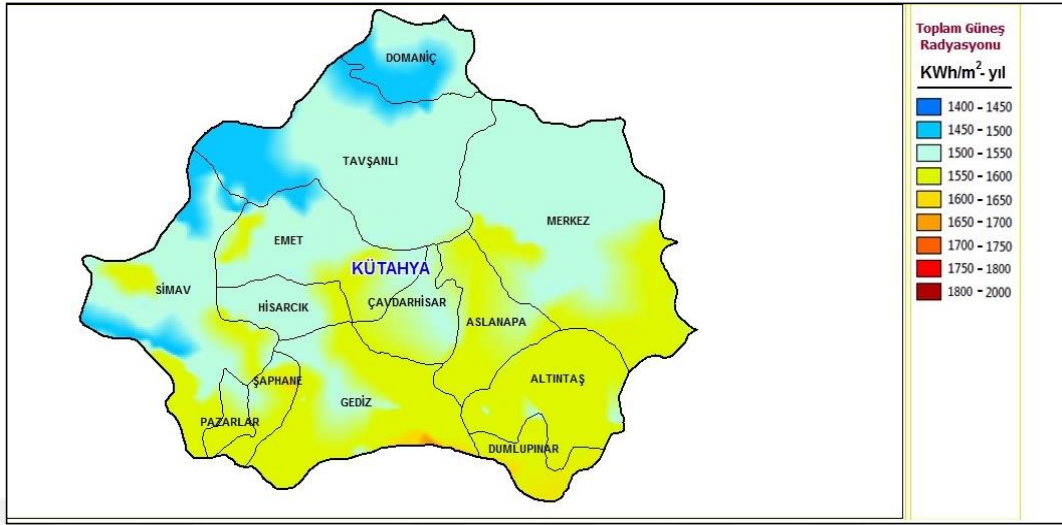
Türkiye'de Bazı İllerin 2004-2018 Yılları Arası Ortalama Güneş Radyasyonu Miktarı (kWh/m ²)					
İL	Ortalama Güneş Radyasyonu	İL	Ortalama Güneş Radyasyonu	İL	Ortalama Güneş Radyasyonu
ADANA	4,70	BİNGÖL	4,62	GİRESUN	3,91
ADYAMAN	4,83	BİTLİS	4,69	GÜMÜŞHANE	4,20
AFYON	4,53	BOLU	4,08	HAKKÂRİ	4,59
AĞRI	4,49	BURDUR	4,88	HATAY	4,81
AKSARAY	4,81	BURSA	4,04	ISPARTA	4,75
AMASYA	4,22	ÇANAKKALE	3,87	İSTANBUL	3,98
ANKARA	4,35	ÇANKIRI	4,21	KARABÜK	4,10
ANTALYA	5,09	ÇORUM	4,29	KARAMAN	4,94
ARDAHAN	4,04	DENİZLİ	4,64	KARS	4,32
ARTVİN	4,02	DİYARBAKIR	4,76	KASTAMONU	4,05
AYDIN	4,64	DÜZCE	3,92	KAYSERİ	4,72
BALIKESİR	3,95	ELAZIĞ	4,84	KIRIKKALE	4,44
BARTIN	4,14	ERZİNCAN	4,55	KIRŞEHİR	4,52
BATMAN	4,73	ERZURUM	4,38	KİLİS	4,80
BAYBURT	4,35	ESKİŞEHİR	4,37	KOCAELİ	3,89
KÜTAHYA	4,25	GAZİANTEP	4,82	KONYA	4,75
MARDİN	4,84	MALATYA	4,81	MANİSA	4,33
MUŞ	4,62	MERSİN	5,00	MUĞLA	5,02

Çizelge 2.2. (devam) Türkiye’de bazı illere ait (2004-2018 yıllarına ait ortalama güneş radyasyon miktarı (kwh/m²) (<https://www.mgm.gov.tr/>).

Türkiye’de Bazı İllerin 2004-2018 Yılları Arası Ortalama Güneş Radyasyonu Miktarı (kWh/m ²)					
İL	Ortalama Güneş Radyasyonu	İL	Ortalama Güneş Radyasyonu	İL	Ortalama Güneş Radyasyonu
ORDU	3,78	NEVŞEHİR	4,68	NİĞDE	4,79
SAMSUN	3,99	OSMANİYE	4,70	RİZE	4,63
SİVAS	4,51	SİİRT	4,79	SİNOP	4,03
TOKAT	4,18	ŞANLIURFA	4,90	TEKİRDAĞ	3,84
UŞAK	4,43	TRABZON	3,61	TUNCELİ	4,86
YOZGAT	4,48	VAN	4,66	YALOVA	4,03
ZONGULDAK	3,98				

2.6.2. Kütahya ili enerji potansiyeli

Kütahya ili güneş enerji potansiyeli Meteoroloji Genel Müdürlüğü bilgileri doğrultusunda 2018 yılı ortalama güneş radyasyonu değeri 4,245 kWh/m²-yıl olmakla birlikte en yüksek güneş radyasyonuna sahip olduğu ay 6,917 kWh/m²-ay değeriyle Temmuz ayıdır (https://mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=kutahya). Şekil 2.2.’de Kütahya ilinin güneş enerjisi potansiyeli haritası gösterilmiştir. Güneş enerji potansiyel haritası, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü’nün resmi web sitesinden (<http://www.yegm.gov.tr>) elde edilmiştir.



Şekil 2.2. Kütahya İli güneş enerjisi potansiyel haritası.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, resmi sitesinden alınan bilgiler ile oluşturulan Çizelge 2.3.'te Kütahya ili Toplam Güneş Radyasyonu Miktarı (kWh/m²) ve Toplam Güneşlenme süreleri verilmiştir. Çizelgede bahsi geçen meteorolojik veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğünün resmi web sitesinde verilen on beş yıllık aylık ortalama veriler kullanılarak (2004-2018) yılı yaklaşık toplam güneş radyasyonu verisi tahmini olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler ile NASA-SSE (1903-2005) ve METENOM 7.2 (2004-2013) gibi meteorolojik veriler ise ve PVsyst V6.78 benzetim programı veri alt tabanından elde edilmiş olup, tezin ilerleyen çalışmalarında Kütahya iline ait 2018 yılı meteorolojik veri olarak SOLARGİS programlarından alınan değerler kullanılacaktır. Bahsi geçen tüm meteorolojik veriler birbirlerine benzerlik gösterdiği çizelge 2.3.'te de görülmektedir.

Çizelge 2.3. Kütahya ili toplam güneş radyasyon miktarı (kWh/m²) ve toplam güneşlenme süreleri (Saat).

	Aylık Toplam Küresel Radyasyon Miktarı (2004-2018)	Aylık Toplam Güneşlenme Süresi (2017)	Aylık Toplam Güneşlenme Süresi (2018)
AYLAR	kWh/m ² -gün	Saat	Saat
Ocak	63,1	83,5	96,5
Şubat	77,9	106,3	90,4
Mart	119,6	156,4	160,6
Nisan	151,3	200,2	264,1
Mayıs	184,7	188,2	176,8
Haziran	199,3	250,4	258,4
Temmuz	214,4	321,6	301,1
Ağustos	189,1	259,2	286
Eylül	142,0	254,2	225,8
Ekim	104,4	178,3	178,8
Kasım	71,7	119,7	109,5
Aralık	59,1	90,2	42,7
Toplam	1576,5	2208,2	2190,7

Çizelge 2.4.'te farklı meteorolojik veri programlarından elde edilen aylık toplam güneş radyasyonu verileri gösterilmiştir. Şehzade Park GES'nin 2018 yılında faaliyete geçmesi sebebiyle güneş radyasyon verileri olarak SOLARGİS programına ait 2018 yılı meteorolojik verileri kullanılacaktır.

Çizelge 2.4. Aylık toplam güneş radyasyon verileri (kWp/m²).

Kütahya İli için Farklı Meteorolojik Veri Programlarından Elde Edilen Aylık Toplam Güneş Radyasyon Verileri (kWp/m²)				
Aylar	SOLARGİS (2018)	NASA-SSE (1983-2005)	METEROLOJİ (2004-2018)	METENOM 7.2 (2004-2013)
Ocak	56	61	63	52
Şubat	74	74	78	67
Mart	118	118	120	109
Nisan	147	138	151	140
Mayıs	184	187	185	175
Haziran	207	209	199	196
Temmuz	229	224	214	214
Ağustos	203	199	189	192
Eylül	153	153	142	144
Ekim	105	106	104	97
Kasım	71	67	72	71
Aralık	49	51	59	51
Yıl	1596	1585	1577	1506

TEİAŞ'nden elde edilen veriler doğrultusunda 2019 yılı Mart ayı sonu itibariyle Kütahya ili kurulu güneş enerjisi gücünün 94.598,8 kW olduğu ve Kütahya ilinde 110 adet lisanssız güneş enerji santrali bulunduğu, lisanslı güneş enerji santralinin ise bulunmadığı bildirilmektedir (TEİAŞ, 2019).

3. ŞEHZADE PARK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TANITIMI VE KURULUM AŞAMALARI

Kütahya Belediyesi tarafından 2016 yılında proje ihalesi yapılan Şehzade parkı GES; Kütahya ili, İnköy mahallesi, Suluöz mevkiinde bulunan, Şehzade Parkı üzerinde yer almaktadır. Kütahya Belediyesine ait tüketim tesisinin elektrik enerjisinin tamamını karşılamak ve fazla üretilen elektriğin şebekeye satılarak gelir elde edilmesini sağlamak amacıyla tesis edilen 336 kWp (280 kWe) kurulu güçteki güneş enerji santralidir.

Şahzade Park Güneş Enerji Santralinin kurulumunda ilk aşama olan çağrı mektubu, 15.10.2016 tarihi itibari ile OEDAŞ tarafından Kütahya Belediyesi, İşletme İştirakler Müdürlüğüne hitaben olumlu olarak cevaplandırılmıştır. Çağrı mektubu onaylandıktan sonra proje tasarımı ve bazı resmi evrakların onaylanması gerekliliğinden TEDAŞ'ne başvuru yapılmıştır. Çizelge 3.1.'de TEDAŞ başvuru dökümanları yer almaktadır (Sağlam,2018).

Çizelge 3.1. Lisanssız elektrik üretimi için TEDAŞ başvuru dökümanları.

Belgeler	Hesaplar	Paftalar (Ölçekli)	Ekler
Bağlantı Anlaşması Çağrı Mektubu ve Bağlantı görüşü	Panel Seçimi	Genel Vaziyet Planı	Modül özellikleri hakkında detaylı bilgiler içeren kataloglar
İl Özel İdaresi/OSB/Belediye tarafından verilen GES Uygunluk Yazısı	İnverter Seçimi	Sistem Kurulum Şeması	İnverter özellikleri hakkında detaylı bilgiler içeren kataloglar
İl Özel İdaresi/OSB/Belediye tarafından verilen Statik Uygunluk Yazısı	Kablo Seçimi	Tek Hat Şeması	Sahada kullanılması planlanan DC ve AC kablo bilgileri
YEGM tarafından verilen Teknik Değerlendirme Raporu	AC ve DC Gerilim Dönüşümü Hesapları	Topraklama Projesi,	Meteorolojik veriler
Mühendislik Belgeleri (Büro Tescil ve SMM Belgesi)	Akım Devre Koruma Cihazları	Kablo yerleşim güzergâh planı	Şartname
İmza Sirküleri	Topraklama	Ölçü, izleme ve haberleşme planı	Proje
Vekâletname	Yıldırımdan Koruma Projeleri	Pano Detayları	
Gerekçe Raporu			
Keşif Özeti			

2016 yılı sonunda TEDAŞ ve OEDAŞ'lerine proje onay başvurusu yapılan Şehzade Park GES'nin gerekli onayları tamamlandıktan sonra, Kütahya Belediyesi tarafından, Kütahya ili'nin TR33 bölgesinde yer alması sebebi ile Zafer Kalkınma Ajansından Şehzade Park Güneş Enerji Santrali için hibe başvurusunda bulunulmuştur. Bu başvuru neticesinde 2016 yılında Zafer Kalkınma Ajansı ile 750.000 TL hibe için protokol imzalanmıştır. Hibe bedeli yaklaşık olarak ilk yatırım bedelinin yarısı kadardır.

Şehzade Park GES projesinde, Kasım ayında yer teslimi yapılmış ve santral kurulumu yapılmaya başlanmıştır. Öncelikle onaylı projelerine istinaden FV panellerin montajının yapılacağı onaylı statik projesine uygun çelik konstrüksiyonlar yapılmıştır. Şekil 3.1'de çelik konstrüksiyonların montajının yapılacak beton kalıpları gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Çelik konstrüksiyonların montajı için hazırlanan beton kalıplar.

Şekil 3.2'de FV panellerin 25° eğim açısı ile yerleşimi yapılması için hazırlanan çelik konstrüksiyonların montajı tamamlanmış hali gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Çelik konstrüksiyon montajları.

Şehzade parkı GES projesinde kurulu güç 336 kWp olmakla birlikte her biri 120 W olan A firmasına ait CdTe yapıda, 40 adet seri, 70 adet paralel bağlantılı güneş paneli ve 409 kW gücünde D firmasına ait merkezi inverter kullanmıştır.

Şekil 3.3.'te FV panellerin montajının tamamlanmış hali gösterilmektedir. Şekil 3.4.'de Şehzade Park GES'nin transformatör odası gösterilmiştir. Şekil 3.5.'te Şehzade Park GES'nin uydu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.3. Montajı tamamlanmış FV paneller.



Şekil 3.4. Şehzade Park GES transformatör odası.



Şekil 3.5. Şehzade Parkı GES uydu görüntüsü.

Şehzade Park GES'nde kullanılan inverterin özelliği gereği sistem uzaktan anlık olarak takip edilebilmektedir. Ayrıca 2018 tarihinde Osmangazi Dağıtım A.Ş.'nin sistemin üretimini uzaktan takip edebilmesi amacıyla OSAS programı kurulumu yapılmıştır. Şekil 3.6.'da 19 Nisan 2019 tarihine ait inverter üzerinden anlık izlenen enerji üretim değerleri gösterilmektedir.

DC Giriş		AC çıkış			
529045		486839		kWh. Toplam	
952	1112	874	1016	kWh. Bugün & Dün	
90		82	1.000	kW. Güç & PF	
		L1	L2	L3	
		397.5	394.4	397.5	V.
		122	121	126	A.
				50.00	Hz.

16:26 Guest P_Fix

Şekil 3.6. 19 Nisan 2019 tarihindeki anlık enerji üretim değerleri.

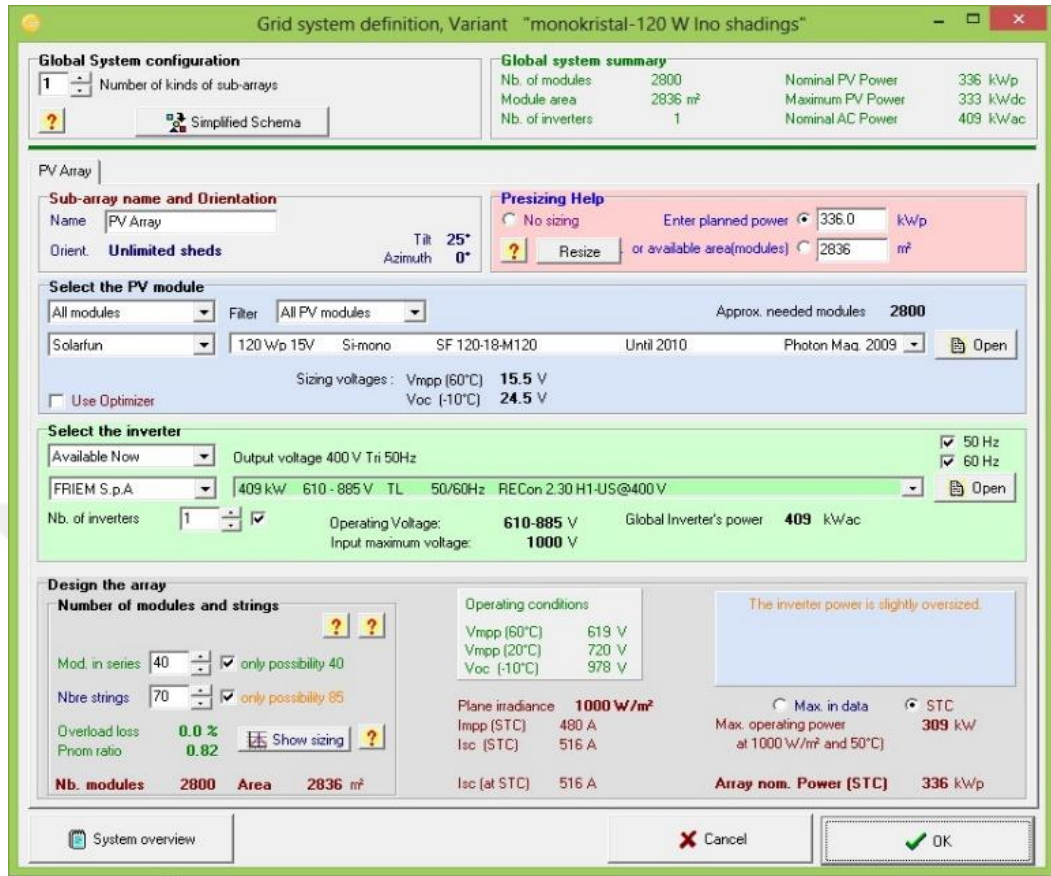
2017 yılı Ekim ayında ihalesi sonuçlanan Şehzade Park GES ihale şartları doğrultusunda 120 gün içerisinde tamamlanmıştır. OEDAŞ tarafından geçici kabulü yapılan ve sonrasında Belediye tarafından da geçici kabulü yapılan santral, 2018 yılı Şubat ayı itibari ile devreye alınmış olup halen üretime devam etmektedir.

3.1. PVsyst V6.78 Benzetim Programı

PVsyst benzetim programı şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız FV sistemleri, FV sulama ve DA şebekelerinin kurulumunun yapılmadan önce tasarımlarının yapılmasını sağlayan bir yazılım programıdır. PVsyst benzetim programında veritabanında bulunan sentetik meteorolojik kullanılabileceği gibi gerçek verilerin benzetim programında kaydedilip kullanılması da mümkündür. FV sistemlerinin tasarımının yapılmasında PVsyst programı büyük avantaj sağlamaktadır. Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de PVsyst V6.78 programı ara yüzleri verilmiştir (Mermoud ve Wittmer, 2014).



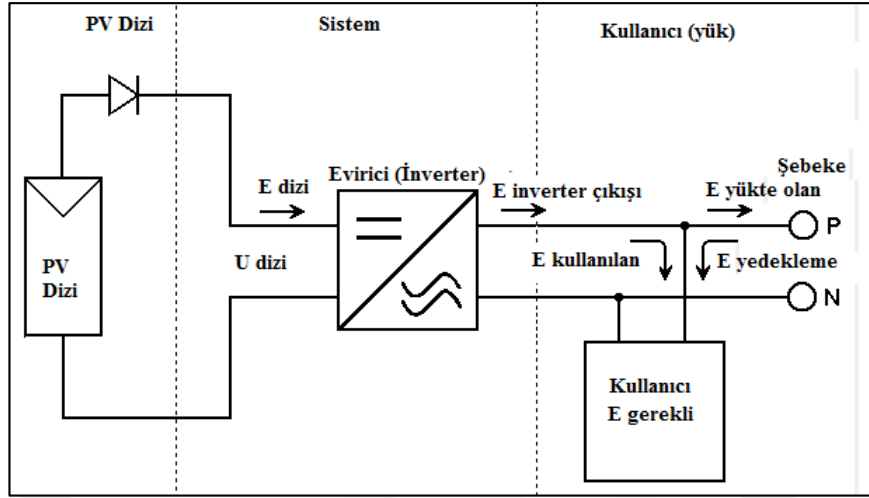
Şekil 3.7. PVsyst 6.78 ara yüzü.



Şekil 3.8. PVsyst V6.78 programında inverter ve FV panel seçimi.

Şekil 3.8’de de gösterildiği gibi, PVsyst benzetim programı kurulacak GES santralleri için panel ve inverter değerlerini üretici ve nominal güç değerlerine göre seçim imkânı sağlamaktadır.

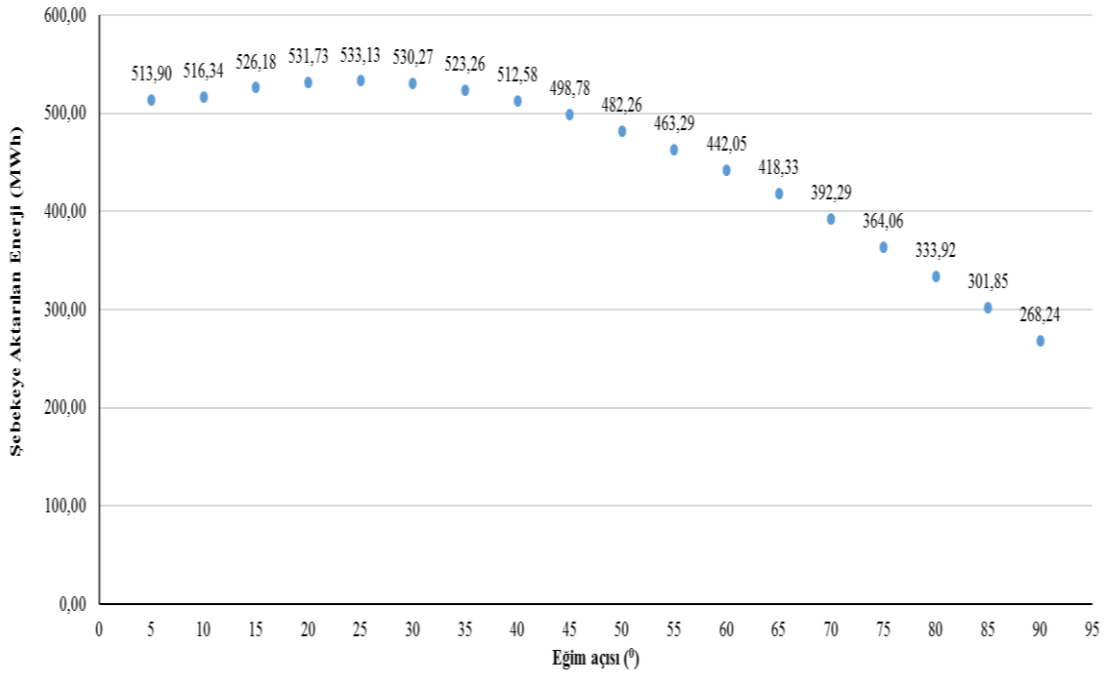
Şekil 3.9’da gösterilen şebekeye bağlı FV sistem açıklamak gerekirse şebekeye bağlı bir sistemde temel unsuları; FV modülleri, İnverter, sigorta kutuları, elektrik sayacı ve şebeke hatları oluşturmaktadır (Kumar ve Ark., 2017).



Şekil 3.9. PVsyst V6.78 programı şebekeye bağlı FV sistem modeli.

3.2. Şehzade Park Güneş Enerji Santrali FV Panel Eğim Açısının PVsyst V6.78 Benzetim Programı İle Belirlenmesi

PVsyst V6.78 programında, A firmasına ait; ince film (CdTe) yapıda 120 Wp gücünde FV panel ile D firmasına ait 409 kW gücündeki merkez inverter kullanılmıştır. FV panel eğim açıları (5° - 90°) arasında değiştirilip benzetim yapılmış, şebekeye aktarılan enerjinin en fazla olduğu eğim açısının 25° olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.10'da farklı eğim açıları ile şebekeye aktarılan enerji oranları verilmektedir.



Şekil 3.10. Farklı eğim açıları kullanılarak yıllık olarak şebekeye aktarılan enerji oranları.

Benzetim programında elde edilen sonuçlara göre 25° eğim açısı ile şebekeye aktarılan enerji, maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu sebeple FV paneller sahada 25° eğim açısı ile montaj edilmiştir. Daha önceki yapılan bazı çalışmalarda GES'inde maksimum enerji üretim seviyesine ulaşmak amacıyla FV panel güneşi takip sistemi kullanılmıştır. Fakat bu sistemler gerek ilk yatırım maliyetini gerekse de bakım masraflarını arttırmaktadır. Bu sebeplerden işletmeler tarafından çok fazla tercih edilmemektedir.

4. ŞEBEKEYE BAĞLI GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN PERFORMANS PARAMETRELERİ

Uluslararası IEC 61724 standardı güneş enerji santrallerinin performansını incelemek için kullanılır. Tez çalışmasında, Şehzade Park GES'nin performans parametreleri IEC 61724 standardına göre değerlendirilmiştir (Haydaroğlu ve Gümüş, 2016).

Enerji performansı için çeşitli parametreler belirlenen raporlama periyodu içerisinde elde edilen veriler kullanılarak hesaplanabilir: (T) gün, ay veya yıl gibi kayıt aralığı ise (T_r) 1 ile 10 dk arasında olmalıdır. Aşağıda IEC 61724 standardına göre türetilen denklemler yer almaktadır (Padmavathi ve Daniel, 2013).

E_A , FV hüccresinin enerji çıkışı eşitlik (4.1) kullanılarak hesap edilmektedir.

$$E_{A,T} = T_r \times \sum_T P_A \text{ kWh} \quad (4.1)$$

Şebekeye verilen enerji, kaydedilen AC gücün değeri ile eşitlik (4.2) ile hesaplanmaktadır.

$$E_{TU,T} = T_r \times \sum_T P_{TU} \text{ kWh} \quad (4.2)$$

FV dizisinin günlük ortalama DC enerjinin ortalama değeri, şebekeye aktarılan enerji ve kullanılan enerji aşağıda yer alan (4.3), (4.4) ve (4.5) eşitlikleri ile bulunmaktadır.

$$E_{A,g} = T_r \times \sum_{gün} P_A \text{ kWh} \quad (4.3)$$

$$E_{TU,g} = T_r \times \sum_{gün} P_{TU} \text{ kWh} \quad (4.4)$$

$$E_{USE,PV,g} = E_{TU,g} + E_{L,g} \text{ kWh} \quad (4.5)$$

Tüm sistemi tanımlamak için parametreler kullanılabilir. Parametreler enerji üretimi, güneş enerjisi performansı, sistem kayıplarının kaynakları ve sistem üzerinde genel etkilere sahiptirler. Parametreler; nihai FV sistem dize verimi (Y_a), referans verimi (Y_r) ve performans oranı (PO) olarak tanımlanır, elde edilecek verilerin analizi aşağıdaki tanımlar ve formüller yardımıyla gün, ay ve yıl olarak değerlendirilir (Marion vd., 2005).

Dize verimi Y_a , belirli bir dönem aralığında (gün/ay/yıl) ,FV dizelerde üretilen enerjinin (E_A), kurulu güce (P_0) oranı ile elde edilir. Dize verimi hesabı eşitlik (4.6)'da gösterilmiştir.

$$Y_a = \frac{E_A}{P_0} (kWh/kW \text{ ya da saat}) \quad (4.6)$$

E_A , sistemin ürettiği enerji olarak tanımlanır ve eşitlik (4.7)'deki gibi hesaplanır.

$$E_A = I_{dc} \times V_{dc} \times T \text{ kWh} \quad (4.7)$$

Referans verimi Y_r , belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımının H , referans ışınımına G oranıdır. Eşitlik (4.8)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Y_r = \frac{H}{G} (\text{saat}) \quad (4.8)$$

Performans oranı PO , nihai verimin (Y_f), Referans verime oranı (Y_r) olarak eşitlik (4.9)'da gösterildiği gibi hesaplanır..

$$PO = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (4.9)$$

Kapasite faktörü (KF), bir yıl boyunca üretilen toplam enerjinin, yıllık FV Panel Potansiyel enerjisine oranı olarak eşitlik (4.10) da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Sharma ve Chandel,483,2013).

$$KF = \frac{E_{AC,a}}{8760 \times P_{PV,rated}} \quad (4.10)$$

Eşitlik (4.10) de yer alan, $E_{AC,a}$ bir yıl boyunca üretilen toplam enerjinin kWh cinsinden değeridir. $P_{FV,rated}$ ise kurulu FV gücüdür. 8760 ise bir yıldaki saat sayısını ifade etmektedir. Sistemin verimi eşitlik (4.11)'deki gibi hesaplanır (Anto ve Jose, 2014).

$$\eta_{sys,m} = \frac{E_{AC}}{H_t \times A_a} \quad (4.11)$$

Eşitlik (4.11)'de yer alan, E_{AC} sistemin ürettiği AC gücü, H_t sisteme gelen ışınımı, A_a sistemin yüzey alanını ifade etmektedir.

Şebekeye bağlantılı sistemlerde çeşitli enerji kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıplar dize kayıpları ve sistem kayıpları olarak adlandırılabilir (Kumar, Sudhakar,186,2015).

Dize kaybı (L_c), sistemde üretilen referans verim ile dize verimi arasında ki farktır. Dize kaybı eşitlik (4.12)'de gösterilmiştir.

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (4.12)$$

Eşitlik (4.13)'de gösterilen, Sistem kaybı (L_s), dize verimi ile nihai verim arasındaki fark olarak tanımlanır.

$$L_s = Y_a - Y_f \quad (4.13)$$

4.1. Şehzade Park Güneş Enerji Santralinin PVsyst Benzetim Programı ile Enerji Üretiminin Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada, 336 kWp (280 kWe) kurulu güçteki, Şehzade Parkı Güneş Enerji Santralinin PVsyst V6.78 programı üzerinden farklı firmalara ait farklı yapıda (CdTe yapıda ince film, Monokristal ve Polikristal) panel ve inverter tipleri ile benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. İnce film (CdTe) FV panel ile PVsyst v6.78 programında benzetimi ve değerlendirilmesi

Şebekeye bağlı (on grid) sistemimizde toplamda 2800 FV modül kullanılmaktadır. Bu modüller her dizide 40 adet seri, 7 adet paralel bağlı olmak üzere her dizide 280 adet FV Panel ve toplamda 10 adet dizide 2800 adet FV Panel bulunmaktadır. FV Panel yerleşimleri 25^0 eğim açısı ve FV paneller tam güney açılı yerleşim yaptırıldığı için programda azimuth açısı 0^0 olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.1.'de A firmasına ait ince film (CdTe) yapıdaki FV panelin detaylı özellikleri verilmektedir. Çizelge 4.2.'de D firmasına merkez inverterin detaylı özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. A firmasına ait ince film FV panel detaylı özellikleri.

Nominal Güç		120	Wp				
Üretici Teknik Özellikleri							
Referans şartlar	Gref	1000	W/m ²	Tref	25,0	°C	
Kısa Devre Akımı	Isc	1,800	A	Kısa Devre Gerilimi	Voc	88	V
Maksimum Güç Noktasındaki Akımı	Impp	1,695	A	Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim	Vmpp	70,7	V
Sıcaklık Katsayısı	mulsc	0,7	mA/°C				
	ya da	0,04	% I°C				
Model Değerleri							
Çalışma Şartları	GOper	1000	W/m ²	TOper	25	°C	
Maksimum Güç Noktası	Pmpp	120	W	Sıcaklık Katsayısı	-0,27	% I°C	
Maksimum Güç Noktasındaki Akımı	Impp	1,68	A	Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim	Vmpp	71,5	V
Kısa Devre Akımı	Isc	1,84	A	Açık Devre Gerilimi	Voc	88,7	V
Effektif/Hücre Alanı		17,75	%	Modül Alanı		16,66	%
Detaylı Model Parametreleri				Temel Parametreler			
Paralel Devre Direnç	Rsh	3500	ohm	Gamma	1,26		
	Rsh(G=0)	12000	ohm	IoRef	0,02	nA	
Seri Devre Direnç	Rs	3,71	ohm	muVoc	-219	mV/°C	
Seri Devre Maksimum Direnç	Rsm	4,16	ohm	muPMak. sabit	-0,28	I°C	
Seri Devre Görünür Direnç	Rsg	5,75	ohm				
Modül Özellikleri				Hücre Özellikleri			
Uzunluğu	1200	mm		Seri	108	adet	
Genişliği	600	mm		Paralel	2	adet	
Kalınlık	7	mm		Hücre Alanı	31,3	cm ²	
Ağırlık	12	kg		Toplam Hücre	216	adet	
Modül Alanı	0,72	m ²		Toplam Hücre Alanı	0,676	m ²	

Çizelge 4.2. D firmasına merkez inverterin detaylı özellikleri.

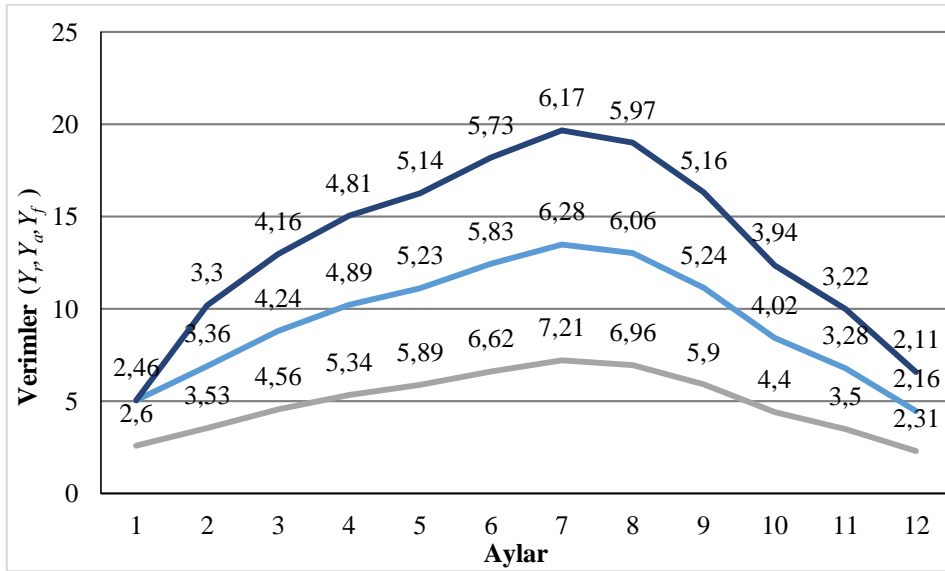
Giriş Bölümü (DC FV Alan)			Çıkış Bölümü (AC Şebeke)		
Minimum MPP Gerilimi	610	V	Üç Fazlı	Frekans	50/60 Hz
Minimum Pnom için Gerilim	N/A	V	Giriş Gerilimi	400	V
Maksimum Giriş Akımı	N/A	A	Nominal AC Güç	409	kW
Nominal MPP Gerilimi	N/A	V	Maksimum AC Güç	490	kW
Maksimum MPP Gerilimi	885	V	Nominal AC Akım	590	A
Mutlak Maksimum FV Gerilimi	1000	V	Maksimum AC Akım	650	A
Güç Sınırı	2045	W			
Katalog Özellikleri			Verimlilik		
Nominal FV Güç	336	kW	Maksimum Verimlilik	98,9	%
Maksimum FV Güç	256	kW	EURO Verimlilik	98,1	%
Maksimum FV Akımı	650	A	Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10 °C	+ 55 °C
Yapısal Özellikler					
Genişlik	1100	mm	Derinlik	800	mm
Yükseklik	2200	mm	Ağırlık	1000	kg

PVsyst V6.78 benzetim programında, A firmasına ait İnce film (CdTe) yapıda 120 Wp gücünde FV panel ile D firmasına ait 409 kW gücündeki merkez inverter kullanılarak benzetim yapılmış ve Çizelge 4.3'te aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri verilmiştir

Benzetim Programında elde edilen günlük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verimlerinin aylık ortalama değerleri Şekil 4.1'de verilmektedir. İnce film FV kullanılmış en düşük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim değeri ise Aralık ayındadır bir santralde en yüksek referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verime Temmuz ayında ulaşılmıştır.

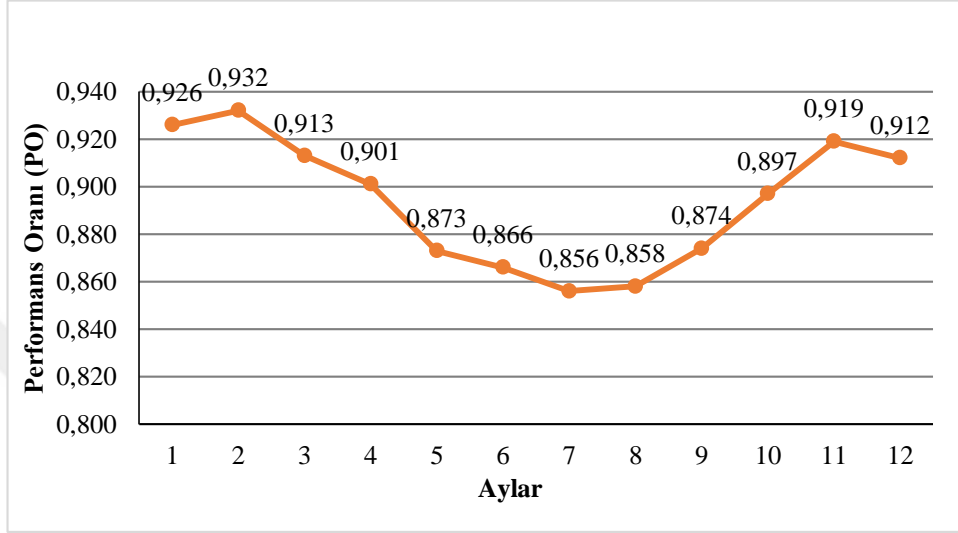
Çizelge 4.3. Benzetim Programında elde edilen aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri.

A Firmasının 120 Wp gücünde ince film FV panel ve D Firmasının 409 kW gücünde inverter (eğim açısı 25° ve azimuth açısı 0°)					
AYLAR	Yatay küresel ışıma (kWh/m ²)	Küresel Işıma (kWh/m ²)	Çıkış Gücü (kWh)	Şebekeye Aktarılan Enerji (kWh)	Ortam Sıcaklığı (°C)
Ocak	56	77	25635	25063	-0,1
Şubat	74	95	31613	31007	1,8
Mart	118	136	44172	43378	4,9
Nisan	147	153	49290	48472	9,5
Mayıs	184	174	54518	53527	14,4
Haziran	207	190	58787	57782	18,1
Temmuz	229	215	65366	64282	20,9
Ağustos	203	207	63173	62188	20,9
Eylül	153	170	52864	52003	16,7
Ekim	105	131	41821	41087	11,5
Kasım	71	100	33042	32447	6,1
Aralık	49	68	22513	21979	1,3
Yıl	1596	1715	542793	533215	10,6



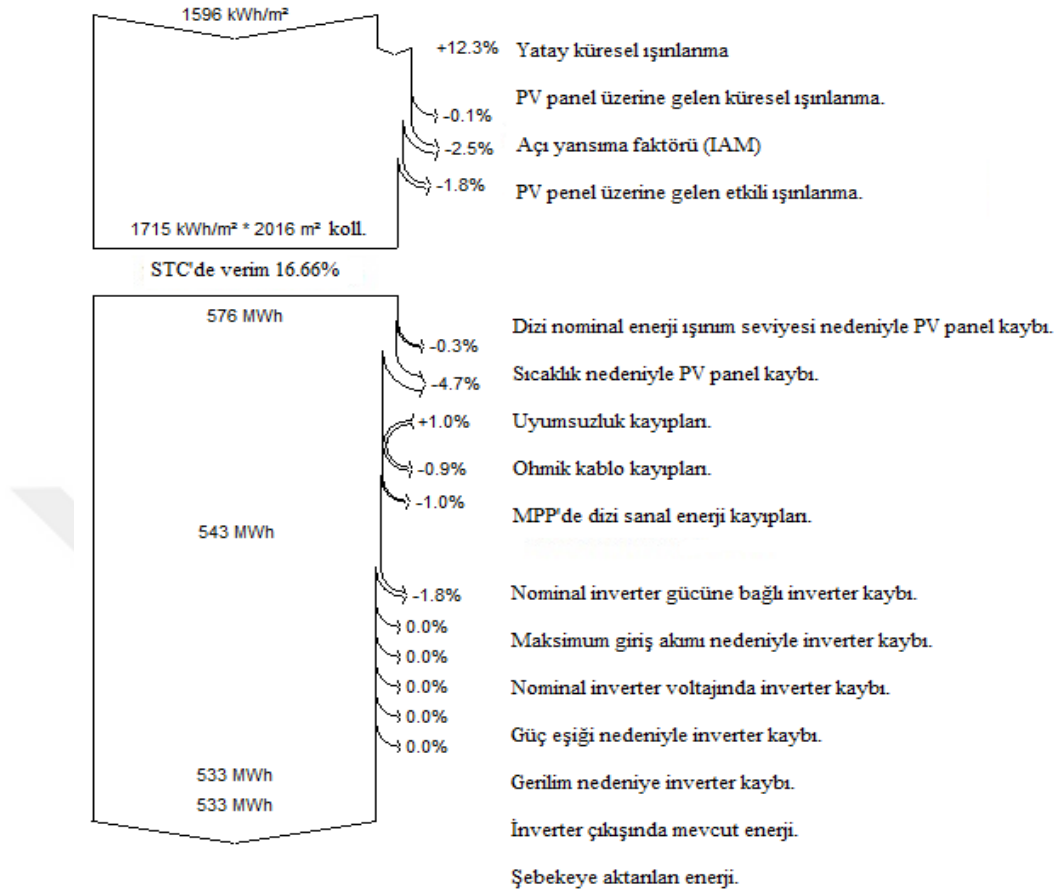
Şekil 4.1. Referans (Y_r), dize (Y_a) ve nihai (Y_f) Verim.

Benzetim programında elde edilen performans oranları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Santral en büyük performans oranına 0,93 değeri ile Şubat ayında ulaşmış olup en alçak değerine de 0,86 değeri ile Temmuz ayında ulaşmıştır.



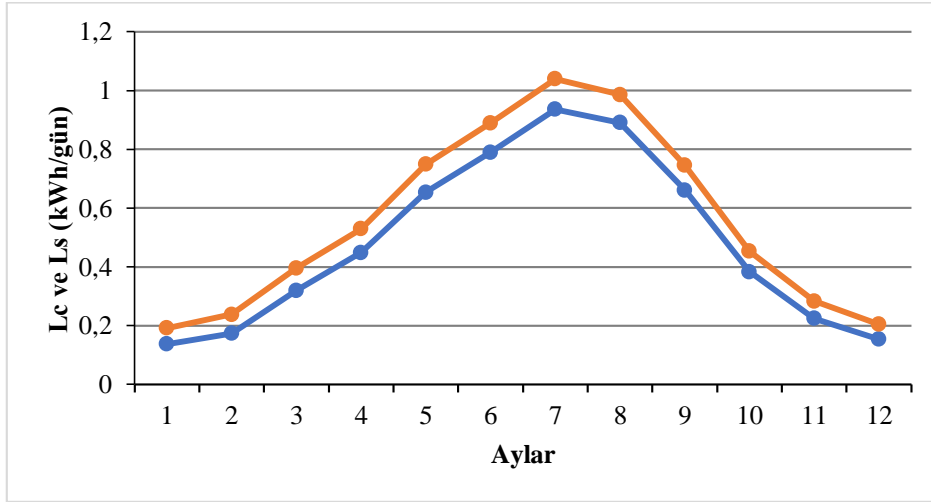
Şekil 4.2. Aylara göre performans oranı (PO) değişimi

Benzetim programında yapılan çalışma sonucu, kayıp diyagramı Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Elde edilen sistem kayıp diyagramında santralin kurulduğu alanda yatay küresel ışınlanma 1594 kWh/m^2 olarak hesap edilmiştir. FV Paneller 25° eğim açısı ile yerleştirildiği zaman FV Panel yüzeyine gelen ışın miktarı % 12,3 olarak artmaktadır. Dize kayıpları toplamda %4,4 ve inverter kayıpları ise %1,8 olarak hesap edilmiştir.



Şekil 4.3. Sistem kayıp diyagramı.

Benzetim programında ince film FV Panel ile deneyi yapılan çalışmada; Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Santralde dize (L_c) ve Sistem (L_s) kayıplarının en yüksek Temmuz ayında en az ise Aralık ayında meydana gelmektedir. Temmuz ayında kayıplarının en fazla olmasının sebebi, Temmuz ayında santralin maksimum üretim seviyesine ulaşmasından dolayı meydana gelmektedir.



Şekil 4.4. Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları.

Çizelge 4.4.'te detaylı sistem kayıpları gösterilmiştir. Çizelgede belirtildiği üzere tüm kayıpların maksimum olduğu ay Temmuz, minimum olduğu ay ise Aralık ayıdır.

Çizelge 4.4. Detaylı sistem kayıpları.

A firması ait 120 Wp güçte FV Panel ve D firmasına ait 409 kW güçte inverter (eğim açısı 25° ve azimuth açısı 0°)				
AYLAR	Modül Uyumsuzluğu kaybı (kWh)	Ohmik kablolama kaybı (kWh)	MPP'de sanal enerji (kablolama ve uyumsuzluk kayıplarından sonra)	İnverter kayıpları (kWh)
Ocak	235	193	25635	573
Şubat	289	248	31613	606
Mart	405	421	44172	793
Nisan	452	457	49290	818
Mayıs	500	583	54518	991
Haziran	540	670	58787	1006
Temmuz	601	810	65366	1084
Ağustos	581	773	63173	985
Eylül	486	602	52864	861
Ekim	384	410	41821	734
Kasım	303	267	33042	594
Aralık	206	157	22513	535
Yıl	4980	5590	542794	9579

4.1.2. Monokristal FV panel ile PVsyst v6.78 programında benzetimi ve değerlendirilmesi

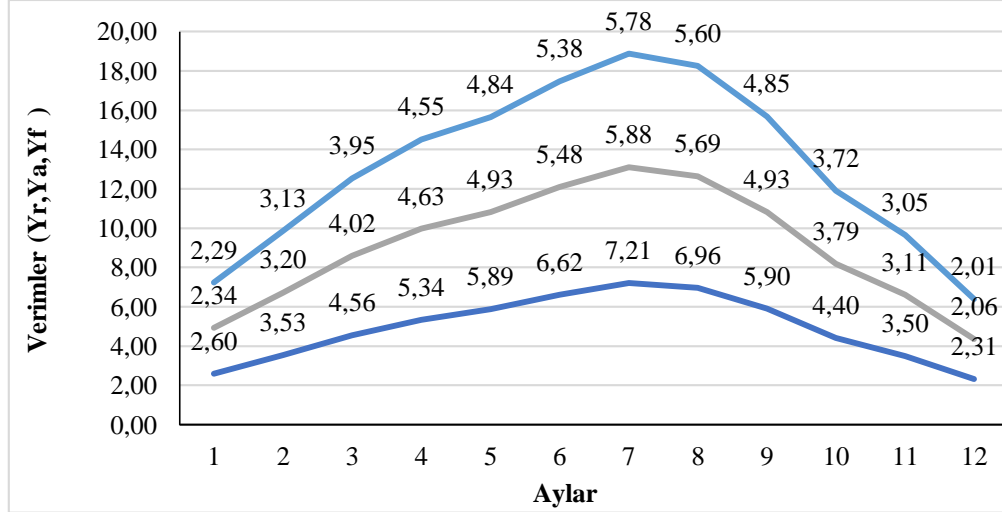
PVsyst V6.78 programında B firmasına ait, monokristal yapıda, 120 Wp gücünde FV Panel ile D firmasına ait 409 kW gücündeki merkez inverter kullanılarak benzetim yapılmıştır. Çizelge 4.5.'te B firmasına ait, monokristal yapıda, 120 Wp gücünde FV Panelin detaylı özellikleri verilmiştir. Çizelge 4.6.'da Benzetim programından elde edilen, aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. B firmasına Ait İnce Film FV Panel Detaylı Özellikleri

Nominal Güç							120	Wp
Üretici Teknik Özellikleri								
Referans şartlar	Gref	1000	W/m ²		Tref	25,0	°C	
Kısa Devre Akımı	Isc	7,370	A	Kısa Devre Gerilimi	Voc	22,3	V	
Maksimum Güç Noktasındaki Akımı	Imp	6,590	A	Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim	Vmpp	18,2	V	
Sıcaklık Katsayısı	mulsc	3,7	mA/°C					
	ya da	0,05	% I°C					
Model Değerleri								
Çalışma Şartları	GOper	1000	W/m ²		TOper	25	°C	
Maksimum Güç Noktası	Pmpp	120,8	W	Sıcaklık Katsayısı		-0,35	% I°C	
Maksimum Güç Noktasındaki Akımı	Imp	6,84	A	Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim	Vmpp	17,7	V	
Kısa Devre Akımı	Isc	7,37	A	Açık Devre Gerilimi	Voc	22,3	V	
Effektif/Hücre Alanı		N/A	%	Modül Alanı		11,93	%	
Detaylı Model Parametreleri				Temel Parametreler				
Paralel Devre Direnç	Rsh	120	ohm	Gamma	1,019			
	Rsh(G=0)	500	ohm	IoRef	0,38		nA	
Seri Devre Direnç	Rs	0,27	ohm	muVoc	-61		mV/°C	
Seri Devre Maksimum Direnç	Rsm	0,32	ohm	muPMak. sabit	-0,35		I°C	
Seri Devre Görünür Direnç	Rsg	0,4	ohm					
Modül Özellikleri				Hücre Özellikleri				
Uzunluğu	1494	mm		Seri	36		Adet	
Genişliği	678	mm		Paralel	1		Adet	
Kalınlık	45	mm		Hücre Alanı			cm ²	
Ağırlık	12	kg		Toplam Hücre	36		Adet	
Modül Alanı	1,013	m ²		Toplam Hücre Alanı			m ²	

Çizelge 4.6. Benzetim Programında elde edilen aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri.

B firmasına ait 120 Wp güçte Monokristal FV Panel ve D firmasına ait 409 kW güçte merkezi inverter (eğim açısı 25° ve azimuth açısı 0°)					
AYLAR	Yatay Küresel ışıma (kWh/m ²)	Küresel Işıma (kWh/m ²)	Çıkış Gücü (kWh)	Şebekeye Aktarılan Enerji (kWh)	Ortam Sıcaklığı (°C)
Ocak	56	76	24402	23838	-0,1
Şubat	74	94	30083	29490	1,8
Mart	118	134	41890	41122	4,9
Nisan	147	151	46708	45914	9,5
Mayıs	184	172	51367	50415	14,4
Haziran	207	188	55239	54279	18,1
Temmuz	229	213	61233	60210	20,9
Ağustos	203	205	59218	58287	20,9
Eylül	153	169	49714	48893	16,7
Ekim	105	130	39445	38736	11,5
Kasım	71	99	31336	30755	6,1
Aralık	49	67	21430	20904	1,3
Yıl	1596	1697	512066	502844	10,6

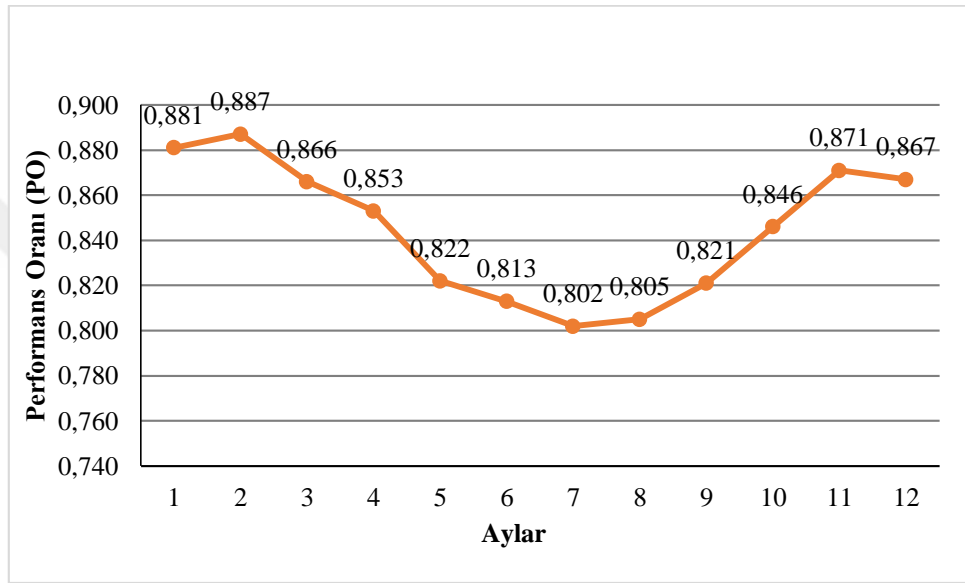


Şekil 4.5. Referans (Y_r), dize (Y_a) ve nihai (Y_f) verim.

Benzetim programında elde edilen günlük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verimlerinin aylık ortalama değerleri Şekil 4.5.'te verilmektedir. Benzetim programında Monokristal FV panel kullanıldığında en düşük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim

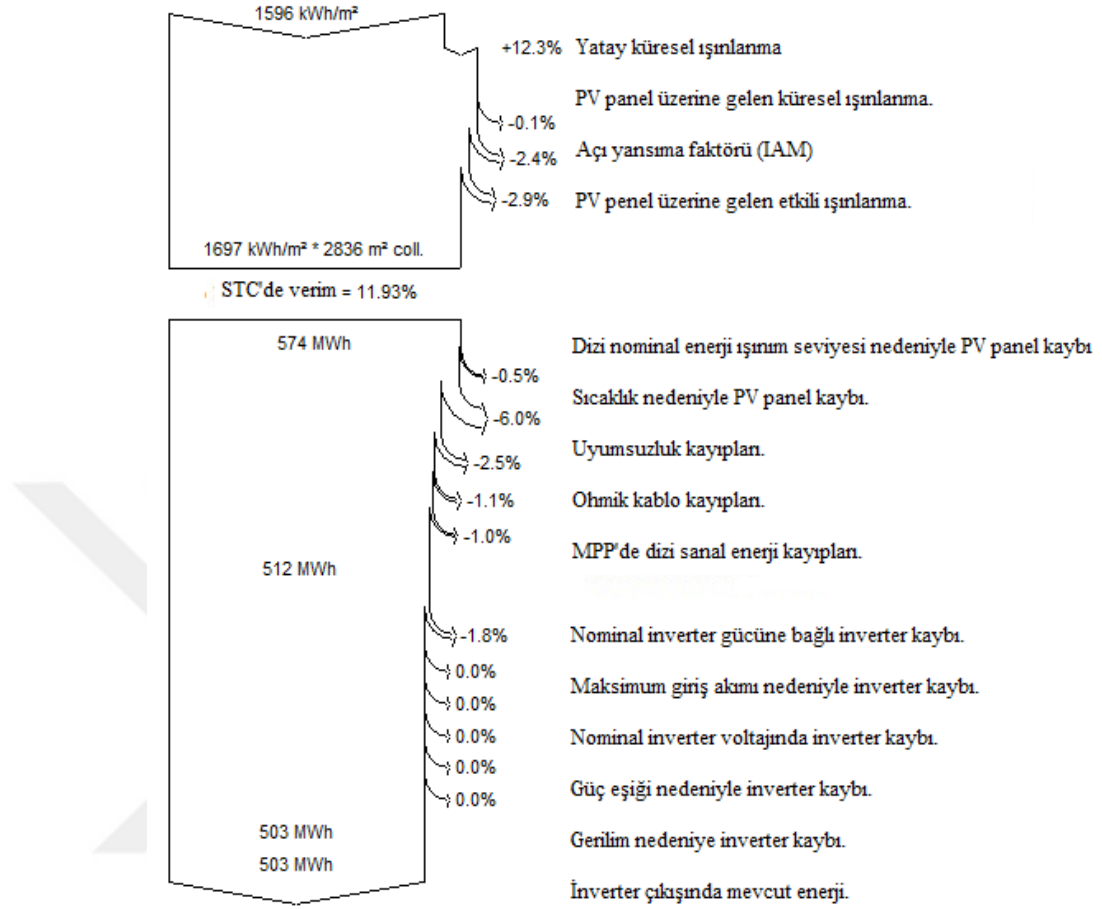
değerilerine Aralık ayında ulaşılmış ve en yüksek referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim değerine ise Temmuz ayında ulaşılmıştır.

Benzetim programında elde edilen performans oranları Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Santral en büyük performans oranına 0,89 değeri ile Şubat ayında ulaşmış olup en alçak değerine ise 0,80 değeri ile Temmuz ayında ulaşmıştır.



Şekil 4.6. Aylara göre performans oranı (PO) değişimi.

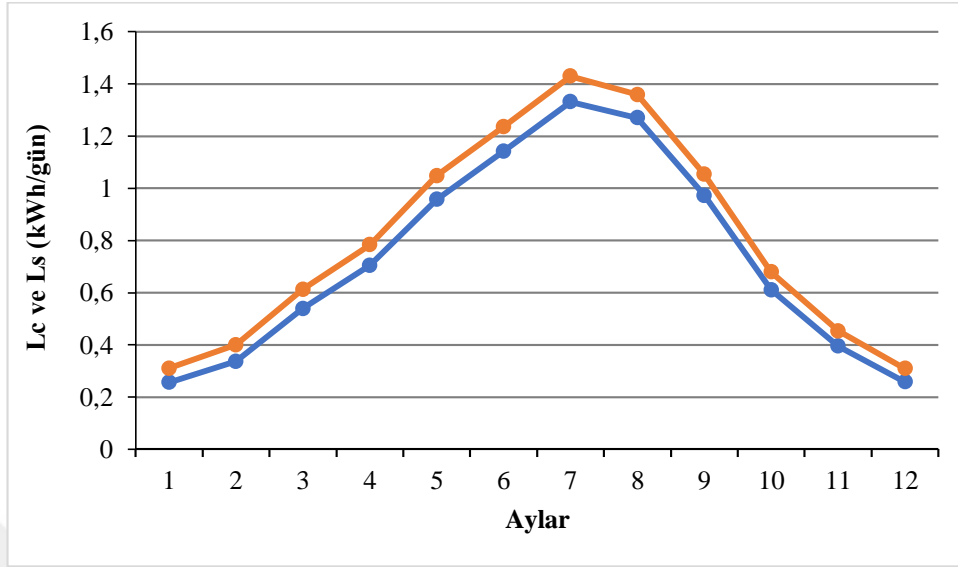
Benzetim programında yapılan çalışma sonucu kayıp diyagramı Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Dize kayıpları toplamda % 9,8 ve inverter kayıpları ise %1,8 olarak hesap edilmiştir.



Şekil 4.7. Sistem kayıp diyagramı.

Monokristal FV Panel ile yapılan benzetimde; Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Santralde dize (L_c) ve Sistem (L_s) kayıplarının en yüksek Temmuz ayında en az ise Aralık ayında meydana gelmektedir. Temmuz ayında kayıplarının en fazla olmasının sebebi Temmuz ayında santral maksimum üretim seviyesine ulaşmasından dolayı meydana gelmektedir.

Benzetim Programında elde edilen detaylı sistem kayıpları Çizelge 4.7.'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları.

Çizelge 4.7. Detaylı sistem kayıpları.

B firmasına ait 120 Wp güçte Monokristal FV Panel ve D firmasına ait 409 kW güçte merkezi inverter (eğim açısı 25° ve azimuth açısı 0°)				
AYLAR	Modül uyumsuzluğu kaybı (kWh)	Ohmik kablolama kaybı (kWh)	MPP'de sanal enerji (kWh) (kablolama ve uyumsuzluk kayıplarından sonra)	Küresel inverter kayıpları (kWh)
Ocak	273	181	24402	564
Şubat	337	232	30083	593
Mart	470	396	41890	768
Nisan	524	429	46708	794
Mayıs	578	547	51372	957
Haziran	621	628	55242	963
Temmuz	690	758	61260	1049
Ağustos	667	724	59247	959
Eylül	559	563	49724	830
Ekim	443	383	39445	709
Kasım	351	250	31336	581
Aralık	240	147	21430	526
Yıl	5754	5238	512138	9294

4.1.3. Polikristal FV panel ile pvsyst v6.78 programında benzetimi ve değerlendirilmesi

PVsyst V6.78 Programında C firmasına ait polikristal yapıda, 120 Wp gücünde FV Panel ile D firmasına ait 409 kW gücündeki merkez inverter kullanılarak benzetim yapılmıştır. Çizelge 4.8.'de C firmasına ait polikristal yapıda, 120 Wp gücünde FV panelin detaylı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. C firmasına ait ince film FV panel detaylı özellikleri.

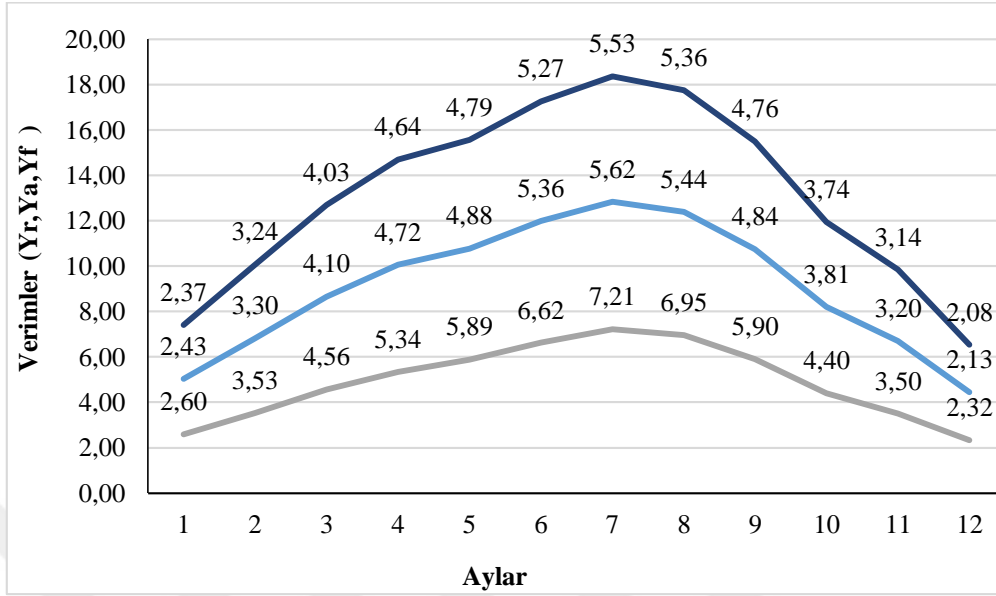
Nominal Güç							120	Wp
Üretici Teknik Özellikleri								
Referans şartlar	Gref	1000	W/m2		Tref	25,0	0C	
Kısa Devre Akımı	Isc	7,680	A	Kısa Devre Gerilimi	Voc	21,8	V	
Maksimum Güç Noktasındaki Akımı	Imp	6,890	A	Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim	Vmpp	17,4	V	
Sıcaklık Katsayısı	mulsc	3,5	mA/0C					
	ya da	0,045	% I0C					
Model Değerleri								
Çalışma Şartları	GOper	1000	W/m2		TOper	25	0C	
Maksimum Güç Noktası	Pmpp	120,4	W	Sıcaklık Katsayısı		-0,46	% I0C	
Maksimum Güç Noktasındaki Akımı	Imp	7,09	A	Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim	Vmpp	17	V	
Kısa Devre Akımı	Isc	7,68	A	Açık Devre Gerilimi	Voc	21,8	V	
Effektif/Hücre Alanı		13,76	%	Modül Alanı		12,02	%	
Detaylı Model Parametreleri				Temel Parametreler				
Paralel Devre Direnç	Rsh	110	ohm	Gamma	1,054			
	Rsh(G=0)	400	ohm	IoRef	1,44	nA		
Seri Devre Direnç	Rs	0,29	ohm	muVoc	-79	mV/0C		
Seri Devre Maksimum Direnç	Rsm	0,36	ohm	muPMak. sabit	-0,47	I0C		
Seri Devre Görünür Direnç	Rsg	0,42	ohm					
Modül Özellikleri				Hücre Özellikleri				
Uzunluğu	1482	mm		Seri	36	adet		
Genişliği	676	mm		Paralel	1	adet		
Kalınlık	45	mm		Hücre Alanı	243	cm2		
Ağırlık	12,5	kg		Toplam Hücre	36	adet		
Modül Alanı	1,002	m2		Toplam Hücre Alanı	0,875	m2		

Çizelge 4.9.'da Benzetim programından elde edilen, aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Benzetim programında elde edilen aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri.

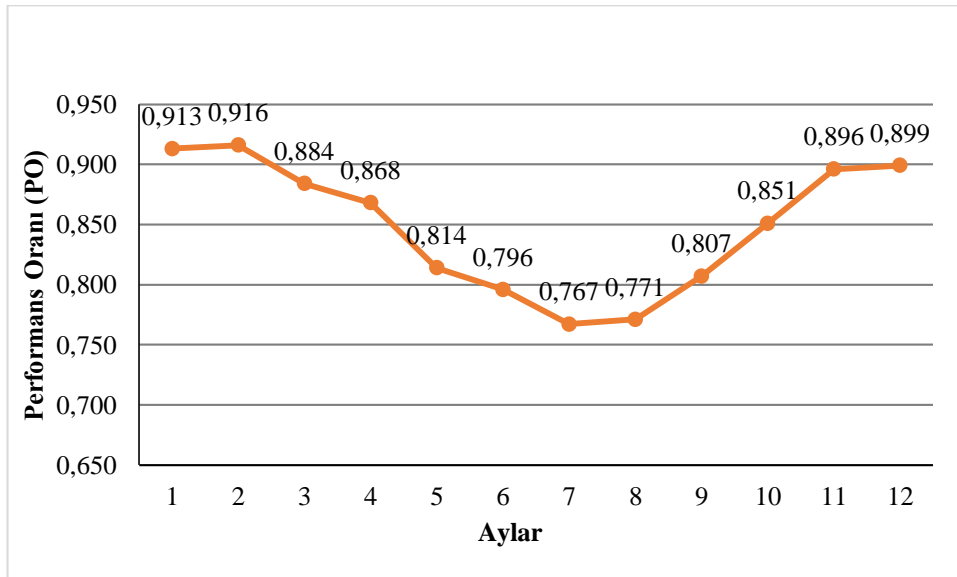
C firmasına ait 120 Wp güçte Polikristal FV Panel ve D firmasına ait 409 kW güçte Merkezi inverter (eğim açısı 25° ve azimuth açısı 0°)					
AYLAR	Yatay küresel ışıma (kWh/m ²)	Küresel Işıma (kWh/m ²)	Çıkış Gücü (kWh)	Şebekeye Aktarılan Enerji (kWh)	Ortam Sıcaklığı (°C)
Ocak	56	76	25292	24726	-0,1
Şubat	74	94	31046	30450	1,8
Mart	118	134	42752	41983	4,9
Nisan	147	151	47529	46734	9,5
Mayıs	184	173	50863	49935	14,4
Haziran	207	188	54060	53132	18,1
Temmuz	229	213	58551	57581	20,9
Ağustos	203	205	56714	55831	20,9
Eylül	153	169	48813	48019	16,7
Ekim	105	130	39708	39007	11,5
Kasım	71	99	32228	31645	6,1
Aralık	49	67	22216	21689	1,3
Yıl	1596	1699	509771	500732	10,6

Benzetim programında elde edilen günlük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verimlerinin aylık ortalama değerleri Şekil 4.9.'da verilmektedir. Monokristal FV kullanılmış bir santralde en yüksek referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verime Temmuz ayında ulaşılmıştır. En düşük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim değeri ise Aralık ayındadır.



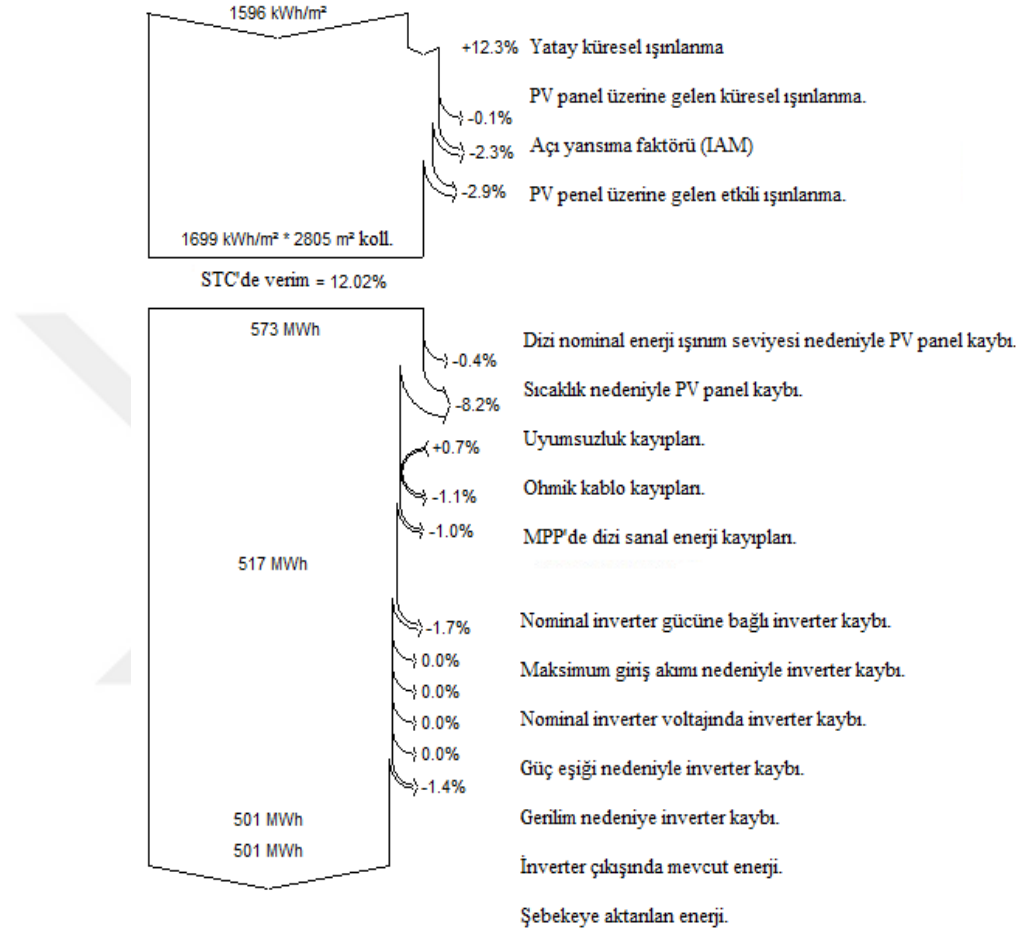
Şekil 4.9. Referans (Y_r), dize (Y_a) ve nihai (Y_f) verim.

Benzetim Programında elde edilen performans oranları Şekil 4.10.'da gösterilmiştir. Santral en büyük performans oranına 0,92 değeri ile Şubat ayında ulaşmış olup en alçak değerine de 0,77 değeri ile Temmuz ayında ulaşmıştır.



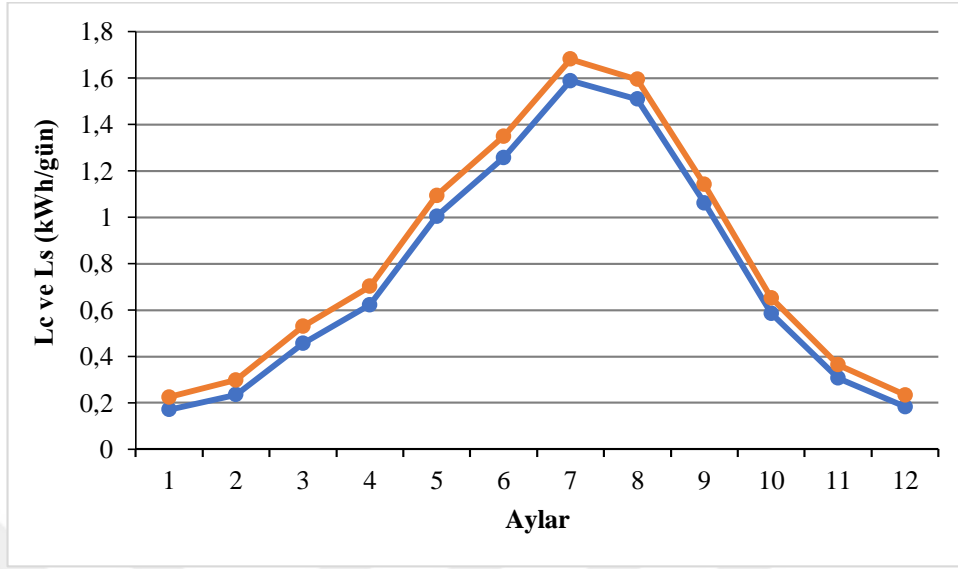
Şekil 4.10. Aylara göre performans oranı (PO) değişimi.

Benzetim Programında yapılan çalışma sonucu kayıp diyagramı Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Dize kayıpları toplamda % 9,1 ve inverter kayıpları ise %1,8 olarak hesap edilmiştir.



Şekil 4.11. Sistem kayıp diyagramı.

Benzetim Programında Polikristal FV Panel ile deneyi yapılan çalışmada; Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Santralde dize (L_c) ve Sistem (L_s) kayıp oranlarının en yüksek Temmuz ayında, en az ise Aralık ayında meydana gelmektedir. Temmuz ayında kayıplarının en fazla olmasının sebebi santralin maksimum üretim seviyesine ulaşmasından dolayı meydana gelmektedir.



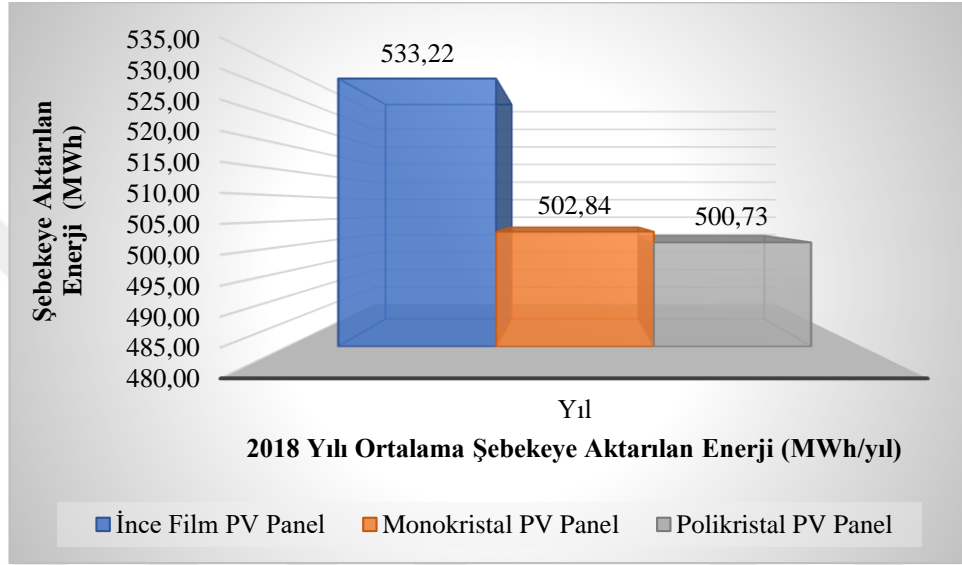
Şekil 4.12. Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları.

Benzetim Programında elde edilen detaylı sistem kayıpları Çizelge 4.10'da görülmektedir

Çizelge 4.10. Detaylı sistem kayıpları.

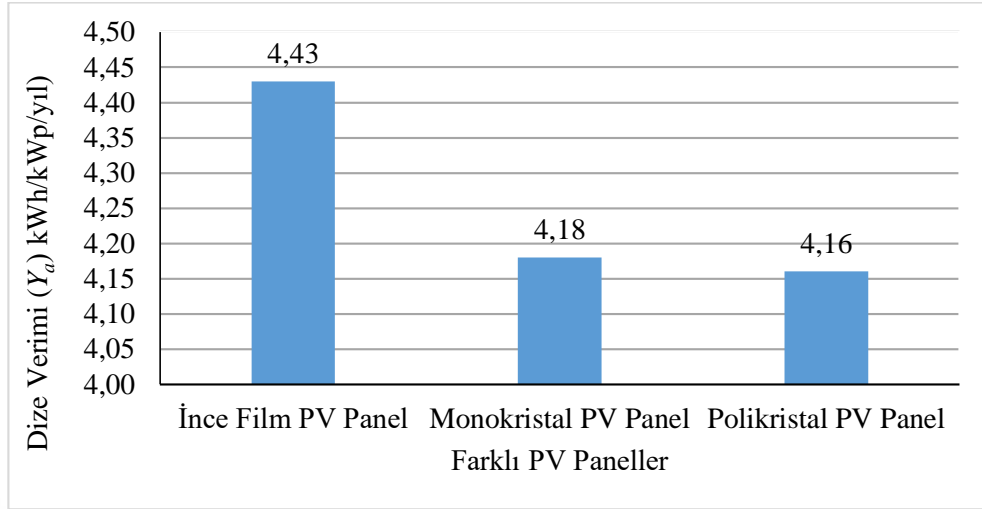
C firmasına ait 120 Wp güçte Polikristal FV Panel ve D firmasına ait 409 kW güçte merkezi inverter (eğim açısı 25° ve azimuth açısı 0°)				
AYLAR	Modül uyumsuzluğu kaybı (kWh)	Ohmik kablolama kaybı (kWh)	MPP'de sanal enerji (kWh) (kablolama ve uyumsuzluk kayıplarından sonra)	Küresel inverter kayıpları (kWh)
Ocak	283	187	25292	566
Şubat	348	239	31046	596
Mart	480	407	42789	806
Nisan	534	441	47556	822
Mayıs	580	560	51594	1658
Haziran	620	642	55119	1987
Temmuz	683	774	60638	3056
Ağustos	661	739	58676	2844
Eylül	559	576	49704	1685
Ekim	448	393	39916	909
Kasım	361	257	32228	583
Aralık	249	152	22216	527
Yıl	5808	5366	516772	16039

Şehzade Park GES için farklı panel tiplerinin enerji üretimleri, dize verimleri ve sistem kayıpları yukarıdaki şekil ve çizelgeler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Üç farklı panel tipinde şebekeye aktardığı enerji farklılık göstermektedir. Şekil 4.13.'te üç farklı FV Panel tipinin 2018 yılı için ortalama şebekeye aktardıkları enerji gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi en fazla şebekeye aktarılan enerji ince film FV'de sağlanmaktadır.



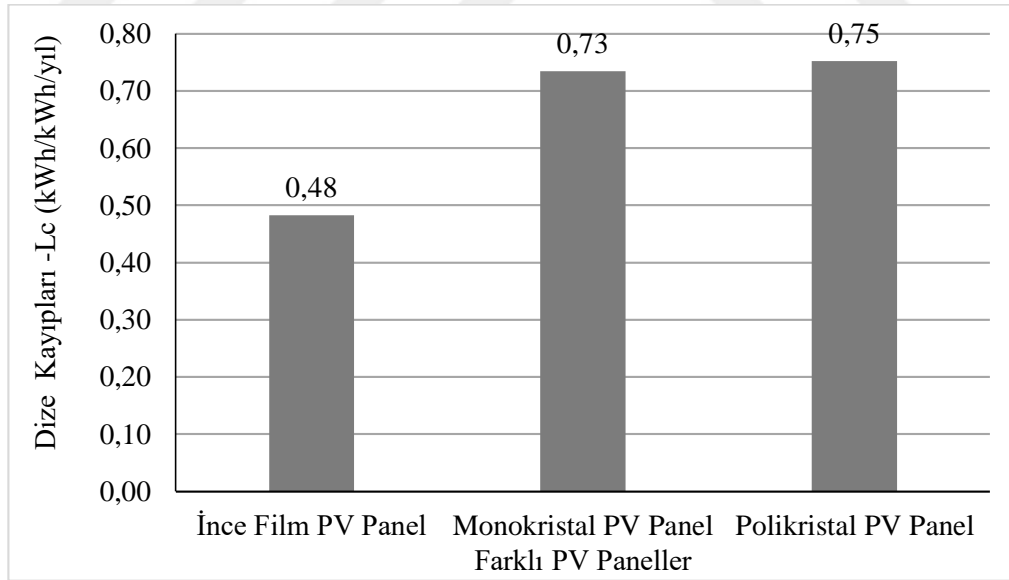
Şekil 4.13. Farklı FV panel tipleri için şebekeye aktarılan enerji.

Şekil 4.14.'te üç farklı FV Panel tipinin 2018 yılı üç farklı FV Panel tipinin yıllık ortalama dize verimi (Y_a) gösterilmektedir. Şekilde de gösterildiği üzere ince film FV panel dize verimi polikristal ve monokristal FV panel tiplerine göre daha yüksek olmaktadır. İnce film FV panellerin tercih edilmesinin bir nedeni de Kütahya İli'nin iklimsel yapısından dolayı en yüksek verime sahip olmalarıdır. Şöyle ki; santralde tercih edilen ince film FV panel hava sıcaklığının düşük olduğu ortamlarda daha verimli enerji üretmektedir.



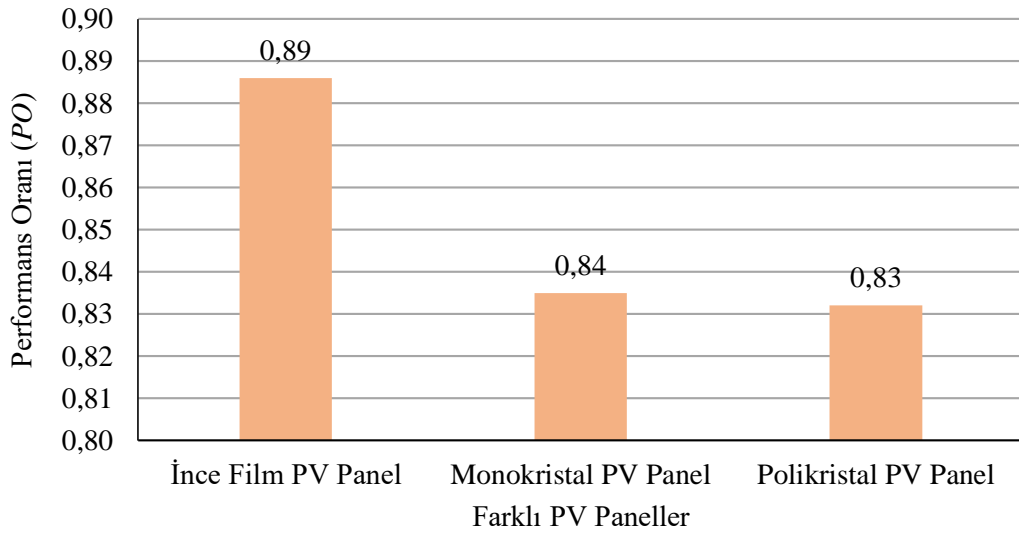
Şekil 4.14. Farklı FV panel tipleri için dize verimi (Y_a).

Şekil 4.15.'te üç farklı FV Panel tipinin 2018 yılına ait yıllık ortalama dize kayıpları (L_c) gösterilmektedir. Şekilde de gösterildiği gibi en az dize kaybına sahip ince film FV panel kullanılan GES'nde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.15. Farklı FV panel tipleri için dize kayıpları (L_c).

Şekil 4.16.'da 2018 yılı için üç farklı FV panel tipine ait yıllık performans oranları (PO) gösterilmektedir. Şekil 4.16'da da gösterildiği üzere ince film FV panelin performans oranının oldukça iyi olmasından dolayı Şehzade GES Projesinde kullanılması tercih edilmiştir.



Şekil 4.16. Farklı FV panel tipleri için performans oranı (PO).

Yukarıda benzetim programından elde edilen veriler haricinde Şehzade Park GES projesinde ince film FV Panelin tercih edilmesinin sebepleri arasında; FV modülleri kaplayan cam, güneş ışığını yansıtmayan özellikte ve ince film panel yapısı gereği gölgelenme kayıpları en az düzeyde olmasıdır. Polikristal ve monokristal FV panellerde panel üzerine düşen gölge tüm hücre dizisini etkiler ve enerji üretimini durdurur. Fakat ince film FV panelde gölge hangi hücre dizisinin üzerine düştü ise sadece o hücre dizisi enerji üretimini durdurur, diğer hücre dizeleri gölgeden etkilenmez. Bu nedenle diğer FV panel tiplerine göre, dize kayıpları azdır ve dize verimliliği de fazladır.

Çizelge 4.11.'de Üç farklı FV panel tipi için Performans Oranı (PO), Kapasite Faktörü (KF) ve Verim verilmektedir. Çizelgede de görüldüğü üzere, ince film panel KF , verim ve PO açısından diğer FV panel tiplerine göre üstünlük göstermektedir.

Çizelge 4.11. Üç Farklı FV Panel İçin- PO (Performans Oranı), KF (Kapasite Faktörü) ve verim.

	Nihai Verim	Referans Verim	Bir Yıl Boyunca Üretilen Toplam Enerji (kWh)	Sistemin Ürettiği AC güç (kWe)	Kurulu FV Gücü (kWp)	Sisteme Gelen Işınım (kWh/m ²)	Sistemin Yüzey Alanı (m ²)	Performans Oranı	Kapasite Faktörü %	Verim %
FV Paneller	Y_f	Y_r	$E_{AC,a}$	E_{AC}	$P_{(PV, rated)}$	H_t	A_a	$PO=(Y_f/Y_r)$	$KF=E_{AC,a}/(8760 \cdot P_{PV, rated})$	$\eta_{(sistem)} = \frac{E_{AC}}{E_{AC} \cdot (H_t \cdot A_a)}$
İnce Film	4,34	4,91	533215	542793	336	1791,8	2016	0,89	18	15
Monokristal	4,1	4,91	502844	512066	336	1791,8	2836	0,84	17	10
Polikristal	4,08	4,91	500732	509771	336	1791,8	2805	0,83	17	10

4.2. Evliya Çelebi Ges'nin PVsyst V6.78 Benzetim Programı İle Enerji Üretiminin Değerlendirilmesi

Kütahya Belediyesi tarafından ihalesi gerçekleştirilen 545 kWp kurulu güce sahip GES'nin PVsyst V6.78 benzetim programında çalışması yapıp, bir yıllık enerji üretim miktarı, santralin kayıpları ve kurulacak santralin verimliliği değerlendirilmiştir.

Şehzade Park GES projesinde kullanılan A firmasına ait 118 Wp gücünde FV panel kullanılmıştır. İnverter tipi ise Evliya Çelebi GES projesinde değiştirilmiştir. Şehzade GES'inde merkezi inverter kullanılması sebebiyle santralde herhangi bir nedenle arıza meydana geldiğinde santralin enerji üretimi tamamen durmaktadır. Bu nedenle enerji üretiminde sürekliliğin sağlanabilmesi için kullanılan merkezi inverterden vazgeçilmiş ve onun yerine E firmasına ait beş adet 100 kW gücünde String (dizi) tipte inverter tercih edilmiştir. Evliya Çelebi GES sahasında 42 adet seri, 11 adet paralel olmak üzere 10 dizi, toplam 4620 adet FV panel kullanılmıştır. FV paneller Projede 25° eğim açısı ve 0° azimut açısı ile yerleştirilmiştir. Santralin üretim değerleri hesap edilirken 2018 yılına ait Kütahya ili meteorolojik verileri SOLARGİS sitesinden elde edilmiştir. Çizelge 4.12.'de Evliya Çelebi GES'inde String (Dizi) tipte kullanılan E firmasına ait İnverterin detaylı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.12. E Firmasına Ait String (Dizi) İnverter Detaylı Özellikleri.

Giriş Bölümü (DC FV Alan)			Çıkış Bölümü (AC Şebeke)		
Minimum MPP Gerilimi	360	V	Üç Fazlı	Frekans	50/60 Hz
Minimum Pnom için Gerilim	480	V	Giriş Gerilimi	400	V
Maksimum Giriş Akımı	35,5	A	Nominal AC Güç	100	kVA
Nominal MPP Gerilimi	620	V	Maksimum AC Güç	100	kVA
Maksimum MPP Gerilimi	1000	V	Nominal AC Akım	145	A
Mutlak Maksimum FV Gerilimi	1000	V	Maksimum AC Akım	145	A
Güç Sınırı	600	W			
Katalog Özellikleri			Verimlilik		
Nominal FV Güç	102	kW	Maksimum Verimlilik	98,43	%
Maksimum FV Güç	160	kW	EURO Verimlilik	98,2	%
Maksimum FV Akımı	216	A	Çalışma Sıcaklık Aralığı	-25 °C	+60 °C
Yapısal Özellikler					
Genişlik	1086	mm	Derinlik	419	mm
Yükseklik	869	mm	Ağırlık	125	kg

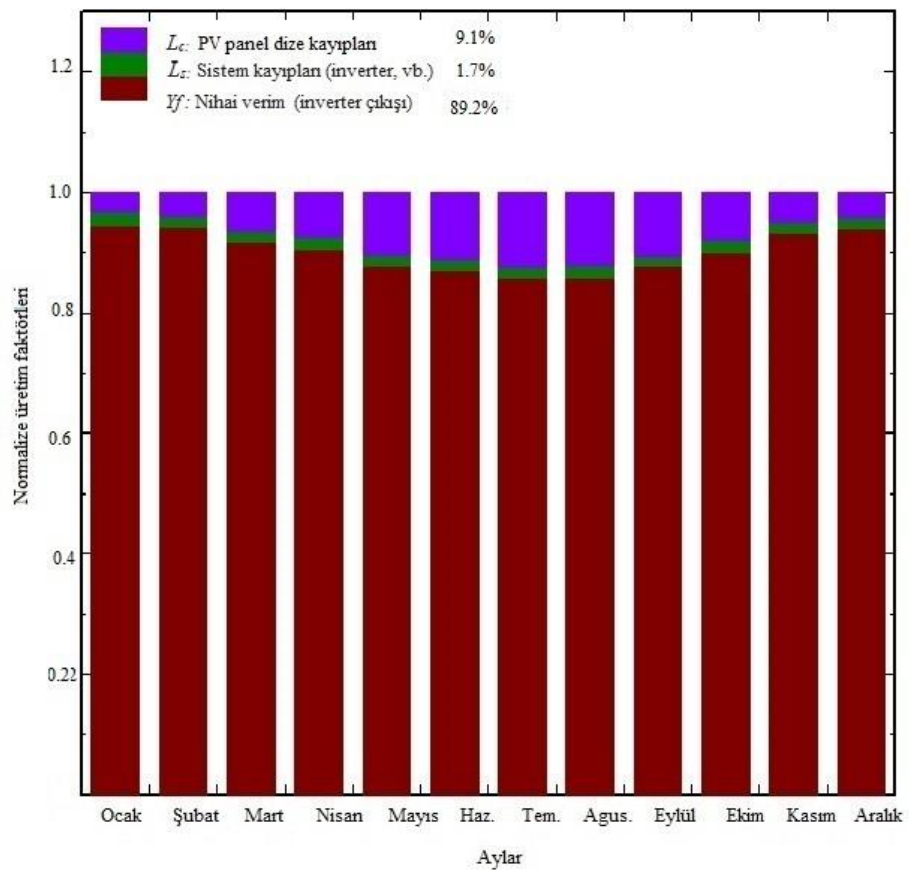
Çizelge 4.13.'te, benzetim programında çalışılmış olan Evliya Çelebi GES'in aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.13. Benzetim programında elde edilen aylara göre ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri.

A firmasına ait 118 Wp güçte İnce Film FV Panel ve E firmasına ait 100 kW güçte String (Dizi) inverter					
AYLAR	Yatay küresel ışıma (kWh/m ²)	Küresel Işıma (kWh/m ²)	Çıkış Gücü (kWh)	Şebekeye Aktarılan Enerji (kWh)	Ortam Sıcaklığı (°C)
Ocak	56	78	42188	41338	-0,1
Şubat	74	96	51569	50580	1,8
Mart	118	137	71817	70432	4,9
Nisan	147	154	80257	78796	9,5
Mayıs	184	175	88716	86980	14,4
Haziran	207	191	95609	93772	18,1
Temmuz	229	216	106199	104132	20,9
Ağustos	203	208	102639	100661	20,9
Eylül	153	171	85915	84295	16,7
Ekim	105	132	68030	66736	11,5
Kasım	71	102	54237	53222	6,1
Aralık	49	69	37374	36625	1,3
Yıl	1596	1730	884550	867571	10,5

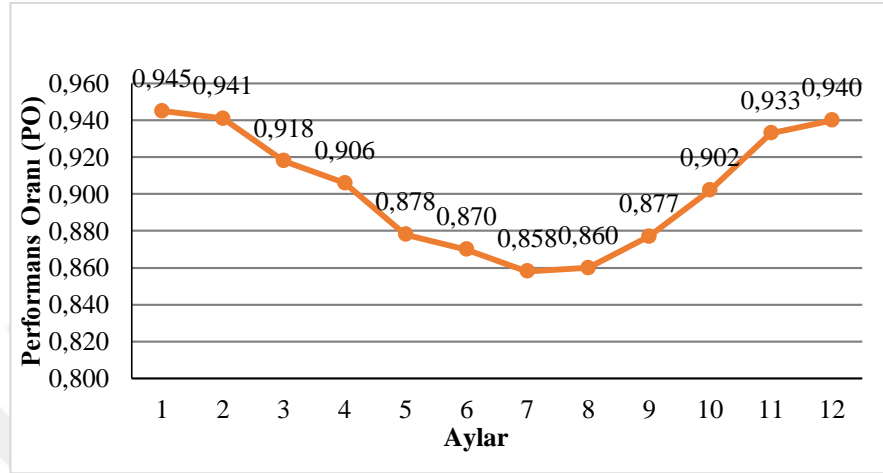
Çizelge 4.13.'te görüldüğü üzere en fazla çıkış gücü ve şebekeye aktarılan en fazla enerji Temmuz ayında elde edilmiştir. En az enerji ise Aralık ayında elde edilmektedir. Eğer santral bir sene boyunca devamlı çalışacak olursa, şebekeye yaklaşık olarak yılda 867,571 MWh enerjiyi aktarması beklenmektedir.

Şekil 4.17.'de PVsyst V 6.78 benzetim programından elde edilen Evliya Çelebi GES'nin 2018 yılına ait ortalama günlük FV panel dize kaybı (L_c), sistem kaybı (L_s) ve günlük ortalama üretilen enerji gösterilmektedir.



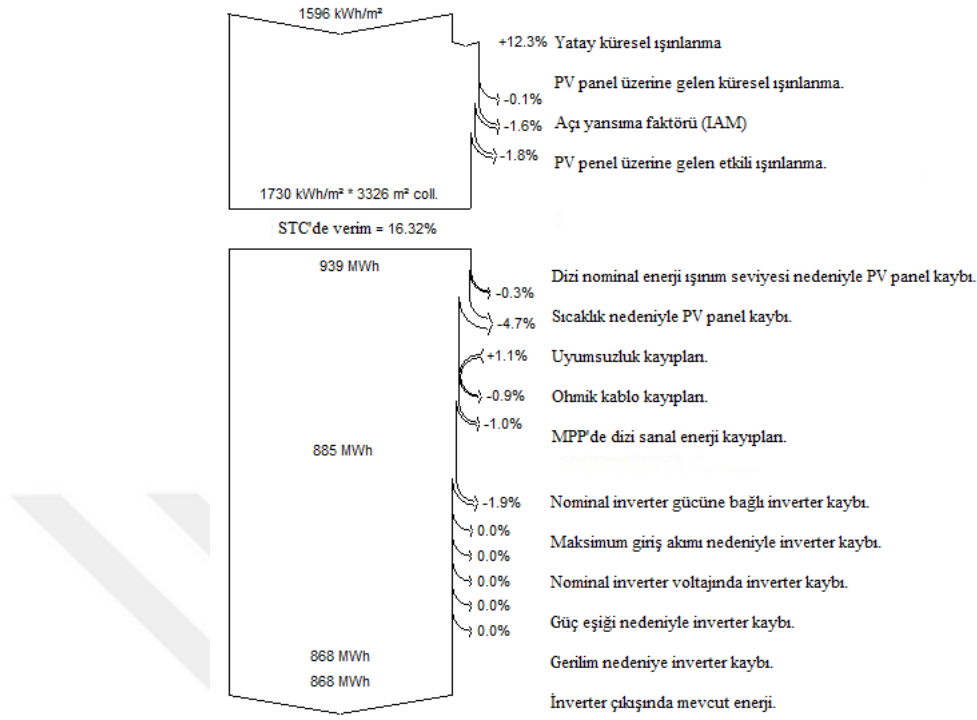
Şekil 4.17. Normalize üretim faktörleri (L_c , L_s ve Y_f).

Şekil 4.18.'de PVsyst V 6.78 benzetim programından elde edilen Evliya Çelebi GES'nin 2018 yılına ait Performans oranı (PO) verilmektedir. Şekil 4.18.'de görüldüğü üzere GES'i Şubat ayında maksimum performans oranına sahip olmaktadır.



Şekil 4.18. Performans oranı (PO).

Şekil 4.19.'da Evliya Çelebi GES'nin yıllık olarak kayıp diyagramı gösterilmektedir. Yıllık dize kayıpları (L_c) toplam %5.8 yıllık inverter kayıpları ise toplam %1.9 olarak hesap edilmiştir.



Şekil 4.19. Sistem kayıp diyagramı.

Sonuç olarak Evliya Çelebi GES projesinin amacı, daha önceden kurulumu yapıлып, halen üretime devam eden Şehzade Park GES'ni geliştirmek ve termik santraller nedeniyle doğaya oldukça fazla yayılan CO₂ salınımını en az seviyede tutmak ve yıllık 867,571 MWh enerji elde etmektir. Fakat OEDAŞ ile yapılan bağlantı anlaşması sebebiyle santralimizin kurulu gücü 500 kWp'dir. Bu sebeple santral üretiminin 0,92'sinin şebekeye aktarılmasına müsaade edilmektedir. Dolayısıyla yıllık şebekeye aktarılan gücümüz 798,868 MWh civarında olacaktır.

Evliya Çelebi GES şebekeye bağlı bir santral olması sebebiyle EPDK tarafından 12 Mayıs 2019 tarihli resmi gazetede yayınlanan "ELEKTRİK PİYASASINDA LİSANSIZ ELEKTRİK ÜRETİM YÖNETMELİĞİ" ne göre enerji satışını dağıtım şirketi belirleyecektir. Bu sebeple satış bedeli belli olmadığı için bir yıllık kazanç değeri hesap edilememiştir.

5. ŞEHZADE PARK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Bu tez çalışmasında Kütahya Belediyesi tarafından kurulumu yapılan Şehzade Park GES'nin farklı panel tipleri kullanılarak PVsyst V6.78 benzetim programında çalışmaları yapılmış ve üretim verileri ortaya konulmuştur. Benzetim Programından elde edilen veriler gerçek verilerle karşılaştırılmış ve Şehzade Park GES'nin ekonomik analizi yapılmıştır.

Çizelge 5.1.'de farklı FV Panel tipleri kullanılarak şebekeye aktarılan enerji ve Şehzade Park GES'nde şebekeye aktarılan enerji miktarı gösterilmektedir. Çizelgede gerçek üretim ile benzetim programından elde edilen üretimler arası epeyce fark olduğu görülmektedir. Enerji üretimleri arasındaki farkın sebebi; Şehzade Park GES Projesi için OEDAŞ ile yapılan bağlantı sözleşmesi gereği santralimizin üretim kapasitesi 280 kWe değerinde sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle şebekeye aktarılan enerji %83 düzeyindedir.

Çizelge 5.1. Şehzade Park GES'nin üretim verileri.

Aylar	PVsyst V6.78 Benzetim Programı Üretim Sonuçları			Gerçek Üretim Sonuçları
	İnce Film FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Monokristal FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Polikristal FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	İnce Film FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)
Ocak	25,06	23,84	24,73	
Şubat	31,01	29,49	30,45	6,78
Mart	43,38	41,12	41,98	40,94
Nisan	48,47	45,91	46,73	54,51
Mayıs	53,53	50,42	49,94	46,76
Haziran	57,78	54,28	53,13	36,62
Temmuz	64,28	60,21	57,58	9,93
Ağustos	62,19	58,29	55,83	39,85
Eylül	52,00	48,89	48,02	47,77
Ekim	41,09	38,74	39,01	40,76
Kasım	32,45	30,76	31,65	20,58
Aralık	21,98	20,90	21,69	10,56
Toplam	533,22	502,84	500,73	355,06

Çizelge 5.2.'de sınırlandırılan düzeyde elde edilen şebekeye aktarılan enerji ve Şehzade Park GES'nde kurulumundan itibaren aylık olarak şebekeye aktarılan enerji miktarları verilmiştir.

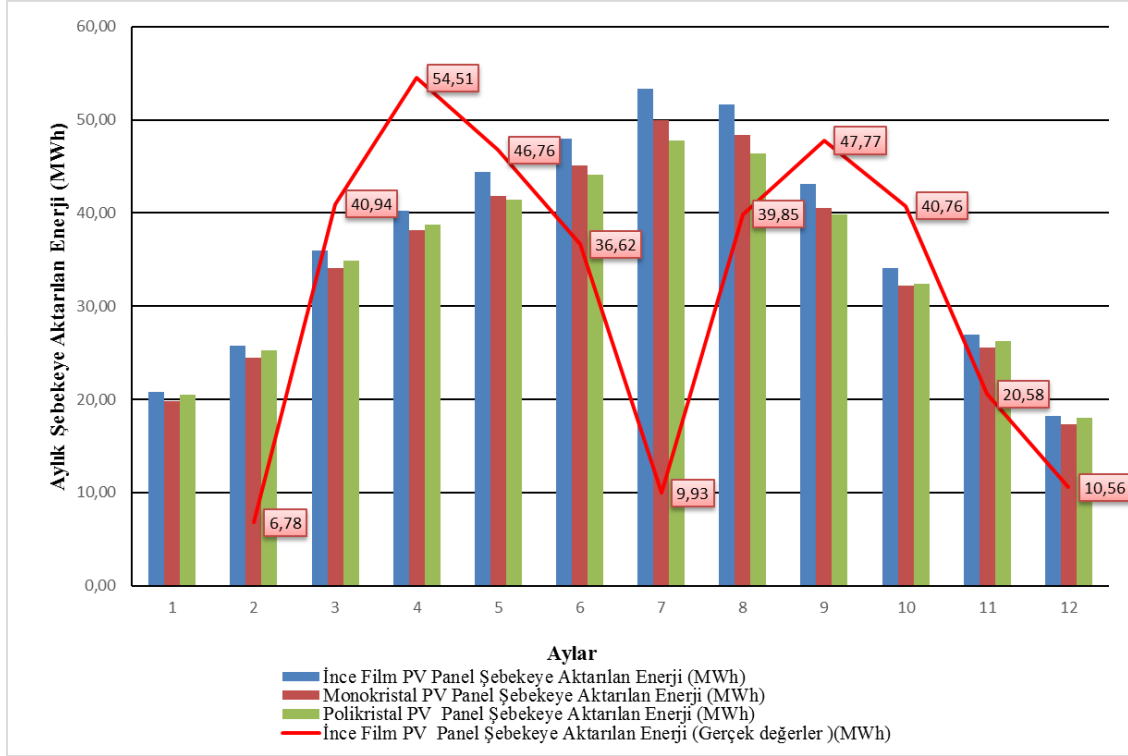
Çizelge 5.2. Şehzade Park GES'nin üretim verileri (280 kWp kapasite için sınırlandırılmış şebekeye aktarılan enerji).

Aylar	PVsyst V6.78 Benzetim Programı Üretim Sonuçları			Gerçek Üretim Sonuçları
	İnce Film FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Monokristal FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Polikristal FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	İnce Film FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)
Ocak	20,80	19,79	20,52	
Şubat	25,74	24,48	25,27	6,78
Mart	36,00	34,13	34,85	40,94
Nisan	40,23	38,11	38,79	54,51
Mayıs	44,43	41,84	41,45	46,76
Haziran	47,96	45,05	44,10	36,62
Temmuz	53,35	49,97	47,79	9,93
Ağustos	51,62	48,37	46,34	39,85
Eylül	43,16	40,58	39,86	47,77
Ekim	34,10	32,15	32,38	40,76
Kasım	26,93	25,53	26,27	20,58
Aralık	18,24	17,35	18,00	10,56
Yıl	421,77	397,57	395,08	355,06

Çizelge 5.2.'ye göre ince film FV panelde şebekeye aktarılan enerji fazla olmakla birlikte gerçek sonuç ile arasında 66,71 MWh'lik fark bulunmaktadır. Bu farkın sebebi ise santralimiz 21 Şubat 2018 tarihi itibariyle üretime başladığı için Ocak ayında üretim yoktur. Bir diğer sebebi ise; Santralimizde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında zaman zaman arıza meydana geldiği için bu aylarda üretmesi gereken değerlerin altında enerji üretmiştir.

Şekil 5.1.'de benzetim programında farklı FV Panel tipleri ile şebekeye aktarılan enerji ile gerçek şebekeye aktarılan enerji karşılaştırılmıştır. Gerçek üretim değerleri ile benzetim programında elde edilen değerler benzerlik göstermektedir. Şekilde bazı aylarda üretimde azalma olduğu görülmektedir. Ocak ve Şubat aylarında üretimlerin az olmasının sebebi santralimiz 21 Şubat 2018 tarihinden itibaren üretime başlamıştır. Bu sebeple benzetim programında elde edilen

değerler gerçek üretim değerleriyle uyuşmamaktadır. Şekil 5.1.'de yaz aylarında üretimde meydana gelen azalmanın sebebi ise, santralimizde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında arızalar olmuş ve santralde üretim durmuştur.



Şekil 5.1. Benzetim programı ve santral enerji üretim değerleri.

Çizelge 5.3.'te Şhzade Park GES'nin günlük şebekeye aktarılan gerçek enerji değerleri verilmiştir. Santral Şubat ayından itibaren üretime başladığı için çizelgede Ocak ayı göz önünde tutulmamıştır. Çizelgedeki sıfır değerleri santralin üretiminin durduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5.3. Şehzade Park GES'nin günlük şebekeye aktarılan enerji miktarı (kWh).

Gün	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0	1327	1784	1998	1677	0	0	2050	698	713	163
2	0	1199	1743	1806	2102	0	0	2125	1944	396	579
3	0	1258	2200	2049	2171	235	62	2071	2002	218	394
4	0	933	2211	1663	2357	2207	229	1985	1995	250	202
5	0	651	2177	1828	1550	0	1650	1292	1869	1051	37
6	0	1473	1992	790	1963	9	1841	1692	1601	295	108
7	0	1419	2021	1457	1887	48	1848	1737	1529	1686	316
8	0	1074	93	680	2004	2017	1842	1643	946	1646	1278
9	0	791	1571	1091	2228	1654	613	1180	1154	1391	776
10	0	2043	2177	1149	1790	1593	455	1696	531	1169	347
11	0	1714	1113	1525	2056	2165	0	1934	628	719	485
12	0	2034	1492	883	2340	0	0	1238	1522	1109	264
13	0	1562	2103	2374	2297	0	0	693	1495	1503	751
14	0	1129	2130	2330	1543	0	0	868	1482	795	85
15	0	920	1424	2341	1439	0	234	1761	1343	486	750
16	0	1732	1858	1931	57	0	2152	1433	758	316	308
17	0	1580	1433	1895	723	0	1592	1588	710	250	228
18	0	546	2031	1631	0	0	1914	1892	867	1051	356
19	0	1527	1760	1520	968	0	2167	2063	1325	385	129
20	457	1741	668	1421	0	0	2205	2009	1311	346	222
21	858	1940	1473	1574	0	0	1692	2006	190	507	598
22	884	1243	2289	1144	0	0	2000	1982	1854	201	500
23	714	622	2253	1896	1184	0	1860	1983	1813	745	270
24	1109	1083	2255	1307	1737	0	1737	690	1727	1211	1039
25	324	1467	2144	919	142	0	1825	276	1752	544	0
26	807	774	2008	1143	174	0	1929	1537	1555	342	0
27	1171	1431	1559	1119	0	0	1806	1815	1528	365	0
28	452	1617	2245	1286	0	0	2018	2017	1648	32	74
29	0	188	2249	1384	234	0	2104	1114	1679	61	18
30	0	1952	2050	1192	0	0	2176	1401	1301	0	22
31	0	1968	0	1436	0	0	1901	0	0	0	256
TOPLAM	6776	38970	54506	45326	34623	9928	37951	47771	40757	19783	10299

Çizelge 5.4'te Şehzade Park GES'nde üretiminin durduğu zamanlar için SOLARGIS programından alınan günlük üretim verileri işlenmiştir.

Çizelge 5.4. Şehzade Park GES'nin günlük şebekeye aktarılan enerji miktarı (kWh).

Gün	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0	1327	1784	1998	1677	1981	1841	2050	698	713	163
2	0	1199	1743	1806	2102	2267	1434	2125	1944	396	579
3	0	1258	2200	2049	2171	235	62	2071	2002	218	394
4	0	933	2211	1663	2357	2207	229	1985	1995	250	202
5	0	651	2177	1828	1550	2063	1650	1292	1869	1051	37
6	0	1473	1992	790	1963	9	1841	1692	1601	295	108
7	0	1419	2021	1457	1887	48	1848	1737	1529	1686	316
8	0	1074	93	680	2004	2017	1842	1643	946	1646	1278
9	0	791	1571	1091	2228	1654	613	1180	1154	1391	776
10	0	2043	2177	1149	1790	1593	455	1696	531	1169	347
11	0	1714	1113	1525	2056	2165	2229	1934	628	719	485
12	0	2034	1492	883	2340	1959	2233	1238	1522	1109	264
13	0	1562	2103	2374	2297	2147	2207	693	1495	1503	751
14	0	1129	2130	2330	1543	1991	2151	868	1482	795	85
15	0	920	1424	2341	1439	1712	234	1761	1343	486	750
16	0	1732	1858	1931	57	1731	2152	1433	758	316	308
17	0	1580	1433	1895	723	2139	1592	1588	710	250	228
18	0	546	2031	1631	1667	1400	1914	1892	867	1051	356
19	0	1527	1760	1520	968	1644	2167	2063	1325	385	129
20	457	1741	668	1421	930	1254	2205	2009	1311	346	222
21	858	1940	1473	1574	860	1924	1692	2006	190	507	598
22	884	1243	2289	1144	1605	1769	2000	1982	1854	201	500
23	714	622	2253	1896	1184	1458	1860	1983	1813	745	270
24	1109	1083	2255	1307	1737	1549	1737	690	1727	1211	1039
25	324	1467	2144	919	142	1359	1825	276	1752	544	137
26	807	774	2008	1143	174	1152	1929	1537	1555	342	207
27	1171	1431	1559	1119	1727	1138	1806	1815	1528	365	222
28	452	1617	2245	1286	1810	2000	2018	2017	1648	32	74
29		188	2249	1384	234	1948	2104	1114	1679	61	18
30		1952	2050	1192	1444	1592	2176	1401	1301	155	22
31		1968	2150	1436		875	1901		1557		256
Toplam	6776	40938	56656	46762	44667	48977	51947	47771	42314	19938	11120

Çizelge 5.5.'te Şehzade Park GES'nin 2019 yılına ait günlük şebekeye aktarılan gerçek enerji değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Şehzade Park GES'nin 2019 yılına ait günlük şebekeye aktarılan enerji miktarı (kWh).

Şehzade Park GES'in Günlük Şebekeye Aktarılan Enerji Miktarı (kWh)					
Gün	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
1	162	1182	1854	1618	1742
2	102	1236	885	1870	1064
3	108	1050	640	1563	1715
4	167	1691	1679	1198	1734
5	539	1752	1870	1353	1031
6	160	500	623	1033	2007
7	167	183	1765	875	1553
8	118	345	1901	1167	759
9	777	234	1719	322	1476
10	906	1259	1809	447	568
11	385	1201	1831	1111	1414
12	262	1560	430	554	2102
13	131	372	596	882	2215
14	618	21	1321	1159	2121
15	0	96	343	1486	2106
16	21	189	1478	472	1765
17	223	1271	1643	1541	1165
18	424	1682	1937	913	757
19	501	1869	1871	875	2190
20	675	1875	1269	1274	1436
21	194	1482	1904	718	1628
22	722	1144	1808	2208	1319
23	713	551	1961	1913	982
24	163	163	1981	1012	2079
25	218	600	2039	1860	1406
26	651	1674	1944	980	2133
27	527	487	1899	2081	2087
28	1145	721	466	986	1995
29	467	0	524	2075	2181
30	536	0	1999	2172	1924
31	303	0	1219	0	2214
TOPLAM	12085	26390	45208	37718	50868

Çizelge 5.6.'da Şehzade Park GES'nin kurulumundan itibaren 2019 yılı Mayıs ayı sonuna kadar üretimin dâhil edildiği ekonomik veriler verilmiştir. Çizelge 5.7.'de PVsyst V6.78 benzetim programından elde edilen şebekeye aktarılan enerji ile gerçek GES'nde şebekeye aktarılan enerjiden elde edilen kazancın karşılaştırılması yapılmaktadır. Çizelge 5.8.'de Farklı FV panellerin kurulu güce göre maliyet hesapları verilmiştir.

Çizelge 5.6. Yıllara göre aylık toplam üretim miktarı ekonomik verileri.

Yıllara Göre Aylık Toplam Üretim Miktarı Ekonomik Verileri						
YIL	AY	Miktar (kWh)	Birim Fiyat (TL/kWp)	Tutar (TL)	KDV (%18)	Toplam Tutar (TL)
2018	Şubat	6775	0,50	3406	613	4019
	Mart	40940	0,52	21133	3804	24936
	Nisan	54507	0,54	29349	5283	34631
	Mayıs	46764	0,58	27256	4906	32162
	Haziran	34624	0,61	21109	3800	24908
	Temmuz	9928	0,62	6107	1099	7206
	Ağustos	39852	0,78	31184	5613	36798
	Eylül	47771	0,84	40307	7255	47562
	Ekim	40761	0,78	31712	5708	37470
	Kasım	20577	0,72	14770	2659	17428
	Aralık	10557	0,71	7443	1339	8782
2019	Ocak	12086	0,71	8609	1550	10159
	Şubat	26388	0,70	18456	3322	27779
	Mart	45211	0,73	32858	5914	38772
	Nisan	37719	0,77	28809	5204	34113
	Mayıs	50864	0,80	40873	7357	48231
					TOPLAM=	434957

Çizelge 5.7. Şehzade Park GES'nin farklı panel tipleri için aylık kazanç cetveli (TL).

Aylar	PVsyst V6.78 Benzetim Programı Üretim Değerleri			Gerçek Üretim Değerleri
	İnce Film FV Panel Aylık Kazanç (TL)	Monokristal FV Panel Aylık Kazanç (TL)	Polikristal FV Panel Aylık Kazanç (TL)	Şehzade GES Aylık Kazanç (TL)
Şubat	15 265	14 518	14 991	4 019
Mart	21 930	20 789	21 225	24 936
Nisan	25 561	24 212	24 645	34 631
Mayıs	30 555	28 779	28 505	32 162
Haziran	34 502	32 410	31 725	26 347
Temmuz	38 726	36 273	34 689	7 206
Ağustos	47 659	44 670	42 788	36 797
Eylül	42 974	40 404	39 682	47 562
Ekim	31 307	29 516	29 722	37 420
Kasım	22 810	21 620	22 246	17 428
Aralık	15 177	14 434	14 976	8 783
Yıl	326 466	307 626	305 193	277 293

Çizelge 5.7.'de belirtilen değerlere göre santralimizin benzetim programı ile tespit edilen değerle kazanılan değer arasında 49.173 TL'lik bir fark vardır. Bu farkın nedeni ise GES'in arızalı olduğundan enerji üretiminin durması ve santralin enerji üretimine Şubat ayında başlanmasından dolayıdır. Bu değere göre santralin, yaklaşık olarak bir ay boyunca enerji üretmemiştir.

Çizelge 5.8. Farklı FV panellerin kurulu güce göre maliyet hesapları.

FV Panel Tipleri	Watt başına birim fiyat	(%20)Nakliye ilave edilmiş fiyat	Kurulu Güç (kWh)	Kurulu Güç Başına Maliyet	17.10.2017 (Merkez Bankası Kuru)
	Cent/ABD dolar kuru \$	Cent/ABD doları \$	Cent/ABD dolar kuru \$	Cent/ABD Doları \$	TL
İnce film	0,42	0,50	336000	168134	638087
Monokristal	0,37	0,44	336000	147974	561578
Polikristal	0,35	0,42	336000	141120	535565

Çizelge 5.8.'de farklı FV panel tipleri için kurulu güce göre maliyet hesapları verilmektedir. Watt başına birim fiyatlar Uluslararası FV panel fiyatları www.PVinsights.com web adresinden alınmıştır. Fiyatların üzerine yaklaşık olarak hesaplanan %20 oranında bir nakliye

dâhil edilmiştir. Toplam birim fiyat ile kurulu güç çarpılmıştır. Çıkan değer dolar kurlu hesap, Şehzade Park GES'in ihale tarihi olan 17.10.2017 tarihindeki Merkez Bankası Dolar-TL kuru karşılığı olan 3,91 TL ile çarpılıp TL cinsinden toplam FV panel fiyatları hesap edilmiştir.

Çizelge 5.9.'da farklı FV panel tipleri için ilk yatırım maliyetleri gösterilmiştir. Çizelge 5.10'da farklı FV paneller için Şehzade Park GES'nin ilk yatırım maliyetleri verilmiştir. Bu maliyetler alınırken sadece FV panel fiyatları farklılık göstermekle birlikte diğer giderler sabit değerler olarak kabul edilmiştir. Bu sebeple bir önceki çizelgede gösterilen diğer maliyet birimleri gösterilmemiştir. Çizelgede ince film FV panelin yatırım maliyeti en yüksek değerde gözükmektedir. Fakat daha önceki çalışmalarda da açıklandığı üzere ince film FV panel ile kurulumu yapılan santralde şebekeye aktarılan enerji maksimum seviyede olmaktadır. Dize (L_c) ve sistem kayıpları (L_s) ise minimum seviyede ve performans oranı ise diğer FV panellere göre daha yüksek bir değere sahip olmasından dolayı Şehzade Park GES'nin kurulumunda ince film FV paneller tercih edilmiştir.

Çizelge 5.9. Şehzade Park GES'nin ilk yatırım maliyet çizelgesi.

Şehzade Park GES'nin İlk Yatırım Maliyetleri (TL)	
2800 adet ince film FV panel fiyatı toplam	638.087
FV Panel montaj yardımcı donanımlar	185.634
Çelik kondüksiyon fiyatı	178.522
İnverter fiyatı	145.829
Orta gerilim ve alçak gerilim kablolama	37.450
400 kVA trafo fiyatı	17.078
Çift taraflı sayaç fiyatı	900
CCVT-çevre aydınlatma-topraklama	105.000
Saha çevresine tel çit	4.500
Saha düzenleme	82.000
Proje giderleri	15.000
Geçici kabul onay giderleri	10.000
İşçilik ve montaj	65.001
Toplam Maliyet	1.485.000

Çizelge 5.10. Farklı FV panel tipleri için Şehzade Park GES'nin ilk yatırım maliyet çizelgesi.

İnce film FV panel toplam fiyat (TL)	1 485 000
Monokristal FV panel toplam fiyat (TL)	1.408.491
Polikristal FV panel toplam fiyat (TL)	1.382.478

Çizelge 5.11.'de Şehzade Park GES'nin yıllık giderleri cetveli verilmiştir. İlk sütun aylık bakım gideri yani işletme sorumlusu olan elektrik mühendisine ödenen bedel, elektrik dağıtım bedeli GES'nin aylık üretim verilerine göre değişiklik gösteren değer, en son sütunda da GES'nin aylık olarak sahasında bulundurduğu gerek aydınlatma, gerekse güvenlik sistemleri tarafından harcanan enerji bedeli yer almaktadır.

Çizelge 5.11. Şehzade Park GES'nin yıllık gider cetveli.

Aylar	Aylık Bakım Gideri TL	Elektrik Dağıtım Bedeli TL	Harcanan Enerji Bedeli TL
Mart	238	330	60
Nisan	238	1 367	162
Mayıs	238	1 795	128
Haziran	238	1 308	122
Temmuz	238	1 936	103
Ağustos	238	347	29
Eylül	238	1 391	108
Ekim	238	1 694	126
Kasım	238	1 499	126
Aralık	238	725	202
Ocak	238	984	602
Şubat	238	534	316
Mart	238	1 043	256
Toplam	3 094	14 958	2 344

Şehzade Park GES'nin basit olarak yatırım geri dönüşüm süresi eşitlik (5.1)'den hesaplanabilir.

$$\text{Geri dönüşüm süresi} = \text{İlk yatırım maliyeti} / \text{Yıllık kazanç} \quad (5.1)$$

Burada çok basit bir hesap yapılmaktadır. GES'nin yıllık kayıpları hesaba alınmamıştır. Çünkü farklı FV panel tipleri için üretime bağlı elektrik dağıtım bedeli değişeceği için ve

benzetim programından bu değerleri tahmin etmek mümkün olmadığı için santralde yıllık gider hiç yokmuş gibi hesap edilmiştir.

Çizelge 5.12.'de Şehzade Park GES'nin farklı panel tipleri ile kurulumu yapıldığı düşünülerek santral yatırım geri dönüşüm yılı oranları verilmiştir. Yatırım geri dönüşüm yılı hesapları yapılırken santralin bir yıllık bakım ve diğer giderleri göz ardı edilmiş olup, ilk yatırım maliyeti yıllık kazançta bölünerek yatırım geri dönüşüm yılı hesaplanmıştır. Çizelge 5.13.'te Şehzade Park GES'nin tüm yıllık gelirleri ve giderleri dâhil edilip ayrıntılı bir Güneş Enerji Santrali geri dönüşüm hesabı değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.12. Farklı FV Panel tipleri için Şehzade Park GES'nin geri dönüşüm süreleri.

FV Panel Tipleri	İlk yatırım maliyeti TL	Yıllık kazanç TL	Geri dönüşüm süresi (YIL)
Şehzade GES ince film FV panel ile kurulumu yıllık gerçek kazanç	1.485.000	277.292,5	5
İnce film FV panel ile kurulumu yıllık kazanç	1.485.000	326.466,5	5
Monokristal FV panel ile kurulumu yıllık kazanç	1.408.491	307.626,1	5
Polikristal FV panel ile kurulumu yıllık kazanç	1.382.478	305.193,5	5

Şehzade Park GES'nde kullanılan A firmasına ait ince film CdTe yapıda FV panelin şartnamesinde, FV panelin veriminin 25 yılın sonunda %84'ün altına düşmeyeceği belirtildiği için çizelgede güneş paneli verim değeri 25 yılın sonunda %84 olarak alınmıştır. Santralde yıllık gelir olarak, 2018 Şubat ile 2019 Şubat ayları arasında kazanılan bir yıllık kazanç baz alınmıştır. Sonraki yıllarda kazanılacak değerler bir yıllık ortalama birim fiyat gerçek sonuçlarının ortalamasından elde edilen değer 0,66 TL her yıl kazanılacak bedel enerji üretim değeri ile çarpılarak elde edilmiştir. Yıllık giderler ise; gider hesap cetvelinde verilen değerler 25 yıl boyunca sabit değer olarak kullanılmıştır.

Yıllık geri dönüşümü kazancı ise; ilk yıl için, ilk yatırım bedeli, yıllık gider ve yıllık gelir toplanarak elde edilmiştir. Diğer yılların yıllık geri dönüşüm hesabı da yıllık gelir, yıllık gider ve ilk yıla ait yıllık geri dönüşüm bedeli toplanarak hesap edilmiştir. Ayrıntılı olarak yapılan hesap neticesinde GES, 6 yılın sonunda kendisini amorti etmektedir.

Çizelge 5.13. Şehzade Park güneş enerji santrali yatırım geri dönüşüm yılı hesabı.

Şehzade Park Güneş Enerji Santrali Yatırım Geri Dönüşüm Yılı Hesabı							
Yıl	Güneş Paneli Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi MWh/yıl	Yıllık Gelir TL	Yatırım Bedeli (TL)	Yıllık Gider TL	Yatırım Geri Dönüşümü TL
1	100%	100%	391,530	313 841	-1 485 000	-20 397	-1 191 556
2		99%	388,985	256 730		-20 397	-955 222
3		99%	386,440	255 050		-20 397	-720 568
4		98%	383,895	253 371		-20 397	-487 594
5		97%	381,350	251 691		-20 397	-256 299
6		97%	378,805	250 011		-20 397	-26 684
7		96%	376,260	248 332		-20 397	201 251
8		95%	373,715	246 652		-20 397	427 506
9		95%	371,170	244 972		-20 397	652 082
10		94%	368,625	243 293		-20 397	874 979
11	94%	94%	366,081	241 613		-20 397	1 096 195
12		93%	363,536	239 933		-20 397	1 315 732
13		92%	360,991	238 254		-20 397	1 533 589
14		92%	358,446	236 574		-20 397	1 749 767
15		91%	355,901	234 895		-20 397	1 964 265
16		90%	353,356	233 215		-20 397	2 177 083
17		90%	350,811	231 535		-20 397	2 388 222
18		89%	348,266	229 856		-20 397	2 597 681
19		88%	345,721	228 176		-20 397	2 805 460
20		88%	343,176	226 496		-20 397	3 011 560
21		87%	340,631	224 817		-20 397	3 215 980
22		86%	338,086	223 137		-20 397	3 418 720
23		86%	335,541	221 457		-20 397	3 619 781
24		85%	332,996	219 778		-20 397	3 819 162
25	90%	84%	330,451	218 098		-20 397	4 016 863

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada benzetim programından elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasında sadece %16'lık bir fark olduğu görülmektedir. Bu farkın da santralin ilk kurulum yılı olması sebebiyle, meydana gelen arızalara geç müdahale edildiğinden enerji üretiminin belli bir zaman aralığında durması sebebiyle meydana gelmiştir. Aylık bazda tek tek gerçek üretim ile benzetim değerlerini karşılaştırılacak olursa, genelde gerçek üretim değerleri benzetim değerlerinden yüksek çıkmaktadır. Benzetim programı PVsyst V 6.78'de Kütahya ili için meteorolojik veritabanı olarak SOLARGİS şirketinde alınan 2018 yılına ait güncel veriler kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada, Şehzade Park GES'inde A firmasına ait CdTe yapıda ince film FV panelleri kullanılmış olup iklimsel koşullar dikkate alındığında enerji üretim verimliliği açısından diğer FV panel tiplerine göre daha verimli olduğu görülmüştür. Böylelikle Kütahya ili gibi karasal iklim özelliklerine sahip illerde kurulacak yeni GES'leri için ince film CdTe yapıda FV panellerin kullanılması önerilebilir. Paneller verimlilik açısından sahada 25° açı ile yerleştirilmiştir. PV panel eğim açısı Kütahya İlinde GES'nin kurulduğu saha için en yüksek enerji üretiminin olduğu eğim açısıdır.

Şehzade Park GES'nde meydana gelen arızaların, merkezi inverter sistemi kullanılmasından mı kaynaklandığı yoksa orta gerilim tesisatı arızasından mı kaynaklandığı tam olarak anlaşılamamıştır. Fakat yapılan araştırmalar sonucunda merkezi inverter kullanılan bazı santrallerde özellikle mevsim sıcaklığının fazla olduğu aylarda, inverter çalışma sıcaklığı sınırlarını aşan kabin sıcaklığı nedeniyle inverterin santrali devre dışı bıraktığı görülmüştür. Hatta santralde oluşabilecek herhangi bir bölgesel arıza durumunda bile merkezi inverter sistemi bağlantı yapısı gereği tüm enerji üretiminin durmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle Evliya Çelebi GES projesinde inverter tipi string (dizi) yapıda inverter ile değiştirilmesi tercih edilmiştir.

Tez çalışmasında GES'in yatırım geri dönüşüm yılı hesabı yapılmış; bu hesap doğrultusunda da bu sürenin 6 yıl gibi bir süre olduğu tespit edilmiştir. Önceki çalışmalara bakıldığında FV panel teknolojisindeki hızlı ve olumlu gelişmeler sayesinde güneş enerji santralleri için ilk yatırım maliyetleri zamanla düşmektedir. Bu sebeple de kurulacak santrallerin yatırım geri dönüşüm yılı süresi azalmakta ve yenilenebilir kaynaklı çevre dostu bir enerji santrali

olması sebebiyle gelecek yıllarda daha fazla önem kazanması ve GES konusunda yatırımların daha da artması beklenmektedir

Tez çalışmasında Kullanılan PVsyst V6.78 benzetim programı ve meteorolojik verileri elde etmek için kullanılan SOLARGIS (Güneş Enerjisi Yatırımları İçin Hava Durumu Verileri ve Yazılımı) programı gerçeğe yakın sonuçlar sağlamasından dolayı ileride yapılacak benzetim çalışmalarda da kullanılması önerilebilir.

FV panel eğim açısı, hem yapısal faktörler (FV panel tipi ve ışınım) hem de iklimsel faktörler açısından farklılık gösterebilecektir. Bu nedenle ileri çalışmalarda inşası yapılacak olan GES'lerde; ya en verimli sistem olan güneş takip sistemi kullanılmalı, yada GES'nin yapısal ve iklimsel faktörlere göre FV panel eğim açısı değerlendirilerek kullanılmalıdır.

İleride kurulacak olan GES'lerde kullanılacak inverter tipi, santralin kurulu gücü doğrultusunda ve bölgenin iklimsel şartlarına göre değerlendirilmelidir. Kurulu gücü büyük olan güneş enerji santrallerinde genelde merkezi inverter kullanılmaktadır. Fakat mevsim sıcaklıkları aşırı artan bölgelerde merkezi inverter kurulması gerekirse, merkezi inverter kabin içi sıcaklığını belirli bir seviyede tutulmasını sağlayacak ilave tedbirler alınmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akar, A. (2016, Mayıs). Bir Güneş Enerji Santralinin Kurulumu ve Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,. Elazığ,106 s.
- Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., ve Sönmezoğlu, S. (2013). Organik Güneş Pilleri. *Trakya University Journal of Engineering Sciences June, 14(1)*.
- Anto, R., ve Jose, J. (2014, July). Performance analysis of a 100kw solar photovoltaic power plant. In *2014 Annual International Conference on Emerging Research Areas: Magnetics, Machines and Drives (AICERA/iCMMD)* (s. 1-4). IEEE.
- Ayaz, R. (2012). Farklı PV Teknolojilerinin Gerçek Ortam Verileri Kullanılarak Modellenmesi ve İstanbul Şartlarında Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, İstanbul.
- Bektaş Ekici, B., ve Gülten, A. (2015, Mayıs). Elazığ İli İçin Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistem Performans Analizi, II. Uluslar Arası sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, 7s.
- Beyoğlu, M. F. (2011). Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli PV sistemin verimlerinin karşılaştırılması(Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).83 s.
- Cebeci, S. (2017). Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Yayın no:2977, 202 s.
- Daniel, S., ve Padmavathi, K. (2013). Performance analysis of a 3 MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India. *ELSEVIER*, 615-625.
- Girgin, M. H. (2011). Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü). 223s.
- Güçlü, S. (2009). Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Çevre Aydınlatma Elektrik Enerjisinin; Güneş Enerjisi İle Sağlanması. *Fen Bil. Ens. Elk-Elkt. Müh., Kutahya.*,83 s.
- Gülten A, ve Ekici, Bektaş B. (2015). Elazığ ili için Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi. II. Uluslar Arası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS 2015), 28-30 Mayıs 2015,Türkiye.
- Haydaroğlu, C., ve Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerji santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi, 7.3*, 402-500.
- https://mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=kutahya. (2019, Nisan 12).
- <https://www.mgm.gov.tr/>. (2019, Nisan 12).
- <http://pvinsights.com/>. (2019, Mayıs 24).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İli, M., ve Taktak, F. (2018). Güneş Enerji Santrali Geliştirme (GES):Uşak Örneği. *Geometrik Dergisi*, 1-21.
- Kandasamy, C., Prabu, P., ve Niruba, K. (2013). Solar Potential Assessment Using PVSYSY. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Kantaroğlu, F. (2010). Fotovoltaik Sistemler. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği*, 28-34.
- Koç, A., Karakaya, F., ve Altun, H. (2007). Fotovoltaik pil teknolojileri ve yenilenebilir enerji politikaları. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı bildirileri, 16.
- Koç, E., ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 32-44.
- Köse, G. (2010, Haziran). Hibrit (Güneş +Rüzgâr) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi Kütahya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 136 s.
- Kumar, B. S., ve Sudhakar, K. (2015). Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy Reports*, 1, 184-192.
- Manoj, N., Kumar, M., Rejoice, P., ve Mathew, M. (2017). Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVSyst simulation tool. *ScienceDirect*, 180-189.
- Mermoud, A., ve Wittmer, B. (January,2014). *PVSYSY USER'S MANUAL*.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K. E., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., ve Rich, G. (2005, January). Performance parameters for grid-connected PV systems. In *Conference Record of the Thirty-first The Institute of Electrical and Electronics Engineers Photovoltaic Specialists Conference, 2005*. (s. 1601-1606). The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Ölmez, Y. C. (2017, Nisan). Türkiye Güneş Enerji Potansiyenin Belirlenmesi Ve Karapınar Bölgesine Kurulma Planlanan Güneş Enerji Santralının Şebekeye Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 105 s.
- Öztürk, H. (2012). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*. Birsan Yayın Evi.
- Padmavathi, K., ve Daniel, S. A. (2013). Performance analysis of a 3 MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy for Sustainable Development*, 17(6), 615-625.
- Sağlam, E. (2018, Haziran). Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Aşamaları Ve İşletimdeki Santrallerin Gerçekleşen Üretim Değerlerinin Simulasyon Sonuçları İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 189 s.
- Sayın, S., ve Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yaralanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri . *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 89-106.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

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.

Uyar, P. D. (Ağustos,2017). *Enerjide Çözüm: Enerjinin Etkin Kullanımı ve Topluluk Enerjisi ile %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş*.

Varınca, K. B., ve Gönüllü, M. T. (2006, Haziran 21-23). TTürkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 273 s.

Yadav, P., ve Kumar N., C. S. (2015). Simulation and Performance Analysis of a 1 kWp Photovoltaic System Using PVsyst. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 0358-0363.

Yılmaz, Ş., Aksu M., Özer Z., Özçalık H.R.,. (2012). *Matlab ile Gerçekleştirilen Fotovoltaik (PV) Güneş Pili Modeli İle Güneş Enerjisi Üretimindeki Önemli Etkenlerin Tespit Edilmesi. ELECO'2012-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 29 Kasım-01 Aralık 2012, (s. 802-803). Bursa.

EKLER

Ek-1: Şehzade Park GES Enerji Üretim Verilerini Kullanabilmek İçin İzin Talep Evrağı

24.02.2018

T.C.
KÜTAHYA BELEDİYESİ
KÜLTÜR VE SOSYAL İŞLER MÜDÜRLÜĞÜ
(AB Dış İlişkiler Proje Geliştirme Birimi)

Dumlupınar Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans yapmaktayım tez konum " Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralının Performans Analizi" yüksek lisans tezimde kontrol mühendisi olarak görev aldığım Şehzade Park Güneş Enerji santraline ait enerji üretim verilerini ve santral yapım aşamasına ait bazı verileri yüksek lisans tezimde kullanmak için izninizi talep ediyorum.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Adres: Fen İşleri Müdürlüğü

Zeynep ATALAY AYRAN

Sicil No: 996

TC: 23078334808

**Ek-2: Şehzade Park GES Enerji Üretim Verilerini Kullabilmek İçin İzin Talep Evrağına
İlgili Müdürlüğün İzin Evrağı**



T.C.
KÜTAHYA BELEDİYESİ
Kültür ve Sosyal İşler Müdürlüğü
(AB Dış İlişkiler Proje Geliştirme Birimi)

Sayı : 76050003-622.01-606/E.19527
Konu : Şehzade Park GES

25.02.2018

SAYIN: Zeynep ATALAY AYRAN

Fen İşleri Müdürlüğü

Fen İşleri Müdürlüğünde Elektrik Elektronik Mühendisi olarak görev yapan aynı zamanda Şehzade Park Güneş Enerji Santralının elektrik tesisat kontrol Mühendisi olarak görev yapan Zeynep ATALAY AYRAN'ın Yüksek Lisans Tez'inde Şehzade Park Güneş Enerji Santraline ait verileri kullanmasında müdürlüğümüz tarafından herhangi bir sakınca yoktur.

Mehmet ZENCİ

Kültür ve Sosyal İşler Müdürü

Ek-3: Kütahya İli İçin TEİAŞ Bilgi Ve Belge Talebi Hakkında Evrak



TÜRKİYE ELEKTRİK İLETİM A.Ş. GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı
İşletme Koordinasyon Müdürlüğü

Sermaye: 5 Milyar ₺
Vergi D. No: 444
Vergi No: 879 030 0314
ANO: 5987 ATO.10508

ÇOK İVEDİ
19.04.2019

Sayı : 65851913-622.03-E.165677
Konu : Bilgi ve Belge Talepleri

Sayın Zeynep ATALAY AYRAN
EVLİYA ÇELEBİ MAH KUBİLAY SK NO 164 İÇ KAPI NO 1 MERKEZ Kütahya

İlgi : 11.04.2019 tarihli ve 1900897690 sayılı yazımız.

Bilgi Edinme Hakkı Kanunu kapsamında Zeynep Atalay AYRAN'ın CİMER yoluyla Teşekkülümüze yapmış olduğu başvuru dilekçesi Başkanlığımızca incelenmiş olup söz konusu dilekçede talep edilen bilgiler 10.11.2005 tarihli ve 5429 sayılı Türkiye İstatistik Kanunu usul ve esasları çerçevesinde yazımız ekinde gönderilmektedir.

Gereğini arz ve rica ederiz.

Ek : Excel Tablosu

Dağıtım:

Gereği:

Sayın Zeynep ATALAY AYRAN
EVLİYA ÇELEBİ MAH KUBİLAY SK NO 164
İÇ KAPI NO 1 MERKEZ Kütahya

Bilgi:

KURUMSAL İLETİŞİM MÜDÜRLÜĞÜNE

Ek-4: Şehzade Park GES'nde Kullanılan FV Panele Ait Katalog



120 WATT MODULE
EFFICIENCY OF 16.7%

INDUSTRY BENCHMARK SOLAR MODULES

As a global leader in PV energy, First Solar's advanced thin film solar modules have set the industry benchmark with over 10 gigawatts (GW) installed worldwide and a proven performance advantage over conventional crystalline silicon solar modules. Generating more energy than competing modules with the same power rating, First Solar's Series 4™ and Series 4A™ PV Modules deliver superior performance and reliability to our customers.



PROVEN ENERGY YIELD ADVANTAGE

- Generates more energy than conventional crystalline silicon solar modules with the same power due to superior temperature coefficient and superior spectral response
- Anti-reflective coated glass (Series 4A™) enhances energy production



ADVANCED PERFORMANCE & RELIABILITY

- Compatible with advanced 1500V plant architectures
- Highly predictable energy in all climates and applications
- Independently certified for reliable performance in high temperature, high humidity, extreme desert and coastal environments



CERTIFICATIONS & TESTS¹

- PID-Free, Thresher Test, Long-Term Sequential Test, and ATLAS 25+
- IEC 61646 1500V, IEC 61730 1500V, CE
- IEC 61701 Salt Mist Corrosion, IEC 60068-2-68 Dust and Sand Resistance
- ISO 9001:2008 and ISO 14001:2004
- UL 1703 and ULC 1703 Listed Class B Fire Rating (Class A Spread of Flame)
- CSI Eligible, FSEC, MCS, CEC Listed (Australia), SII, InMetro

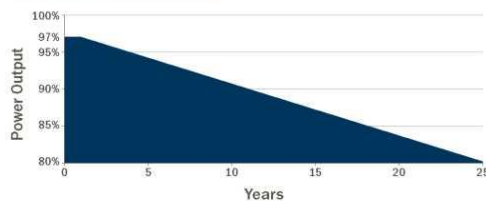


END-OF-LIFE RECYCLING

- Recycling services available through First Solar's industry-leading recycling program or customer-selected third party.



MODULE WARRANTY²



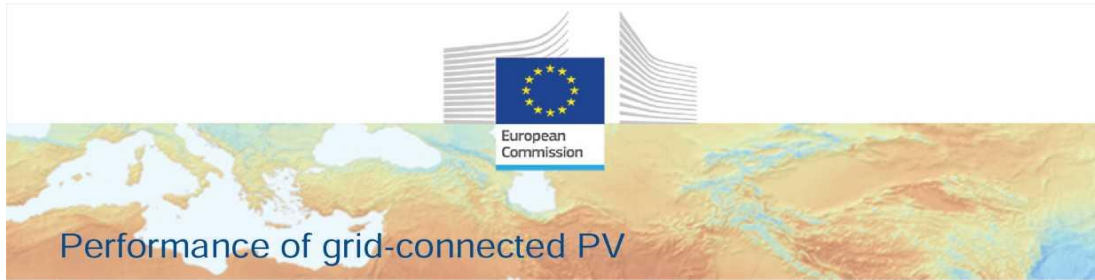
- 25-Year Linear Performance Warranty³
- 10-Year Limited Product Warranty

Ek-5: Şehzade Park GES'nde Kullanılan İnvertöre Ait Katalog Bilgi

RECon 30H1 Line @ 400V

RECon 30H1 @ 400V		204	409	613	817	1021	1227
Input (DC)							
Suggested peak power	kWp	245	490	735	980	1225	1470
Rated input current	A	325	650	975	1300	1625	1950
Max. input voltage in open circuit	V	1000					
MPPT range	V	610 - 885					
Number of MPPT trackers	-	1	2	3	4	5	6
Output (AC)							
Rated output voltage	V	400					
Frequency	Hz	50 / 60					
Rated power	kW	204.5	409	613.5	818	1022.5	1227
Rated Apparent power	kVA	215	431	646	861	1076	1292
Rated current	A	295	590	885	1180	1475	1770
Power factor - rated	-	> 0,99 at rated power (0,9 Lead to 0,9 Lag)					
Total harmonic distortion	%	< 3					
Auxiliary power							
Auxiliary supply from UPS	V	230					
Auxiliary supply voltage range	V	195 - 253					
Standby consumption	W	50	100	150	200	250	300
Efficiency							
Maximum efficiency	%	99.3					
EURO Efficiency	%	98.7					
CEC Efficiency	%	98					
Mechanical details							
Dimension (WxHxD)	mm	550x2200x800	1100x2200x800	1650x2200x800	2200x2200x800	2750x2200x800	3300x2200x800
Weight	kg	500	1000	1500	2000	2500	3000
Protection class	-	IP 20					
Temperature							
Operating temperature range	°C	-10°C / + 55°C (*)					
Protection and monitoring							
Array grounding configuration	-	Negative grounded / Positive grounded / Floating					
Array ground fault protection	-	Isolation monitor					
Interfaces							
Local user interface	-	Touch screen display					
String-Box communication port	-	RS485 Modbus					
PC communication port	-	RS232 - RS485 - USB					
Remote communication port	-	Ethernet					

Ek-6: Şehzade Park GES İçin Farklı Benzetim Programından Elde Edilen Raporlar



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

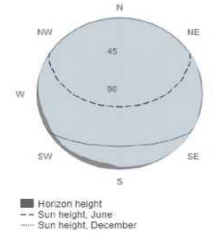
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 39.446, 29.978
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-CMSAF
 PV technology: CdTe
 PV installed: 336 kWp
 System loss: 14 %

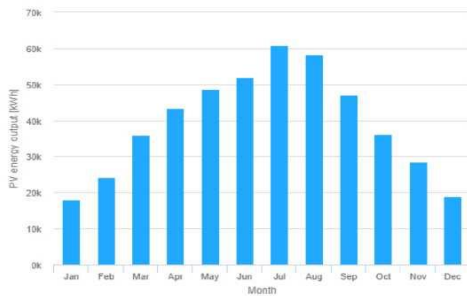
Simulation outputs

Slope angle: 25 °
 Azimuth angle: -4 °
 Yearly PV energy production: 472000 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1780 kWh/m²
 Year to year variability: 15200.00 %
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.9 %
 Spectral effects: 0.5 %
 Temperature and low irradiance: -6 %
 Total loss: -21.1 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	Em	Hm	SDm
January	18200	68.3	3940
February	24200	90.6	5520
March	36000	134	2380
April	43400	163	4470
May	48700	185	5000
June	51800	198	5780
July	60800	231	2680
August	58200	222	3630
September	47100	177	4840
October	36200	136	4450
November	28600	105	3960
December	19000	71.7	3100

Em: Average monthly electricity production from the given system [kWh].
 Hm: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SDm: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.
 However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 This information is of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity. It is not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date, is sometimes limited to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility, is not professional or legal advice (if you need such advice, you should always consult a suitably qualified professional).
 Some data or information on this site might have been created or structured in HTML or formatted that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

PVGIS © European Union, 2001-2017.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2019/04/16



Ek-7: Evliya Çelebi GES'nde Kullanılan İnvertere Ait Katalog



SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

PVS-100/120-TL



PVS-100/120-TL
three-phase outdoor
string inverter

This platform, for extreme high power string inverters with power ratings up to 120 kW, maximizes the ROI for decentralized ground mounted and large rooftop applications. With six MPPT energy harvesting is optimized even in shading situations.

Extreme power with high integration level

The extreme high power module up to 120 kW saves installation resources as less units are required. Due to its compact size further savings are generated in logistics and in maintenance. Thanks to the integrated DC/AC disconnection, 24 string connections, fuses and surge protection no additional boxes are required.

Ease of installation

The horizontal and vertical mounting possibility creates flexibility for both ground mounted and rooftop installations. Covers are equipped with hinges and locks that are fast to open and reduce the risk of damaging the chassis and interior components when commissioning and performing maintenance actions.

Standard wireless access from any mobile device makes the configuration of inverter and plant easier and faster. Improved user experience thanks to a built in User Interface (UI) enables access to advanced inverter configuration settings.

The installer mobile APP, available for Android/iOS devices, further simplifies multi-inverter installations.

The design supports both copper and aluminum

The PVS-100/120-TL is ABB's cloud connected three-phase string solution for cost efficient decentralized photovoltaic systems for both ground mounted and large commercial applications.

cabling even up to 185 mm² cross section to minimize the energy losses.

Fast system integration

Industry standard Modbus/SUNSPEC protocol enables fast system integration. Two ethernet ports enable fast and future proof communication for PV plants.

ABB plant portfolio integration

Monitoring your assets is made easy as every inverter is capable to connect to ABB plant portfolio manager to secure your assets and profitability in long term.

Design flexibility and shade tolerance

The double stage conversion topology and six MPPT guarantee maximum flexibility for the system design on rooftops or hilly ground. With this technological choice energy harvesting is optimized even in shading situations.

Highlights

- 6 independent MPPT
- Transformerless inverter
- 120 kW for 480 Vac and 100 kW for 400 Vac
- Wi-Fi as standard for configuration
- Two ethernet ports for plant level communication
- Large set of specific grid codes available which can be selected directly in the field
- Double stage topology for a wide input range
- Both vertical and horizontal installation
- Separate wiring compartment for fast swap and replacement
- IP66 Environmental protection
- Maximum efficiency up to 98.9%

ABB string inverters

PVS-100/120-TL

100 to 120 kW

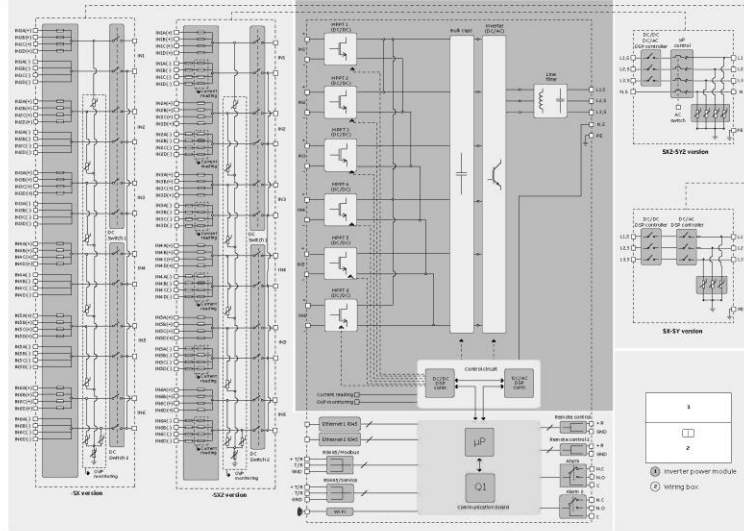


Technical data and types

Type code	PVS-100-TL	PVS-120-TL
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000V	
Start-up DC input voltage (V_{start})	420V (400...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{domin}...V_{dcmax}$)	360...1000 V	
Rated DC input voltage (V_{dc})	620V	720V
Rated DC input power (P_{dc})	102 000W	123 000W
Number of independent MPPT	6	
MPPT input DC voltage range at ($V_{MPPTmin}...V_{MPPTmax}$) at P_{dc}	480...850V	570...850V
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPT,max}$)	17500 W [480V≤ V_{MPPT} ≤850V	20500 W [570V≤ V_{MPPT} ≤850V
Maximum DC input current for each MPPT ($I_{dc,max}$)	36 A	
Maximum input short circuit current ($I_{sc,max}$) for each MPPT	50 A ¹⁾	
Number of DC input pairs for each MPPT	4	
DC connection type	PV quick fit connector ²⁾	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - replaceable surge arrester	Type II with monitoring only for SX and SX2 versions; Type I+II with monitoring only for SY and SY2 versions	
Photovoltaic array isolation control	as per IEC62109	
DC switch rating for each MPPT	50 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V ³⁾	
String current monitoring	SX2, SY2: (24ch) Individual string current monitoring; SX, SY: (6ch) Input current monitoring per MPPT	
Output side		
AC Grid connection type	Three phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power ($P_{acr} @ \cos\phi=1$)	100 000 W	120 000 W
Maximum AC output power ($P_{ac,max} @ \cos\phi=1$)	100 000 W	120 000 W
Maximum apparent power (S_{max})	100 000 VA	120 000 VA
Rated AC grid voltage (V_{acr})	400 V	480 V
AC voltage range	320...480 V ⁴⁾	384...576 ⁵⁾
Maximum AC output current ($I_{acr,max}$)	145 A	
Rated output frequency (f_r)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	45...55 Hz / 55...65 Hz ⁶⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, 0...1 Inductive/capacitive with maximum S_{max}	
Total current harmonic distortion	< 3%	
Maximum AC cable	185mm ² Aluminum and copper	
AC connection type	Provided bar for lug connections M10, single core cable glands 4xM40 and M25, multi core cable gland M63 as option	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	225 A	
Output overvoltage protection - replaceable surge protection device	Type 2 with monitoring	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.4%	98.9%
Weighted efficiency (EURO)	98.2%	98.6%
Communication		
Embedded communication interfaces	1x RS485, 2x Ethernet (RJ45), WLAN (IEEE802.11 b/g/n @ 2,4 GHz)	
User interface	4 LEDs, Web User Interface	
Communication protocol	Modbus RTU/TCP (Sunspec compliant)	
Commissioning tool	Web User Interface, Mobile APP/APP for plant level	
Remote monitoring services	Aurora Vision™ monitoring portal	
Advanced features	Embedded logging, direct telemetry data transferring to ABB cloud	
Environmental		
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 40°C / 104 °F	

PRODUCT FLYER FOR PVS-100/120-TL ABB SOLAR INVERTERS

ABB PVS-100/120-TL string inverter block diagram



Technical data and types

Type code	PVS-100-TL	PVS-120-TL
Relative humidity	4%...100% condensing	
Sound pressure level, typical	68dB(A) @ 1m	
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft	
Physical		
Environmental protection rating	IP 66 (IP54 for cooling section)	
Cooling	Forced air	
Dimension (H x W x D)	869x1086x419 mm / 34.2" x 42.8" x 16.5"	
Weight	70kg / 154 lbs for power module ; ~55kg / 121 lbs for wiring box Overall max 125 kg / 276 lbs	
Mounting system	Mounting bracket vertical & horizontal support	
Safety		
Isolation level	Transformerless	
Marking & EMC	CE conformity according to LV and EMC directives	
Safety	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2	
Grid standard (check your sales channel for availability)	CEI 0-16, CEI 0-21, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, JORDAN IRR-DCC-MV, AS/NZ5477.2, VDE-AR-N 4105, VDE V 0-126-1-1, VFR 2014, Belg C10-C11, UK59/3, P.O. 12.3, ITC-BT-40, EN50438 Generic +Ireland, CLC-TS 50549-1/2	
Available products variants		
Inverter power module	PVS-100-TL-POWERMODULE-400	PVS-120-TL-POWERMODULE-480
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (both positive and negative pole) + DC disconnect switches + AC disconnect switch + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II) + individual string monitoring (24 ch.)	WB-SX2-PVS-100-TL	WB-SX2-PVS-120-TL
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (positive pole) + DC disconnect switches + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II) + MPPT level input current monitoring (6 ch.)	WB-SX-PVS-100-TL	WB-SX-PVS-120-TL
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (positive pole) + DC disconnect switches + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II for AC and Type III for DC) + MPPT level input current monitoring (6 ch.)	WB-SY-PVS-100-TL	WB-SY-PVS-120-TL
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (both positive and negative pole) + DC disconnect switches + AC disconnect switch + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II for AC and Type III for DC) + individual string monitoring (24 ch.)	WB-SY2-PVS-100-TL	WB-SY2-PVS-120-TL
Optional available		
Support for multi core AC cable M63 + M25 (PE)	AC output panel M63 for wiring box	
AC multicore cable gland plate	Supports M63 Ø 37...53mm + M25 Ø 10...17mm	

1) Maximum number of opening 5 under overloading
 2) Please refer to the document "String Inverters – Product manual appendix" available at www.abb.com/solarinverters for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter
 3) Maximum fuse size supported 20A. Additionally two strings input per MPPT supports

30A fuse size for connecting two strings per input.
 4) The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard
 5) Frequency range may vary depending on specific country grid standard
Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

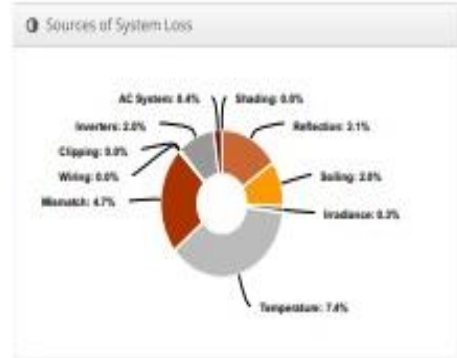
Ek-8: Evliya Çelebi GES İçin Farklı Benzetim Programından Elde Edilen Raporlar



Design 1 EVLİYA ÇELEBİ, KÜTAHYA

Report	
Project Name	EVLİYA ÇELEBİ
Project Address	KÜTAHYA
Prepared By	Sami Artan sartan4000@hotmail.com

System Metrics	
Design	Design 1
Module DC Nameplate	542.9 kW
Inverter AC Nameplate	500.0 kW Load Ratio: 1.09
Annual Production	783.9 MWh
Performance Ratio	81.8%
kWh/kWp	1,455.1
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteorom (meteorom)
Simulator Version	163f32c99c68490a4525-3453c15927-1a1c1e3e3c



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATALAY AYRAN Zeynep
Doğum tarihi ve yeri : 1986-Kütahya
e-mail : zeynepatalayayran@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi/Elk.-Elktr. Müh.	2008
Lise	Kütahya Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010	Kütahya Belediyesi	Elektrik Elektronik Mühendisi