



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANA BİLİM DALI**

**ORTAM SICAKLIĞININ VE GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİNİN
FOTOVOLTAİK PANEL VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
ANALİTİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mathieu FOZEU KALASSİ

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Vedat KESKİN

**SAMSUN
2021**

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANA BİLİM DALI**



**ORTAM SICAKLIĞININ VE GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİNİN
FOTOVOLTAİK PANEL VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
ANALİTİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mathieu FOZEU KALASSİ

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Vedat KESKİN

SAMSUN
2021

TEZ KABUL ve ONAYI

Mathieu FOZEU KALASSI tarafından, **Dr. Öğrt. Üyesi Vedat KESKİN** danışmanlığında hazırlanan “Ortam Sıcaklığının ve Güneş Işınım Şiddetinin Fotovoltaik Panel Verimliliği Üzerine Etkisinin Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 22.02.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda OY BİRLİĞİ ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı, Adı/Soyadı Üniversite Ana Bilim/Ana Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Doç. Dr. Ünal KURT Amasya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye (Danışman)	Dr. Öğrt. Üyesi Vedat KESKİN Samsun Üniversitesi Sivil Havacılık YO		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğrt. Üyesi Engin ÖZBAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yeşilyurt Demir Çelik MYO Otomotiv Teknolojisi Programı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

.../.../2021

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar 'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği 3. Bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza
.../.../2021
Mathieu FOZEU KALASSİ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : “Ortam Sıcaklığının ve Güneş Işınım Şiddetinin Fotovoltaik Panel Verimliliği Üzerine Etkisinin Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmesi.”

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 19/01/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 12

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza
.../.../2021
Dr. Öğretim Üyesi Vedat KESKİN

ÖZET

ORTAM SICAKLIĞININ VE GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİNİN FOTOVOLTAİK PANEL VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ANALİTİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mathieu FOZEU KALASSİ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi, Şubat / 2021
Danışmanlar: Dr. Vedat KESKİN

Yenilenebilir Enerji ve Uygulamalarının başlıca konusu güneşten elektrik üretimidir. Bu alanda yapılan başlıca uygulamalardan biri de güneş enerji santralleridir (GES). Günümüzde tükettiğimiz enerjinin neredeyse %70'ini güneş enerjisinden karşılamak isteriz. Bu nedenle sonsuz ve çevreye zarar vermeyen yani temiz bir kaynak (Güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle vb.) söz konusudur. Fotovoltaik (FV) pillerinin verimliliği artırılıp uygun maliyetle üretilen enerji depolanarak hem gündüz hem de gece enerji ihtiyacı sağlanmak istenir.

Bu tez çalışmasında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesinin (OMÜ) bulunduğu bölgenin çevresel faktörlerinin (sıcaklık, güneş ışınımı, rüzgâr hızı vb.) güneş panel-pillerinin verimliliğine etkisinin analizi yapılmıştır. OMÜ bünyesinde bulunan 114kW'lık güneş enerjisi santrali (Teknopark) ve OMÜ çevresinde kurmuş olduğumuz bir mikro-GES (100W'lık polikristal bir güneş enerjisi sistemi) uygulamasında sıcaklığın enerji ve ekserji verimliliğine etkisi tartışılmıştır.

Teknopark ve deneysel mikro-GES enerji/ekserji analizi incelenmiştir. Ön çalışmanın amacı termodinamik yöntemiyle ilk olarak Teknopark'ın 2018 yılındaki en yüksek günlük elektrik enerjisi üretimi değerleri ve ikinci olarak mikro-GES'in 9 Kasım 2020 gününün elektrik üretimi değerleri kullanılarak enerji/ekserji analizi yapıldı. Ayrıca diğer parametrelere bağlı enerji/ekserji verimlilikleri incelendi. Bu araştırma sonunda dikkate alınan dönem içerisinde Teknopark'ın ve mikro-GES'in ürettiği enerji/ekserji verimlilikleri sırasıyla %5.99 / %9.87 ve %10.39 / %11.19 olarak sonuçlandırılmıştır. Nominal çalışma FV panel-modülü sıcaklığı (panel-pili hücrelerinin sıcaklığı, modülün tipi ve yapısal teknolojisine göre değişir) daha yüksek

veya daha düşük olduğu zaman diğer parametrelere (rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, güneş ışınımı, nem, azimut açısı gibi) bağlı büyük bir ekserji kaybı (termal ekserji) görölmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, GES, fotovoltaik panel-pili, güneş enerjisi, ekserji/enerji analizi.

ABSTRACT

ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE AND THE INTENSITY OF SOLAR RADIATION ON THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC CELLS

Master's Thesis Dissertation

Mathieu FOZEU KALASSI

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies, February / 2021

Department of Renewable Energy and Applications

Supervisor: Dr. Vedat KESKİN

The main subject of Renewable Energy and Applications is electricity generation from the sun. One of the main applications in this field is solar power plants (SPP). We would like to meet almost 70% of the energy we consume today from solar energy. For this reason, there is an endless and environmentally clean source (Sun, wind, geothermal, biomass, etc.). By increasing the efficiency of photovoltaic (PV) batteries and storing the energy produced at an affordable cost, it is desired to provide energy both day and night.

In this thesis study, the effect of environmental factors (temperature, solar radiation, wind speed, etc.) of the region where Samsun Ondokuz Mayıs University (OMU) is located on the efficiency of solar panel-batteries has been analysed. The effect of temperature on energy and exergy efficiency was discussed in the application of 114 KW solar power plant (Teknopark) within OMU and a micro-SPP (a 100 W polycrystalline solar energy system) we established around OMU.

Teknopark and experimental micro-SPP energy/exergy analysis were examined. The aim of the preliminary study was the thermodynamic method, firstly, the highest daily electrical energy production values of Teknopark in 2018 and secondly, energy/exergy analysis was performed using the micro-SPP's electricity generation values on 9 November 2020. In addition, energy/exergy efficiencies depending on other parameters were examined. At the end of this research, the energy/exergy efficiencies produced by the Teknopark and micro-SPP within the period considered at the end of this research were concluded as 5.99% / 9.87% and 10.39% / 11.19%, respectively. When the nominal operating PV panel-module temperature (the temperature of the panel-cell cells depends on the type and structural

technology of the module) is higher or lower, a large exergy loss (thermal exergy) was observed.

Keywords: Renewable energy, SPP, photovoltaic panel-cell, solar energy, exergy/energy analysis.

ÖNSÖZ TEŞEKKÜRLER

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Ana Bilim Dalındaki yüksek lisans tezi çalışmalarımda bilgi ve deneyimlerini bizlerle paylaşan bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ'a, çalışmanın her aşamasında kendisinden çok şey öğrendiğimiz yardımlarını ve bilimsel tecrübelerini bizlerden esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğrt. Üyesi Vedat KESKİN'e ve Sayın Dr. Öğrt. Üyesi Ertuğrul SUNAN'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili babamın onurlu ruhuna. Allah onu geniş cennetine davet etsin. Varlıkları ile beni motive eden sevgili annem Florence FANGMOE'ye, eşim Özlem FOZEU KALASSI'ye, oğlum Ali Demir FOZEU KALASSI'ye ve tüm kardeşlerime; maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan tüm aile büyüklerime ve Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığına teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmalarımda yardımlarından dolayı çalışma arkadaşlarım Seyed Hamed Pour Rahmati Khalejan'a, Recep ÇIKLA'ya ve çalışmalarımı yaptığım santralde görevli teknik personele desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Şubat 2021, Samsun

Mathieu FOZEU KALASSI

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Amacı	3
1.2. Literatür Taraması	3
2. KURAMSAL TEMELLER	10
2.1. Güneş Enerjisi	10
2.1.1. Güneş	10
2.1.2. Güneş Hayaleti ya da Güneş Spektrumu	11
2.2. Güneş Panel-Pilinin Çalışma Prensibi	12
2.3. Güneş Panel-Pilinin Elektriksel Özellikleri	13
2.4. Güneş Panel-Pili Parametreleri	15
2.4.1. Kısa Devre Akımı, I_{cc}	15
2.4.2. Açık Devre Gerilimi, V_{oc}	15
2.4.3. Form Faktörü, FF	15
2.4.4. Enerji Dönüşüm Verimliliği, η	16
2.4.5. Modül Sıcaklığı, T_{ml}	17
2.5. Güneş Pillerinin Gruplandırılması	17
2.5.1. Seri Bağlantı	17
2.5.2. Paralel Bağlantı	18
2.5.3. Karışık Bağlantı	19
2.6. Sıcaklık Etkisi ve Artan Güneş Işınımı	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	21
3.1. Materyal	22
3.1.1. Bir Polikristal Güneş Paneli Sistemi ve Konumu	22
3.1.2. Şebekeye Bağlı Bir FV Sistemi ve Konumu	25
3.2. Şebekeye Bağlı Bir GES'i Oluşturan Parçalar	26
3.2.1. Güneş Panelleri	27
3.2.2. Eviriciler	28
3.2.3. Diğer Bileşenler	29
3.2.4. FV Sistemlerini Etkileyen Diğer Parametreler	29
3.3. Yöntem veya Metot	30
3.3.1. Enerji Analizi	31
3.3.2. Geleneksel Yöntem ya da Ekserji Analizi	33
3.3.3. Fotonik Yöntem	35
4. BULGULAR ve TARTIŞMALAR	36
4.1. TEKNOPARK'ın Enerjisinin ve Ekserjisinin Analizi	36
4.2. Mikro-GES'in Enerjisinin ve Ekserjisinin Değerlendirmesi	42
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	48
KAYNAKÇA	51

ÖZGEÇMİŞ	54
-----------------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

A	Yeryüzü (m^2)
c	Işık hızı (3×10^8 m/s)
E	Güneş ışınımı (W/m^2)
Ex	Ekserji oranı (W)
En	Enerji oranı (W)
FF	Form faktörü ya da doldurma faktörü
h	Planck sabiti (6.625×10^{-34} Js)
hc	Konvektif ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
hr	Işınım ile ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
K	Boltzmann sabiti
I	Akım (A)
I'	Ekserji tüketimi (W)
I _m	Maksimum çıkış akım (A)
I _{obs}	Karanlık akım yoğunluğu (A)
I _s	Diyotun doyma akımı (A)
I _{sc}	Kısa devre akımı (A)
I _{ph}	Fotojenere akım yoğunluğu (A)
NOCT	Nominal çalışma hücresi sıcaklığı ($^{\circ}C$)
N _p	Paralel bağlanan hücresi sayısı
N _s	Seri bağlanan hücresi sayısı
N _{ph}	Foton sayısı/s.cm ⁻²
N _c	Panel-modülü toplam seri hücreleri sayısı
N _{ms}	Bir daldaki Panel-modülü toplam sayısı

N_{sp}	Panel-modülü toplam paralel hücreleri sayısı
P	Güç (W)
T	Sıcaklık ($^{\circ}K$)
v	Hava rüzgar hızı (m/s)
V	Gerilim, Voltaj (V)
V_{oc}	Açık devre Voltajı (V)
V_m	Maksimum güçte gerilim (V)
q	Temel ücret
Q	Isı Kaybı
W	iş (Js)
R_{opt}	Toplan optimal direnç (Ω)
R_{optm}	Modülün optimum direnci (Ω)
S_{gen}	panel-pilinin sisteminin genel yüzeyi
T_c	FV çalışma sıcaklığı
η	verimlilik (%)
σ	Stefan Boltzmann sabiti (W/m^2K^4)
ε	Salım katsayısı (emisivite)
λ	Dalga boyutu (m)
ν	Dalga boyutu frekansı (Hertz, Hz)

KISALTMALAR

AC	Alternatif akım
AM	Hava kütlesi
amb	ortam
CO ₂	Karbon dioksit
DC	Doğru Akım
el	elektriksel

FV	Fotovoltaik
GES	Güneş Enerjisi Santrali
th	termal
in	Giriş
ex	ekserji
en	enerji
out	çıkış
ph	Foto, fotonik
max	maksimum
ml	modül
mp	maksimum güçte
cp	kimyasal potansiyel
t	toplam
MPPT'	Maximum Power Point Tracker
STC	Standard Test Conditions

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. kirlilik ölçme sistemlerinin fotoğrafları	5
Şekil 1.2. Golf tozlu bir gün	6
Şekil 1.3. Tozdan etkilenen tavan üstü paneller	6
Şekil 1.4. Güneş FV hücresinin tipik bir elektrik devresi	8
Şekil 1.5. Deneysel görünüm	9
Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrum	11
Şekil 2.2. Bir fotovoltaik hücrenin yapısı ve bant diyagramı	13
Şekil 2.3. PN eklemli ideal bir fotovoltaik hücrenin eşdeğer diyagramı	13
Şekil 2.4. Özellikleri I (V) karanlıkta ve bir fotovoltaik hücrenin ışığı altında	14
Şekil 2.5. Güneş pilinin I-V eğrisi	16
Şekil 2.6. Güneş panel-pilinin seri ilişkisi	18
Şekil 2.7. Özdeş güneş pillerinin paralel ilişkisi	18
Şekil 2.8. Özdeş güneş pillerinden oluşan dalları ve modüllerinin karma ilişkisi.....	19
Şekil 3.1. Polikristal güneş modülü	23
Şekil 3.2. Piranometre ya da solar metre	24
Şekil 3.3. Lüks metre	24
Şekil 3.4. Anemometre	25
Şekil 3.5. Santralin bulunduğu alana ait uydu görüntüsü	25
Şekil 3.6. Çalışmanın yapıldığı santralin yerleşim planı ve genel özellikleri	26
Şekil 3.7. Kendi aralarında seri bağlanan panellerin şeması	26
Şekil 3.8. Üretici firma tarafından verilen eviriciye ait elektriksel değerler	29
Şekil 3.9. (a) Güneş fotovoltaik sisteminin I-V özellikleri ve (b) P-V özellikleri	32
Şekil 4.1. Güneş ışımasını ve ortam sıcaklığı ilişkisi	38
Şekil 4.2. Zamanla giriş ekserji ve ekserji verimliliği varyasyonları	39
Şekil 4.3. Zamanla ekserji, doldurma faktörü ve giriş güneş ekserjisinin değişimleri.....	40
Şekil 4.4. Zamanla termal, elektriksel ve giriş ekserji varyasyonları	41
Şekil 4.5. Zamana karşı enerji / ekserji verimliliği	42

Şekil 4.6. Güneş ışıını ve ortam sıcaklığı ilişkisi	44
Şekil 4.7. Zamanla giriş ekserji ve ekserji verimliliği varyasyonları	44
Şekil 4.8. Zamanla ekserji, form faktörü ve giriş ekserjisinin değişimleri	45
Şekil 4.9. Zamanla termal, elektriksel ve giriş ekserji varyasyonları	46
Şekil 4.10. Zamana karşı enerji / ekserji verimliliği	47

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizgisel 2.1. Bir vakumda farklı renklerin yaklaşık dalga boyları	12
Çizelge 3.1. Giriş parametreleri	23
Çizelge 3.2. 100W'lık fotovoltaik modülün özellikleri	23
Çizelge 3.3. Santrale ait Modüllerin elektriksel değerleri	27
Çizelge 3.4. Çalışma yapılan santrale ait modüllerin özellikleri	28
Çizgisel 4.1. 2018 yılındaki TeknoPark'ın enerji/ekserji incelemesi	37
Çizgisel 4.2. 9 Kasım 2020'de mikro-GES'in enerji/ekserji incelemesi	43

1. GİRİŞ

Tahmincilerin çoğuna göre, ticari birincil enerji tüketiminin 2030 yılına kadar iki katına çıkması, ardından 2050 yılında üç katına çıkması bekleniyor (Papet, 2007). Ancak, elektrik enerjisinin çoğu yenilenemeyen kaynakların yakılmasıyla üretilir (Coleman vd, 2012). Buna ek olarak, bu tür elektrik üretimi esas olarak atmosfere salınan CO₂ (karbon dioksit) üretiminden sorumludur ve bu da gezegeni küresel ısınma fenomeni ile karşı karşıya getiren sera etkisi olgusuna neden olur (Reeves, 2013). Bu fosil kaynakların uzun vadede tükenmesi ve sera gazı emisyonlarıyla mücadele, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini acil hale getiriyor.

Enerji, yenilenebilir olarak kabul edilir, tükenmez. Yenilenebilir enerjiler, esas olarak Güneş'in (güneş enerjisi, aynı zamanda hidrolik, rüzgâr ve biyokütle enerjisi, vb.), Ay'ın (gelgit enerjisi, belirli akımlar: gelgit enerjisi gibi) neden olduğu düzenli veya sürekli doğa olaylarından gelir. Güneş radyasyonu, kirlenmeyen bir enerji kaynağıdır. Yeryüzünde en iyi paylaşılan ve en bol olanıdır. Güneş tarafından (Dünya gezegeni tarafından yakalanan) bir saat boyunca salınan enerji miktarı, dünyanın enerji ihtiyacını bir süre karşılamak için yeterli olabilir.

Bir yıl boyunca, bu radyasyonun (Güneş ışımasını) bir kısmı doğrudan ısı (güneş ısı) veya elektrik üretmek için kullanılabilir. Bu fotovoltaik (FV) ya da güneş enerjisidir. Bu üretim tarzı, mutlaka bir dağıtım ağı gerektirmez. Aslında tüketildiği yerde elektrik enerjisi üretebiliriz: Köyler, izole evler (dünya nüfusunun üçte birinin elektrik enerjisine erişimi yoktur), haberleşme röleleri, su pompalama, aydınlatma yollar (DIB, 2010). Güneş enerjisi, yenilenebilir enerjilerin tüm avantajlarına ek olarak kendi avantajlarına da sahiptir:

- Enerji kontrol edilebilir ve tüm bölgelerdeki durumlara uyarlanabilir.
- Nispeten düşük bakım maliyetleri.
- Çevreye zarar vermeden elektrik enerjisi üretimine izin verir.
- Pratik olarak tükenmez kaynaklar oluşturur.
- Az bakım gerektiren, güvenilir, kirlenmeyen ve sessiz sistemlerdir (Lelièvre, 2007).

Üçüncü binyılın başlangıcında, tüm dünyada enerji kullanımı kişi başına 1634 kg eşdeğeri yağa eşitti. 2014 yılında kişi başına 1919 kg eşdeğeri yağa ulaşmıştır (Agency, 2020; Group, 2019). Bugün, dünya nüfusunun enerji ihtiyacı hızlıca artmaktadır. Geçmişte, enerji tüketimi esas olarak Amerika, Batı Avrupa ve Japonya'daki sanayileşmiş yüksek gelire bağlıydı. Şimdi, enerji kullanımındaki artış aynı zamanda Hindistan, Çin, Brezilya, Rusya, Nijerya, Güney Afrika vb. gibi kişi başına düşen düşük ve orta gelirli ülkelerden kaynaklanmaktadır (Group, 2019). Ne yazık ki petrol, bitümlü kayalar, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıt rezervleri yenilenemeyen enerjilerdir. Bazı durumlarda, aşırı sömürülmesi enerji güvenliği sorununa yol açtı. Bu arada, dünya genelinde önemli doğalgaz, petrol yeni bulguları sınırlıdır bu yüzden dünya fosil enerji rezervleri yavaşça artmaktadır.

Ayrıca, fosil kaynaklı enerji kaynaklarının aşırı kullanımı, atmosferdeki azot dioksit, karbondioksit ve metan gibi sera gazı emisyonlarının artmasına neden olur. Sonuç olarak Dünya, doğal kaynakların tükenmesi, atmosferdeki sera gazı emisyon oranlarının artması ve küresel ısınmaya ve hava kirliliğine yol açan çevre ile ilgili önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bu, kutuplarda buz erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi, akut kuraklıklar ve felaketli seller gibi dramatik katılımlarla bir iklim değişikliği anlamına gelir.

Bugün, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerjiler, çevreyi korurken artan enerji ihtiyacını karşılamak için dünyaya alternatif bir çözümdür. Güneş, yenilenebilir enerjinin birincil kaynağıdır. Güneşin üç bileşeni vardır:

- Konsantre güneş enerjisi
- Termal güneş
- Fotovoltaik enerji panel-pili

Bu üç Güneş bileşeni tüm insanlık için bir umuttur.

Bu çalışmada Teknopark (144kW'lık bir GES) ve deneysel olarak 100W'lık bir mikro-GES enerji/ekserji değerlendirilmesiyle ilgili enerji/ekserji analizi yapmaktayız. Daha kesin olarak bu mevcut çalışmada gerilim, akım, güç ya da elektriksel enerji, hava rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, güneş ışınımı (giriş güneş ışınımının güneş FV santrali tarafından faydalı elektrik çıkışına dönüştürülmesi, uygun amaç için tamamen kullanılabilen elektrik ekserjisi olarak bilinir), panel-modülü sıcaklığı, parametreler

gibi termodinamik yöntemiyle FV sistemlerinin enerji/ekserji üretimi verimliliklerini karşılaştıracğız.

1.1. Tez Amacı

Bu tez çalışmasında, çıkış elektriksel gücünün analizi yapılacaktır. Çevresel faktörleri dikkate alarak iki FV dizisinin (Teknopark ve Mikro-GES), termal, elektrik ve güneş enerjisi incelenecektir. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasası kullanılarak Samsun ili Atakum ilçesinde Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) bünyesinde 114 kW'lık şebekeye bağlı bir GES'in (TeknoPark) 2018 yılının her ayının en yüksek elektrik üretilen üç günlük değerlerini ve aynı bölgede kurulmuş 100W'lık bir polikristal panel-pili sisteminin (mikro-GES) bir gün içerisinde üretilen elektriksel enerji değerleri elde edilip enerji/ekserji verimi verilerinin analizi yapılacaktır. Gelen güneş ışınımı geometrisini içeren giriş enerji/ekserji verimi verileri karşılaştırılacaktır.

1.2. Literatür Taraması

Yenilenebilir enerjiler, temiz ve yenilenebilir kaynaklar için önümüzdeki yıllarda fosil yakıtların ana ikamesi olacaktır. Bir güneş FV dizisi, en önemli ve hızla gelişen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir. Gelecekteki potansiyel kullanımları dikkate değerdir. Güneş panel-pili, ışık enerjisini doğrudan yararlı elektriğe dönüştüren yarı iletken bir cihazdır. Bir FV sisteminin enerji geri ödeme süresi, yalıtım ve performansına bağlı olarak 10 ila 15 yıl arasındadır. Bir FV dizisinin performansı artırılabilir, enerji geri ödeme süresi azaltılabilir. Bu nedenle, bir FV dizisinin optimize edilmiş performans değerlendirmesi önemlidir.

Fotovoltaik jeneratörün performansı parametrik olarak iklim, işletim ve tasarım parametrelerine bağlıdır. Bunlar ortam sıcaklığı, güneş ışınımının yoğunluğu, FV jeneratörün sıcaklığı, toplam ısı kaybı katsayısı, açık devre voltajı, kısa devre akımı, maksimum voltaj gibi parametrelerdir. Enerji verimliliği ve ekserji verimliliği açısından değerlendirilebilir. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına dayanan değerlendirilmesi, sırasıyla enerji/ekserji verimliliği olarak bilinir.

Bu bölümde, FV sistemlerin verimliliğine ve performansına etki eden tam ve kısmi sıcaklık üzerine geçmiş tarihlerde yapılmış olan çalışmalarla ilgili literatür

taraması yapılmıştır. Fotovoltaik panel-pillerin ekserji analizi veya ekserji optimizasyonu alanında önemli çalışmalar yapılmıştır.

Ross ve Hsiao (Ross ve Hsiao, 1977), güneş enerjisinin fotokimyasal dönüşüm verimliliğinin bazı teorik termodinamik sınırlarını araştırdılar. Landsberg ve Markvart (Landsberg ve Markvart, 1998), FV hücre teorisinde Carnot faktörünü incelediler ve Carnot verimi ile çarpılan bant aralığına eşit olan açık devre voltajı için bir ifade elde ettiler. Markvart ve Landsberg (Markvart ve Landsberg, 2002) ayrıca fotovoltaik, fotokimya ve fotosentez fenomenlerini göz önünde bulundurarak güneş enerjisi dönüşümünün termodinamiğini ve karşılıklılığını tartıştılar. Sarhaddi, Farahat ve Ajam güneş kolektör sistemlerinin ekserji optimizasyonunu incelediler (Ajam vd, 2005; Farahat vd, 2009; Sarhaddi-student vd, 2008). Würfel (Würfel, 2002), bir entropi konseptine dayalı olarak güneş enerjisinin dönüşümünün termodinamik sınırlarını inceledi ve maksimumda yoğunlaşan güneş radyasyonu için verimliliğin 0.86'dan büyük olduğunu hesapladı.

Ramadan, Mohamed, Mujahed ve Hegazy, ilk kez tek bir çalışmada sistem performansını aynı anda etkileyen dört çevresel faktörü (toz birikimi, su damlacıkları, kuş pisliği ve kısmi gölge koşulları) araştırdılar (Mustafa vd, 2020). 75 W gücünde FV panellerinin gölgeleme formlarında ve gölgeleme oranlarındaki elektriksel performans ve termodinamik analizlerini incelediler. Gölgeleme oranında meydana gelen 100% maksimum güç kaybı şunlardır: hücrelerde %69.92, dikeyde %66.93, yatay gölgelemede %99.98. Shahrin, Haizatul, Nik ve Mohd, toz birikiminin FV güneş panellerinin performansı üzerindeki etkilerini araştırdı. Çalışma, güneş FV panelinin yüzeyinde biriken tozun sistem verimliliğini %50'ye kadar azaltabileceğini gösterdi (Sulaiman vd, 2011). FV panel-pillerinin termodinamik özellikleri ekserji perspektifinden incelenmiştir. Termodinamiğin ikinci yasasını entegre eden ve güneş ışınlama değerlerinin ekserjisini hesaba katan ekserji verimleri, FV sistemi kullanılarak elektrik üretimi için daha düşüktür (Sahin vd, 2007). Başka bir araştırmada, bir FV optimum performansını ve tasarım parametrelerini belirlemek için bir ekserji optimizasyonu geliştirilmiştir (Sarhaddi vd, 2009).

Cordero yazısında (Cordero vd, 2018), kuru birikme ile kirlenme, özellikle doğal atmosferik aerosoller (rüzgarla üflenmiş toz) destekleyen kuru ve kurak koşullar altında FV modüllerinin güç çıkışını etkilediğini kastetmiştir. Bu yazıda, Atacama Çölü'nde enlem 18°S'den 30°S enlemine kadar yaklaşık 1300 km'lik bir kuzey-güney

kesitinde beş şehre yerleştirilmiş şebekeye bağlı kristal silikon FV modüllerinin enerji verimi üzerindeki kirlilik etkisinin ölçümleri rapor edilmiştir. Enerji kayıpları, dört eş düzlemlili FV modülünün yan yana çıktıkları karşılaştırılarak değerlendirildi. Dizinin FV modüllerinden ikisi sürekli kontrol edilerek temiz tutulurken, diğer ikisinin doğal olarak 12 ay boyunca (Ocak 2017'den Ocak 2018'e kadar) kir birikmesine izin verildi. Yüksek çökeltme oranlarının ve seyrek yağışların birleşiminin, çölün kuzey kıyısı kesiminde %39'a ulaşan yıllık enerji kayıplarına yol açtığını bulmuşlar. Buna karşılık, %3 veya daha az yıllık enerji kayıpları nispeten yüksek rakımlı alanlarda ve ayrıca çölün güneyindeki yerlerde ölçülmüştür. Karşılaştırma için kirlilik kaynaklı yıllık enerji kayıpları yaklaşık %7'dir. Kentsel kirlilik en çok Şili'de (33°S) büyük bir şehir olan Santiago'da ölçülmüştür. Aşağıdaki şekil 1.1'deki dizilerde kirlilik ölçme sistemlerinin fotoğrafları anlatılmıştır. Her yerde, diğer ikisinin doğal olarak kir birikmesine izin verilirken, dizilerin merkezi modülleri elle temizlenmiştir. Bu resimlerin aynı anda çekilmediğini ve tipik kirleri göstermek için tasarlanmadığını lütfen unutmayın, çünkü bunlar yıl boyunca önemli ölçüde değişmektedir.



Şekil 1.1. kirlilik ölçme sistemlerinin fotoğrafları

Başka bir çalışmada (Touati vd, 2013), çeşitli FV teknolojilerinin toz, sıcaklık ve bağıl neme duyarlılığı Katar'ın ortamı için araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, toz birikiminin panelin sıcaklık artışına veya bağıl neme göre Amorf ve Mono-kristal FV panel-pillerinin verimliliğini azaltmada büyük etkisi olduğunu göstermektedir. Çalışma, Amorf FV modüllerinin toz yerleşmesine karşı Mono-kristal FV panel-modüllerinden daha sağlam olduğunu ve dolayısıyla Katar gibi çöl iklimlerinde

uygulama için daha uygun olduğunu göstermektedir. Mono-kristal FV panellerinin üzerindeki 100 günlük toz birikiminin, verimin %10 azalmasına neden olduğu tahmin edilmektedir. Bu sınırlama, FV'yi gözetimsiz veya uzak cihazlar için güvenilir olmayan bir güç kaynağı haline getirir ve bu nedenle panelin yüzeyinin düzenli olarak temizlenmesi veya teknik modifikasyonların enjekte edilmesini şiddetle önerir. Ayrıca çalışma, üretimi optimize etmek ve güneşin sert etkilerini en aza indirmek için güneş FV tesislerinin en yoğun güneş ışığı saatlerinde en iyi nasıl çalıştırılacağını değerlendirir.



Şekil 1.2. Golf'de tozlu bir gün (Jain vd, 2011)



Şekil 1.3. Tozdan etkilenen tavan üstü paneller (Jain vd, 2011)

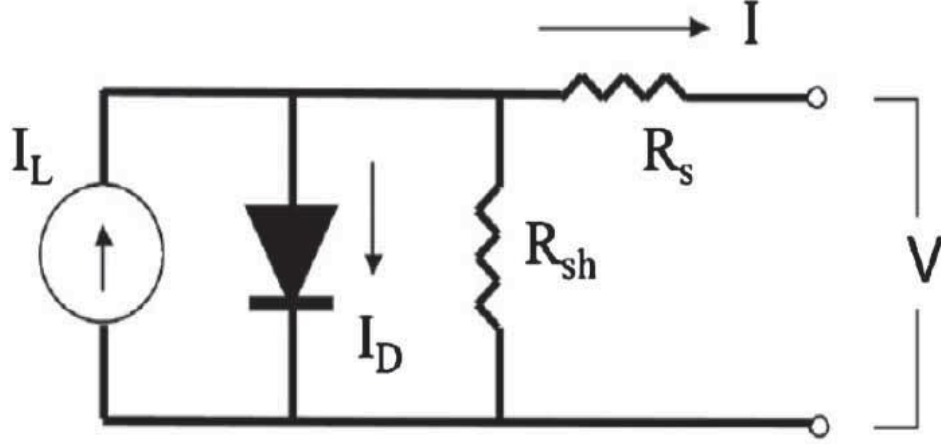
Diğer bir çalışmada (El Achouby vd, 2018), standart test koşullarında çalışan bir FV modülünü modelleyen tek diyot eşdeğeri devrenin fiziksel parametrelerini çıkarmak için yeni bir kesin yöntem sunulmuştur. Yöntem dört denklem kullanır: kısa

devre akımı, çıkış maksimum güç ve açık devre noktalarındaki çıkış voltajı, dördüncü denklem maksimum güç noktasındaki çıkış voltajına göre çıkış gücünün ilk türevidir. Bu yönteme göre, varyasyon parametresi olarak form faktörü (η) kullanıldı ve ışık akımı I_{ph} , doyma akımı I_s , seri direnç R_s ve şönt iletkenlik G_p değerlerini elde etmek için dört doğrusal olmayan denklem kullanıldı. Benzer başka bir çalışmada (Zaimi vd, 2019), anahtar noktalarda FV metrikleri kullanılarak bir güneş panelinin model-fiziksel parametrelerini çıkarmak için iki yöntem sunulur. STC altında çalışan bir güneş panelini tanımlamak için tek diyotlu bir devre kullanıldı. İlk yönteme göre, seri dirençleri (R) anahtar faktörlerdeki kalite faktörü ve FV metriklerle bağlayan yeni bir transandantal denklem elde edildi. İkinci yöntemi takiben, kalite faktörü ve kilit nokta koordinatlarının bir fonksiyonu olarak seri direnç veren yeni bir analitik ifade oluşturulmuştur. Sonuç olarak, keyfi çevresel koşullar için öngörülen özellikler sayısal yaklaşımları doğrulayan özelliklerle uyumludur.

Başka bir raporda (Omubo-Pepple vd, 2013), Nijerya'nın Nijer Deltası'nın bazı bölgelerinde FV modülünün verimliliği hakkında bazı meteoroloji parametrelerin araştırıldığı bildirilmektedir. Elde edilen sonuçlar, güneş panel-pili verimliliğinin güneş akısı ve çıkış akımı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Ayrıca güneş akısındaki bu artış, güneş panelinin çıkış akımında artışa ve verimliliği arttırmaya neden olur. Bağıl nemin çıkış akımını azalttığı ve verimliliği artırdığı da gözlenmiştir.

Diğer bir yazıda (Sudhakar ve Srivastava, 2014), FV sistemi, güneş ışınımından hem elektriksel hem de termal enerji üretir. Karabük ilinde kurulu bir güneş FV modülünün enerji ve güç dönüşüm verimliliği üzerindeki sıcaklığın etkisini değerlendirmek için bir girişimde bulunulmuştur. Termodinamiğin birinci yasası kullanılarak enerji analizi yapıldı ve FV dönüşüm sürecinde maksimum güç noktasının değiştiği gözlemlendi. Bir FV panel-pili dizisinin çalışma ve elektriksel parametreleri arasında FV modül sıcaklığı, toplam ısı kaybı katsayısı, açık devre voltajı, kısa devre akımı, doldurma faktörü vb. bulunmaktadır. Kasım 2015'in bir haftasında deneysel çalışma yapılmıştır. FV sistemlerinin enerji ve güç dönüşüm verimliliklerinin hesaplanması için enerji verimliliğinin hafta boyunca %13 ila %21 arasında değiştiği görülmektedir. Buna karşılık, güç dönüşüm verimliliği, dikkate alınan FV modülünü kullanarak elektrik üretimi için %8 ila %16 arasında daha düşüktür. FV modül sıcaklığının hem enerji hem de güç dönüşüm verimliliği üzerinde büyük bir etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca ısı, FV modülü yüzeyinden azaltılabiliyorsa bu

verimlilikler artırılabilir. Artan modül sıcaklığı ile enerji kayıplarının arttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 1.4. Güneş FV hücresinin tipik bir elektrik devresi (Sudhakar ve Srivastava, 2014)

Başka bir çalışmada (Bhattacharya vd, 2014), ortam sıcaklığının ve rüzgâr hızının mono-kristal silikon güneş panel-modülünün performans analizi üzerindeki etkileri, 2012-2013 dönemi için Hindistan'da Tripura adlı bir yerde analiz edilmiştir. Araştırma çalışmaları, varyasyon izlenerek gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ile modül verimliliği istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Sonuç %95 güven düzeyi dikkate alınarak ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı için korelasyon katsayısı değerlerinin sırasıyla %96 ve %68 olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak güçlü bir pozitif doğrusal ilişkinin olduğunu göstermektedir. Tripura'da yeşil binalar tasarlarken standart test koşulundan (STC) sapma, modül verimliliği ve ortam sıcaklığı arasındaki fark ve modül verimliliği ile rüzgâr hızı arasındaki pozitif doğrusal ilişki çıkış gücü üretimini etkiler.

Javad, Faramarz ve Mohsen yapmış oldukları bir çalışmada (Yazdanpanahi vd, 2015), bir FV su toplayıcısının ekserji verimliliğini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Parametreler arasında güneş ışınımı yoğunluğu, rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, güneş pili sıcaklığı, sıvı giriş ve çıkış sıcaklığı, açık devre voltajı, kısa devre akımı, maksimum güç noktası ve maksimum güç noktası akımı yer alır.

Hakim ve arkadaşları bir çalışmada (Hakim vd, 2018), Endonezya'nın Yogyakarta bölgesindeki özel bir bölge olan Bantul Regency'deki bir FV sisteminin enerji/ekserji analizini gerçekleştirmiştir. FV ekserji analizi, güneş ışınımı dışındaki çevresel faktörler dikkate alınarak FV sisteminin performansını belirlemek için

kullanıldı. Bu araştırmada FV sisteminde ekserji ve enerji verimliliği değerleri elde etmeyi amaçlamışlardır. Deney sonuçları, FV sistemi tarafından üretilen enerji verimliliği değerinin %8,62 ila %74,18 olduğunu, bu arada ekserji verimliliğinin sırasıyla %0,29 ila %40 olduğunu göstermektedir. Ekserji verimliliğinin değeri, enerji verimliliğinin değerinden daha düşüktür. Bu sonuç, çevresel faktörün FV sisteminin çıktısını büyük ölçüde etkilediğini doğruladı. Yüksek güneş ışınımının her zaman ekserji üretimini artırmadığı sonucuna varılabilir. Çünkü aynı zamanda çevresel sıcaklıktan ve FV hücrelerinin sıcaklığından da etkilenir.



Şekil 1.5. Deneysel görünüm (Hakim vd, 2018)

Bu tez çalışmamda Samsun ili Atakum ilçesinde OMÜ Teknopark bünyesinde kurulu bulunan 114 kW değerinde güneş enerji santralinden ve 100 W değerinde kurmuş olduğumuz bir polikristal deneysel mikro-güneş enerjisi sisteminden yararlanılıp elde edilen veriler kayda geçirilerek termodinamik yöntemiyle enerji/ekserji verimliliğinin analizi gerçekleştirilecektir. Fotovoltaik jeneratörün ekserji analizi parametrik olarak enerji analizine bağlıdır. Bu nedenle ilk adım olarak FV panel-pillerinin enerji analizi yapılacaktır. Daha sonra, ekserji yok etme bileşenleri ve FV jeneratörün ekserji verimliliği hesaplanacak ve optimize edilecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Fotovoltaik etki, Alexandre Edmond Becquerel tarafından 1839'da keşfedildi. Fotonların, daha sonra bir elektrik voltajı üreten yarı iletken bir malzemede emilmesiyle elde edilen bir olgudur. FV güneş enerjisi, güneş ışınımının elektriğe doğrudan dönüştürülmesinden gelir. Bunu yapmak için, bir cihaza güç vermek veya bir pili şarj etmek için kullanılabilen doğru akım üreterek bu enerji dönüşümünü gerçekleştiren güneş pillerinden oluşan fotovoltaik modüller kullanıyoruz. Fotovoltaik dönüşüm ilk kez 1954'te Bell laboratuvarında Silikon ile basit bir kavşakta gerçekleştirildi. Sonuç olarak, bu amaçla birkaç yarı iletken kullanılmıştır. Fotovoltaik etkiye üç temel süreç dahildir:

- Malzemenin içindeki ışık emilimi.
- Fotonlardan elektrik yüklerine enerji transferi.
- Masraf toplama. Dolayısıyla, bir malzemenin fotovoltaik dönüşüme izin vermek için spesifik optik ve elektriksel özelliklere sahip olması gerektiği açıktır.

2.1. Güneş Enerjisi

Fotovoltaik güneş enerjisi, yenilenebilir enerjinin bir parçası olan güneş ışınımından üretilen elektrik enerjisidir. Bu tür güneş enerjisi aşağıdaki paragraflarda geliştirilecektir.

2.1.1. Güneş

Güneş, %70 hidrojen ve %28 helyumdan oluşan devasa bir gaz topudur. Kalan %2 evrende bulunan diğer atomların çoğunu temsil eder. 60'ın üzerinde kimyasal element tanımlanmıştır (Wang vd, 2020).

Güneş, onu Dünya'dan ayıran önemli mesafeye rağmen (149.6 x 106 km) en önemli enerji kaynağı olmaya devam ediyor. Çoğunlukla iyonize gaz ve güneş sistemindeki en büyük gök cisminden oluşan devasa bir ışık küresidir. O kadar büyük ki, bir milyondan fazla Dünya'yı içerebilir. Güneş tarafından radyasyon şeklinde yayılan gücün 90 x 1015 GW olduğu tahmin edilirken, karasal katman sadece 180 x 106 GW alabilir. Cezayir'de yılda yaklaşık 3.200 saat güneş ışığı vardır ve güneş

tekniklerinin uygulanmasına elverişli iklim koşullarından faydalanır (Djedid ve Hebbir, 2019). Bu enerji tüm dünya yüzeyinde bol miktarda bulunur ve atmosferi geçerken önemli bir zayıflamaya rağmen, kalan miktar zemine ulaştığında hala oldukça önemlidir (Zerga vd, 1998).

2.1.2. Güneş Hayaleti ya da Güneş Spektrumu

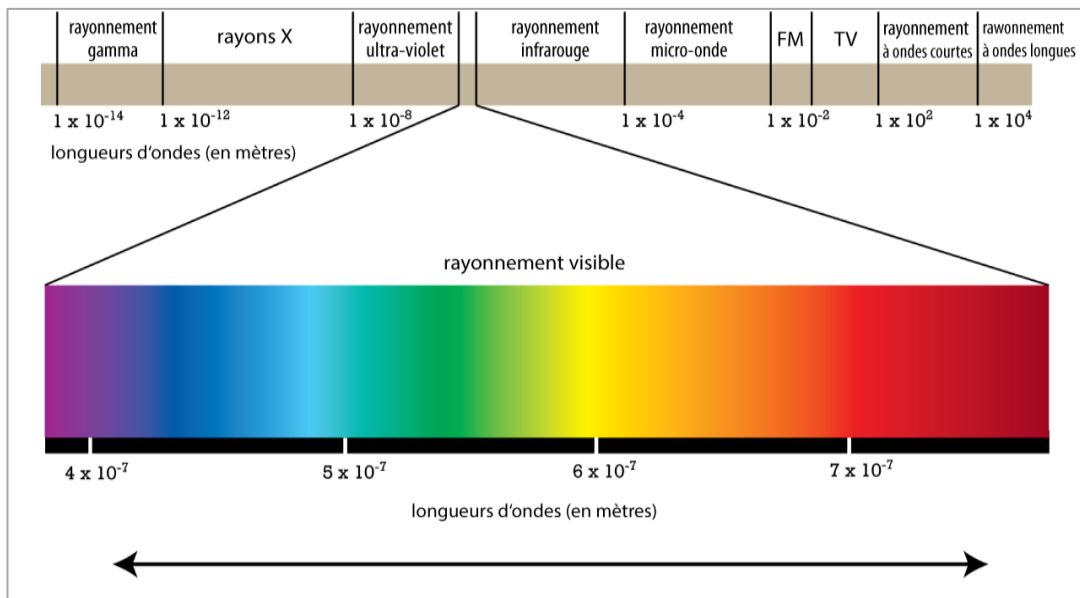
Güneş elektromanyetik radyasyon yayar, dalga boylarına ayrışmasına elektromanyetik spektrum denir. Aslında, dalga boyu aralıkları ile karakterize edilen farklı renkteki her türlü radyasyondan oluşur. Işığın sıklığı rengini belirler. Bu radyasyonu oluşturan ışık taneleri olan fotonlar, frekanslarıyla (dalga boyu) ilişkili enerjiyi taşırlar:

$$E=h \nu =h c /\lambda \quad (2.1)$$

h Planck sabiti, ν dalga boyutu frekansı, c ışık hızı ve λ dalga boyutu.

Bu ilişkinin, Louis de Broglie tarafından 1924'te gün ışığının hem parçacık hem de dalga doğasını doğruladığı güncellenmiştir: cisimciklerin "fotonların" varlığı ve titreşim frekansı ve d uzunluğu olan dalgaların yayılması.

Şekil 2.1 elektromanyetik spektrumun görünür kısmını göstermektedir. Görünür dalga boyu aralığı 390 nm (mor) ila 780 nm (kırmızı) arasındadır (Sen, 2008).



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum (Kurker, 2010)

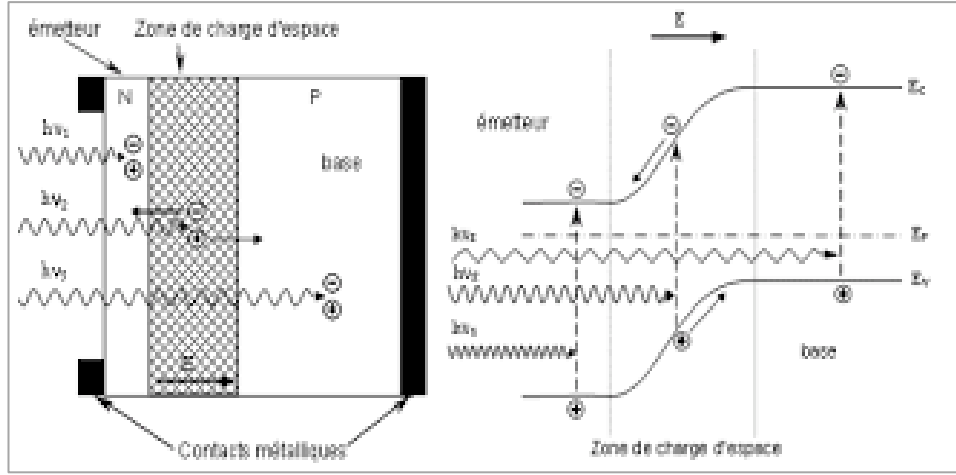
Çizgisel 2.1. Bir vakumda farklı renklerin yaklaşık dalga boyları (Labouret ve Villos, 2006).

Görünür ışık spektrumu	
Renk	Dalga boyu (Wang vd)
Kırmızı	622-780
Turuncu	597-622
Sarı	577-597
Yeşil	492-577
Mavi	455-492
Mor	390-455

Güneş, elektromanyetik spektrumun görünürlüğü ile ultraviyole'den kızılötesine ışık yayar. Güneş ışınımı en büyük görünür dalga boylarındadır ve mavi-yeşil renkte pik yapar.

2.2. Güneş Panel-Pilin Çalışma Prensibi

Güneş pillerinde kullanılan fotovoltaik etki, ışığın etkisi altında pozitif ve negatif elektrik yüklerinin yarı iletken bir malzemesinde üretim ve taşıma yoluyla güneş ışınlarının ışık enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürmeyi mümkün kılar. Bu malzeme, birisi aşırı elektron ve diğeri elektron açığı olan, sırasıyla N tipi katkılı ve P tipi katkılı olduğu söylenen iki kısma sahiptir. Birincisi ikincisi ile temas ettiğinde, N malzemesindeki fazla elektronlar P içinde yayılır. Başlangıçta katkılı alan N pozitif olarak yüklenir ve başlangıçta katkılı alan P negatif olarak yüklenir. Böylece aralarında N bölgesindeki elektronları boşluğa doğru itme eğiliminde olan bir elektrik alanı oluşturulur. Bu nedenle bir PN birleşimi oluşur. N ve P bölgelerine metal kontaklar eklenerek bir diyot elde edilir. Kavşak aydınlandığında, yasaklanmış bandın genişliğine eşit veya daha büyük olan enerji fotonları enerjilerini atomlara ayırır, her biri değerlik bandından iletim bandına bir elektron geçirir ve ayrıca hareket ederek elektron deliği çifti oluşturur. Hücre boyunca bir yük yerleştirilirse, N bölgesindeki elektronlar harici bağlantı yoluyla P bölgesindeki deliklere birleşerek potansiyel bir fark yaratır ve bir elektrik akımı doğar. Bir güneş pilinin çalışma prensibi Şekil 2.2'de gösterilmektedir. N fotonları, P bölgelerinde ve uzay yük bölgesinde taşıyıcılar oluşturur. Bu serbest taşıyıcıların davranışları, yaratıldıkları yere göre değişir. Elektriksel olarak nötr bölgelerde P ve azınlık foto taşıyıcıları yayılır.

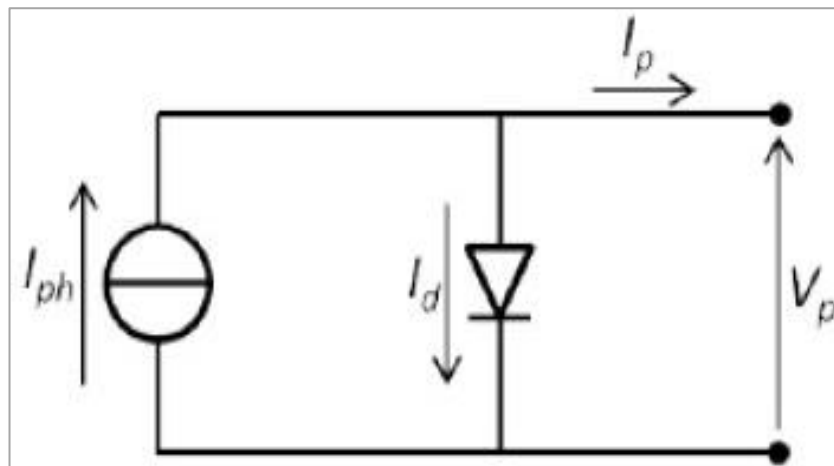


Şekil 2.2. Bir fotovoltaik hücrenin yapısı ve bant diyagramı (Mathieu ve Fanet, 2009).

Uzay yük bölgesine ulaşanlar elektrik alanı tarafından çoğunlukta oldukları bölgeye itilir. Bu nedenle bu foto taşıyıcılar, difüzyonlarıyla akıma katkıda bulunurlar, mevcut bir foto difüzyonu oluştururlar. Uzay yükü bölgesinde, fotonlar tarafından oluşturulan delik elektron çiftleri elektrik alanı tarafından ayrılır, N tipi elektron P tipi delik bölgesine doğru itilir. Taşıyıcılar mevcut nesil bir foto akımı doğurur. Bu iki katkı, diyotun ters akımına katkıda bulunan bir foto akımı (I_{ph}) oluşturmak için toplanır

2.3. Güneş Panel-Pilinin Elektriksel Özellikleri

Yukarıda tarif edilen ideal bir PN eklemli güneş pilinin eşdeğer elektrik diyagramı; bir diyot (PN eklemine modellemek için) ve bir doğru akım üretici, I_{ph} (foto-jenere akımı modellemek için) ile temsil edilebilir. Aşağıdaki şekil.2.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.3. PN eklemli ideal bir fotovoltaik hücrenin eşdeğer diyagramı

I_p : Hücre tarafından üretilen toplam akım

I_d : Diyottan geçen akım

Elektriksel bir dirence bağlı olan ve güneş ışığına maruz kalan bir güneş pili, direnç ve dahili diyot yapısı arasında dağıtılacak bir akım sağlar. V karakteristiği, şu andaki foto akımının karanlık diyot akım yoğunluğundan çıkarılmasına karşılık gelir(Sze ve Ng, 2006):

$$I(V) = I_{obs}(V) - I_{ph} = I_s \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] - I_{ph} \quad (2.2)$$

I_{ph} : Fotojenere akım yoğunluğu

I_{obs} : Karanlık akım yoğunluğu

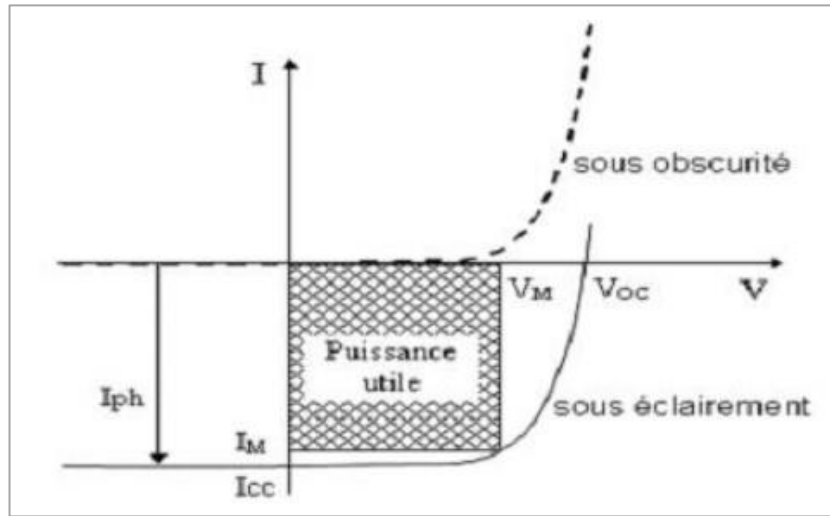
I_s : Diyotun doyma akımı

q: Birim yük

K: Boltzmann sabiti

T: Sıcaklık

Karanlıktaki bir hücrenin karakteristiği, bir diyot ile aynıdır. Şekil 2.5'teki noktalı bir karanlık güneş pilinin iki akım-voltaj özelliği gösterildi. Aydınlatma altındaki eğrinin, birinciden I_{cc} (kısa devre akımı) değeri ile dengelendiğine dikkat edin, bu da akımın sürekli üretilmesini ışıkla sağlar. Bu değere, kısa devre akımı denir çünkü hücrenin sıfır voltajda ışık altında ürettiği akımdır. Tersine V_{oc} değeri açık devre voltajdır. Aslında karanlıkta ışık ve akım ile akımın eşitliğini temsil eder.



Şekil 2.4. Özellikleri I (V) karanlıkta ve bir fotovoltajik hücrenin ışığı altında

2.4. Güneş Panel-Pili Parametreleri

Güneş pillerinin ana karakteristik miktarları ya da birimleri şunlardır:

- Kısa devre akımı, I_{cc}
- Açık devre gerilimi, V_{oc}
- Form faktörü ya da doldurma faktörü, FF
- Enerji dönüşüm verimliliği, η

2.4.1. Kısa Devre Akımı, I_{cc}

Kısa devre akımı birimi mA (milli Amper) olarak ifade edilen, aydınlatma altında ve hücrenin terminallerini kısa devre yaparak hücrede dolaşan akımdır. Hücrenin aydınlatma yoğunluğu ile doğrusal olarak artar ve aydınlatılmış yüzeye, radyasyonun dalga uzunluğuna, şarj taşıyıcılarının hareketliliğine ve sıcaklığa bağlıdır.

Geçerli I_p 'i genel olarak aşağıdaki ifadeyle uygulanan voltaj V_p 'nin bir fonksiyonu olarak ifade edebiliriz:

$$I_p = I_{cc} - I_s (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) \quad (2.3)$$

2.4.2. Açık Devre Gerilimi, V_{oc}

V_{oc} ile ifade edilen açık devre voltajı, hücreden akan akım sıfır olduğunda elde edilir.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1 \right) \quad (2.4)$$

2.4.3. Form Faktörü, FF

Aydınlatma altında bir fotovoltaik hücre tarafından harici devreye verilen güç, yük direncine (hücre boyunca yerleştirilen harici direnç) bağlıdır. Bu güç, akım-voltaj eğrisinin çalışma noktası P_m ($I_m = I_{max}$, $V_m = V_{max}$) için maksimumdur. $P_m = P_{max}$ şeklinde ifade edilir. Form faktörü ya da doldurma faktörü aşağıdaki ilişki ile tanımlanır:

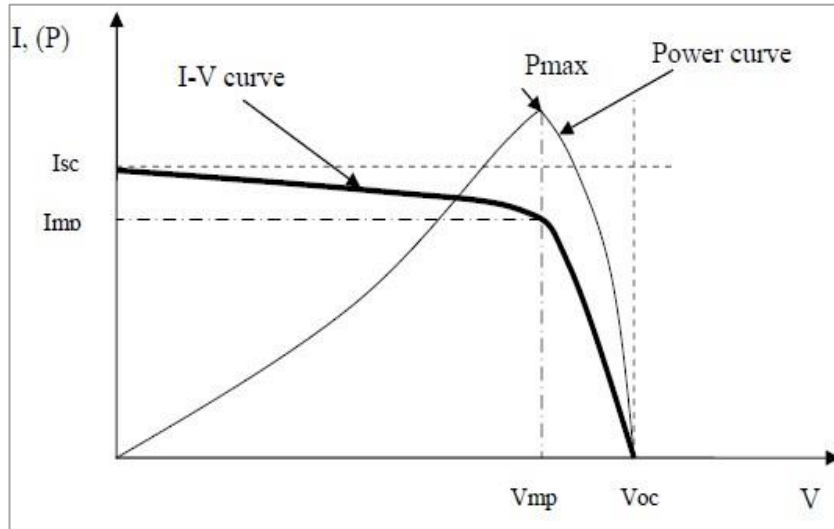
$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{cc}} = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{cc}} \quad (2.5)$$

2.4.4. Enerji Dönüşüm Verimliliği, η

Yüzde olarak ifade edilen güneş pilinin verimliliği η , güce dönüşümün verimliliğini gösterir. Hücrenin ilettiği maksimum güç ile gelen ışık gücü arasındaki oran olarak tanımlanır. P_{in} , hücrenin sağladığı maksimum güç ile gelen ışık gücü arasındaki oran olarak tanımlanır.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{cc}}{P_{in}} \quad (2.6)$$

Bu verimlilik, form faktörü, kısa devre akımı ve açık devre voltajı artırılarak artırılabilir. Sabit sıcaklık ve aydınlatmada, bir güneş pilinin verimliliği elektrik devresindeki yüke bağlıdır. Açık devre $P_m = \infty$, $V = V_{oc}$ veya kısa devrede $R_c = 0$, $I = I_{cc}$, $V = 0$ olduğunda dışarıya enerji iletilmez. Bu iki uç arasında, güneş panel-pili tarafından yük direncine sağlanan gücün maksimum kaydedildiği yük direnci R_c 'nin optimum R_{opt} değeri vardır. Aşağıdaki şekil 2.5'teki gibi $P_m = P_{max}$ ifadesi gösterilmiştir. Bir güneş pili, hücrenin çıktısını temsil eden standart formdur. Bu grafikteki eğriye akım-voltaj eğrisi (I-V eğrisi) denir. I-V eğrisi (şekil 2.5) ışınlama, hava kütlesi ve çevre sıcaklığı gibi belirli çevresel koşullar altında bir hücreden mümkün olan tüm potansiyel akım ve gerilim kombinasyonlarının anlık görüntüsünü temsil eder (Shakya, 2011).



Şekil 2.5. Güneş pilinin I-V eğrisi (Shakya, 2011)

2.4.5. Modül Sıcaklığı, T_m

FV modülünün bir gün boyunca sürekli olarak güneş ışığına maruz kalması durumunda FV modül sıcaklığındaki artışın ana sorumlusu güneş olacaktır. Sıcaklıklardaki artış, kurulum veya izleme alanında kaydedilen ortam sıcaklıklarından çok daha yüksektir. FV'lerin elektrik potansiyellerinin azaltılmasından modül sıcaklığı sorumludur. Modüllerin sıcaklığının artışı ile birlikte verimlilikte şiddetli bir düşüş meydana gelir. Bu yüzden potansiyelleri izlemek, verimliliği ve enerji verimini artırmak için sıcaklık modülünün bağlı olduğu bu parametreyi kontrollü olarak sürekli izlemek gerekir.

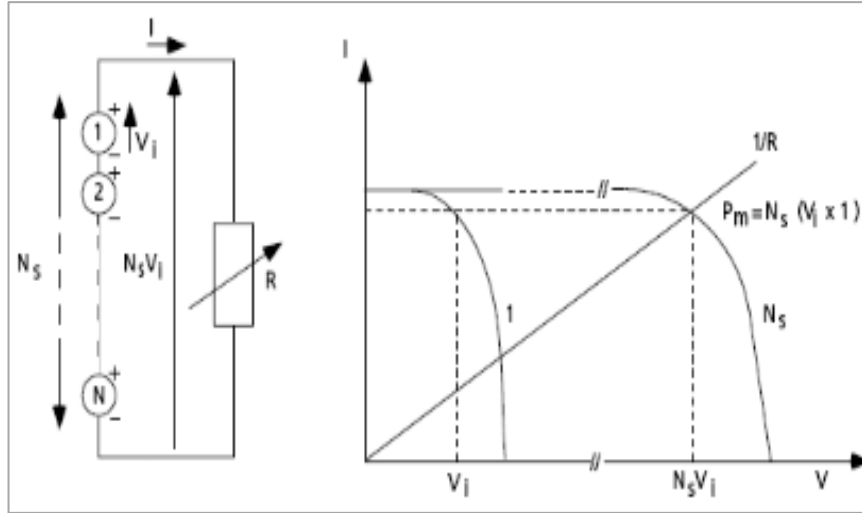
2.5. Güneş Pillerinin Gruplandırılması

Güneş pilleri çok küçük devrelere güç verilmesi dışında nadiren tek başına kullanılır. Çoğu durumda, çok sayıda gruplanır ve ilişkilendirilirler. Genel olarak, tek bir hücrenin sağladığı güç çok küçük olduğundan, tedarik edilecek değişken veya sabit yükün bir fonksiyonu olarak belirli bir uygulama için gerekli voltaj ve akımı toplamak için seri veya paralel hücre gruplamaları yapmaya ihtiyaç vardır. Bir güneş veya fotovoltaik modülün karakteristik I (V) 'nin genel şekli, temel bir güneş pilininki ile aynıdır.

2.5.1. Seri Bağlantı

N_s modüllerinin açık devre voltajları farklı olabilir, ancak bunların içinden akan kısa devre akımı aynıdır. Montaj voltajı açık devre voltajlarının toplamına eşittir. V_i , bir hücre tarafından sağlanan voltaj olarak ifade edilir. Seri bağlantı gerilimini (V) bulmak için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$V = N_s \times V_i \quad (2.7)$$



Şekil 2.6. Güneş panel-pilinın seri ilişkisi (Brigand, 2008)

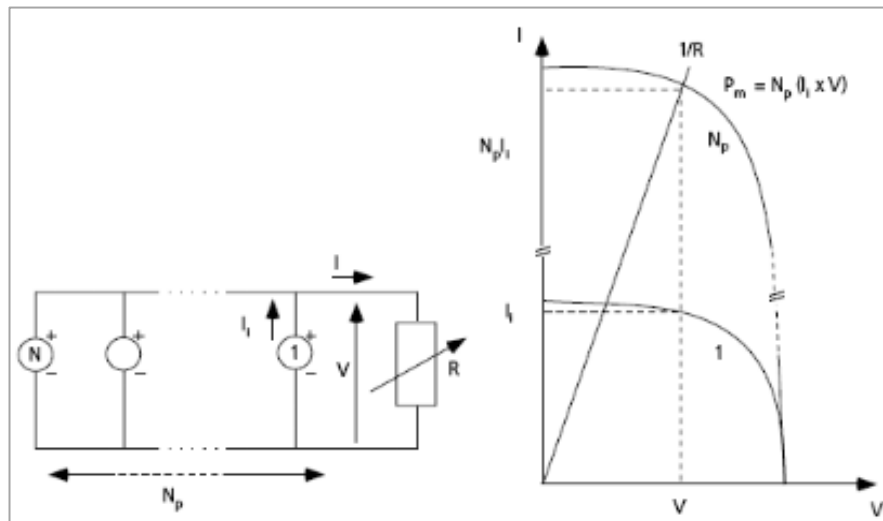
2.5.2. Paralel Bağlantı

Böyle bir montajda, modüller aynı açık devre voltajına ve farklı kısa devre akımlarına sahiptir. Bu nedenle toplam paralel bağlantı akımını (I) bulmak için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$I = N_p \times I_i \quad (2.8)$$

I_i , bir hücre tarafından sağlanan akımdır

N_p , paralel olarak bağlantı hücre sayısı



Şekil 2.7. Özdeş güneş pillerinin paralel ilişkisi (Brigand, 2008)

2.5.3. Karışık Bağlantı

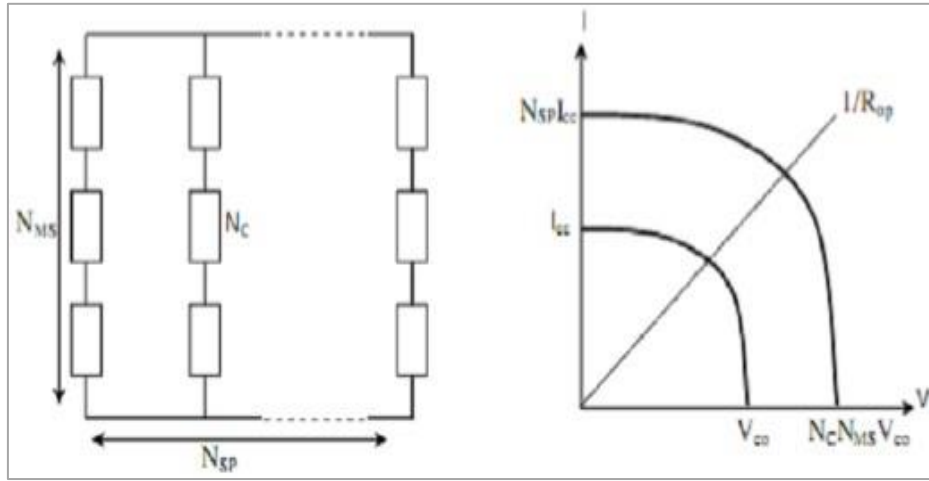
Belirli bir uygulama için, güneş pilleri tarafından sağlanan akımı ve voltajı arttırmak gerekir. Karışık bir grupta (seri-paralel grupta) gerçekleştirilir. Modül, genellikle seri olarak monte edilmiş bir dizi hücrelerden oluşur. Bir modül üzerinde aynı hücrelerin seri olarak monte edilmesi mümkündür. Birkaç dal (N_{sp}) paralel olarak yerleştirilir. N_{ms} şube başına modül sayısıdır. Bu koşullar altında mevcut toplam güç P_t (Djeroud, 2010) şu şekilde ifade edilir:

$$P_t = N_{ms} \times N_{sp} \times P_m \quad (2.9)$$

Optimal direnç şu şekilde verilir:

$$R_{opt} = (N_{ms} / N_{sp}) \times R_{optm} \quad (2.10)$$

Burada, R_{optm} aynı koşullar altında modülün optimum direncidir. Şube başına modül sayısı şekil 2.8’de gösterilmiştir (Djeroud, 2010).



Şekil 2.8. Özdeş güneş pillerinden oluşan dalları ve modüllerinin karma ilişkisi (Djeroud, 2010)

2.6. Sıcaklık Etkisi ve Artan Güneş Işınımı

Fotovoltaik dönüşüm, büyük ölçüde sıcaklığa bağlı bir enerji uygulamasıdır. Karasal uygulamalarda, güneş pilleri genellikle 10 ila 50 ° C arasındaki çalışma sıcaklıklarına maruz kalır. Güneş pillerinin karakteristik parametreleri, yani kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre gerilimi (V_{oc}), form faktörü (FF) ve FV dönüşüm verimliliği (η) sıcaklıktan etkilenir.

Modül sıcaklığı ve olay ışınımının model fiziksel parametreler üzerindeki etkileri ile ilgili konu ümit vaat etmektedir. Etkili, modül sıcaklığı ve olay güneş ışınımı bir gün boyunca değişir. Sıcaklık ve ışınım güneş öğle vaktinde maksimumda, gündoğumu ve günbatımında minimumdadır. Bu nedenle, akım-voltaj özelliklerindeki değişiklikleri öngörmek ve fotovoltaik güç koordinatlarını, optimum yük direnci değerini, dolun faktörünü ve verimliliğini doğru bir şekilde tahmin etmek için güneşli, bulutlu veya yağmurlu bir gün boyunca model fiziksel parametrelerinin varyasyonunu tahmin etmek çok önemlidir. Barukčić ve al, herhangi bir sıcaklık ve ışınımdaki kısa devre akımının yanı sıra akım-voltaj karakteristiklerini, maksimum güç noktası koordinatlarını, açık devre voltajını tahmin etmek için evrimsel bir algoritma kullanmışlardır (Barukčić vd, 2015; Barukčić vd, 2014).

Bu bölümde güneş, enerji gücü ve radyasyonun özellikleri ile ilgili bazı kavramları hatırladık. Daha sonra fotovoltaik dönüşümleri, voltaj-akım karakteristiklerini, eşdeğer elektrik devrelerini ve ana karakteristik miktarlarını, fotovoltaik dönüşümün mekanizmasını ve ayrıca çeşitli parametrelerin (aydınlama, sıcaklık, dirençler) etkisinin çalışmasını tanımladık. Parazitler seri ve paralel, doyma akımı ve doldurma faktörü karakteristikleri üzerine hücrelerin seri, paralel ve seri-paralel ilişkisine ve modül gruplarındaki dengesizliklere yaklaştık.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Maddenin aksine, enerji geri dönüştürülemez. Bir gram alüminyumun (veya başka bir malzemenin) tekrar kullanılabilceği yerlerde, enerji kullanımı geri dönüşümsüz denilen geri dönüşü olmayan kayıplara yol açar. Bu, termodinamiğin ikinci yasasının ve entropi kavramının doğrudan bir sonucudur.

İlk ilke enerji tasarrufu ile ilgili olsa da "hiçbir şey kaybolmaz, hiçbir şey yaratılmaz, her şey dönüştürülür" (Lavoisier). İkinci ilke herhangi bir enerji dönüşümü için olası koşulları gösterir. Enerji yönetimi daha sonra bu kayıpları tahmin etmek ve en aza indirmek anlamına gelir. Enerji değerlendirmesi, ilgili miktarları dikkate alır ancak enerji ve ilgili atıkların kullanımını karakterize edemez gibi görünmektedir.

Termodinamiğin iki yasasına dayanan enerji kavramıdır ve bu değerlendirmeyi enerjinin nicel ve nitel yönlerini aynı anda temsil ederek sağlar. Böylece enerji, enerjinin yararlı kısmına karşılık gelir ve her süreçle bir kalite faktörünü ilişkilendirir. Örneğin, elektrik Carnot'un performansı ile ilişkilendirilirken, elektrik tamamen kullanılabilir bir iş, bu nedenle enerji potansiyeli %100'dür. Ekserjetik analiz, enerjinin kaynağından dağılımına olan yolunu izler. Enerji daha sonra enerji kullanımını ve ilgili atıkları değerlendirebilir; o zaman çevresel etkinin iyi bir göstergesidir (Gong ve Wall, 2001; Wall ve Gong, 2001). Çevre üzerindeki etkinin en aza indirilmesi, farklı enerji yollarının analizine ve tersinmezliklerin dağılımına yol açar.

Termodinamik değerlendirme hem enerji hem de ekserji hesaplamalarını kapsamaktadır. Enerji ve ekserji analizleri, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları temelinde gerçekleştirilir. Enerji analizi, sadece kullanılan enerjinin niceliksel yönlerine ve süreç verimliliğine dayandığından, tam verimlilik araştırmalarını veremez. Sistemin gerçek enerji potansiyellerinde azalmanın olduğu alanları dikkate almaz. İş yapmak için mevcut enerji miktarını açıklar (Hepbasli, 2008). Tersine, enerjiden elde edilen mümkün olan maksimum faydalı çıktı ekserji olarak bilinir. Ekserji analizi gerçek termodinamik potansiyeli sunar ve kullanılabilir ve kullanılamaz (geri döndürülemez) enerji fraksiyonlarını açıklar (Özalp ve Bayat, 2017).

3.1. Materyal

Sıcaklığın ve doğal etkilerin (ortam sıcaklığı, nem, hava kirliliği, rüzgâr hızı, bulutlanma, güneşlenme saati vb.) fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin performanslarını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, Samsun ili Atakum ilçesinde Ondokuz Mayıs Üniversitesi Teknopark bünyesinde kurulu bulunan 114 kW değerinde güneş enerji santralinden ve 100 W değerinde bir polikristal deneysel mikro-güneş enerjisi sisteminden yararlanılarak elde edilen veriler kayda geçirilerek termodinamik yöntemiyle enerji/ekserji verimliliklerin analizi gerçekleştirildi. Güneş enerjisi sistemlerinin yerinde incelenerek performansına etki eden parametreleri ve çevresel faktörleri gözlemlendi. Bu faktörlerden olan, sıcaklık etkisinin neden olduğu enerji ve ekserji kayıplarını gözlemleyerek gelecekteki kurulumlar için veri tabanı oluşturmak ve katma değer yaratmaktır. Sıcaklıktan etkilenen polikristal panel-pili (100W'lık mikro-GES) verimliliğinin performansı ile sıcaklıktan ve diğer doğal parametrelerden etkilenen bir GES (Teknopark) verimliliğinin performansları enerji/ekserji verimliliğinin değerleri karşılaştırılarak incelenmiştir.

3.1.1. Bir Polikristal Güneş Paneli Sistemi ve Konumu

Bu çalışmada, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Samsun'da kurulu 100W'lık mikro-güneş enerjisi santrali (100W'lık mikro-GES) için enerji / ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Elektriksel olarak mikro-GES bir adet 100W TT100-36P (16 hücre seri ve 9 hücre paralel bağlıdır) güneş panelinden oluşur. İçinde verilen deneysel DC-DC kurulumunda, bu modülden gelen akım 6.32A ve voltaj ise 22V. 100 W modülünün teknik özellikleri çizelge 3.1'de belirtilmiştir. Yerin boylamı ve enlemi 41°22'03.4'' Kuzey'dedir ve 36°11'11.6''Doğu'dadır. Ortam sıcaklığındaki dalgalanmalar tüm gün boyunca 4 ila 19°C aralığında fark eder. Mikro-GES sisteminin deneysel testleri yapılmış ve değişkenlerin ölçülmesi yapılmıştır. Akım (I_{sc}), voltaj (V_{oc}), güneş ışınımı (E), rüzgâr hızı (V), ortam sıcaklığı (T_{amb}) ve modülün sıcaklığı (T_{ml}), ortalama 15 dakikalık bir aralık ile öğle 12:00'den akşam 16:30'a kadar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2'de piranometre ya da Solar metre (Eppley Laboratuvar Modeli, PSP36851F3) adı verilen giriş güneş ışınımı ölçüm cihazını gösterirken, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi lüksmetre, ortam sıcaklığını ve modülün sıcaklığını ölçmek için

kullanılmıştır. Şekil 3.4'te rüzgâr hızının ölçümü için kullanılan anemometreyi göstermektedir. Seçilen modülün giriş parametreleri Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Giriş parametreleri

Giriş parametreleri	Değer
Nominal çalışma hücresi sıcaklığı (NOCT)	25°C
Stefan Boltzmann'ın Sabiti	$5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Panelin salım gücü	0,89
Güneş Sıcaklığı	5778 K



Şekil 3.1. Polikristal güneş modülü

Çizelge 3.2. 100W'lık fotovoltaik modülün özellikleri

Model	TOMMATECH: TT100-36P
Maksimum Güç	100 Wp \pm %5
Açık devre voltajı, V_{oc}	22 V
Maksimum sistem voltajı	1000 V
Kısa devre akımı	6.32 A
Maksimum voltaj, V_{mp}	18.35 V

Maksimum akım, I_{mp}	5.45 V
Boyutlar	674 x 944 x 25 mm
Ağırlık	7.4 kg
Doldurma faktörü (FF)	0.72
Hava kütlesi (AM)	1.5



Şekil 3.2. Piranometre ya da solar metre



Şekil 3.3. Lüksmetre



Şekil 3.4. Anemometre

3.1.2. Şebekeye Bağlı Bir FV Sistemi ve Konumu

Ondokuz Mayıs Üniversitesi TEKNOPARK bünyesinde bulunan güneş santraline ait dört farklı dizi, dört ayrı eviriciye bağlanmış olarak ve toplamda 440 adet panelden meydana gelen bu santralin yerleşim planı uydu görüntüsü olarak aşağıda şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Teknopark, (Enlem: 41.36107562°, Boylam: 36.17982388° ve yaklaşık 267 m deniz seviyesi yüksekliği) konumuna sahiptir.



Şekil 3.5. Santralin bulunduğu alana ait uydu görüntüsü

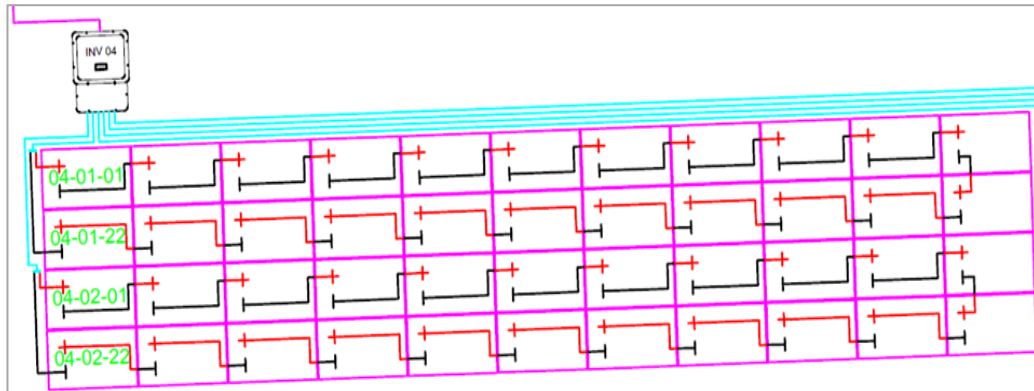
OMÜ Atakum yerleşkesi TEKNOPARK bünyesinde bulunan santralde, her biri 260 Wp gücünde toplam 440 adet panel bulunmaktadır. Dört dizi halinde sıralanan

panellerin 2 dizisi 27.6 kWe gücünde 2 adet invertöre bağılyken diğer iki dizi 20 kWe gücünde 2 invertöre bağıldır. Sistemin DC cinsinden anlık üretim değerı 114.4 kWp iken AC cinsinden üretim değerı 95.5 kWe'dir. Santrale ait bu özellikler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

PROJE SAHİBİ FİRMANIN	ADI	SAMSUN TEKNOLOJİ GELİŐTİRME BÖLGESİ YÖNETİCİ A.Ő.		
	ADRESİ	OMÜ Atakum Yerleşkesi Atakum/SAMSUN		
PROJENİN	ADI	SAMSUN TEKNOPARK GES		
	ARSA ADRESİ	OMÜ Atakum Yerleşkesi Atakum/SAMSUN		
	PAFTA NO	-	PARSEL NO	-
PAFTA ADI	SANTRAL GENEL YERLEŞİM PLANI -2			
PAFTA NO	TKNPRK_2	ÖLÇEK	1/100	
ÇİZEN	SELMAN AKAY	TARİH	09.03.2016	
MODÜL SAYISI ve GÜCÜ		İNVERTER SAYISI ve GÜCÜ	DC GÜÇ	AC GÜÇ
440 x 260 kWp		2 x 27,6 kWe 2 x 20,0 kWe	114,4 kWp	95,2 kWe

Şekil 3.6. Çalışmanın yapıldığı santralin yerleşim planı ve genel özellikleri

Toplam 132 panelden oluşan bir dizinin 44 adetlik ilk serisi ve panellerin öncelikle kendi aralarında seri bağılı olduğu, daha sonra ise panellerin invertöre paralel bağılandığını belirten görsel (Şekil 3.7) aşağıda verilmiştir. Panellerin artı uçları kırmızı, eksi uçları ise siyah ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kendi aralarında seri bağılanan panellerin Şeması

3.2. Şebekeye Bağılı Bir GES'i Oluşturan Parçalar

Panel verimliliğinin incelemesi süresince anlık değerlerin (anlık güç, anlık akım, anlık voltaj) ve günlük güç üretiminin okunması eviriciler aracılığıyla gerçekteştirilmiştir.

Evirici ekranı üzerinde en belirgin şekilde okunan ve diğer değerlere göre daha büyük gösterilen değer, kW cinsinden sistemin anlık ürettiği değerdir. Bu değer altındaki bölümde günlük değer ve hemen altında ise sistemin toplam ürettiği değer bulunmaktadır. Bu değerlerin yan bölümünün alt kısmında sistemin girişte DC cinsinden akım ve voltaj değerleri ile çıkışta AC üzerinden akım ve voltaj değerleri okunabilmektedir. Örneğin aşağıdaki ekranda gösterilen sistemin anlık değeri 28.39 kW iken günlük 122.2 kWh ve toplamda 71792 kWh'dir. DC cinsinden akım değeri 25A voltaj değeri 591V iken AC cinsinden akım değeri 41.4A voltaj ise 235V değerindedir.

3.2.1. Güneş Panelleri

Üzerinde çalıştığımız modüllerin cinsi polikristaldir. Ucuz olmasından dolayı piyasada bol miktarda bulunma özelliğine sahiptir. Ortalama verimlilikleri %14 ila %20 arasındadır. 260W_p güç üretebilme kapasitesine sahiptir. Santralde kullanılan modüllerin tipi ve nominal güç voltajı (V_{mp}), nominal güç akımı, (I_{mp}), açık devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), hücre çalışma sıcaklık aralığı gibi elektriksel özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Santrale ait Modüllerin elektriksel değerleri

Modül elektriksel değerleri	
Panel maksimum gücü, P_{max}	260 W _p
Güç toleransı	0- +6W _p
Nominal güç voltajı, V_{mp}	30.3 V
Nominal güç akımı, I_{mp}	8.59 A
Açık devre voltajı, V_{oc}	37.7 V
Kısa devre akımı, I_{sc}	9.09 A
Hücre çalışma sıcaklık aralığı	-40- +85°C
Maksimum sistem gerilimi	1000 V
Sıcaklık katsayısı [V] [I][P]	0.32%/°C (0.05%/°C)-0.42%/°C
Maksimum seri sigorta oranı	15 A

Santrale ait modüller polikristal özellikte olup her bir panelin ürettiği güç 260 W/h'dir. Kullanılan modül boyutları 1650mm×990mm×40mm, ağırlıkları ise 18.5 kg civarındadır. Panel bağlantılarında 4mm² solar kablo kullanılmıştır. Santrale ait bu özellikler çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışma yapılan santrale ait modüllerin özellikleri

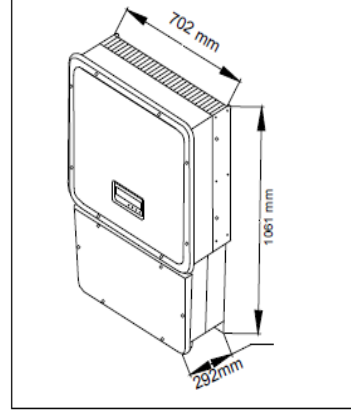
Modül tipi	Polikristalin 260 Wp FV modül
Toplam modül sayısı	440 adet
Modül boyutları (L×W×H)	1650mm×990mm×40mm
Ağırlık	18.5 kg
Direnaj delik sayısı	24
Kablo	2 adet solar kablo 4mm ²
Plug-in bağlantısı	MC4

3.2.2. Eviriciler

Eviricilere ait elektriksel ve diğer teknik bilgiler ise aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi şu şekilde açıklayabiliriz: Her bir evirici, üç dizi halinde toplam 132 adet panel bağlanabilme özelliğine ve 27.6 kW üretim kapasitesine sahiptir. Bu evirici DC güç durumunda maksimum 28600Wp düzeyinde çalışabilmektedir.

Sistemin maksimum gerilimi 1000 V iken bu değer MPPT'de sınırlandırılarak 500V~800V aralığında çalışmaya bırakılır. Panellerin üretebileceği $132 \times 260 = 34.4$ kW olabilecekken eviriciler üç fazlı olduğundan yansıma, ısınma ve kablolama gibi diğer kayıplardan dolayı eviriciden okunan değer maksimuma yakın bir değerdir.

ABB STRING INVERTER TRIO-27,6-TL OUTD	
İNVERTÖR	27.6 kW On Grid Inverter 3Faz Trafosuz
Toplam Inverter Sayısı	2
Toplam Dizi Sayısı	12
Inverterlere Bağlı Toplam Panel Sayısı	264
İNVERTÖR ELEKTRİKSEL DEĞERLERİ	
Giriş (DC)	
Maks. DC güç	28600Wp
Maks. sistem gerilimi	1000 V
MPPT gerilim aralığı	500 V ~ 800 V
Maks. giriş akımı	40A
Maks. giriş akımı / Dizi [Inp. A / Inp. B]	64A / 32A
Çıkış (AC)	
Maks. AC güç	30 kW
Nominal AC gerilimi	3 / N / PE; 230 / 400 V
Maks. çıkış akımı	45 A
Anma şebeke frekansı	50 Hz / 230 V



Şekil 3.8. Üretici firma tarafından verilen eviriciye ait elektriksel değerler

3.2.3. Diğer Bileşenler

Bir güneş enerji santralinde elektrik enerjisi üretebilmek ve üretilen enerjiyi şebekeye doğru ve en az kayıpla iletebilmek için modül, evirici ve transformatör gibi ana ekipmanlar dışında birçok yardımcı ara ekipmanlarda kullanılmaktadır. Bu bileşenlerden bazıları, AC/DC kablolar, çift yönlü sayaç, panel DC konektör, sistem DC bağlantı kesici, AC kesici ve panellerin montajı için çelik profillerdir.

3.2.4. FV Sistemlerini Etkileyen Diğer Parametreler

Fotovoltaiklerin çıktısının çevre parametrelerinden etkilendiği bilinen bir gerçektir, ana parametreler aşağıda tartışılmıştır.

Ortam sıcaklığı, T_A (°C): Fotovoltaik hücrelerin sıcaklığını etkileyen önemli parametrelerden biridir. FV sistemlerinde, iki farklı sıcaklık (ortam sıcaklığı ve modül sıcaklığı) gözlemlenir. Ortam sıcaklığı, fotovoltaik hücrelerin / modüllerin / dizinin monte edildiği çevre bölgedeki nominal hava sıcaklığıdır. Bunun performans üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olması nedeniyle ortam sıcaklığının sürekli izlenmesi gereklidir (Hakim vd, 2018).

Rüzgâr hızı, WS (m/dak): Rüzgâr, modülün sıcaklığını etkilediği için izlenecek temel parametrelerden biridir. FV modüllerine rüzgârın etkisi, kullanılan

tesisatın türüne bağlı olarak değişecektir. Modül sıcaklığı arttıkça, FV modülünün performansı düşer, yüksek hızlı bir rüzgâr modülün sıcaklığını düşüreceğinden, dolayısıyla modülün performansını da arttıracaktır. Bu nedenle performans değerlendirmede rüzgar hızı önemli bir parametredir (Mathew vd, 2018).

Bağıl nem, RH (%): Bağıl nem, "su buharının kısmi basıncının, belirli bir sıcaklıkta dengede olan buhar basıncına oranı" olarak tanımlanır. Başka bir şekilde ifade edilecek olursa, havada bulunan buharlaşmış su miktarı olarak ifade edilebilir. Bağıl nemin sıcaklığa bağlı bir faktör olduğu ve FV sistemlerinin de sıcaklığa duyarlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik sistemin performans araştırmasında bağıl nemi göz önünde bulundurmaya ihtiyaç vardır (Saleh, 2017).

Güneşlenme saatleri, S_H (h): Güneşli saatler, gün içinde mümkün olan aydınlık düzeyi yüksek veya güneş ışınları alan parlak saatlerdir. Parlak güneş saatlerinin aralığı (5-8 saat), mevsimlere bağlı olduğu kadar bulunduğunuz yere de bağlı olacaktır. Parlak güneşli saatler boyunca, enerji üretme olasılığı FV sistemlerinde daha yüksektir. Ancak, mümkün olan maksimum güneşlenme saatleri 10-12 saate eşit olacaktır (Zeman, 2012).

Güneş ışıınımı, G (W/Sq.m ya da kW/Sq.m): Saniyede 1 m² alana ulaşan güneş enerjisi 1.367 W/m²'dir. Bu sayı güneş sabiti olarak adlandırılır. Güneş ışınları geniş bir dalga boyu aralığına sahiptir. Görünür ışık bu aralığın %45'ini oluştururken %9'u mor ötesi, %46'sı ise kızılötesi bölgede yer alır (El Achouby vd, 2018).

3.3. Yöntem veya Metot

Çalışma Ocak 2018'de başladı ve Aralık'a kadar devam etti. Bu çalışmanın verileri; güneş ışıınımı, rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, açık devre gerilimi, kısa devre akımı, çıkış gerilimi ve çıkış akımıdır. Enerji ve ekserji analizi aşağıdaki adımlar uygulanarak gerçekleştirildi: Gerilim (V) ve akım (I) ölçüldü. Anlık enerji üretimi (P) verileri invertörden elde edildi. Güneş ışıınımı (E), rüzgâr hızı (v) ve ortam sıcaklığı (T_{amb}) ile ilgili veriler Türkiye Meteoroloji Enstitüsünden alınmıştır.

Birinci ilke enerji tasarrufu ile ilgili olsa da "hiçbir şey kaybolmaz, hiçbir şey yaratılmaz, her şey dönüştürülür" (Lavoisier).

İkinci ilke herhangi bir enerji dönüşümü için olası koşulları gösterir. Enerji yönetimi daha sonra bu kayıpları tahmin etmek ve en aza indirmek anlamına gelir.

Enerji değerlendirmesi, ilgili miktarları dikkate alır ancak enerji ve ilgili atıkların kullanımını karakterize edemez gibi görünmektedir.

Enerji ve ekserji analizleri, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları temelinde geręekleřtirilir. Enerji analizi, sadece kullanılan enerjinin niceliksel yönlerine ve süreç verimliliğine dayandığından, tam verimlilik araştırmalarını veremez. Sistemin geręek enerji potansiyellerinde azalmanın olduğu alanları dikkate almaz. İş yapmak için mevcut enerji miktarını açıklar (Hepbasli, 2008). Tersine, enerjiden elde edilen mümkün olan maksimum faydalı çıktı ekserji olarak bilinir. Ekserji analizi geręek termodinamik potansiyeli sunar, kullanılabilir ve kullanılamaz enerji fraksiyonlarını açıklar (Özalp ve Bayat, 2017).

3.3.1. Enerji Analizi

Enerjinin korunumu yasasına göre, bir sistem için enerji dengesi denklemleri şu şekilde ifade edilebilir:

$$\sum_{in} en_{in} m_{in} - \sum_{out} en_{out} m_{out} + \sum_k Q_k - W_t = 0 \quad (3.1)$$

Burada en_{in} / en_{out} giriş ve çıkış enerjilerini temsil ettiğinde, m_{in} / m_{out} giriş ve çıkış yoluyla kütle akış hızlarıdır, Q_k ısı akış hızıdır, W_t ise sistem genelinde yapılan iştir. Ayrıca kütle korunumu yasasına göre,

$$m_{in} = m_{out} \quad (3.2)$$

Sistemin kararlı durum varsayımı $m_{in} = m_{out} = 0$ verir. Bu nedenle, 3.1'deki denklem şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$\sum_k Q_k - W_t = 0 \quad (3.3)$$

Giriş güneş enerjisi yalıtımının FV sisteminde faydalı elektrik çıkışına dönüştürülmesi, sistemde üretilen akım ile şu şekilde hesaplanabilir:

$$I = I_1 - I_0 \times \exp^q\left(\frac{V - IR_s}{A \times K \times T}\right) \quad (3.4)$$

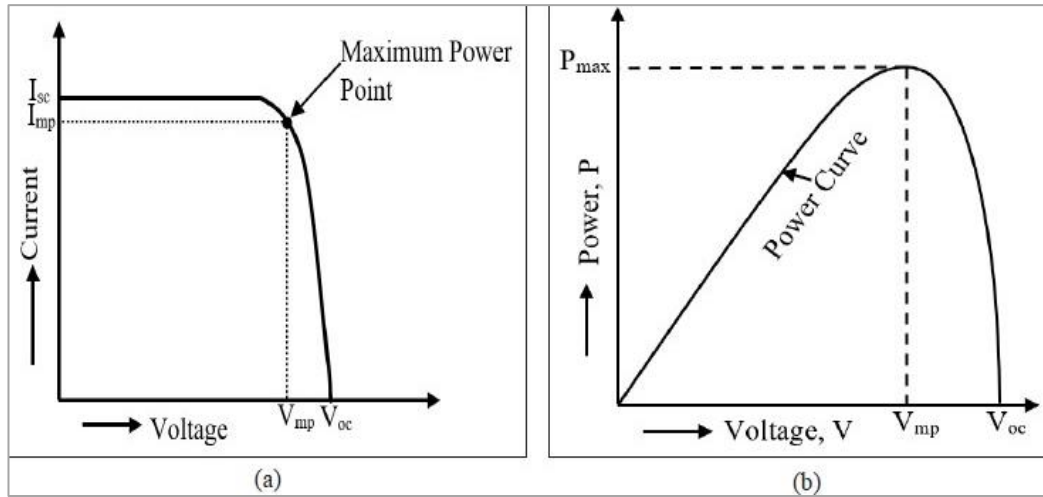
Çıkış elektrik gücü şu şekilde temsil edilebilir:

$$P_{el} = V \times I \quad (3.5)$$

Bir FV sistemi için maksimum çıkış elektrik gücünün büyüklüğü:

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = V_m \times I_m \quad (3.6)$$

Güneş panel-pilinin verimliliği; giriş güneş ışınımını, çıkış elektrik gücünün sistemden gelen akım/voltajdan oluştuğu faydalı elektrik çıkışına dönüştürme kapasitesinin bir ölçümüdür. Bu dönüşüm verimliliği, güneş ışınımının yoğunluğuna göre değişir. Ayrıca, maksimum güç noktasında, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi maksimum voltaj V_{mp} ve maksimum akım I_{mp} yardımıyla sistemden maksimum dönüşüm verimliliği elde edilebilir.



Şekil 3.9. (a) Güneş fotovoltaik sisteminin I-V özellikleri ve (b) P-V özellikleri
(Arora ve Arora, 2018)

Sistemde takip edilen çıkış kriteri $V_{mp} < V_{oc}$ ve I_{mp} de kısa devre akımının büyüklüğünden daha küçüktür. Doldurma faktörü, sistemden elde edilen maksimum gücü kısıtlar ve maksimum güç noktası ile temsil eder.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.7)$$

FV tesisinin dönüşüm enerji verimliliği, aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\eta_{el} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{A \times E} \quad (3.8)$$

Burada A, modülün alanıdır ve E, güneş enerjisi izolasyonudur yani güneş ışınımıdır. A birimi m² ve E birimi W.m⁻².

Güneş panel-pili tarafından emilen giriş güneş ışınimleri, iletim, konveksiyon ve radyasyon fenomeni tarafından daha da dağılan yararlı elektrik çıkışına ve termal enerjiye dönüştürülür. Bununla birlikte, FV modülünün tasarımı ve geometrisi ısı transfer işlemi oranını etkiler. FV sistem verimliliğini elde etmek için, çalışma sıcaklığı olan T_{ml} hesaplanmalı ve açıkta kalan yüzey üzerinde homojen olduğu varsayılmalıdır. Bu sıcaklık ortam sıcaklığına göre değişir. Yüzey sıcaklığı arttıkça, sistem verimliliğinde önemli bir düşüşe neden olabilir ve verimliliği artırmak için arka tarafta bazı soğutma fenomenleri kullanılmalıdır. Soğutma, uygulamaya bağlı olarak hava veya su olabilir.

3.3.2. Geleneksel Yöntem ya da Ekserji Analizi

Giriş güneş ışınimlarının güneş FV santrali tarafından faydalı elektrik çıkışına dönüştürülmesi, uygun amaç için tamamen kullanılabilen elektrik ekserjisi olarak bilinir. Öte yandan, termal çıktı üretken verime katkıda bulunamaz ve sistemde yüksek ısı kaybı olarak görünür.

Açık bir sistemin kararlı hal varsayımı altında ekserji dengesinin denklemleri

$$\sum_{in} ex_{in} m_{in} - \sum_{out} ex_{out} m_{out} + \sum_k Ex^Q - Ex^W - I' = 0 \quad (3.9)$$

ex_{in} / ex_{out} sistem için giriş ve çıkış ekstrüzyonlarını belirtirse, m_{in} / m_{out} giriş ve çıkıştaki sistemden kütle akış hızları olur. Ex^Q ekserjetik ısı akış hızıdır, Ex^W ise sistem genelinde yapılan net ekserjetik çalışmadır. I' terimi, sistemdeki elektriksel ve termal ekserji kayıplarını ifade eder.

Ayrıca, sistem için kararlı durum varsayımı $m_{in} = m_{out} = 0$ verir. Bu nedenle, denklem (3.9) şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$\sum_k Ex^Q - Ex^W - I' = 0 \quad (3.10)$$

Burada sistemdeki elektriksel ve termal ekserji kayıplarının ifadesi ya da ekserji tüketimi şudur:

$$I' = T_{amb} S_{gen} \quad (3.11)$$

S_{gen} panel-pili sisteminin genel yüzey alanıdır ve T_{amb} ortam sıcaklığıdır.

Güneş giriş ışıyım yoğunluğu, panel alanı ve ortam sıcaklığı gibi FV sistemi için giriş ekserjisi şu şekilde hesaplanabilir:

$$Ex_{in} = A \times E \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)^4 \right\} \quad (3.12)$$

T_{sun} yeryüzündeki güneş sıcaklığıdır ($T_{sun}= 4778k$ ve E Güneş ışıyımı)

Sistemin elektrik ve termal ekserji çıkışı şu şekilde formüle edilebilir:

$$Ex_{el} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (3.13)$$

$$Ex_{th} = Q \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{ml}} \right) \right\} \quad (3.14)$$

T_{ml} panel-pili modülü sıcaklığıdır.

Net enerji çıkış hesaplamaları için modül sıcaklığı normal çalışma hücresi sıcaklığına (NOCT) göre şu şekilde değerlendirilebilir:

$$T_{ml} = T_{amb} + (NOCT - 20) \times (E/800) \quad (3.15)$$

NOCT normal çalışma hücresi sıcaklığıdır ve E , güneş ışıyımıdır.

Sistem, konvektif ve radyasyon faktörlerini içeren ve şu şekilde temsil edilebilen ısı kaybını deneyimler:

$$Q = A \times (h_c - h_r) \times (T_{ml} - T_{amb}) \quad (3.16)$$

h_c ve h_r sırasıyla konvektif ve ışıyım ile ısı transfer katsayısı ve ifadeleri şu şekilde temsil edilir:

$$h_c = 2.8 + 3v \quad (3.17)$$

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_{sky} + T_{ml}) (T_{sky}^2 + T_{ml}^2) \quad (3.18)$$

Söylememiz gerekiyor ki yukarıdaki v hava hızı, ε emisivitedir ve σ Stefan Boltzmann'ın sabitidir.

Diğer hesaplamalar için, etkili gökyüzü sıcaklığı

$$T_{sky} = T_{amb} - 6 \quad (3.19)$$

Yukarıdaki formülasyona dayanarak, sistem için net ekserjetik verimlilik

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{out}}{Ex_{in}} ; E_{out} = E_{el} - E_{th} \quad (3.20)$$

3.3.3. Fotonik Yöntem

Giriş güneş ışınımını foton adı verilen küçük enerji paketlerinden oluşur. Enerji seviyelerine göre, fotonların enerjisi olarak bilinen güneş radyasyonlarının enerjisi hesaplanabilir. Bu şu şekilde hesaplanabilir:

$$E_{ph}(\lambda) = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.21)$$

Burada λ dalga boyu, h Planck sabiti ve c boşlukta ışık hızı.

Belirli bir yüzeye düşen foton sayısı tahmini olarak hesaplanabilir. (Nozik vd, 2003)'teki açıklamalara göre, puslu bir günde dünya yüzeyinde 1 cm^2 alanda her saniye düşen 4.4×10^{17} sayıda foton vardır. Güneş sabitinin büyüklüğü 1367 W/m^2 olarak kabul edildiğinde, bu rakam güneş radyasyon yoğunluğunun $4.4 \times 10^{21} / 1367$ faktörü ile çarpılmasıyla da formüle edilebilir.

Sonuç olarak, FV sistemi için fotonik enerji; 1 m^2 alan, fotonik enerji ve güneş enerjisini emen alanın saniyede düşen foton sayısının çarpımıdır. Bundan böyle, bu herhangi bir FV sistemin mevcut kimyasal potansiyelinin veya fotonik enerjisinin tahminidir ve verilen formüllerle formüle edilebilir (Luque vd, 2004):

$$E_{cp} = E_{ph}(\lambda) \left\{ 1 - \left(\frac{T_{ml}}{T_{sun}} \right) \right\} = AN_{ph} \left(\frac{hc}{\lambda} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{T_{ml}}{T_{sun}} \right) \right\} \quad (3.22)$$

Eğer bu güneş pilinin enerji dönüşüm verimliliği ile çarpılırsa ve aşağıdaki gibi hesaplanırsa, sistemin fotonik ekserjisine yol açabilir (Luque ve Martí, 2011).

$$Ex_{cp} = E_{ph}(\lambda) \left\{ 1 - \left(\frac{T_{ml}}{T_{sun}} \right) \right\} = AN_{ph} \left(\frac{hc}{\lambda} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{T_{ml}}{T_{sun}} \right) \right\} \quad (3.23)$$

Hatırlayalım ki buradaki A , panel-pili alanı ve N_{ph} foton sayısıdır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

Çevresel şartlar ve hava durumu dikkate alınarak daha sağlıklı analiz yapabilmek için ilk olarak 2018 yılındaki Teknopark'ın verilerinin en yüksek günlük enerji (güç) üretimi alınmıştır. Yani bu yılın her on iki ayının (2018 yılının her 12 ayı) en yüksek elektrik enerjisi üretilen üç (3) günlük değerleri bulunmuştur. Ondan sonra o günler için santralin anlık ortalama elektriksel enerji üretimi gücü (Watt olarak) hesaplanmıştır. Samsun Meteoroloji 10. Bölge Müdürlüğünden alınan 2018 yılının verileri (OMÜ bölgesinin rüzgâr hızını, güneş ışınımını ve ortam sıcaklığını) kullanılarak o yıl için enerji analizinin yöntemi ve geleneksel yöntemi (Ekserji analizi) kavramlarıyla Teknopark'ın enerji/ekserji parametreleri (ısı kaybı katsayısı, panel-pilleri sıcaklığı, termal enerji ve giriş ekserji) hesaplanıp enerjisi ve ekserjisi değerlendirilmiştir.

Diğer tarafta da 100W'lık mikro-güneş enerjisi santrali (mikro-GES) verileri açık ve güneşli bir günde (9 Kasım 2020 gününde) alınmıştır. Kurmuş olduğumuz 100W'lık mikro-GES ve Teknopark ile aynı çevresel koşulları sağlayabilmeleri için Ondokuz Mayıs Üniversitesinin Fen Edebiyat Fakültesinin gökyüzüne açık bir alanında bu mikro-GES'i monte ettik. Saat 12:00'den saat 16:30'a kadar her 15 dakika farklı değerleri (Anlık gerilim, anlık akım, anlık panel-modülü sıcaklığı, anlık ortam sıcaklığı, anlık güneş ışınımı ve anlık rüzgâr hızı) ölçerek enerji/ekserji parametrelerini (Elektriksel gücü, ısı kaybı katsayısı, termal enerji ve giriş ekserji) hesaplayıp enerjisinin ve ekserjisinin analizini yaptık.

4.1. TEKNOPARK'ın Enerjisinin ve Ekserjisinin Analizi

Ondokuz Mayıs Üniversitesi bölgesinde bulunan 114 kW kapasiteli şebekeye bağlı bir GES (Teknopark) 2018 yılının en yüksek günlük güç üretimi değerleri kullanılarak bu santralin enerji/ekserji analizi yapılmıştır. Çizelge 4.1'de TeknoPark'ın 2018 yılının elektriksel enerji üretimi gösterildi (2018 yılının her ayının sadece en çok elektrik üretilen üç günlük değerleri alındı). Ayrıca birbirine bağlı olarak üretilen elektrik enerjisi, Ex_{el} , ortam sıcaklığı, T_{amb} , ortam rüzgâr hızı, V ve güneş ışınımı, E ve bunlara bağlı bir şekilde doldurma faktörü, FF , ısı kaybı katsayısı, Q , santralin modüllerinin sıcaklığı, T_{ml} , Enerji verimliliği, η_{el} , termal ekserji, Ex_{th} , Giriş ekserji, Ex_{in} ve ekserji verimliliği hesaplanıp (TeknoPark'ın 440 adet panel-modülü olduğunu hatırlatalım ve

her modülün yüzey alanı $1,65 \times 0,99 \text{ m}^2$ yani yaklaşık $1,6335 \text{ m}^2$.) ortaya koyuldu. G_i ($i=1,2, 3, \dots, 36$) gün indisleri.

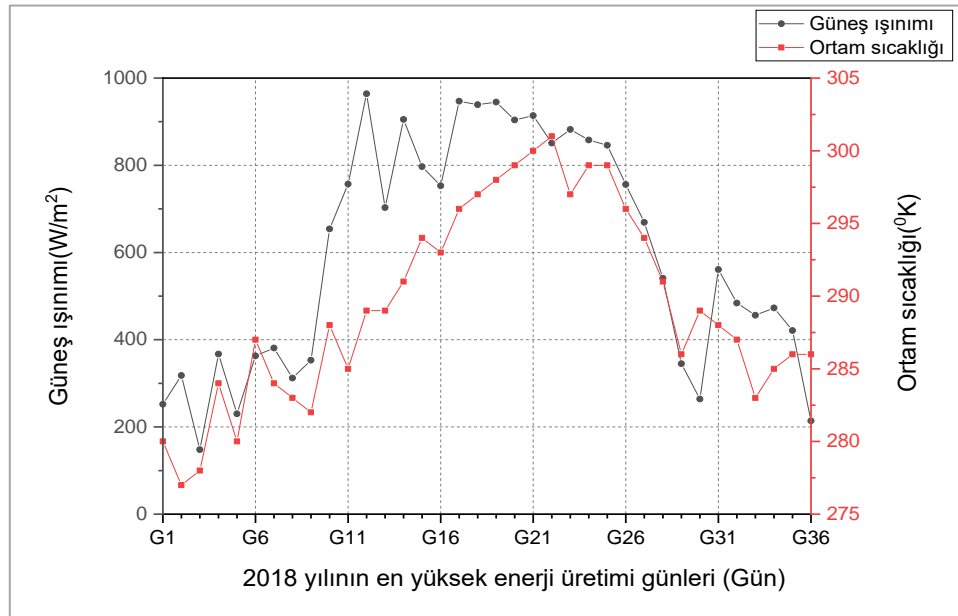
Çizgisel 4.1. 2018 yılındaki TeknoPark'ın enerji/ekserji incelemesi

Zaman (Gün /Ay)	Gün Belir- ti (Gün)	Güneş ışınımı E (W/m ²)	Rüz- gâr Hızı (m/s)	T _{amb} (°K)	T _{inl} (°K)	Form fak- törü FF	η_{el} (%)	Elektrik -sel Ekserji Ex _{el} (W)	Isı Kaybı Q	Termal Ekserji Ex _{th} (W)	Giriş Ekserji Ex _{in} (W)	η_{ex} (%)
01/01	G ₁	252	7	280	287.88	0.19	16.07	66.15	32.3	11.37	387.52	14.14
15/01	G ₂	318	5	277	286.94	0.21	13.95	72.45	24.7	13.89	489.34	11.97
23/01	G ₃	148	32	278	282.63	0.07	10.53	25.46	127.3	15.74	227.69	4.27
16/02	G ₄	367	10	284	295.47	0.13	7.66	45.94	43.7	31.78	563.86	2.51
19/02	G ₅	230	16	280	287.19	0.09	7.89	29.66	66.5	19.54	353.69	2.86
28/02	G ₆	363	11	287	298.34	0.12	7.17	42.53	47.5	33.47	557.34	1.63
10/03	G ₇	381	9	284	295.91	0.33	17.97	111.83	39.9	31.22	585.37	13.77
12/03	G ₈	312	15	283	292.75	0.30	20.19	102.9	62.7	33.26	479.47	14.52
29/03	G ₉	353	23	282	293.03	0.25	15.07	86.89	93.1	63.15	542.59	4.37
07/04	G ₁₀	654	2	288	308.44	0.44	14.28	152.51	13.3	29.42	1003.92	12.26
15/04	G ₁₁	757	14	285	308.66	0.44	12.14	150.15	58.9	174.44	1162.80	2.09
29/04	G ₁₂	964	2	289	319.13	0.43	9.39	147.79	13.3	61.78	1479.45	5.81
13/05	G ₁₃	703	8	289	310.97	0.44	13.10	150.41	36.1	91.52	1078.89	5.46
15/05	G ₁₄	905	10	291	319.28	0.39	9.02	133.35	43.7	178.82	1388.28	3.28
24/05	G ₁₅	797	4	294	318.91	0.38	10.12	131.75	20.9	66.41	1221.79	5.35
03/06	G ₁₆	753	4	293	316.53	0.49	13.55	166.69	20.9	59.72	1154.60	9.26
12/06	G ₁₇	947	7	296	325.59	0.46	10.30	159.34	32.3	141.92	1451.09	1.20
30/06	G ₁₈	939	11	297	326.34	0.39	8.71	133.61	47.5	204.72	1438.51	4.94
04/07	G ₁₉	945	10	298	327.53	0.32	7.21	111.3	43.7	190.07	1447.38	5.44
17/07	G ₂₀	904	11	299	327.25	0.39	9.12	134.66	47.5	189.22	1384.28	3.94
22/07	G ₂₁	914	10	300	328.56	0.42	9.74	145.43	43.7	177.25	1399.28	2.27
04/08	G ₂₂	851	14	301	327.59	0.26	6.51	90.56	58.9	207.71	1302.54	8.99
11/08	G ₂₃	882	19	297	324.56	0.31	7.32	105.53	77.9	297.85	1351.19	14.23
20/08	G ₂₄	858	11	299	325.81	0.33	8.17	114.45	47.5	171.21	1313.84	4.32
01/09	G ₂₅	846	6	299	325.44	0.25	6.14	84.79	28.5	99.99	1295.46	1.17
23/09	G ₂₆	756	3	296	319.63	0.33	9.16	113.14	17.1	48.78	1158.42	5.56
29/09	G ₂₇	669	15	294	314.91	0.30	9.32	101.85	62.7	142.15	1025.57	3.93
07/10	G ₂₈	541	7	291	307.91	0.18	7.13	63.00	32.3	48.98	829.90	1.69
26/10	G ₂₉	345	8	286	296.78	0.18	10.85	61.16	36.1	23.10	529.82	7.18
27/10	G ₃₀	264	9	289	297.25	0.18	14.31	61.69	39.9	14.92	405.16	11.54
05/11	G ₃₁	561	15	288	305.53	0.12	4.47	40.95	62.7	103.03	861.16	7.21
17/11	G ₃₂	484	1	287	302.13	0.13	5.51	43.58	9.5	11.75	743.12	4.28
25/11	G ₃₃	456	5	283	297.25	0.15	7.08	52.76	24.7	27.56	700.76	3.60
02/12	G ₃₄	473	17	285	299.78	0.09	3.87	29.93	70.3	83.69	726.56	7.40
09/12	G ₃₅	421	11	286	299.16	0.09	4.58	31.50	47.5	44.89	646.54	2.07
11/12	G ₃₆	214	24	286	292.69	0.08	7.88	27.56	96.9	24.19	328.64	1.03

Şekil 4.1'de 01 Ocak 2018'den akşam 31 Aralık 2018'e kadar seçilen günler olan giriş güneş ışınımının ve ortam sıcaklığının değişimleri gösterilmektedir. Rüzgâr hızındaki değişim 1 m/s- 32 m/s arasında gözlenir. Bu demek ki santralin bünyesinde en düşük (1 m/s) hava hareketi 17/11/2018 gününde ve en yüksek (32 m/s) rüzgâr hızı ise 23/01/2018 gününde gözlenmiştir. Yanı sıra santral dizisinin yüzeyi ile çevresi arasındaki ısı transferi katsayısı konveksiyonunu etkiler. Sistemin maksimum ısı kaybı katsayısı (Denklem 3.16) yaklaşık 9.50 – 127.30 aralıklarındadır. Ortalama ortam

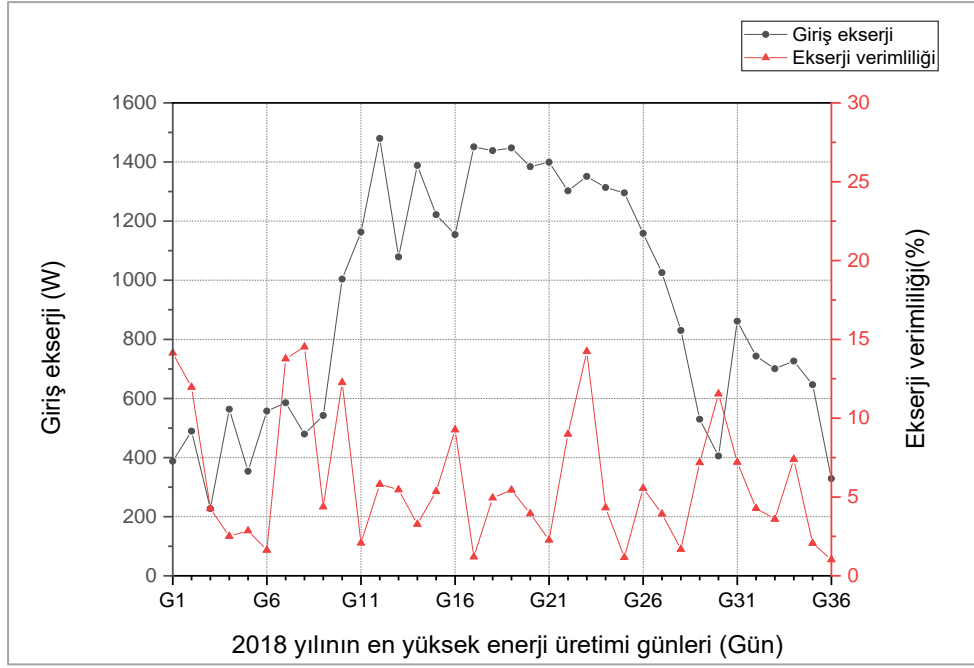
sıcaklığının seçilen günlerde 277 K ila 301 K arasında değiştiği görülmektedir. Yani o yıl boyunca santralin bulunduğu yerde havanın en sıcak (301 K) günü 04/08/2018 olurken en soğuk (277 K) günü ise 15/01/2018'dir. Giriş güneş ışınımı yoğunluğu ise 148 W/m^2 ve 964 W/m^2 aralığı arasındaki değişimi gözlemler (En düşük 148 W/m^2 23/01/2018 gününde ve en yüksek ise 964 W/m^2 29/04/2018 gününde gözlemlenmiştir). Maksimum yıllık ortalaması güneşten gelen ışık gücünün 597.97 W/m^2 'dir. Aynı zamanlarda sistemin panel-modüllerinin sıcaklığının (Denklem 3.15) en düşük değeri 282.63 K'den (23/01/2018) başlarken en yüksek değeri 328.56 K'ye (21/07/2018) ulaşmıştır.

Bununla birlikte, maksimum güneş ışınımı yoğunluğunda, daha büyük güneş sıcaklığı nedeniyle giriş ekserjiler tepe değerlerine yaklaşır.



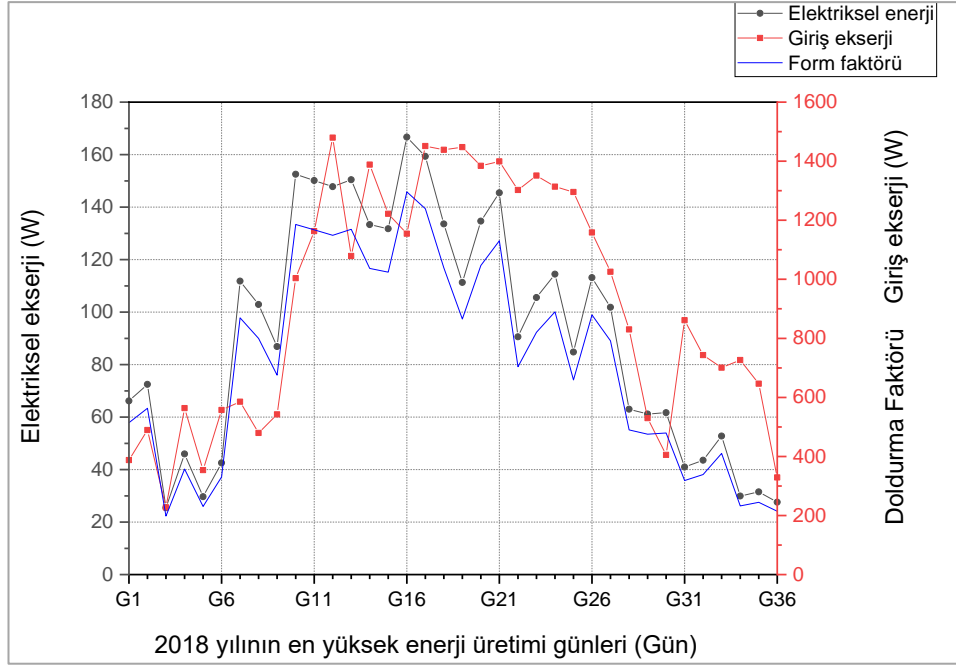
Şekil 4.1. Güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı ilişkisi

Giriş güneş ışınımı yoğunluğu 148 W/m^2 ve 964 W/m^2 aralığı arasındaki değişimi gözlemlendi (Şekil 4.1'de gösterilmektedir). Fotonik yöntemi (Denklem 3.21'e göre) ile kontrol edilirse Teknopark bölgesine farklı giriş dalga boyları (görünür bölge $0,4\mu\text{m}$ - $0,7\mu\text{m}$ aralığı dalga boyutları) yansıtılmıştır. Giriş ekserjiye güneş ışınımı, sistem FV alanı, ortam sıcaklığı ve yeryüzündeki güneş sıcaklığı bağlıdır (Denklem 3.12). Şekil 4.2'de giriş ekserji ve ekserji verimliliği (Denklem 3.20) zamana göre çizilmiştir. Hem düşen güneş ışınımı hem de giriş ekserjiler zamanla aynı modeli izler (Şekil 4.1'de ve Şekil 4.2'de gözlemler yansıtıldı).



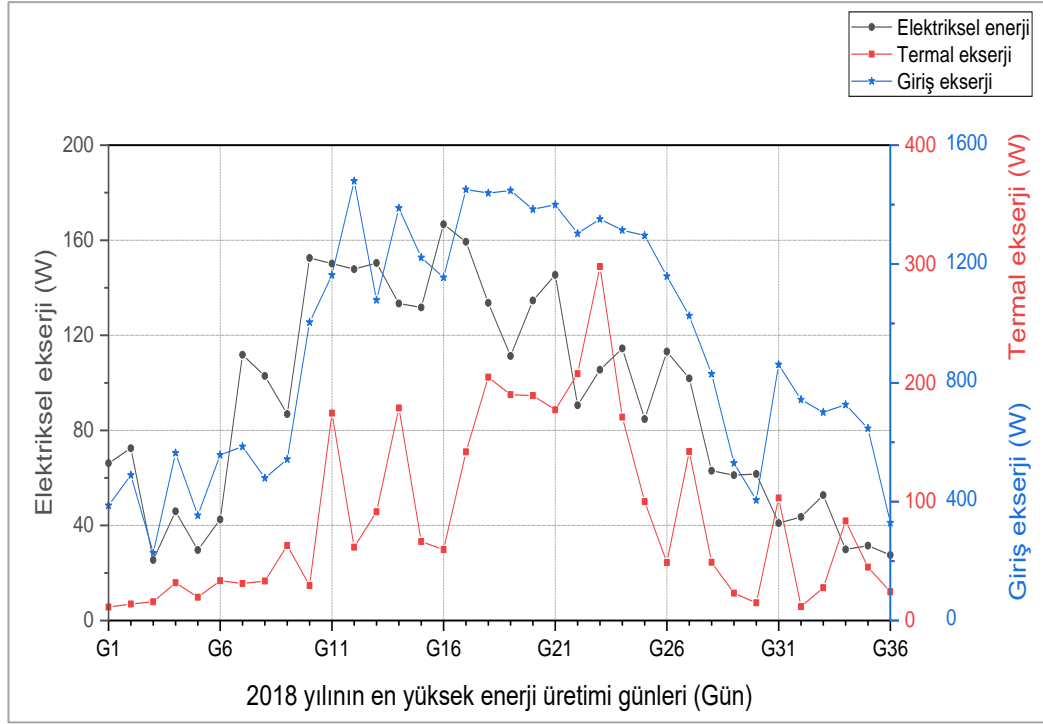
Şekil 4.2. Zamanla giriş ekserji ve ekserji verimliliği varyasyonları

Zamana göre farklı doldurma faktörleri (Form faktörleri) için elektriksel ekserjideki değişimler Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Aynı zamanda 2018 yılında Santral 25.46 W – 166.69 W (19/02/2018 günü – 03/06/2018 günü) aralığında anlık maksimum elektrik gücü (Anlık maksimum elektrik enerjisi) üretebilmiştir. Ancak aynı sene içinde santralin panel-pilleri güneşten düşen ışık enerji gücüyle 227.69 W – 1479.45 W aralığında anlık maksimum ideal elektrik gücü (anlık maksimum giriş ekserji) üretebilecekti. Ortalama anlık maksimum giriş ekserji 917.11 W yani Teknopark'ın yeryüzüne (yaklaşık 653.4 m²) gelen güneş ışınımı her an ortalama 917 Wp elektrik enerjisi üretilebilir. Eğer sistemin panel-modüllerine yapısal teknolojisi ile düşen güneş ışınımını tamamen elektriğe dönüştürebilse santralin inanılmaz bir üretilen enerji kaynağı potansiyeli olabilir. Bu, çıkış elektriksel ekserjinin, küçük GES'in sistemindeki doldurma faktörünün (Denklem 3.7) iyileştirilmesiyle önemli ölçüde geliştirilebileceğini belirtir.



Şekil 4.3. Zamanla ekserji, doldurma faktörü ve giriş güneş ekserjisinin değişimleri

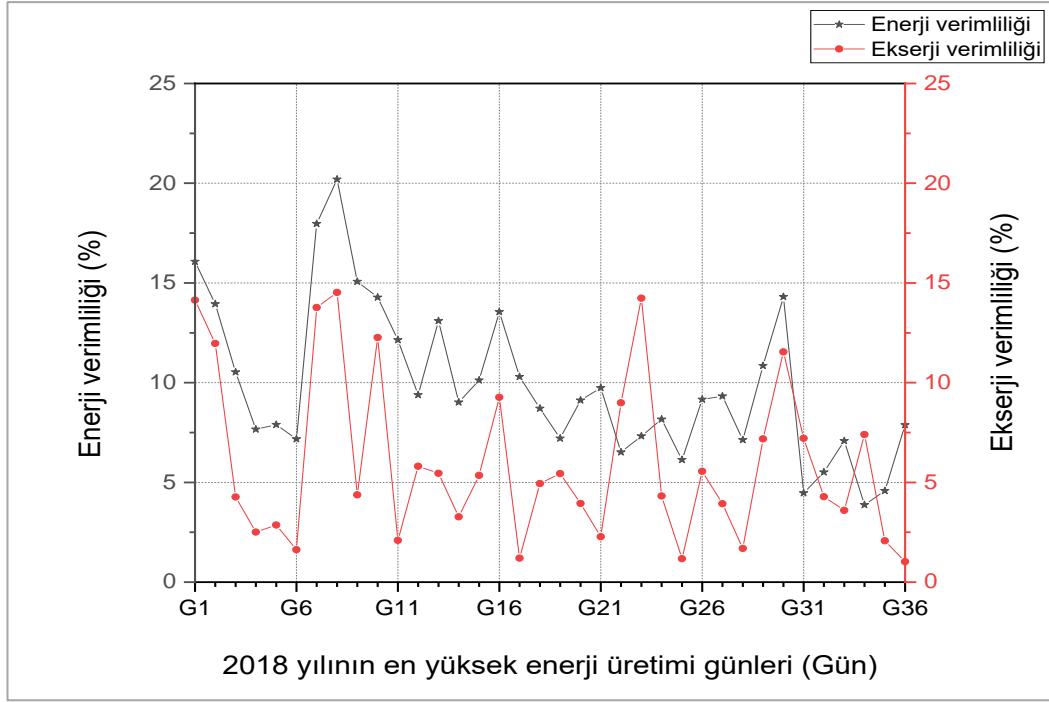
Deneysel analizlere dayanarak, tüm günlerdeki ekserji kaybının ortalama %80'i aşabildiği tespit edilmiştir. Günümüzde piyasada bulunan polikristal panel-modüllerin yetersiz ışık tutma performansına (% 14- %24 arasında) sahip oldukları için büyük miktarda yararlı ekserji kaybolmuştur. Bununla birlikte, giriş güneş ışınımı artışı ile yükselir. Aşağıdaki Şekil 4.4, iki verimin sıcaklıkla değiştiğini ve maksimum değerlerine ulaştığını açıkça göstermektedir. Tam analiz, sırasıyla %5.99 ve %9.87 ortalama ekserji/enerji verimliliğini verir. “Sistem, düşük enerji çıkışı kalitesinden dolayı düşük ekserjetik verime sahiptir ve dönüştürme işlemi sırasında yararlı ekserji de büyük kayıplara uğrar”. Sistemde ekserji yok etme faktörünün büyüklüğü %93'ten fazladır ve maddi açıdan çok daha fazla iyileştirmeye ihtiyaç duyar.



Şekil 4.4. Zamanla termal, elektriksel ve giriş ekserji varyasyonları

Sistemdeki optik ve termal kayıplar (Şekil 4.4'te gösterilmiştir) en aza indirilerek böylece sistemdeki verimi iyileştirebiliriz (Şekil 4.5'te gösterilmiştir). TeknoPark modüllerinin sıcaklığı, hücrelerin çalışma sıcaklığına daha yakın olmalıdır. Sistem, ideal %100 geri dönüşümlü fenomene referansla tüm sene boyunca düşük enerji/ekserji verimliliği gözlemler. Bunun nedeni, güneş FV enerjisi dönüştürme işleminin geri çevrilemez doğasıdır. Giriş güneş ışınımının yalnızca belirli bir kısmı faydalı elektrik çıkışına dönüştürülür. Gerisi ısı ve diğer optik kayıplarla boşa harcanır. Geleneksel olarak mevcut polikristal hücre modülleri, düşük dönüştürme verimliliği nedeniyle büyük ekserji kaybına uğrar. Ancak girişteki güneş ışınlarının artmasıyla artar.

2018 yılında TeknoPark'ın maksimum enerji verimliliği %3,87 – %20,19 arasında değişirken maksimum ekserji verimliliği ise %1,03- %14,52 aralığında bulunur ve sene boyunca maksimum ekserji/enerji ortalaması ise %5,99 / %9,87 civarındadır.



Şekil 4.5. Zamana karşı enerji / ekserji verimliliği

4.2. Mikro-GES'in Enerjisinin ve Ekserjisinin Değerlendirmesi

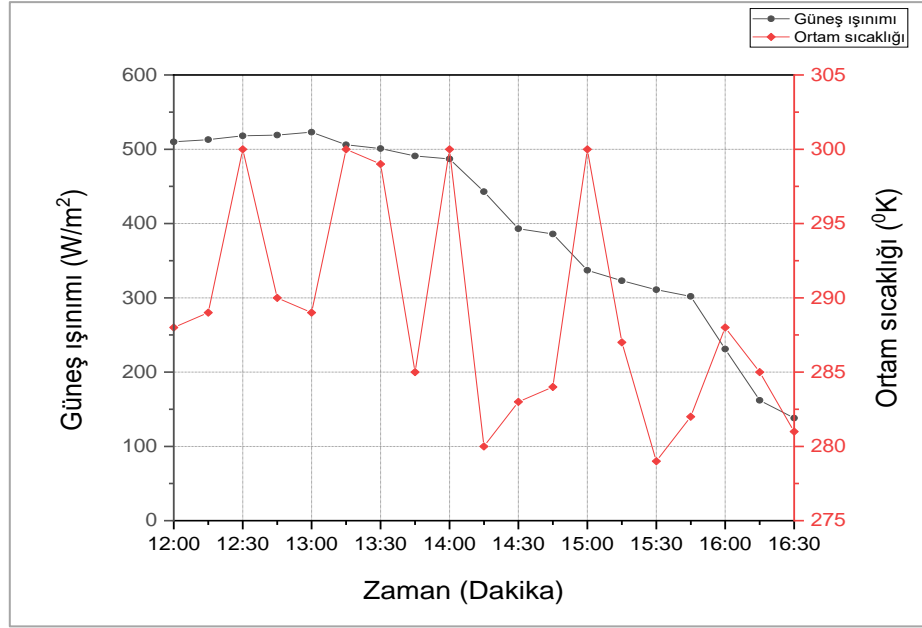
OMÜ bölgesindeki Teknopark'a çok yakın OMÜ-Fen Edebiyat fakültesi bulunmaktadır. Bu yerde kurduğumuz 100W'lık bir panel-piliyle bir mikro-güneş enerjisi santrali için enerji/ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.2'de Mikro-GES 9 Kasım 2020 yılının elektriksel enerji/ekserji üretimi gösterildi. Teknopark'ın enerji/ekserji değerlerini hesaplamak için kullanılmış yöntemler ve denklemler bu analizde de geçerlidir. Mikro-GES'in bir adet 100W'lık polikristal modül-pili vardır ve yüzey alanı $0,636256m^2$ 'dir. O gündeki her on beş dakika aralık ile saat 12:00- 16:30 arasındaki değerler çizgisel.4.2'de gösterilmektedir.

Çizgisel 4.2. 9 Kasım 2020’de mikro-GES’in enerji/ekserji incelemesi

Zaman (Dakika)	Güneş ışınımı E(W/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	T _{amb} (°K)	T _{ml} (°K)	Form Faktörü FF	η_{el} (%)	Elektriksel Ekserji Ex _{el} (W)	Isı Kaybı Q	Termal Ekserji Ex _{th} (W)	Giriş Ekserji Ex _{in} (W)	η_{ex} (%)
12 :00	510	2	288	303,94	0,25	10,83	35,15	13,3	3,50	304,93	10,38
12 :15	513	4	289	305,03	0,25	10,65	34,78	20,9	5,50	306,66	9,55
12 :30	518	3	300	316,19	0,27	11,41	37,61	17,1	4,53	308,89	10,71
12 :45	519	2	290	306,22	0,25	10,53	34,77	13,3	3,49	310,17	10,08
13 :00	523	3	289	305,34	0,25	10,39	34,58	17,1	4,48	312,63	9,63
13 :15	506	2	300	315,81	0,25	10,86	34,96	13,3	3,55	301,73	10,41
13 :30	501	4	299	314,66	0,25	10,91	34,77	20,9	5,58	298,82	9,77
13 :45	491	4	285	300,34	0,25	11,07	34,59	20,9	5,54	293,77	9,89
14 :00	487	3	300	315,22	0,25	11,22	34,77	17,1	4,60	290,40	10,39
14 :15	443	3	280	293,84	0,26	12,73	35,88	17,1	4,63	265,34	11,78
14 :30	393	5	283	295,28	0,25	13,91	34,77	24,7	6,86	235,24	11,86
14 :45	386	4	284	296,06	0,24	13,86	34,03	20,9	5,83	231,00	12,21
15 :00	337	4	300	310,53	0,24	15,53	33,30	20,9	6,02	200,96	13,57
15 :15	323	6	287	297,09	0,25	16,83	34,58	28,5	8,21	193,17	13,65
15 :30	311	7	279	288,72	0,25	17,76	35,15	32,3	9,32	186,32	13,86
15 :45	302	8	282	291,44	0,23	16,86	32,40	36,1	10,47	180,81	12,13
16 :00	231	5	288	295,22	0,04	3,43	5,04	24,7	7,43	138,12	1,73
16 :15	162	6	285	290,06	0,02	2,18	2,25	28,5	8,84	96,93	6,80
16 :30	138	6	281	285,31	0,01	1,67	1,47	28,5	9,83	82,64	9,02

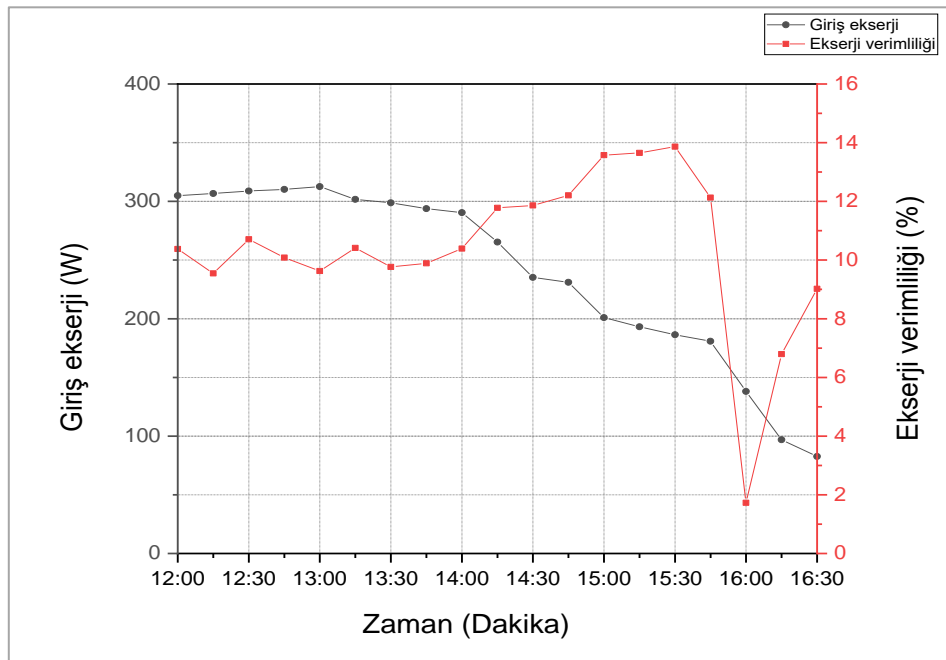
Çizgisel 4.2, 9 Kasım 2020’de saat 12:00’den saat 16:30’a kadar her 15 dakika giriş güneş ışınımının ve ortam sıcaklığının değişimlerini gösteriyor. Rüzgâr hızının en alçak (2 m/s) değişimi öğle saat 12:00’deyken en yüksek değişimi (8 m/s) ise saat 15:45’te gözleniyor. Bu durumda da panel-modülü dizisinin yüzeyi ile çevresi arasındaki ısı transferi katsayısı konveksiyonunu etkiliyor. Sistemin ısı kaybı katsayısı yaklaşık 13.3 (saat 13:00’te) – 36.1 (saat 15:45’te) aralıklarında yer almaktadır. Ortalama ortam sıcaklığının 279 K (saat 15:30’da) ila 300 K (12:30’da) arasında değiştiği görüntüleniyor. Giriş güneş ışınımı yoğunluğu ise 138 W/m² (saat 16:30’da) ve 523 W/m² (saat 13:00’te) aralığı arasındaki değişimi gözlemliyor. Aynı biçimde sistemin panel-modüllerinin sıcaklığı 285.32 K (saat 16:30’da) – 316.19 K (saat 12:30’da) ölçülmektedir.

Böylece saat 12:30’da maksimum güneş ışınımı yoğunluğu değeri, maksimum ortam ve panel-pili sıcaklığı değeri, enerji/ekserji değeri ve maksimum doldurma faktörü en yüksek değere ulaşmıştır. Yani bu saat sistemin “en yoğun güneş saatidir”. Ayrıca giriş güneş yoğunluğu artarken ortam sıcaklığı da artar.



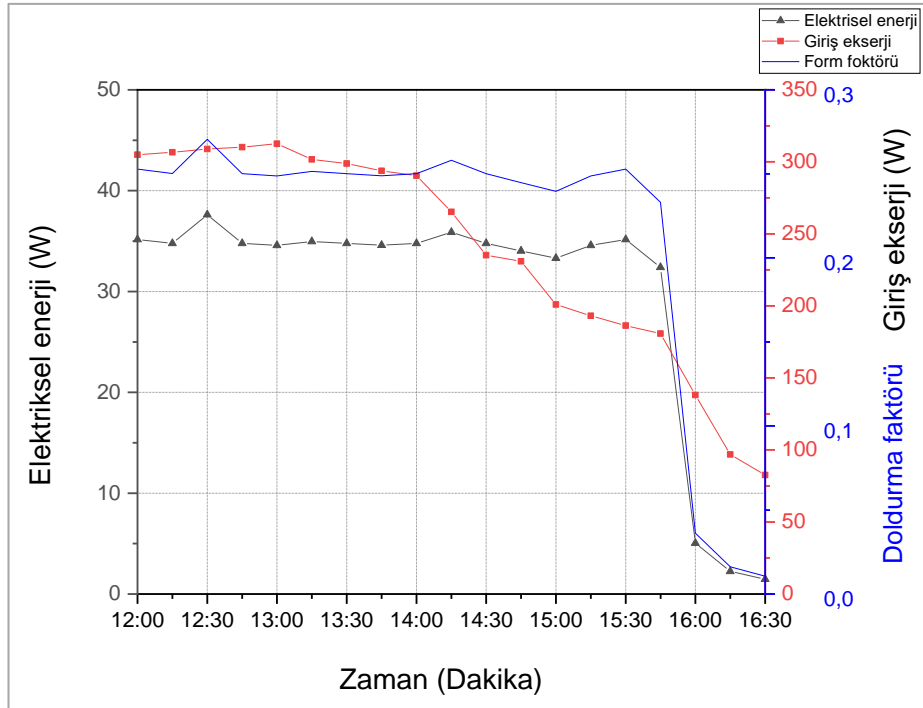
Şekil 4.6. Güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı ilişkisi

Şekil 4.7'de giriş ekserji ve ekserji verimliliği zamana göre çizildi. Güneş ışınımı yoğunluğunun 138 W/m^2 ve 523 W/m^2 aralığı arasındaki değişimi gözlemleniyor (Şekil 4.6'da). Güneş ışınımı, sistem FV alanı, ortam sıcaklığı ve yeryüzündeki güneş sıcaklığı giriş ekserjiye bağlı olduğu bilinmektedir. Genellikle düşen güneş ışınimleri ve ekserji verimlilikleri zamanla aynı model izler (Şekil 4.6'da ve Şekil 4.7'de yansıtıldı).



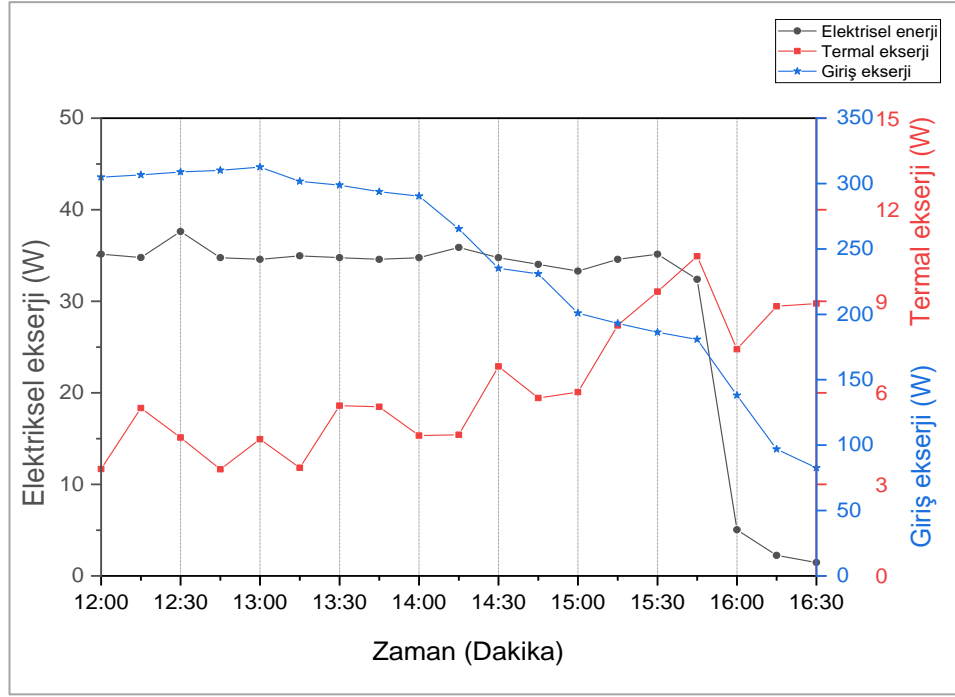
Şekil 4.7. Zamanla giriş ekserji ve ekserji verimliliği varyasyonları

Yapılan deneysel çalışmada sistem 1.47 W – 37.61 W aralığında anlık elektrik enerjisi üretmiştir. Ancak panel-pili güneşten düşen ışık enerji gücüyle 82.64 W – 312.63 W aralığında anlık ideal ekserji gücü üretebilecektir. Ortalama anlık giriş ekserji 238.87 W yani sistemin yeryüzüne gelen güneş ışınımı her an ortalama 239 Wp elektrik enerjisi üretebilir. Bu, çıkış elektriksel ekserjinin panel-pili doldurma faktörünün iyileştirilmesiyle önemli ölçüde geliştirilebileceğini belirtir. Zamana göre farklı form faktörleri için elektriksel ekserjideki değişimler Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Zamanla ekserji, form faktörü ve giriş ekserjisinin değişimleri

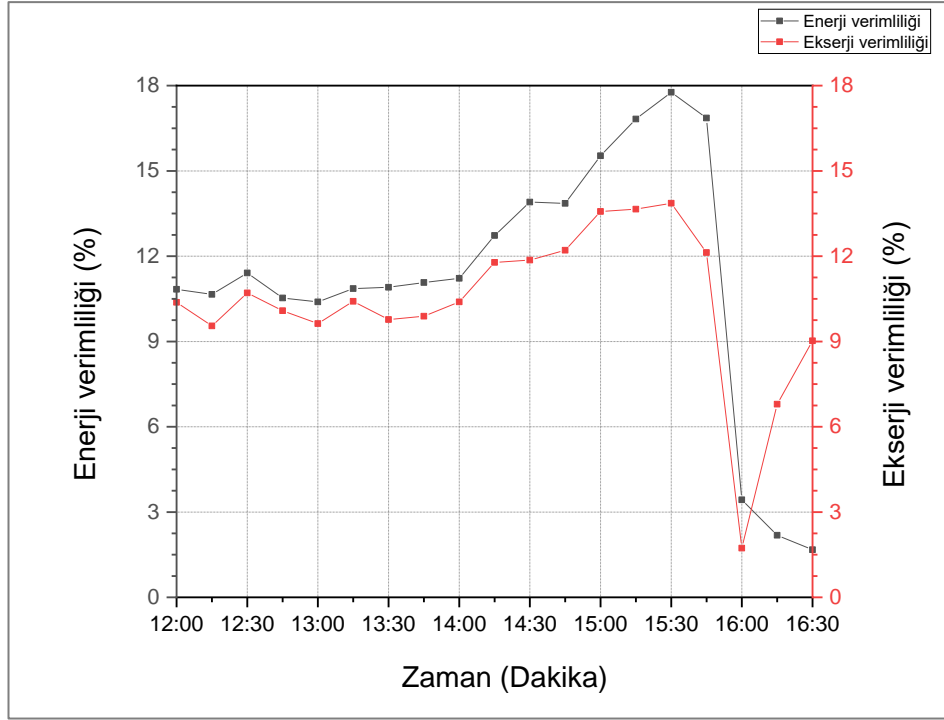
Deneysel gözlemlere göre gündeki ekserji kaybının ortalamasının %85'e ulaştığı tespit edilmiştir. Piyasada bulunan polikristal panel-modüllerin hala %80 civarında ışık yansıtıkları için büyük miktarda yararlı ekserji kaybolmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.9, iki verimin sıcaklıkla değiştiğini ve ekserji değerlerine ulaştığını açıkça göstermektedir. O gün tam analiz, sırasıyla %10.39 ve %11.19 ortalama ekserji/enerji verimliliğini vermektedir. Bu sistemde ekserji yok etme faktörünün büyüklüğü %88'den fazladır ve maddi açıdan çok daha fazla iyileştirmeye ihtiyaç duyar.



Şekil 4.9. Zamanla termal, elektriksel ve giriş ekserji varyasyonları

Sistem, ideal %100 geri dönüşümlü fenomene referansla yarım gün boyunca düşük enerji/ekserji verimliliği gözlemliyor. Geleneksel olarak mevcut polikristal hücre modülü, düşük dönüştürme verimliliği nedeniyle büyük ekserji kaybına uğramaktadır. Fakat, girişteki güneş ışınlarının artmasıyla artmaktadır. Sistemdeki optik ve termal kayıplar (Şekil 4.9’da gösterilmiştir) en aza indirildi ve böylece panel-pilindeki verim daha da iyileştirildi (Şekil 4.10’da gösterilmiştir). Panel-modülünün sıcaklığı, hücrelerin çalışma sıcaklığına daha yakın olmalıdır.

Bu çalışmayı yaptığımız günde enerji verimliliği %1.67 – %17.76 arasında değişirken ekserji verimliliği ise %1.73 - %13.86 aralığında bulunmaktadır.



Şekil 4.10. Zamana karşı enerji / ekserji verimliliği

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı OMÜ bünyesinde kurulu 144 kW güneş fotovoltaik sistemin (Teknopark) ve 100W'lık bir polikristal panel-pili modülü performanslarını tahmin etmek için parametrik enerji/ekserji araştırmaları yapmaktır. Tipik 9 Kasım 2020 gününde (mikro-GES için) ve 2018 yılı boyunca Teknopark'ın sisteminin gerçek zamanlı izlenmesi için enerji/ekserji analizinin değerlendirilmesine yönelik iki farklı yöntem (enerji yöntemi ve geleneksel yöntemi ya da ekserji yöntemi) gösterilmiştir. Elde edilen deneysel rakamlar (her sistem için), maksimum ekserji verimliliği elde etmek ve optimum bir sıcaklığı araştırmak için kullanılır. Enerji dönüştürme işlemi için çeşitli dışsal kayıplar da ölçülür. Araştırma çalışmalarının başlıca çıktıları aşağıda özetlenmiştir:

- OMÜ'de bulunan Teknopark fotovoltaik sistemde enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Güneş ışınımı dışındaki çevresel faktörleri hesaba katarak FV sisteminin performansını belirlemek için FV ekserji analizi kullanıldı. Sonuç, Teknopark maksimum enerji verimliliği %3.87- %20.19 arasında bulunurken maksimum ekserji verimliliği ise %1.03- %14.52 aralığında değişir. 2018 yılında Teknopark maksimum ekserji/enerji ortalaması ise %5,99 / %9,87 civarındadır. Ayrıca Mikro-GES enerji verimliliği %1.67 – %17.76 arasında bulunurken maksimum ekserji verimliliği ise %1.73- %13.86 aralığında değişir ve o gün için ekserji/enerji ortalaması ise %10,39 / %11,19 civarındadır.
- Çevresel faktörün FV sistemlerinin gücünü büyük ölçüde etkilediği doğrulandı. Ancak bu yüksek güneş ışınımı her zaman ekserji üretimini artırmaz. Çünkü ortam sıcaklığından ve FV hücrelerinin sıcaklığından da etkilenir.
- Ekserji verimliliğinin ortalama değeri (η_{ex}), güç dönüşüm verimliliğinden (η_{el}) daha düşüktür.
- Hem Teknopark için hem de mikro-GES için çalışmalar termodinamik prensiplere dayalı ekserjetik analizlerin gerçekçi ve zamana bağlı sonuçlar verdiği bulunmuştur. Çünkü güneş enerjisi sistemleri, bir kıtadan diğerine değişen iklim değişikliğiyle güçlü bir şekilde bağlantılıdır (bir bölgeden

diğerine). Bu nedenle, güneş enerjisi santrali tesislerinin termodinamik modelleme, kurulum ve planlamasının performans değerlendirmesi için bu yöntem kullanılabilir. Ayrıca bu fotovoltaik sistemlerin kurulum ve planlamasının performans değerlendirmesi için “fotonik yöntemi” de kullanılabilir (Shukla vd, 2016). Sonuç olarak GES sistemlerinin termodinamik modelleme, kurulum ve planlamasının performans değerlendirmesi için yöntemlerden herhangi biri kullanılabilir.

- Ayrıca doldurma faktörünün, FV sistemlerinin ekserji verimliliğinin tahmini için anahtar özellik olduğu ve her sistemde olası iyileştirme için daha net bir bakış açısı sağladığı gözlemlenmiştir. Her iki durumda doldurma faktörünün yüksek değeri, daha iyi ekserjetik verime yol açar.
- Her sistem için ekserji verimliliği, giren güneş ışınımı ile yükselir ve maksimum değerine ulaşır. Daha sonra hafif bir düşüş gösterir ve stabilize olur. Bir tarafta Teknopark sistemi, sırasıyla %9.87 ve %5.99 enerji/ekserji verimliliğine sahiptir. Diğer tarafta mikro-GES sistemi, sırasıyla %11,19 ve %10,39 maksimum enerji/ekserji verimliliğine sahiptir. Bununla birlikte, düşük enerji verimliliklerinin modüllerin mevcut güneş ışınımının yüksek enerji içeriğini faydalı elektrik çıkışına dönüştüremediğini gösterir.
- Teknopark ve Mikro-GES ekserji verimliliği, ortam sıcaklıkları ile ters bir ilişkiye sahiptir. Bunun nedeni, modül sıcaklığındaki artış ve sistemde meydana gelen çeşitli tersinmezliklerdir. Oysa giriş güneş ışınımının yoğunluğu arttıkça faydalı elektrik çıkışı artar.
- Güneşten modüllerin üzerine vuran radyasyonların şiddeti zayıfsa (yani düşen güneş ışığı görülen dalga boyutu küçükse) daha yüksek enerji/ekserji değerleri gözlemler. Çünkü yüksek radyasyon şiddeti ortam sıcaklığını artırır ve panel-pilleri sıcaklığı da yükselir.
- Ekserji verimliliği, FV hücrelerinin ortam sıcaklığı ve sıcaklığından büyük ölçüde etkilenir.
- Mevcut çalışmalar, güneş FV enerjisi dönüşüm süreci için daha iyi ve düşük maliyetli malzemelerin geliştirilmesini önermektedir. Bu, sistem verimliliğini önemli ölçüde artırabilir.

- Güneş enerjisi sistemleri yapılırken panel-modüllerinin soğutulması için havalandırma sistemi dikkate alınmaktadır. Enerji/ekserji verimliliği artırılması için hava kirliliği, panel-pillerin kirlenmesi, tozlanması ve gölgelenmesi gibi negatif faktörler azaltılmalıdır.

Fotovoltaik sistemlerin doğrudan enerji dönüşüm cihazları olduğu ve minimum işletme/bakım maliyetiyle büyük miktarda güç verebildiği görülmüştür. Üstelik bu çevre dostu (yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olduğu için temiz bir enerji üretmektedir. Çevreye karbon dioksit, karbon monoksit, nitrat, vb. zararlı maddelerle kirlenmemektedir) ve çevreye duyarlı enerji kaynaklarıdır. Önümüzdeki dönemde tüm enerji ihtiyacı sorunlarını çözebilir. Ek olarak, güneş panellerinin tasarım ve performans parametrelerini keşfetmek için yeni optimizasyon tekniği, sistem için daha iyi sonuçlara yol açabilir. Dahası, modelleme ve tasarım üzerine odaklanmış araştırmalar, panel-pili modüllerinin daha iyi verimliliği ve çıktı performansı bağlamında gereklidir. Sistem parametrelerinin uygun formülasyonları ve hesaplamaları ile optimum verimliliği elde etmek için çalışma genişletilebilir.

Teknopark bir ya da iki yıl içinde (yani 2019 ve 2020 yılı içinde) daha fazla sayıda gün için enerji/ekserji gerçekleştirilebilir ve araştırma bulguları kesin olarak doğrulanabilir. Ayrıca Teknopark bünyesinde iklim değişimleri (özellikle zamanla ortam sıcaklığı ve hava rüzgâr hızı evrimi) takip edilerek sistemin enerji/ekserji verimliliği artırılabilir. Yüksek sıcaklığa ya da çok düşük sıcaklığa karşı tedbirler alınarak (örneğin sistemin panel-pillerinin sulanması ve alt havalandırma sisteminin uygun olması gibi) verimlilik değerleri daha üst rakamlara getirilebilir. Ancak diğer yan etkiler tozlanma, gölgelenme ve kirlenme gibi fenomenler kontrol altına alınabilir. Bir GES veya daha küçük bir FV sistemlerinde güneş FV takip sistemleri kullanılırsa çıkış enerji/ekserji verimliliğinde önemli bir artış sağlanabilir.

Bu deneysel Mikro-GES çalışmasına farklı gün, ay ve yer içinde daha fazla sayıda devam edilebilir. Böyle bir araştırmaya OMÜ bölgesinde veya bu bölge dışında termodinamik yöntemiyle daha uygun enerji/ekserji üretilen bir ortam yol açılabilir.

KAYNAKÇA

- Agency, I. I. E. 2020. OİL.
- Ajam, H., Farahat, S. and Sarhaddi, F. 2005. Exergetic optimization of solar air heaters and comparison with energy analysis. *International Journal of Thermodynamics*, 8:4, 183.
- Arora, R. and Arora, R. 2018. Experimental Investigations and Exergetic Assessment of 1 kW Solar PV Plant. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 26:4.
- Barukčić, M., Ćorluka, V. and Miklošević, K. 2015. The irradiance and temperature dependent mathematical model for estimation of photovoltaic panel performances. *Energy conversion and management*, 101, 229-238.
- Barukčić, M., Hederić, Ž. and Špoljarić, Ž. 2014. The estimation of I–V curves of PV panel using manufacturers' I–V curves and evolutionary strategy. *Energy conversion and management*, 88, 447-458.
- Bhattacharya, T., Chakraborty, A. K. and Pal, K. 2014. Effects of ambient temperature and wind speed on performance of monocrystalline solar photovoltaic module in Tripura, India. *Journal of Solar Energy*, 2014.
- Brigand, S. 2008. Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque. *Techniques de Construction, Editions le Moniteur*, 17-35.
- Coleman, N. M., Abramson, L. R. and Coleman, F. A. 2012. Estimated lag time in global carbon emissions and CO₂ concentrations produced by commercial nuclear power through 2009 with projections through 2030. *Health physics*, 102:3, 326-334.
- Cordero, R., Damiani, A., Laroze, D., MacDonell, S., Jorquera, J., Sepúlveda, E., Feron, S., Llanillo, P., Labbe, F. and Carrasco, J. 2018. Effects of soiling on photovoltaic (PV) modules in the Atacama Desert. *Scientific reports*, 8:1, 1-14.
- DIB, W. 2010. Modélisation des structures photovoltaïques: Aspects fondamentaux et appliqués.
- Djedid, M. and Hebbir, N. 2019. Etude expérimentale de l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement d'une cellule PV.
- Djeroud, S. 2010. Caractérisation morphologique et optoélectronique des cellules solaires (a-Si: H). *Mémoire de magistère, Université Oran*.
- El Achouby, H., Zaimi, M., Ibral, A. and Assaid, E. 2018. New analytical approach for modelling effects of temperature and irradiance on physical parameters of photovoltaic solar module. *Energy conversion and management*, 177, 258-271.
- Farahat, S., Sarhaddi, F. and Ajam, H. 2009. Exergetic optimization of flat plate solar collectors. *Renewable Energy*, 34:4, 1169-1174.
- Gong, M. and Wall, G. 2001. On exergy and sustainable development—Part 2: Indicators and methods. *Exergy, An International Journal*, 1:4, 217-233.
- Group, W. (2019). Energy use (kg of oil equivalent per capita). *The World Bank*. Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>
- Hakim, A. R., Handoyo, W. T. and Wullandari, P. 2018. An energy and exergy analysis of photovoltaic system in Bantul Regency, Indonesia. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 9:1, 1-7.
- Hepbasli, A. 2008. A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12:3, 593-661.
- Jain, A., Mehta, R. and Mittal, S. K. 2011. Modeling impact of solar radiation on site selection for solar PV power plants in India. *International Journal of Green Energy*, 8:4, 486-498.
- Kurker, F. 2010. Microfabrication based design and simulation of hétérojunction solar cell. MSc Thesis. INAS, çukurova university, ADANA
- Labouret, A. and Viloz, M. 2006. *Energie solaire photovoltaïque*. Dunod,
- Landsberg, P. T. and Markvart, T. 1998. The Carnot factor in solar-cell theory. *Solid-State Electronics*, 42:4, 657-659.

- Lelièvre, J.-F. 2007. Elaboration de SiNx: H par PECVD: optimisation des propriétés optiques, passivantes et structurales pour applications photovoltaïques. *Institut National des Sciences Appliquées de Lyon*.
- Luque, A. and Martí, A. 2011. Theoretical limits of photovoltaic conversion and newgeneration solar cells. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons, Ltd*, 130-168.
- Luque, A., Martí, A., Stanley, C., López, N., Cuadra, L., Zhou, D., Pearson, J. and McKee, A. 2004. General equivalent circuit for intermediate band devices: Potentials, currents and electroluminescence. *Journal of Applied Physics*, 96:1, 903-909.
- Markvart, T. and Landsberg, P. 2002. Thermodynamics and reciprocity of solar energy conversion. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 14:1-2, 71-77.
- Mathew, M., Kumar, N. M. and Korothe, R. P. 2018. Outdoor measurement of mono and poly c-Si PV modules and array characteristics under varying load in hot-humid tropical climate. *Materials Today: Proceedings*, 5:2, 3456-3464.
- Mathieu, H. and Fanet, H. 2009. *Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques-6ème édition: Cours et exercices corrigés*. Dunod,
- Mustafa, R. J., Gomaa, M. R. and Al-Dhaifallah, M. 2020. Environmental Impacts on the Performance of Solar Photovoltaic Systems. *Sustainability*, 12:2, 608.
- Nozik, A., Martí, A. and Luque, A. 2003. Next Generation Photovoltaics: High Efficiency through Full Spectrum Utilization. *Edited by Martí A, Luque A, Institute of Physics, Bristol, UK*, 196-222.
- Omubo-Pepple, V., Tamunobereton-Ari, I. and Briggs-Kamara, M. 2013. Influence of meteorological parameters on the efficiency of photovoltaic module in some cities in the Niger delta of Nigeria. *Journal of Asian Scientific Research*, 3:1, 107.
- Özalp, M. and Bayat, M. 2017. A comparative thermodynamic analysis on different exergetic efficiency methods for a solar photovoltaic module. *International Journal of Exergy*, 24:2-4, 325-343.
- Papet, P. 2007. Nouveaux concepts pour la réalisation de cellules photovoltaïques à contacts interdigités sur substrats minces en silicium cristallin. *Institut National des Sciences Appliquées de Lyon*.
- Reeves, H. 2013. *Patience dans l'azur. L'évolution cosmique*. Le Seuil,
- Ross, R. T. and Hsiao, T. L. 1977. Limits on the yield of photochemical solar energy conversion. *Journal of Applied Physics*, 48:11, 4783-4785.
- Sahin, A. D., Dincer, I. and Rosen, M. A. 2007. Thermodynamic analysis of solar photovoltaic cell systems. *Solar energy materials and solar cells*, 91:2-3, 153-159.
- Saleh, S. S. 2017. Feasibility Analysis of 5, 8 and 10 kW Grid-Connected Photovoltaic Systems in Saudi Arabia. Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ)
- Sarhaddi-student, F., Farahat, S., Ajam, H. and Sobhnamayan, F. (2008). Thermodynamic optimization of the solar parabolic cookers and comparison with energy analysis. Fifth International Chemical Engineering Congress (IchEC 2008).
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H. and Behzadmehr, A. 2009. Exergetic optimization of a solar photovoltaic array. *Journal of thermodynamics*, 2009.
- Sen, Z. 2008. *Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. Springer Science & Business Media,
- Shakya, S. R. (2011). *Training manual for engineers on solar PV system*. Retrieved from
- Shukla, A. K., Sudhakar, K. and Baredar, P. 2016. Exergetic assessment of BIPV module using parametric and photonic energy methods: a review. *Energy and Buildings*, 119, 62-73.
- Sudhakar, K. and Srivastava, T. 2014. Energy and exergy analysis of 36 W solar photovoltaic module. *International Journal of Ambient Energy*, 35:1, 51-57.
- Sulaiman, S. A., Hussain, H. H., Leh, N. and Razali, M. S. 2011. Effects of Dust on the Performance of PV Panels. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58:2011, 588-593.
- Sze, S. M. and Ng, K. K. 2006. *Physics of semiconductor devices*. John Wiley & sons,

- Touati, F., Massoud, A., Hamad, J. A. and Saeed, S. (2013). Effects of environmental and climatic conditions on PV efficiency in Qatar. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13)*, 20-22.
- Wall, G. and Gong, M. 2001. On exergy and sustainable development—Part 1: Conditions and concepts. *Exergy, An International Journal*, 1:3, 128-145.
- Wang, Q., Jia, F., Huang, A., Qin, Y., Song, S., Li, Y. and Arroyo, M. A. C. 2020. MoS₂@ sponge with double layer structure for high-efficiency solar desalination. *Desalination*, 481, 114359.
- Würfel, P. 2002. Thermodynamic limitations to solar energy conversion. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 14:1-2, 18-26.
- Yazdanpanahi, J., Sarhaddi, F. and Adeli, M. M. 2015. Experimental investigation of exergy efficiency of a solar photovoltaic thermal (PVT) water collector based on exergy losses. *Solar Energy*, 118, 197-208.
- Zaimi, M., El Achouby, H., Ibral, A. and Assaid, E. 2019. Determining combined effects of solar radiation and panel junction temperature on all model-parameters to forecast peak power and photovoltaic yield of solar panel under non-standard conditions. *Solar Energy*, 191, 341-359.
- Zeman, M. 2012. Photovoltaic systems. *Solar cells*, 9.
- Zerga, A., Benyoucef, B. and Charles, J.-P. 1998. Insufficiencies of the single exponential model and efficiency of the double exponential model in the optimization of solar cells efficiency. *Active and passive electronic components*, 21:4, 265-278.

ÖZGEÇMİŞ



Mathieu FOZEU KALASSI, 24.06.1993 tarihinde Batié- Kamerun'da doğdu. Batié Lisesini bitirdikten sonra Yaoundé I Üniversitesi Fen Fakültesinin Fizik Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2018 yılında OMÜ LEE Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. İyi derecede Fransızca, iyi derecede Türkçe ve orta derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları, güncel bilimsel konular hakkında araştırma yapmak, spor yapmak, 22.02.2021.

İletişim bilgileri

E mail: fozkalass@gmail.com

Telefon : (+90) 539 653 49 15

ORCID ID : 0000-0003-3330-1742

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. Yabancı Türkiye Bursları (YTB)