**MORİTANYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE FİZİBİLİTESİ; NUAKŞOT, NEMA VE WADAN ŞEHİRLERİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Ali Salem SOULEYMEN**

Kütahya – 2023

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

# MORİTANYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE FİZİBİLİTESİ; NUAKŞOT, NEMA VE WADAN ŞEHİRLERİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA

Danışman:
Prof. Dr. Mustafa ARİF ÖZGÜR

Hazırlayan:
Ali Salem SOULEYMEN

Kütahya - 2023

**Kabul ve Onay**

Makine Mühendisliği Ana bilim dalında, 202085361004 öğrenci numaralı, Ali Salem SOULEYMEN'ın hazırlamış olduğu "MORİTANYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE FİZİBİLİTESİ; NUAKŞOT, NEMA VE WADAN ŞEHİRLERİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA" başlıklı yüksek lisans tez çalışması ile ilgili tez savunma sınavı jüri tarafından yapılmış ve adayın tezinin OY BİRLİĞİ ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

15/02/2023

| **Tez Jürisi** | **İmza** | |
|---|---|---|
| | **Kabul** | **Red** |
| Prof. Dr. Mustafa ARİF ÖZGÜR (Danışman) | | |
| Prof. Dr. Abdullah AKBULUT | | |
| Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ | | |

**Onay**

Doç. Dr. Arif KOLAY

Enstitü Müdürü

**Bilimsel Etik Bildirimi**

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım "*Moritanya'da Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminin Optimizasyonu ve Fizibilitesi; Nuakşot, Nema ve Wadan Şehirleri İçin Örnek Çalışma*" adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

15/02/2023

Ali Salem SOULEYMEN

**Özgeçmiş**

İlk, orta ve lise öğrenimini Moritanya'da tamamladı. 2015 yılında lise diploması aldı. 2018 yılında lisanstan mezun oldu (mekatronik). Şuan Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendislik Anabilim Dalında yüksek lisans yapmakta. Arapça, Fransızca ve Türkçe dillerini konuşuyor.

# ÖZET

## MORİTANYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE FİZİBİLİTESİ: NUAKŞOT, NEMA VE WADAN ŞEHİRLERİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA

**SOULEYMEN, Ali Salem**
**Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**
**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR**
**Şubat, 2023, 78 sayfa**

Bu çalışmada, Moritanya'nın enerji görünümü ve yenilenebilir enerji kaynaklarının genel durumu ele alınarak üç il üzerinden güneş enerjisi potansiyeli detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda Moritanya'da bulunan 3 il için 1 MW kapasitede şebeke bağlantılı fotovoltaik güç santrali PVsyst 7.2 yazılımı ile tasarlanmıştır. Güç santrali kurulumu için gerekli teçhizat ve ekipmanların seçimi yapılmış, belirlenen konumun güneş enerjisi verileri NASA bünyesindeki Atmosferik Bilim Veri Merkezi'nden temin edilmiştir. Bölgedeki iller için oluşturulan tasarımın sonunda, aylara göre elektrik enerjisi üretim miktarları ile farklı enerji üretimi ve kullanıcı ihtiyaçları değerleri hesaplanmıştır. Güç santralinin elektrik enerjisi üretiminden elde ettiği yıllık gelirler, ilk yatırım maliyetleri dikkate alınarak iller için maliyet analizi yapılmıştır. Daha sonra geri ödeme süresi ve net bugünkü değer ile geri dönüş süresi hesaplanmıştır. Maliyet analizi sonucunda Moritanya'da bulunan verilerin bu yatırıma uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmaya göre Moritanya'da belirlenen iller için yıllık elektrik enerjisi üretimi Nuakşot için 1802 MWh/yıl , Nema için 1694 olup MWh/yıl ve Wadan için 1734 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Performans oranı en yüksek Wadan olup %80,53, Nuakşot %80,15 ve en düşük performans oranı ise Nema %79,78 olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme sürelerinin 4,1 ve 4,3 yıl arasında değerler aldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, Nema, Nuakşot, Wadan, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

# ABSTRACT

## OPTIMIZATION AND FEASIBILITY OF SOLAR ELECTRICITY GENERATION IN MAURITANIA: A CASE STUDY FOR THE CITIES OF NUAKCHOT, NEMA AND WADAN

**SOULEYMEN, Ali Salem**
**Master Thesis, Mechanical Engineering**
**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR**
**February, 2023, 78 pages**

In this study, the energy outlook of Mauritania and the general situation of renewable energy sources were examined and the potential of solar energy as a tri-province was examined in detail. In this context, a 1 MW grid-connected photovoltaic power plant for each province in the Mauritanian provinces has been designed with PVsyst 7.2 software. The necessary equipment and equipment for the installation of the power plant were selected, and solar energy data of the designated location were obtained from the Atmospheric Science Data Center under NASA. At the end of the design created for the provinces in the region, electricity generation amounts and different energy production and user needs values were calculated according to the months.

The cost analysis was carried out for the provinces by taking into account the annual revenues of the power plant from the production of electrical energy and the initial investment costs. Then the payback period and the Net present value and the return period were calculated.As a result of the cost analysis, it was determined whether the provinces of Mauritania are suitable for this investment. According to this study, annual electrical energy production for the provinces determined in Mauritania was calculated as 1802 MWh/year for Nuakshot, 1694 MWh/year for Nema and 1734 MWh/year for Wadan. The highest performance ratio was calculated as 80.53% for Wadan, 80.15% for Nuakshot and the lowest performance ratio as Nema 79.78%. It has been determined that payback periods take values between 4.1 and 4.3 years.

**Keywords:** Nema, Nuakshot, Photovoltaics, Renewable Energy Sources, Wadan

# ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecim boyunca bana her zaman yol gösteren, destek veren, tecrübesini ve bilgisini paylaşan, değerli tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR'e teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde bana maddi ve manevi destek veren, bugünlere gelmemde emeği çok olan, annem LOUBNANE MOHAMED AVENİŞ′a, babam İSSELMOU MOHAMED SOULEYMEN′e teşekkürlerimi borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

**ÖZET** ..... v
**ABSTRACT** ..... vi
**TABLOLAR LİSTESİ** ..... x
**ŞEKİLLER LİSTESİ** ..... xi
**SİMGELER VE KISALTMALAR** ..... xii
**GİRİŞ** ..... 1

**BİRİNCİ BÖLÜM**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ TEKNOLOJİSİ**

**1.1. GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK GÜNEŞ TEKNOLOJİSİ)** ..... 5

1.1.1. Monokristal Güneş Pilleri ..... 5
1.1.2. Polikristal Güneş Pilleri ..... 5
1.1.3. İnce Film Güneş Pilleri ..... 5
1.1.3.1. Amorf Silisyum İnce Film Güneş Pilleri ..... 5
1.1.3.2. Bakır İndiyum Diseleneid İnce Film ..... 6
1.1.3.3. Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilli ..... 6
1.1.3.4. Nanofotovoltaik Güneş Pilleri ( Nanofv) ..... 6

**İKİNCİ BÖLÜM**

**MORİTANYA GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİ**

**2.1. MORİTANYA İKLİMİ** ..... 8

**2.2. NUAKŞOT'TA ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ** ..... 9

2.2.1. Termik Santraller ..... 9
2.2.2. Rüzgar Enerjisi ..... 10
2.2.3. Fotovoltaik Güneş Enerji Santralleri ..... 10

**ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**

**ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

**3.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR** ..... 14

**DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

**MATERYAL VE METOT**

**4.1. MATERYAL** ..... 20

4.1.1. Nuakşot İli Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Şeçilen Konum Bilgileri ..... 20

4.1.2. Nema İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Ve Seçilen Konum Bilgileri ..... 21
4.1.3. Wadan İli Güneş Enerji Potansiyeli ve Seçilem Konum Bilgileri ..... 23
4.1.4. Güneş Enerji Santralında Kullanılan Ekipmanlar ..... 25
4.1.5. Diğer Teçhizat ve Malzemeler ..... 26
4.1.6. Pvsyst 7.2 Programı ..... 27

**4.2. METOT ..... 28**

4.2.1. Güneş Enerji Hesaplamaları ..... 28
4.2.2. Geri Ödeme Süresi (GÖS) ..... 33
4.2.3. Net Bügünkü Değer (NBD) ..... 34

**BEŞİNCİ BÖLÜM**

**BULGULAR VE DEĞERLENDİRME**

**5.1. PVSYST PROGRAMININ TANITILMASI VE GEREKLİ BİLGİLERİN GİRİLMESİ ..... 36**

**5.2. PVSYST ANALİZ SONUÇLARI ..... 40**

5.2.1. Nuakşot İli İçin Genel Sonuçlar ..... 40
5.2.2. Nema İli İçin Genel Sonuçlar ..... 43
5.2.3. Wadan İli İçin Genel Sonuçlar ..... 46

**ALTINCI BÖLÜM**

**MALİYET ANALİZİ**

**6.1. NUAKŞOT İLİ İÇİN MALİ SONUÇLAR ..... 51**

**6.2. NEMA İLİ İÇİN MALİ SONUÇLAR ..... 52**

**6.3. WADAN İLİ İÇİN MALİ SONUÇLAR ..... 53**

**YEDİNCİ BÖLÜM**

**SONUÇ VE ÖNERİLER**

**7.1. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 56**

**EKLER ..... 57**

**KAYNAKÇA ..... 60**

**DİZİN ..... 63**

# TABLOLAR LİSTESİ

**Sayfa**

**Tablo 2.1:** Rüzgar Türbini Özelikleri ..... 10
**Tablo 4.1:** Nuakşot İli Aylık Hava Durumu ..... 20
**Tablo 4.2:** Nuakşot İli Enerji Üretimi ..... 21
**Tablo 4.3:** Nema İli Aylık Hava Durumu ..... 22
**Tablo 4.4:** Nema İli Enerji Üretimi ..... 23
**Tablo 4.5:** Wadan İli Aylık Hava Durumu ..... 24
**Tablo 4.6:** Wadan İli Enerji Üretimi ..... 25
**Tablo 4.7:** Güneş Paneli Özellikleri ..... 26
**Tablo 4.8:** İnverter Özellikleri ..... 26
**Tablo 4.9:** Fotovoltaik Güç Santralı İçin Gerekli Teçhizat ve Malzemeler ..... 27
**Tablo 4.10:** Örnek Günler İçin N Değerlerinin Hesaplaması ..... 28
**Tablo 4.11:** Ortalama Yansıtma Katsayıları ..... 33
**Tablo 6.1:** Finansal Parametreler ..... 51
**Tablo 6.2:** Nuakşot İli Detaylı Ekonik Analiz Sonuçları ..... 52
**Tablo 6.3:** Finansal Parametreler ..... 52
**Tablo 6.4:** Nema İli Detaylı Ekonik Analiz Sonuçları ..... 53
**Tablo 6.5:** Wadan İli Detaylı Ekonik Analiz Sonuçları ..... 54
**Tablo 6.6:** Maliyet Analizi Sonuçları ..... 54
**Tablo 7.1:** İllere Göre Enerji Üretim ve Geri Ödeme Süreleri ..... 56

# ŞEKİLLER LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 2.1:** Moritanya Güneş Radyasyonu Haritası ..... 8
**Şekil 2.2:** Yenilenebilir Enerjilerin Dağılımı ..... 11
**Şekil 2.3:** 50 MW Güneş Enerjisi Santrali Montajı ..... 12
**Şekil 4.1:** Nuakşot İlinde Güneş Santralı Kurulum İçin Seçilen Konumum Haritadaki Görüntüsü ..... 20
**Şekil 4.2:** Nema İlinde Güneş Santralı Kurulum İçin Seçilen Konumum Haritadaki Görüntüsü ..... 22
**Şekil 4.3:** Wadan İlinde Güneş Santralı Kurulum İçin Seçilen Konumum Haritadaki Görüntüsü ..... 24
**Şekil 4.4:** Pvsyst7.2 Giriş Ekranı ..... 27
**Şekil 4.5:** Güneş Açıları ..... 29
**Şekil 4.6:** Zenit Açısı ve Diğer Güneş Açıları. ..... 30
**Şekil 5.1:** Pvsys Giriş Ekranı ..... 36
**Şekil 5.2:** Pvsyst Konumu İndirme Bilgeleri Ekranı ..... 37
**Şekil 5.3:** Konum Bilgi Ekranı ..... 37
**Şekil 5.4:** Seçili Konum Aylık Işınım Tablosu ..... 38
**Şekil 5.5:** Pvsyst Projeleri Sayfası ..... 38
**Şekil 5.6:** Pvsyst Eğimi Giriş Ekranı ..... 39
**Şekil 5.7:** Sistem Teknik Özellikleri Giriş Sayfası ..... 39
**Şekil 5.8:** Sistem Özeti ..... 40
**Şekil 5.9:** Nuakşot Analiz Sonuçları 1 ..... 41
**Şekil 5.10:** Nuakşot Analiz Sonuçları 2 ..... 42
**Şekil 5.11:** Nuakşot Analiz Sonuçları 3 ..... 43
**Şekil 5.12:** Nema Analiz Sonuçları 1 ..... 44
**Şekil 5.13:** Nema Analiz Sonuçları 2 ..... 45
**Şekil 5.14:** Nema Analiz Sonuçları 3 ..... 46
**Şekil 5.15:** Wadan Analiz Sonuçlar 1 ..... 47
**Şekil 5.16:** Wadan Analiz Sonuçlar 2 ..... 48
**Şekil 5.17:** Wadan Analiz Sonuçlar 3 ..... 49

# SİMGELER VE KISALTMALAR

| Simgeler | Açıklama |
|---|---|
| $A_t$ | t yılındaki vergi sonrasında oluşan net nakit akışı |
| $E_{yıl}$ | Yıllık üretilen elektrik enerjisi miktarı (kWh) |
| **F** | ($n_{negatif}$ +1) yılındaki vergi sonrası oluşan net nakiş akışı |
| **GÖS** | Geri ödeme süresi |
| **H** | Yatay bir yüzeye gelen anlık güneş radyasonu miktarı (kj/m$^2$) |
| $H_b$ | Dik olarak genel güneş radyasonu miktarı (kj/m$^2$) |
| $H_{d,y}$ | Yatay yüzeydeki yaygın güneş radyasyonu ( kj/m$^2$) |
| $H_n$ | Anlık maksimum güneş radyasyonu miktarı (kj/m$^2$) |
| $H_t$ | Toplam güneş radyasyonu (kj/m$^2$) |
| $H_y$ | Yansıyan güneş radyasyonu (kj/m$^2$) |
| $I_o$ | Güneş sabiti (W/m$^2$) |
| $I_{on}$ | Yılın her hangi bir günü için güneş sabiti (kW/m$^2$) |
| **IRR** | İç kârlılık oranı |
| **K** | Bulutluluk faktörü |
| **KF** | Kapasite faktörü |
| $K_y$ | Yayılı radyasyon oranı |
| $m_{hava}$ | Hava kütlesi (kg) |
| **n** | Seçilen günün yılın ilk gününden itibaren kaçıncı gün olduğu |
| **N** | Güneş ışığı saatleri |
| **n** | Ödeme dönemi (yıl) |
| **NBD** | Net bugünkü değer |
| $n_{negatif}$ | $N_{negatif}$'in oluştuğu yıl |
| $N_{negatif}$ | Kümülatif net nakit akışları tablosunda en son oluşan negatif değer |
| $P_{pv}$ | Fotovoltaik güç santralinin kurulu gücü (kW) |

| | |
|---|---|
| **Pr** | Performans oranı |
| **r** | İskonto oranı (%) |
| **R** | Dünya ve güneş arası mesafe |
| **$R_b$** | Dik genel güneş radyasyonu yatay genel güneş radyasyonuna oranı |
| **s** | Eğim açısı (º) |
| **t** | Yıllar |
| **α** | Yükseklik açısı (º) |
| **β** | Güneş azimut açısı (º) |
| **γ** | Yüzey azimuth açısı (º) |
| **θ** | Geliş açısı (º) |
| **$\theta_z$** | Zenit açısı (º) |
| **ρ** | Yansıma katsayısı |
| **Φ** | Enlem açısı (º) |
| **ω** | Saat açısı (º) |
| **$\omega_{gb}$** | Günbatımı saat açısı (º) |

| **Kısaltmalar** | **Açıklama** |
|---|---|
| **NASA** | National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık Ve Uzay Dairesi) |
| **NREL** | National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı) |
| **SOMELEK** | Mauritania Electricity Company (Moritanya Elektrik Şirketi) |
| **SWERA** | Solar and Wind Energy Resource Assessment (Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kaynak Değerlendirmesi) |
| **UNEP** | United Nation Environment Programm (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) |
| **WMO** | World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü) |

**TEZ METNİ**

# GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ve dünya nüfusundaki artış enerji ihtiyacını da artırmaktadır. Bu talebe karşı daha fazla enerji üretimine ihtiyaç duyulmuştur. Kullanılan kaynakların doğada sınırlı olması, oluşumlarının binlerce yıl gerektirmesi ve bu kaynakların ürettiği atıkların çevreye zarar vermesi nedeniyle farklı enerji kaynakları arayışları başlamıştır. Talep edilen enerjinin karşılanmasının yanı sıra gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için su, güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan enerji üretim sistemleri tüm dünyada hayata geçirilmiştir ve halen uygulanmaya devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal ve kendi kendini yenileyebilen kaynaklar olmalarının yanı sıra çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olmaması, tercih nedenleri arasında yer almaktadır. Bu avantajlara rağmen kurulum maliyetinin yüksek olması ve kullanılan teknolojik yapının çok yaygın olmaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtların yanması sırasında açığa çıkan karbondioksit ile metan gibi sera gazlarının ısı tutma yetenekleri iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Atmosfer döngüsünün tamamlanabilmesi için bu ısı ve ışığın atmosfere geri aktarılması gerekmektedir. Ancak bu ısı ve ışığı atmosferde tutarak kullanılan fosil yakıtların yarattığı sera etkisi nedeniyle iklim değişiklikleri meydana gelmektedir.

Dünya küresel iklim değişikliğini önlemek ve küresel ısınmanın neden olduğu zararları ortadan kaldırmak için hazırlanan uluslararası bir anlaşma olan Kyoto Protokolü altında toplanmıştır. Bu anlaşma ile birlikte birçok ülkenin uyması gereken kurallar belirlenmiştir. Bu protokole göre ülkeler %5'e varan sera gazı kullanımı sağlayabilecektir. Buradaki temel amaç, dünyadaki ülkelerin emisyonlarını ekonomik olarak onlara zarar vermeden dengelemektir. Protokolün diğer amacı ise çevre kirliliğini en aza indirmektir. Anlaşmaya göre her ülkenin hava, su ve toprak kirliliğini azaltacak radikal kararlar alması gerekmektedir. Ortak amaç, cam, plastik ve metal gibi geri dönüştürülebilir maddelerin yeniden kullanılabilir olmasını sağlamaktır. Bunun dışında önlenemeyen atıklar sebebiyle filtreleme gibi sistemlerin geliştirilmesi ve bu konuda yapılabilecek en iyi dönüşümün yapılmasını sağlamak gerekmektedir.

Kyoto protokolü sadece enerji konularında ortak bir payda sağlamaz. Ayrıca dünyada doğal ve sürdürülebilir tarımsal üretim yöntemlerinin yaygınlaştırılmasını da ele almaktadır. Güneş, su, rüzgar, jeotermal gibi kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yaşam enerjisinin ana kaynağı güneştir. Güneş, diğer tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının (nükleer enerji kaynakları hariç) doğrudan veya dolaylı temelidir. Çoğu gezegen doğrudan güneş ışığına maruz kalır. Atmosfer aracılığıyla güneş ışığını filtreleyen dünya, konumu ve yapısı gereği diğer gezegenlere göre güneşten faydalanabilmektedir. Birçok fosil enerji kaynağının temelini oluşturan güneş, yeryüzüne bol miktarda radyasyon sağlar. Güneşten elde edilen enerji, fosil ve nükleer kaynaklardan elde edilen enerjiden çok daha büyük bir potansiyele sahiptir (Mohtasham, 2015, s. 1289-1297).

Güneşin çekirdeğinde büyük miktarda enerji birikmiştir. Güneş tarafından yayılan ve iletilen enerji, güneş çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreci tarafından salınan ışınım enerjisidir. Hidrojen gazının güneşte helyuma dönüşmesi, füzyon sürecinden kaynaklanır. Güneşten dünyaya gelen bir günlük enerji, bir gün için ihtiyaç duyacağımız enerjinin on bin katıdır. Ancak gelen bu enerji, dünya yüzeyine yüzde yüz ulaşamaz. Hava kirliliği, oksijen ve karbondioksit emilimi gibi birçok çevresel nedenden dolayı ulaşan radyasyon miktarı, gönderilen radyasyon miktarının yarısı kadardır. Atmosfer dışındaki güneş enerjisi ortalama değeri 1.370 $W/m^2$ olmasına rağmen yeryüzüne ulaşan miktarı 0-1.000 $W/m^2$'dir (TMMOB, 2012, s. 4).

Güneş enerjisi, dünya ve yaşam için hayati önem taşıyan temel bir enerji kaynağıdır. Ayrıca güneş enerjisi canlıların yaşam döngüsünü sürdürmek için hayati bir kaynaktır. Şimdilik dünyada en fazla kullanılan enerji çeşidi güneş enerjisidir ve güneşin sağladığı çeşitli reaksiyonlar sonucunda oluşmuştur. Ayrıca sadece elektrik enerjisi değil, aynı zamanda termal enerji de elde edilir. Güneş enerjisi ile; dünya, gündüzleri doğrudan, geceleri ise dolaylı olarak aydınlatılmakta, sağladığı ısı ile yeryüzü ısıtılmakta, elektrik enerjisi üretilebilmekte, yağış ve su döngüsü sağlanabilmektedir.

Güneş enerjisi termal ve elektriksel olmak üzere iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Termal güneş enerjisi sistemlerinde güneş enerjisi kollektörleri kullanılarak sıcak su temini sağlanmaktadır. Termal enerji üretiminde güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır. Elektrik sistemlerinde güneş panelleri veya güneş bacaları

kullanılarak elektrik enerjisi üretilir. Güneş enerjisi son yıllarda çok farklı teknolojik yöntemlerle kullanılmaya başlanmıştır.

Güneş enerjisinin avantajları;

- Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Doğaya ve çevreye dost, temiz bir enerji kaynağıdır.
- Karmaşık teknoloji gerektirmez.
- Lokal uygulamalar için uygundur.
- İşletme maliyetleri minimumdur.
- Güneş enerjisi sisteminin kullanımından sonra gaz, duman, kükürt veya radyasyon gibi zararlı atık oluşumu yoktur.
- Tarlada, güneş ışığının alınabileceği her alanda rahatlıkla kullanılır.
- Ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltır.
- Kaynağı tükenmez olduğu için tükenmez bir enerji türüdür.

Güneş enerjisinin dezavantajları;

- Kışın, enerji ihtiyacının yüksek olduğu zamanlarda güneş radyasyonu miktarı azdır ve geceleri hiç yoktur.
- Güneş enerjisinin yoğunluğu küçüktür ve mevsime, coğrafyaya ve gölgeleme durumuna göre değişir. İstenilen zamanda ve istenilen yoğunlukta mevcut olmayabilir.
- Depolama gereklidir.
- İlk yatırım maliyetleri oldukça fazladır.
- Gelen enerji miktarı kontrol edilemez.
- Coğrafi ve mevsimsel koşullara bağlı olarak bir artış veya azalma meydana gelebilir.
- Ünite yüzeyine çok az güneş radyasyonu geldiği için geniş yüzeylere ihtiyaç vardır. Geniş yüzeylere ihtiyaç duymanız uygulama alanında bazen problemlere yol açabilmektedir.
- Güneş ışınımı için kullanılan sistemin sürekli güneş ışığı alabilmesi için sistemin çevresinin gölgeli değil açık olması gerekir (Mertens, 2018, s. 12-18).

# BİRİNCİ BÖLÜM
# FOTOVOLTAİK GÜNEŞ TEKNOLOJİSİ

## 1.1. GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK GÜNEŞ TEKNOLOJİSİ)

Güneş pilinin yapısına bağlı olarak güneş enerjisi %4 ve %20 arasında bir verimle elektrik dönüştürülebilir. Verimi %10'un altında olan güneş pilleri verimliyle ticari olarak sayılmaz. Güç çıkışını artırmak için birden fazla güneş pili paralel yada seri olarak bağlanabilir. Bu durumda Watt'tan megawatt'a kadar sistemler tasarımı yapmak mümkündür (Öztürk, 2012, s. 14).

Güneş pili yelpazesi dört teknolojiden oluşurmaktadır. Bu dört çeşitler: monokristal, polikristal, ince film teknolojisi ile nano teknolojisi olarak listelenmiştir**.**

### 1.1.1. Monokristal Güneş Pilleri

Monokristal silikon malzeme, güneş pilleri üretmek için kullanılan malzemelerden biridir. Ancak üretim maliyetinin yüksek olması nedeniyle polikristal malzemeler kullanılmaktadır. Güneş sistemlerinde aşırı silisyum kullanımının sebepleri; silisyumu elektriksel, yapısal ile optik özelliklerinin uzun süre değişmemesi ile silisyum üretim teknolojisinin başarılı olmasıdır (Kantraoğlu, 2010, s. 28-34).

### 1.1.2. Polikristal Güneş Pilleri

Polikristal güneş pilleri, monokristal silikon yapılarla aynı özelliklere sahiptir. Ancak ticari olarak ürünlerde poli kristal silikon hücrelerin verimi %14-15 arasında değişmektedir. Buna karşı polisilikon üretim teknolojileri üretim maliyetlerinin daha düşük olması nedeniyle güneş enerjisi santrallerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sayın ve Koç, 2011, s. 89-106).

### 1.1.3. İnce Film Güneş Pilleri

İnce film cihazları, çok az malzeme gerektirdiğinden, imalat kolaylığı açısından avantajlara sahiptir. Ticari olarak yaygın kullanılan ince film piller genellikle amorftur silikondan yapılmış olup, polikristal bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellür, düşük üretim maliyetleri nedeniyle pillerde daha popülerdir (Koç, Karakaya, ve Altun, 2007).

#### 1.1.3.1. Amorf Silisyum İnce Film Güneş Pilleri

Amorf silikon gibi malzemeler kristalli bir yapı oluşturmaz. Bu sebeple, çok sayıda yapısal bağlantı hatası içerirler. Önceden, amorf silikon malzemelerin elektrik

özellikleri yalıtım olarak kabul ediliyordu, ancak kristalli silikon yada yarı iletken malzemelerin özelliklerine sahip değildi. Daha sonra fotovoltaik cihazlarda amorf silikonun kullanıldığı düşünülmektedir. Günümüzde düşük enerjili cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Amorf silikon fotovoltaik paneller laboratuvarda %13'den fazla etkili olarak kabul edilmektedir (Akman , Akın , Karanfil , ve Sönmezoğlu, 2013, s. 14).

#### 1.1.3.2. Bakır İndiyum Diseleneid İnce Film

Periyodik tablodaki 1, 3 ile 6 numaralı elementlerin üç yada daha fazlasının birleşimidir. Bu bileşik yarı iletkenin absorpsiyon katsayısı çok yüksektir. Bakır indiyum diselenid (CIS), ilk 1 µm kalınlığındaki tabakasında gelen güneş radyasyonunun %99'unu emen çok yüksek bir absorpsiyon kapasitesine sahiptir. Bu özelliğe ek olarak, malzemenin dış mekan testlerinde stabilitesinin de oldukça iyi olduğu kanıtlanmıştır. Bakır indiyum diselenid (CIS) hücrelerinin laboratuvar ortamlarında %14'ün üzerinde verimli olduğu gösterilmiştir (Ayaz , 2012, s. 1-46).

#### 1.1.3.3. Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilli

Kadmiyum tellür (CdTe), periyodik tablonun ikinci grup element kadmiyum (Cd) ve altıncı grup element tellür (Te) kombinasyonudur. İdeal olarak, bant aralığı ve absorpsiyon oranı oldukça yüksektir. Çoğu ince film büyütme tekniği ile yüksek absorpsiyon ve üretim kolaylığına ek olarak, geniş yüzey alanlı güneş pillerinin üretimi için CdTe bağlı yarı iletken malzemeler öne çıkmaktadır. CdTe ince film panellerin yüksek elektrik direncine sahip olduğu bilinmektedir ve tüm bu özelliklerinden dolayı CdTe ince film panellerin kullanımı ön plana çıkmaktadır (Sağlam , 2018, s. 21).

#### 1.1.3.4. Nanofotovoltaik Güneş Pilleri ( Nanofv)

Nanofotovoltaik güneş pilleri, yüksek verimli güneş pillerini nanokristal yapılarla kaplar. Yapılarındaki hidrojen amorf silikon ve geçirgen iletken teknolojisine bağlı olarak diğer panel türlerine göre %8-10 daha verimli oldukları bilinmektedir. Nanomalzemeler kimyasal, fiziksel ve optik özelliklerde çok iyidir. Bu nedenle, fotovoltaik panellerin gelecekteki teknolojisi bu olacaktır (Akman, Akım, Karanfil, ve Sönmezoğlu , 2013, s. 272-278).

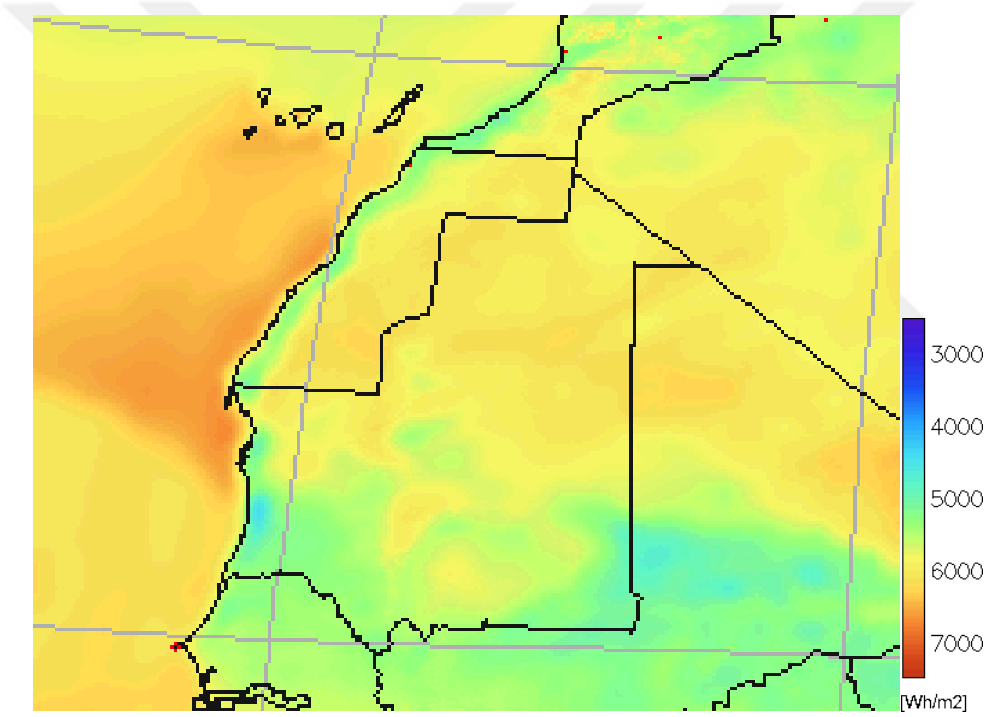
# İKİNCİ BÖLÜM
# MORİTANYA GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİ

## 2.1. MORİTANYA İKLİMİ

Moritanya kuzey yarım kürede, 15° ila 26° kuzey enlemleri ile 5° ila 16° batı boylamları arasında yer alır. Tipik iklim ile ilgili olarak, üç farklı bölge vardır:

- Kuzey kesimde kuru ve aşırı sıcak (sıcaklık 50 dereceye ulaşabilir) çöl tipi bir iklim vardır.
- Senegal Nehri yakınında güney bölgesinde iklim sıcak ve nemlidir. Yağışlı sezon, 400 mm'ye kadar yağışla Temmuz ayından Eylül ayına kadar sürer.
- Kanarya Adaları Habercisi'nden gelen soğuk hava ve sık sık kıyı sisi nedeniyle kıyı boyunca ılıman sıcaklıklar mevcuttur.

**Şekil 2.1:** Moritanya Güneş Radyasyonu Haritası




Moritanya gibi gelişmekte olan bir ülke, elektrikte kendi kendine yetebilmek ve açık sorunlarının üstesinden gelme çabası içerisindedir. Moritanya; ekonomisini geliştirmek ve dünyadaki durumunu değiştirmek için stratejik bir hedefi gerçekleştirmektedir.

2009 yılında Moritanya hükümeti, Nuakşot şehrinin elektrik sorunlarını çözmek ve üretim açığını ortadan kaldırmak için yeni bir strateji planlamıştır. Bu stratejiye göre yeni enerji santrallerini kurulacak ve akıllı şebeke (Smart Grid) araçlarını tanıtarak elektrik şebekesinin yeniden inşası yoluyla büyük ölçekli bir proje yürütmeyi hedeflemektedir. Bu kalkınma stratejisinde ikinci bir hedef dikkate alınacaktır.

Yenilenebilir ve alternatif enerjinin enerji entegrasyonu Moritanya'ya iki avantaj sunmaktadır: birincisi, küresel ısınmayla mücadele amaçlı küresel fonlardan yararlanmak ve fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye (güneş, rüzgar ve hidroelektrik) enerji geçişini teşvik etmektir. İkincisi, ülkenin coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu önemli yenilenebilir enerji yataklarının kullanıma erişebilmektedir.

Moritanya tarafından benimsenen strateji, biri yapım aşamasında olan ve 100 MW üretim kapasitesine sahip iki fotovoltaik enerji santralinin ve iki rüzgar santralinin gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Yani Afrika'daki en büyük ikinci hidroelektrik enerjisine gelince, ülke Senegal Nehri üzerindeki Manantali barajının inşasından sonra 2001'den beri faaliyet göstermektedir. Bu baraj üretimi Moritanya, Senegal ve Mali arasında dağıtılan iki enerji santrali sağlamaktadır.

Çok kaynaklı elektrik şebekelerinin kullanımı ve özellikle dalgalanan yenilenebilir kaynakların devreye girmesiyle, giderek daha akıllı bir şebekenin geliştirilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Bugün, enerji akışının daha iyi yönetimi, ülkenin üretiminde kesintisiz bir iletişim ağı gerektiren yenilenebilir kısmının artması; herhangi bir kesintiyi azaltmak ve hız kesmek için yoğun çabalar gerektirmesi Moritanya Elektrik Şirketi için başka bir zorluk teşkil etmektedir (Somelec, 2019, s. 17).

## 2.2. NUAKŞOT'TA ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

Nuakşot şehrindre her geçer gün rüzgar ve güneş santrallerinin sayısı artmaktadır. Nouakşot şehrinde elektrik enerjisi üretiminin kaynakları şu şekildedir:

### 2.2.1. Termik Santraller

Doğal gaz, taş, ve linyit kömürü gibi çeşitli fosil yakıtların kimyasal enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile çalışır. Fosil enerjinin kalorifik değerinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibini kullanan fosil yakıtlara dayanmaktadır. Bu tip bir santralin verimliliği, ünitelerin verimliliğine ve tüketilen yakıtın kalitesine bağlıdır. Ayrıca bu türlü enerji uygun ortamda ve şartlarda yakılır (Ek 1'de Moritanya'da kullandığı santralerde trafo  mekanik özelikleri verilmiştir).

### 2.2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgar türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya düşeyeksenli olarak edilmişler.

Modern türbinlerin çoğunda kule, türbinin boyutuna ve konumuna bağlı olarak 50-120 m yüksekliğinde 3-4 m çapında çelik bir boru şeklindedir. Rüzgar türbininin çalıştırılabilmesi için minimum 3-4 m/s rüzgar hızı gerekilmektedir (Yacoub, 2019, s. 33).

**Tablo 2.1: Rüzgar Türbini Özelikleri**

| | |
|---|---|
| **Nominal güç** | 2 MW |
| **Rüzgar türbini modeli** | Gamesa G97 IIIA |
| **Jeneratör modeli** | Doubly-fed generator (MADA) |
| **Frekans** | 50 Hz |
| **Gerilim alternatifi** | 690 V |
| **Güç faktörü** | 0,95 |
| **Çalışma hızı** | 3 m/s ve 25 m/s arasıdır. |
| **Hız çarpanı katsayısı** | 1/106,5 |
| **Rötor çapı** | 97 m |
| **Uzunluk** | 90 m |

Nuakşot'ta rüzgar enerji santralında kullanılan türbinlerin özelikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

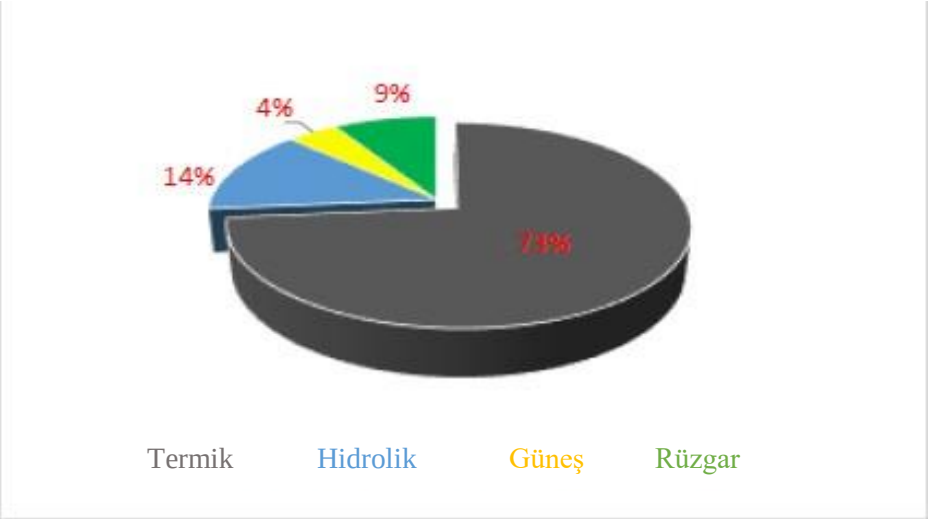
### 2.2.3. Fotovoltaik Güneş Enerji Santralleri

Birincil kaynak güneş radyasyonundan emisyonsuz ve çevreye etkisi olmayan temiz bir yenilenebilir enerji oluşturur. Fotovoltaik verimlilik oranı, üretilen güç ile yakalanan radyasyonun gücü (tepe gücü) arasındaki oranı gösterir. Kullanılan teknolojilere bağlı olarak değişebilir, ancak sabit paneller için genellikle % 6 ila % 20 arasındadır. Bir güneş paneli kurulumunun fotovoltaik verimliliği çeşitli faktörlere bağlıdır:

- Hücre tipine bağlı olarak: Amorf hücreler (≥% 10), polikristal hücreler (≥% 11 ila 15) monokristal hücreler (≥% 12 ila % 20).
- İlgili coğrafi bölgedeki güneş radyasyonunun yoğunluğu.
- Fotovoltaik güneş panellerinin yüzeyi.
- Güneş panellerinin yönün ve eğimi kontrol edilecektir.

Şekil 2.2 Nuakşot'taki elektrik üretimindeki enerji dağılımını göstermektedir.

**Şekil 2.2:** Yenilenebilir Enerjilerin Dağılımı




Şekil 2.2'de göre en yüksek üretilen enerji termik santralları %73 olarak verilmiştir. Sonraki %14'lük ile hidrolik santralı gelmektedir. Ayrıca güneş enerjisi santralerinin elektrik üretimi diğer santrallere göre en az olanıdır çünkü üretimin toplam elektrik üretiminin %4'u kadar olduğu tahmin edilmektedir.

Şekil 2.3'de Toujounine'nin fotovoltaik güneş enerjisi santrali bilgisi verilmiştir. Toplam 50 MW kapasiteye sahip Batı Afrika'nın en büyük ikinci güneş enerjisi santrali 23 Kasım 2017 Perşembe günü, Kuzey Nuakşot Toujounine kentinde hizmete açılmıştır.

Bu santralin toplam maliyeti olan 19 milyar Uguiya veya Moritanya devleti, Arap ekonomik ve sosyal kalkınma Fonu tarafından ortaklaşa finanse edilmiştir ve 4,545,545 € malolmuştur.

Projede, gerekli sivil tesislere sahip 50 MW'lık bir güneş fotovoltaik enerji santralinin inşası ve toplam 50 MW kapasiteli 156.540 güneş panelinin montajı, gerekli elektrik aksesuarları, kontrol sistemi ve 33 kVA trafo istasyonu yer almıştır.

**Şekil 2.3:** 50 MW Güneş Enerjisi Santrali Montajı

Şekil 2.3'deki bu santralin inşası, hükümetin "nüfus için elektrik enerjisine erişimi genelleştirmeyi, elektrik hizmetlerinin kalitesini iyileştirmeyi ve enerjiyi çeşitlendirmek için yenilenebilir enerjileri entegre etmeyi" amaçlayan enerji alanında belirlediği hedeflerin bir parçasıdır. 2015 yılında yenilenebilir enerjinin payı %35 olarak gerçekleşmiştir. Moritanya devletinin hedefi 2024 yılına kadar %50 yenilenebilir enerjiye ulaşmaktır (detayları Ek 2'de gösterilmiştir).

# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
# ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

## 3.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Moritanya'da IRENA tarafından elektrik sağlamak, şebekeye bağlı hibrit güneş pili sistemlerinin yönetimini genişletmek ve iyileştirmek için yeni bir strateji önerilmiştir. Gökyüzü (açık, orta derecede kapalı ve kapalı), yük akışı (LF) stratejilerine göre analiz edilmiştir. Haritalama yöntemi, ulusal şebeke üzerindeki baskıyı azaltmak, tüketici bağımsızlığını artırmak ve maliyetleri düşürmek için coğrafi referanslı bir veritabanı kullanarak Nuakşot (Moritanya) kentindeki binaların elektrik tüketim potansiyelini haritalamaya yönelik ilk girişimdir. Orta ve uzun vadeli tüketim faturaları ve $CO_2$ maliyetleri. ArcGIS®, HOMER Pro® ve MATLAB® yazılımı, PV-akü-paketi-ağ sistemleri için en uygun boyutta yük profilleri oluşturmak için kullanılmıştır (IRENA, 2015).

Nuakşot bölgesi (Moritanya'nın başkenti ve en büyük şehri), güneş ve rüzgar enerjisi kullanımı için iyi bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle iki güneş enerjisi santrali (şehrin kuzeyinde 15 MW ve şehrin doğusunda 50 MW) ve bir rüzgar santrali (güneyde 30 MW) kurulmuştur. Bu santraller, 33 kVA (kVA) ve 15 kVA kapasiteli iki yüksek gerilim iletim hattı içeren ulusal şebekeye entegre edilmiştir (Irena, 2015). Bu tesisler üretim kapasitesini artırmaya yardımcı olmaktadır. Ancak dağıtım hatlarının eskimesi ve iletim ve dağıtım istasyonlarının genişlemesi nedeniyle sık sık kesintiler yaşanmakta ve bu nedenle bakım maliyetleri çözülememektedir (Mohamed, 2018).

Shimuro ve diğerleri, 2016 yaptıkları çalışmada fotovoltaik sistemlerin kesinti olayları, arazı, bakım, yedek parça ile çalışan maliyetleri gibi maliyetlerini hesaplamışlardır. Ayarlanan enerji maliyet yönetimini kullanarak PV tesisinin kullanılabilirliğini tahmin etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir (Shimuro, Herrero, Zuffo ve Jrimonie, 2016, s. 294-304).

2005 yılında İspanya'da güneş soğutma konusunda araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, İspanya'da soğutma için enerji talebinin özellikle yaz aylarında hızla arttığı belirtilmektedir. Bu bağlamda, İspanya'da güneş enerjisinin potansiyelini değerlendirmek amaçlanmaktadır. Sonuçlar, TRNSYS yazılımı aracılığıyla soğutma enerjisinin uygun fiyatının simülasyonuyla analiz edilmiştir (Gasals, 2005, s. 1371-1389).

Martins ve diğerleri 2006 yılındaki çalışmalarında, Sun ve Rüzgar Enerjisi Kaynağı Değerlendirme Projesi (SWERA) kapsamında düzenlenen bir çalışmada Brezilya güneşinin uydu haritasını oluşturmak için kullanılan metodolojiyi incelediler.

Bu proje Birleşmiş Milletler Küresel Çevre Tesisi (GEF) Çevre Programı tarafından finanse edilmektedir (UNEP). Bu bağlamda, 1995 ile 2002 arasında günlük güneş radyasyonunun mevsimsel ve yıllık haritaları elde edilmiş ve ortalama veriler değerlendirilmiştir (Martins, Pererira ve Abreu, 2007, s. 517-528).

Mısır'da 10 MWp kapasiteli, şebekeye bağlı bir fotovoltaik enerji santralının teknik, ekonomik ve çevresel analizleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Araştırmada 29 adet NASA'nın Yenilenebilir Enerji Veritabanını ve RETScreen yazılımını kullanarak farklı konumlar için simülasyonlar oluşturulmuştur. Bu nedenle, en yüksek enerji verimi ile Wahat Karga bölgesi yüksek karlılık elde edilmiştir. Minimum enerji üretimi Safaga bölgesinde belirlenmiştir (ELShimy, 2009, s. 2187-2196).

Uzun vadeli fotovoltaik sistemlerin verimliliği tahmin belirsizliği hesaplamaları üzerine yaptıkları güneş enerji santrali Toronto şehrinde 10 MW kurulu güce sahip bir fotovoltaik sistemin üzerinden simülasyonda çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu durumda istatistiksel simülasyon kullanılarak bir yazılım oluşturulmuş ve çalışmanın ilk yılı Fotovoltaik sistemin tüm yaşam verimliliği kaybı %8,7 ve proses ortalama verimlilik kaybı %7,9 olarak hesaplanmıştır ( Pelland ve Thevenard, 2011, s. 432-445).

Bu çalışmanın amacı, Elektrikli Yenilenebilir Hibrit Optimizasyon Modeli (HOMER) yazılımı kullanılarak Biret (Moritanya) hibrit güç üretim sisteminin (enerji depolamalı güneş dizeli) optimizasyonunu incelemektir. Aslında bu, seçilen sistemin bağlamının ve davranışının optimal olduğunu gösterir. HOMER, simülasyonları en ekonomik şekilde sunmak için kullanılır. Özellikle, HOMER uygulaması (sahada elde edilen meteorolojik verileri kullanarak), Biret veya diğer teknolojilerin karlılığını analiz eder ve projenin ekonomik yönlerini dikkate alarak hibrit bir sistem önerir. Bu bağlamda, Biret güç üretimi için hibrit sistemin optimal konfigürasyonunu elde etmek için simülasyonlar yapılabilir. Bu simülasyonlar, hibrit sistem kullanılarak elektrik üretiminin ekonomik optimizasyonunu göstermektedir.

Bu amaçla Biret'te bu konsepte dayalı bir pilot kurulum gerçekleştirilmiştir. 40 kW jeneratör seti ve 2950 Ah depolama sistemi ile 61.44 kW güneş enerjisi çiftliğinden oluşmaktadır. Pilot ünitenin optimizasyonu önce güneş dizel sistemi kullanılarak, daha sonra bir depolama sistemine bağlı dizel çalıştırılarak incelenmiştir. Bu, güneş ışığındaki hafif bir artışın kWh fiyatlarında düşüşe neden olacağı sonucuna yol açmıştır. Öte yandan,

dizel fiyatındaki herhangi bir artış, sürekli güneş ışığını korurken kWh fiyatının artmasına neden olacaktır (Homer, 2017).

Fotovoltaik elektrik santrallerinde geçici kontrol ile elektrik üretimi arıza takibi incelemiştir. Bu bağlamda İtalya'da merkezi bir kontrol ve veri toplama merkezi kurulmuş ve Sicilya bölgesinde kurulu 1 MW kapasiteli PV santralleri için toplanan verilere çevrimiçi erişim sağlanmıştır (Ventura ve Tina, 2015, s. 248-257).

Sudhakar ve Kumar, 2015 yapmış olduklarI çalışmalarında 10 MW kurulu güce sahip şebeke bağlantılı bir PV santralinin performansını değerlendirilmiştir. Hindistan dünyaya paralel olarak artan enerji taleplerinin enerji üretimi konusunda endişeleri artırdığına dikkat çekmiştir. Bu kapsamda Hindistan'ın Ramagondan kentinde 10 MW kurulu güce ile ortalama olarak 4,97 kWh/m²•gün güneş radyasyon potansiyeline sahip bir fotovoltaik enerji santrali incelenmiştir. TRNSYS ve PVGIS yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar santral yılda 15.792.792 MWh elektrik üretmiştir (Shudhakar ve Kumar, 2015, s184-192).

Brezilya'da küçük konut ve ticari sektörler fotovoltaik sistemlerin ekonomik analizi üzerine araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, yazılımın PV*Sol Brezilya'daki 63 farklı dağıtım şebekesi için kullanılmasının ekonomik fizibilitesi belirlenmiştir (Holderman, Kissel, ve Beigel, 2014, s. 612-617).

Çin'de fotovoltaik enerji üretim sistemlerinin gelişimi ve siyasi teşvikleri araştırmalarında fotovoltaik endüstrisindeki yatırımları destek vermek için farklı teşvik politikaları ile Fotovoltaik güç üretiminin geliştirilmesinin ve fotovoltaik güç üretiminin geliştirmek için çok önemli bir şans olduğuna işaret edilmiştir. Bu nedenle, mevcut politika ortamı, ilgili değişkenler ve Çin'in fotovoltaik enerjisi birleştirilerek analiz edilmektedir. Bu analiz gelişiminin bir simülasyon modelini oluşturmuştur. Simülasyon modeli oluştururken, Hem teknik hem de ekonomik faktörler dikkate alınır. 2012-2032 simülasyonda Yıllara göre PV yatırımı, kapasitesi ve üretkenliği Tamamlanmıştır (Guo ve Guo, 2015, s. 589-598).

RETScreen yazılımını Çin'in Urumçi kentindeki bir evde kullanmıştır. İki farklı şebekeden bağımsız hibrit sistemin tekno-ekonomik analizini yapılmıştır.Bu çalışmada hibrit bir fotovoltaik/dizel/akü sistemi ve bir hibrit fotovoltaik/akü sistemi incelenmiştir. Araştırma için NASA veri tabanından alınan veriler kullanmıştır. Urumçi'de güneş ortalama yıllık radyasyon dozu 4,2 kWh/m2'dir. Evin ortalama günlük elektrik tüketimi

10.275 kWh/gün olarak ifade edilir. Çalışmada, Urumçi ailesinin melezi bir fofovoltaik/dizel/akü sisteminin ekonomik olarak uygulanabilir olduğu belirlenmiştir (Lİ ve YU, 2016, s. 258-265).

2016 yılındaki araştırmada, Sırp Cumhuriyeti'ndeki fotovoltaik enerji santrallerinin mevcut durumu ve perspespektiflerini incelenmişlerdir. Ayrıca, bu araştırmaya ek olarak, Sırp Cumhuriyeti'nin Avrupa fotovoltaik uygulamaları, coğrafi konumu, güneş potansiyeli ve yenilenebilir enerjiyle ilgili yasal hükümleri hakkında bilgi verilmiştir. Banja Luka'daki Sırp Cumhuriyeti Sanat ve Bilim Fakültesi'nde kurulan 2.08 kWp fotovoltaik elektrik santralinin deneysel sonuçları araştırılmıştır. Fotovoltaik sistemin kapasite faktörü %11.7 olarak ve belirli verimlilik de 84.57 kWh/kWp olarak hesaplanmıştır (Milosavlyeliç, Pasloviç, Mirjaniç ve Divnic, 2016, s. 546-560).

Suudi Arabistan'daki 2016 güneş enerjisi performans çalışmasında Almarshoud, 32 bölge için 100 kW gücünde kurulu PV fabrikası tasarlamış ve RETScreen yazılımını kullanmıştır. Tasarım sonuçları, Suudi Arabistan'daki 32 bölgenin enerji verimliliği olduğunu ve benzer ülkelere göre daha yüksek performans elde edildiğini göstermiştir (Almarshoud, 2016, s. 694-701).

Şeyh Zayed, bir güneş enerjisi santralinde (Nuakşot, Moritanya) bulunan PV dizilerinin performans değerlendirmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Dizi, standart koşullar altında 954.809 kW pil güç 1.872 minyatür amorf silikon fotovoltaik modül içerir. PV dizilerinin bir yıllık izleme verileri, referans verimliliği, dizi verimliliği, sistem verimliliği, dizi yakalama kaybı ve ısı yakalama kaybı gibi performans göstergelerini değerlendirmek için kullanılır. Sonuçlar, fotovoltaik dizilerin performansının güneş ışığına ve çevresel koşullara bağlı olduğunu göstermektedir. Dizi yakalama kayıpları, minimum 1,63 sa/dak ila maksimum 2,46 sa/dak arasında değişmiştir. Bu nedenle, sistem kaybı nispeten sabittir ve günde ortalama 0,12 saattir. Ağustos ayı için aylık performans oranları %0,61 ile %0 arasında değişmektedir. Ekim ayında maksimum değere (%20,54) ve Ocak ayında minimum değere (%11,66) ulaşmıştır (Tamer khatib, Shaymaa ve Monera, 2019, s. 111-984).

2016 Mauritania'daki ilk şebeke bağlantılı büyük ölçekli fotovoltaik enerji santralinin performans analizini incelenmiştir. Bu çalışmada, başkent Mauritania'nın Nuakşot'taki 15 MWp fotovoltaik enerji santralinde gerçekleşmiştir. İncelemenin sonunda referans verimlilik, sistem verimliliği, DC performans oranı, ısı kaybı ve çeşitli

yakalama kayıpları gibi veriler elde edilmiş ve diğer ülkelerdeki elektrik santralleriyle karşılaştırılmıştır (Sidi, Ndaye ve Bah, 2016, s. 411-421).

Bu çalışmada ise Moritanya'nın Batı Afrika ülkelerindeki Nuakşot Nema ve Wadan'ın güneş enerjisi potansiyeli detaylı olarak incelenmiş ve Pvsyst 7.2 yazılımı kullanılarak her ilde 1 MW kurulu güce sahip PV santralleri tasarlanmıştır. Tasarımda PV santralı için gerekli ekipmanlar ve malzemeler teker teker seçilmiştir. Tasarım yaptıktan sonra sonunda aylık ve yıllık elektrik enerjisi üretim değerleri hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi maliyet analizi, santral tarafından üretilen elektrikten elde edilen gelirin, yıllık işletme giderlerinin ve ilk yatırım maliyetinin kapsamlı bir değerlendirmesi olarak verilimiştir.

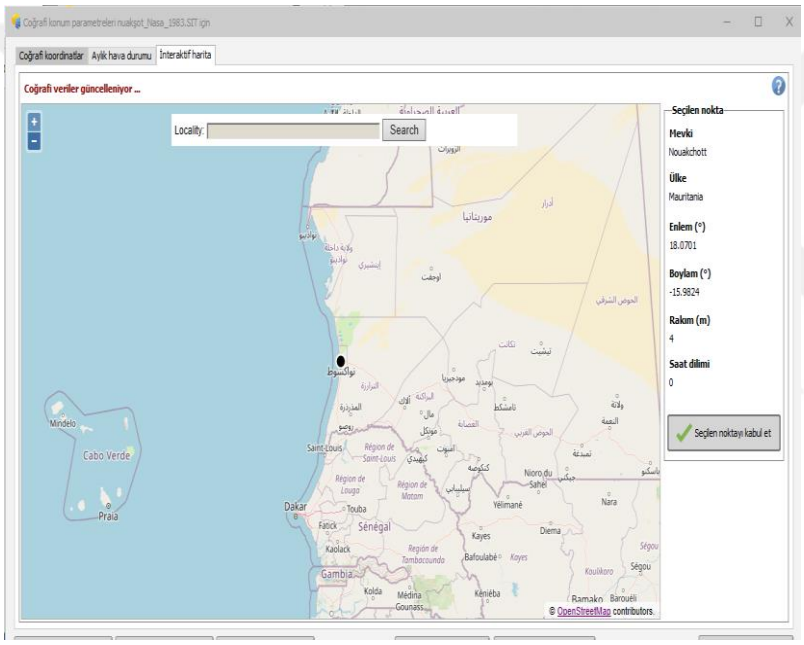
# DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
# MATERYAL VE METOT

## 4.1. MATERYAL

### 4.1.1. Nuakşot İli Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Şeçilen Konum Bilgileri

Moritanya, Afrika kıtasının kuzeybatısında yer almaktadır ve başkenti Nuakşot'tur. Başkent Nuakşot ülke nüfusunun % 27'sini temsil eden yaklaşık 100.000 kişinin yaşadığı, alan ve nüfus bakımından Moritanya'nın en büyük şehridir. Konum 18º 5' 8,92" kuzey ve 15º 58' 42,6" batı olarak verilmiştir. Ayrıca Nuakşot yüzölçümü yaklaşık 1000km$^2$ ve yoğunluk olarak km$^2$'ye 1200 düşmektedir.

**Şekil 4.1:** Nuakşot İlinde Güneş Santralı Kurulum İçin Seçilen Konumum Haritadaki Görüntüsü




**Tablo 4.1: Nuakşot İli Aylık Hava Durumu**

| Aylar | Sıcaklık (ºC) | Global Yatay Işınlama (kWh/m$^2$/ay) | Yatay Difüz Işınlama (kWh/m$^2$/ay) |
|---|---|---|---|
| Ocak | 21,4 | 133,9 | 43,4 |
| Şubat | 23,5 | 142,0 | 44 |
| Mart | 25,4 | 190,3 | 52,7 |
| Nisan | 28,0 | 199,2 | 57,6 |
| Mayıs | 31,2 | 215,1 | 61,7 |
| Haziran | 33,1 | 210,6 | 58,2 |
| Temmuz | 31,4 | 214,5 | 61,1 |
| Ağustos | 31,0 | 197,8 | 63,6 |
| Eylül | 31,6 | 173,7 | 57,9 |
| Ekim | 30,8 | 168,3 | 49,3 |
| Kasım | 27,0 | 133,8 | 43,5 |
| Aralık | 23,2 | 123,7 | 42,5 |
| Yıl | 28,1 (Ortalama) | 2.102,9 | 635,5 |

Tablo 4.1'de verilen değerlere göre: Nuakşot şehirinde aylık hava durumuna göre en çok sıcaklık 33,1ºC Haziran'da görülmütir. En yüksek sıcaklıklar sırasıyla Temmuz 31,4ºC, Mayıs 31,2ºC, Haziran 33,1ºC, Nisan 28,0ºC, Ekim 30,8ºC ve Ağustos 31,0ºC aylarındadır. En düşük düşük sıcaklık seviyeleri, Ocak 21,4ºC, Şubat 23,5ºC ve Aralık 23,2ºC aylarında tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, güneş panellerinin optimum eğim açısı 30ºC ile Nuakşot ilindeki yüzey azimutu 0º alınmıştır.

Tablo 4.2′ye göre Nuakşot'da en yüksek enerji üretimi sırasıyla Mayıs 143.478 kWh, Ekim 153.769 kWh, Nisan 149.903 kWh ve Ocak 147.018 kWh aylarında olmaktadır. En düşük üretim ise Haziran, Kasım ile Aralık aylarında gerçekleşmektedir.

Sümilasyona göre bu aylarda en yüksek performans oranı sırayla Ocak 0,834, Aralık 0,829, Şubat 0,819 ve Mart 0,802 aylarındadır. En düşük performans oranı ise Haziran′da elde edilmiştir. Nuakşot ili için güneş enerji potansiyeli dikkate alındığında yıllık toplam enerji üretimi 1734 MWh ve performans oranı 0,80 olarak hesaplanmıştır.

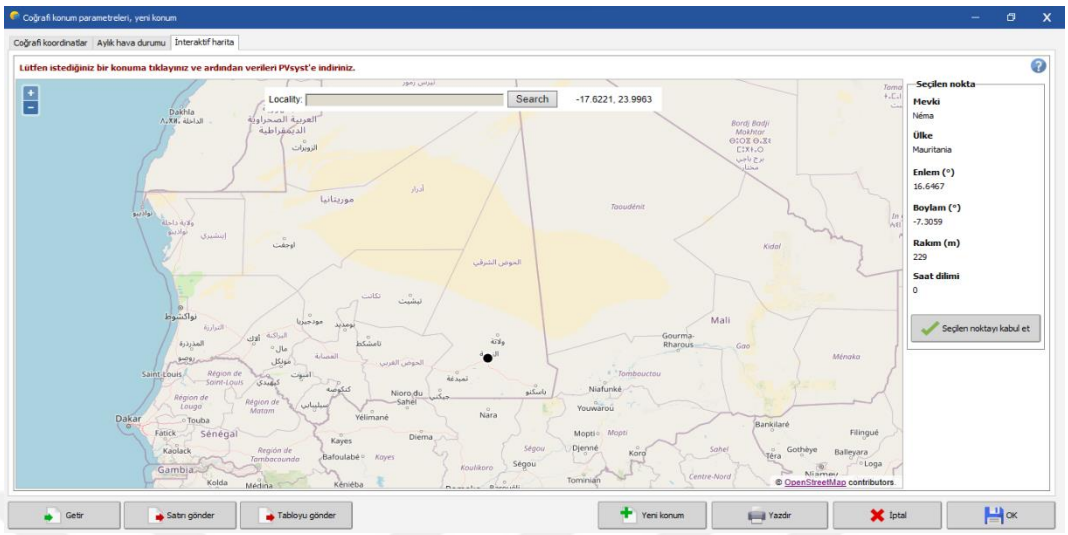
**Tablo 4.2: Nuakşot İli Enerji Üretimi**

| Aylar | E-grid ( kWh ) | Performans oranı |
|---|---|---|
| Ocak | 147.018 | 0,834 |
| Şubat | 140.542 | 0,819 |
| Mart | 164.14 | 0,802 |
| Nisan | 149.903 | 0,795 |
| Mayıs | 143.478 | 0,785 |
| Haziran | 132.609 | 0,779 |
| Temmuz | 140.759 | 0,792 |
| Ağustos | 143.406 | 0,797 |
| Eylül | 140.937 | 0,793 |
| Ekim | 153.769 | 0,788 |
| Kasım | 139.026 | 0,809 |
| Aralık | 138.373 | 0,829 |
| Yıl | 173.403.4 | 0,802 |

### 4.1.2. Nema İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Ve Seçilen Konum Bilgileri

Güney doğu Moritanya′da Mali sınırına yakın bir kasabadır. Nema nüfüsün yaklaşık 50.000 kişidir. Konum olarak 16º 37′0"kuzey ve 7º 15′ 0" doğu verilmiştir.

**Şekil 4.2:** Nema İlinde Güneş Santralı Kurulum İçin Seçilen Konumum Haritadaki Görüntüsü




**Tablo 4.3: Nema İli Aylık Hava Durumu**

| Aylar | Sıcaklık (ºC) | Global Yatay Işınlama (kWh/m²/ay) | Yatay Difüz Işınlama (kWh/m²/ay) |
|---|---|---|---|
| Ocak | 22,0 | 136,7 | 45,9 |
| Şubat | 24,8 | 150,1 | 44,2 |
| Mart | 28,0 | 192,5 | 53,9 |
| Nisan | 31,5 | 199,5 | 57,9 |
| Mayıs | 34,1 | 206,5 | 63,2 |
| Haziran | 33,6 | 194,1 | 62,1 |
| Temmuz | 30,6 | 191,6 | 67 |
| Ağustos | 29,0 | 184,4 | 67,6 |
| Eylül | 30,2 | 172,8 | 59,4 |
| Ekım | 30,9 | 170,2 | 51,2 |
| Kasım | 27,7 | 142,8 | 44,1 |
| Aralık | 23,5 | 128,7 | 44,6 |
| Yıl | 28,8 (Ortalama) | 2.069,9 | 661,1 |

Tablo 4.3'te verilen değerlere göre, Mayıs 34,1ºC, Haziran 33,6ºC, Nisan 31,5ºC, Ekım 30,9ºC ve Temmuz 30,6ºC sırasıyla en yüksek sıcaklık görülmüştür. En düşuk sıcakılklar sırasıyla Ocak 22ºC, Şubat 24,8ºC ve Aralık 23,5ºC aylarında belirlenmiştir. Yıl olarak sıcaklık ortalama 28,8ºC aylarında tespit edilmiştir.

Nema ili sınırları içerisinde 16,6º derece enlem ve -7,29º boylamdaki ölçüm istasyonunun konumu Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Bu çalışmada Nema ili için güneş panellerinin optimum eğim açısı 30º ve yüzey azimut açısı 0º alınacaktır.

Tablo 4.4′te göre Nema'da en yüksek enerji üretimi sırasıyla Mart 161.888 kWh, Ekim 153.087 kWh, Nisan 146.048 kWh ve Ocak 145.209 kWh aylarında gelmektedir.

En düşük enerji üretimi ise Haziran 122.700 kWh, Temmuz 126.489 kWh ile Ağustos 134.485 kWh aylarında görülmüştür.

Sümilasyona göre bu aylarda en yüksek performans oranı Ocak 0,821, Aralık 0,820, Şubat 0,806 ile Temmuz 0,800 sırasıyla gelmektedir. En düşük performans oranı Mayıs′ta 0,776 olarak değerlendirilmiştir. Tüm bu verilerinin Nema ili güneş enerji potansiyeli dikkate alındığında yıllık toplam enerji üretimi 1694 MWh ve performans oranı 0,798 olarak verilmiştir.

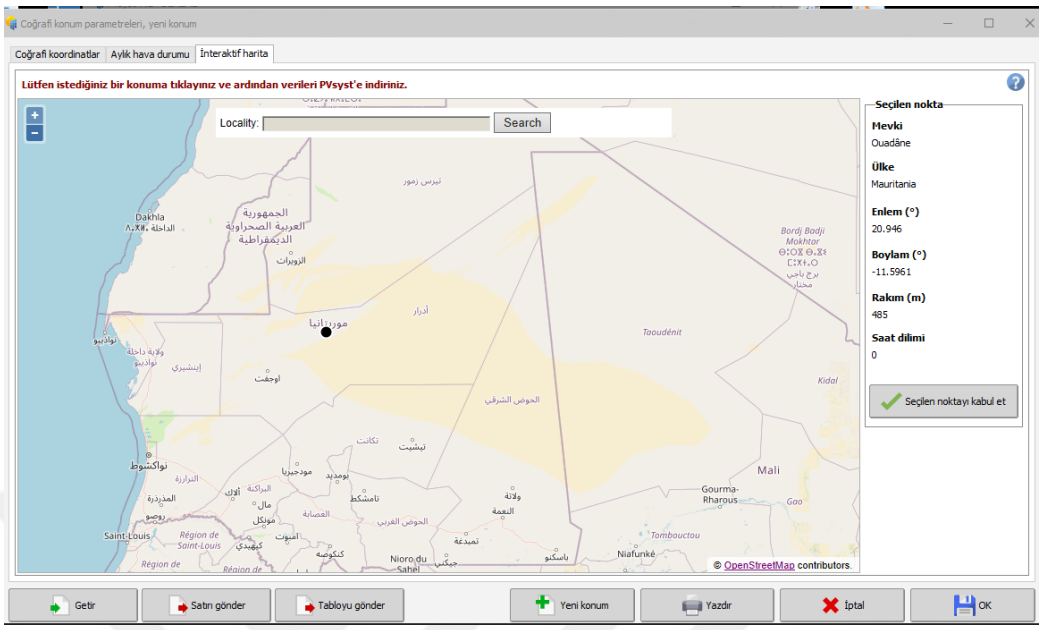
**Tablo 4.4: Nema İli Enerji Üretimi**

| Aylar | E-grid ( kWh ) | Performans oranı |
|---|---|---|
| Ocak | 145.209 | 0,821 |
| Şubat | 144.591 | 0,806 |
| Mart | 161.888 | 0,792 |
| Nisan | 146.048 | 0,782 |
| Mayıs | 135.423 | 0,776 |
| Haziran | 122.700 | 0,784 |
| Temmuz | 126.489 | 0,800 |
| Ağustos | 134.485 | 0,808 |
| Eylül | 139.488 | 0,799 |
| Ekim | 153.087 | 0,788 |
| Kasım | 144.798 | 0,799 |
| Aralık | 139.690 | 0,820 |
| Yıl | 169.389.5 | 0,798 |

### 4.1.3. Wadan İli Güneş Enerji Potansiyeli ve Seçilem Konum Bilgileri

Wadan için konum 20,95 °K enlem, -11,59 °W boylam ve deniz seviyesinden 485 m yüksekliktedir. Bu çalışmada, Wadanin ilindeki güneş panellerinin optimal eğimi 30° ve yüzey azimutu 0°alınmıştır.

**Şekil 4.3:** Wadan İlinde Güneş Santralı Kurulum İçin Seçilen Konumum Haritadaki Görüntüsü




**Tablo 4.5: Wadan İli Aylık Hava Durumu**

| Aylar | Sıcaklık (ºC) | Gobal Yatay Işınlama ($kWh/m^2/ay$) | Yatay Difüz Işınlama ($kWh/m^2/ay$) |
|---|---|---|---|
| Ocak | 17,6 | 137,0 | 38,4 |
| Şubat | 20,3 | 142,8 | 40,9 |
| Mart | 22,8 | 191,6 | 49,9 |
| Nisan | 26,1 | 204,9 | 54,6 |
| Mayıs | 29,6 | 216,4 | 62,3 |
| Haziran | 32,8 | 213,0 | 59,4 |
| Temmuz | 33,8 | 217,6 | 61,7 |
| Ağustos | 33,2 | 198,7 | 62,9 |
| Eylül | 31,6 | 179,7 | 54,3 |
| Ekım | 28,7 | 167,4 | 46,8 |
| Kasım | 23,7 | 131,7 | 40,8 |
| Aralık | 19,4 | 120,9 | 39,4 |
| Yıl | 26,6 (Ortalama) | 2.121,7 | 611,4 |

Tablo 4.5'te verilen değerlere göre: sıcaklık en yüksek olduğu aylarında Temmuz 33,8ºC, Ağustos 33,2ºC, Haziran 32,8ºC, Eylül 31,6ºC ve Mayıs 29,6ºC sırasıyla görülmektedir. En düşük sıcaklık seviyeleri ise Ocak 17,6ºC, Aralık 19,4ºC ve Şubat 20,3ºC aylarında görülmüştür. Hesaplama göre yıl olarak sıcaklık ortalama 26.6 ºC gelmektedir.

**Tablo 4.6: Wadan İli Enerji Üretimi**

| Aylar | E-grid ( kWh ) | Performans oranı |
|---|---|---|
| Ocak | 155.721 | 0,837 |
| Şubat | 146.653 | 0,827 |
| Mart | 170.689 | 0,812 |
| Nisan | 158.779 | 0,802 |
| Mayıs | 150.002 | 0,795 |
| Haziran | 138.780 | 0,784 |
| Temmuz | 144.622 | 0,781 |
| Ağustos | 145.644 | 0,785 |
| Eylül | 148.497 | 0,788 |
| Ekım | 158.629 | 0,798 |
| Kasım | 142.725 | 0,819 |
| Aralık | 140.776 | 0,839 |
| Yıl | 1.801.517 | 0,805 |

Tablo 4.6′ya göre en yüksek enerji üretimi sırasıyla Mart 170.986 kWh, Nisan 158.779 kWh, Ekim 158.629 kWh ve Ocak 155.721 kWh aylarında görülmektedir. En düşük enerji tüketimi ise Haziran 138.780 kWh, Temmuz 144.622 kWh ile Ağustos 145.644 kWh belirlenmiştir. En yüksek performans oranı ise Aralık 0,839, Ocak 0,837, Şubat 0,827 ve Kasım 0,819 sırayla tespit edilmiştir. En düşük performans oranı ise Kasım′da 0,839 görülmüştür. Tüm bu verilerin Wadan ili güneş enerji potansiyeli dikkate alındığında yıllık toplam enerji üretimi yaklaşık 1802 MWh ve performans oranı 0,805 olarak elde edilmiştir.

### 4.1.4. Güneş Enerji Santralında Kullanılan Ekipmanlar

Güneş enerjisi santralleri temel olarak elektrik ve mimari olmak üzere ikiye ayrılmıştır. İnşaat grubunun amacı, taşıyıcı sistemin sağlamlığını tesis etmektir. Elektrik grubunun ana bileşenleri ise fotovoltaik güneş panelleri ve invertörlerdir.

Güneş paneli seçimi yapılırken verimlilik, kalite, fiyat ve servis desteği gibi hususlar göz önünde bulundurulur. İnverterin ana görevi; doğru akımı alternatif akıma dönüştürmektir. Bir inverter seçerken verimlilik, kaliteler, uygun fiyatlar ile hizmet desteği gibi konulara da dikkat edilmelidir.

Bu çalışma için kullanılan fotovoltaik güneş panellerinin teknik özellikleri Tablo 4.7′de verlimiştir. Sistemlerde her il için (Nuakşot, Nema, Wadan) toplam adet 3703 AXITEC marka 270$W_P$ polikristal güneş paneli kullanılması tercih edilmiştir.

**Tablo 4.7: Güneş Paneli Özellikleri**

| | |
|---|---|
| **Kapasite** | 270 $W_P$ |
| **Ön yüzü** | 3,2 mm kalınlığında, setleştirilmiş, yansımasız beyaz cam |
| **Hücreler** | Polikristal yüksek performans 60 hücre |
| **Çerçeve** | 40mm kalınlığında alüminyum çerçeve |
| **Ağırlık** | Çerçeveyle birlikte 18,7 kg |
| **Ölçüler** | 1650*992*40mm |

Inverter özellikleri Tablo 4.8'te verilmiştir. Kurgulanan sistemlerde Nema santralı için 15 adet inverter, Wadan ve Nuakşot illeri için ise 16 adet inverter kullanılmıştır.

**Tablo 4.8: İnverter Özellikleri**

| | |
|---|---|
| **Nominal güç** | 50.000 W |
| **Max.giriş gerilimi** | 1.050 V |
| **Min.giriş gerilimi** | 580 V |
| **Max.giriş akımı** | 90 A |
| **Çıkış gerilimi** | 400 V |
| **bÇalışma sıcaklığı** | -20 ºC- +60 ºC |
| **Ses** | <61db(A) |
| **Ölçüler** | 750*500*425 mm |
| **Ağırlık** | 70-73g |

### 4.1.5. Diğer Teçhizat ve Malzemeler

1 MW kurulu güce sahip PV santralleri için güneş panelleri ve inverterler hariç minimum gerekli ekipmanlar; inşaat, sarf malzemeler, ana panolar ile saha panoları, güç bağlantı ekipmanları ile cihazları ve güvenlik malzemeleri, özellikleri sınıflandırmaları Tablo 4.9'da verilmiştir.

Galvanizli çelik yapı, alüminyum profiller, bağlantı elemanları yapı malzemelerini oluşturur. Sarf malzemeleri; 4 mm güneş kablosu, 6 mm güneş kablosu, MC4 tipi güneş konnektörü, DC koruma sigortaları, iletişim kabloları, topraklama kabloları ve diğer kablolar, topraklama malzemeleri, kablo tepsileri, rölatif delikleri, borular ve diğer altyapı malzemelerinden oluşmaktadır. Güç bağlantı ekipmanı ve cihazları; transformatörler, transformatör aksesuarları, ekipman ile bağlantı malzemeleri, orta gerilim hücre ve ekipmanları, orta gerilim direkleri, ekipmanlardan oluşmaktadır. Sonunda olarak güvenlik ekipmanları kamera sistemi ile dikenli telden oluşmaktadır.

**Tablo 4.9: Fotovoltaik Güç Santralı İçin Gerekli Teçhizat ve Malzemeler**

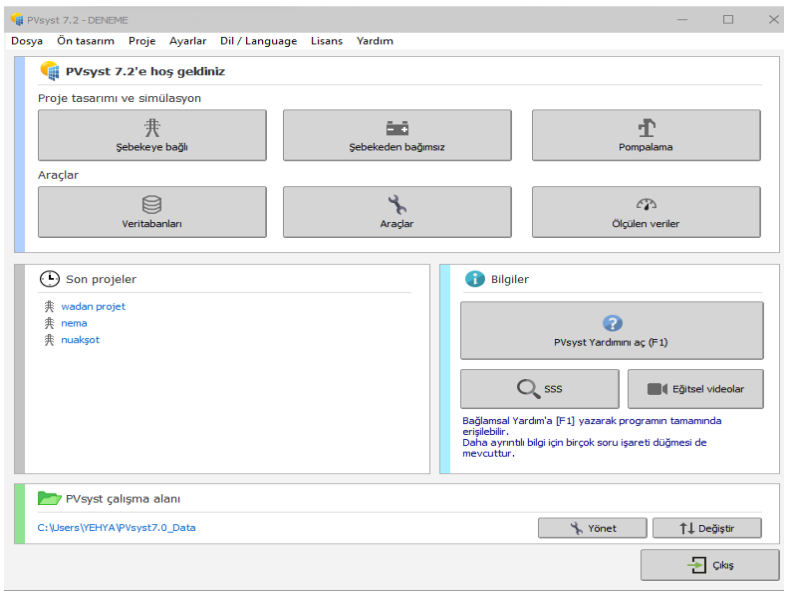
| **Ürün** | Tanım / özellik |
|---|---|
| **Konstrüksiyon** | Galvaniz çelik konstrüksiyon, alüminyum profiller, bağlantı elemanları |
| **Sarf malzemeler** | 4mmsolar kablo,6mmsolar kablo,mc4 tipi solar konnektör, DC, iletişim kabloları, topraklama kabloları ve diğer kablolar, topraklama malzemeleri, kablotavaları, menholler, borular ve diğer altyapı malzemeleri, diğer gerekli tüm sarf malzemeler. |
| **Ana pano ve saha panoları** | Ana pano, inverter toplam ponoları |
| **Şebeke bağlantısı ekipman cihazları** | Trafo, trafo ek aparatları ve bağlantı malzemeleri, orta gerilim hücre ve ekipmanları, orta gerilim direkli ve ekipmanları |
| **Güvenlik malzemeleri** | Kamera sistemi, telçit. |

### 4.1.6. Pvsyst 7.2 Programı

PVsyst Programı, güneş enerjisi santrallerini simüle edebilen üçüncü parti bir yazılımdır. Yenilenebilir enerji sektöründeki gerçek verileri ve görünürlüğü nedeniyle sektörde çalışan her türlü mühendis, yönetici ve yatırımcının tercih ettiği bir bilgisayar programıdır. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız akü bağlantısı, PVsyst ile AC veya DC sulama simülasyonları pompalar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ayrıca çatı uygulamaları ve arazi uygulamaları da gerçekleştirilmektedir.

PVsyst programını seçmedeki diğer bir faktör ise, geniş bir panel, invertör, kablo vb. kitaplığının mevcudiyeti ve gerekli teknolojisi, özellikleri gösterilebilir. Simülasyon alanı için bilgi girmek de kolaydır. Pvsyst7.2 versiyon, tekno-ekonomik analiz, malzeme seçimi, konumu belirlemek için arazi koordinatlarının kullanımı ve istenilen yılı simüle etmek için yeterlidir.

**Şekil 4.4:** Pvsyst7.2 Giriş Ekranı



## 4.2. METOT

### 4.2.1. Güneş Enerji Hesaplamaları

Güneş, dünyanın yaklaşık 110 katı büyüklüğünde ve 1,39 milyon kilometre çapındadır. Dünyanın çapı 127.000 kmdir ve güneş etrafında eliptik bir yörüngede döner. Eliptik yörüngeden dolayı, güneşin dünyaya olan mesafesi değişir. Dünya güneşe en yakın mesafesi 3 Ocak'ta 147 milyon kilometre ve en uzak olduğu mesafe 4 Temmuz'da 152 milyon kilometre'dir. Ortalama mesafe ise 149 milyon kilometredir. Bu, 1 astronomik mesafenin (AU) ortalamasıdır. Güneşin yüzey sıcaklığının 6000 K civarında olduğu tahmin edilmektedir (Köse, 2010, s. 136).

Güneş ışığından birim alanına dik radyasyon güneş sabiti olarak adlandırılır ve $I_o$ sembolü ile belirtilir. Güneş sabiti, atmosferin üst sınırında 1,353 W/m2 olarak ölçülmüştür. Dünyanın güneş etrafındaki yörüngesi eliptik olduğundan, Dünya ile güneş arasındaki mesafe ve güneş sabiti yıl boyunca değişir. Yılın herhangi bir günü için toprak ve güneş arasındaki mesafe:

$$R = 1 + 0{,}033 \cos \frac{360\,N}{365} \tag{4.1}$$

Formda mevcuttur. Denklem 4.2'de herhangi bir günü için güneş sabiti ise yılın olarak şekilde bulunur.

$$I_{on} = I_o\left(1 + 0{,}0033 \cos \frac{360\,n}{365}\right). \tag{4.2}$$

Burda Seçilen n günün aya göre nasıl hesaplanacağı Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

**Tablo 4.10: Örnek Günler İçin N Değerlerinin Hesaplaması**

| Örnek Gün Ayın i.Günü | Aylar | i. Gün için | Yılın n.Günü |
|---|---|---|---|
| 2 | Ocak | i | 2 |
| 4 | Şubat | 31+ i | 35 |
| 7 | Mart | 59+ i | 66 |
| 8 | Nisan | 90+ i | 98 |
| 10 | Mayıs | 120+ i | 130 |
| 13 | Haziran | 151+i | 164 |
| 15 | Temmuz | 181+ i | 196 |
| 17 | Ağustos | 212+ i | 229 |
| 21 | Eylül | 243+i | 264 |
| 22 | Ekım | 273+i | 295 |
| 25 | Kasım | 304+i | 329 |
| 27 | Aralık | 334+i | 361 |

Hesaplamada Dünya ile Güneş arasında oluşan açı dikkate alınmalıdır. Güneş açıları ve tanımları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Yükseklik açısı (α): Güneş ışınlarının yönü ile yatay düzlem arasındaki açıdır.

Güneş azimit açısı (β): Güneş ışınlarının yönünün kuzeyden sapmasını veren açı olarak tanımlanır.

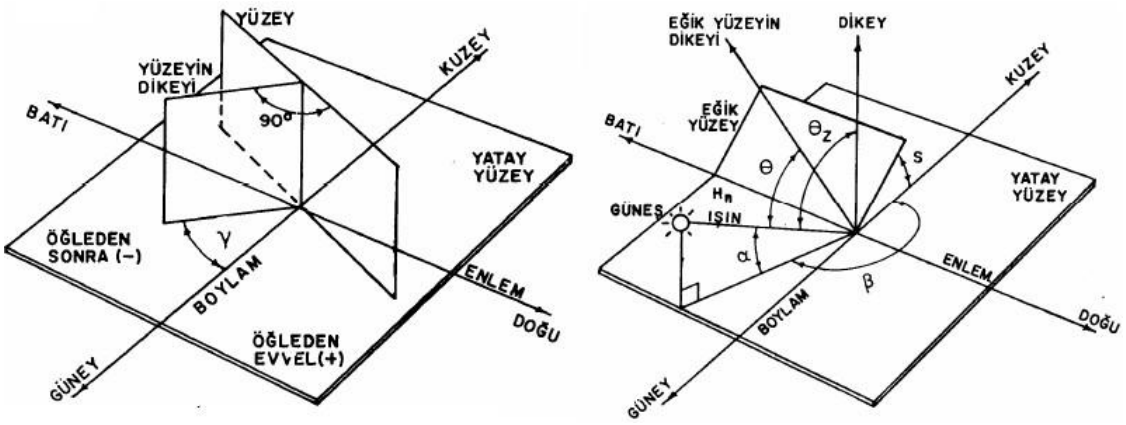
Yüzey azimut açısı (γ): Yüzey normalinin yerel boylamsal yönden sapmasını veren açıdır, 12: 00'de değer 180° olur.

Deklinasyon açısı (δ): Dünyanın merkezi ile güneşin merkezini ekvator düzlemi ile birleştiren doğrunun oluşturduğu açı olarak ifade edilir. Kuzey Yarım Küre'de olumlu, Güney Yarım Küre'de olumsuz. Eğim açısı Cooper denklemi yardımıyla bulunabilir ve -23.45° ile +23.45° arasında değişebilir.

$$\delta = 23{,}45 \sin\left[\frac{360(284+n)}{365}\right] \tag{4.3}$$

Burada n, Tablo 4.10'da olduğu gibi yılın ilk gününden itibaren günü ifade etmektedir.

**Şekil 4.5:** Güneş Açıları




Geliş açısı (θ): Eğimin normali ile güneş ışınlarının yönü arasındaki açıdır.

Zenit açısı ($\theta_Z$): Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınlarının yönü arasındaki açıdır. Bu açıya baş açısı da denir. Hava kütlesi ile zenit açısı arasındaki ilişkiyi veren denklem aşağıdaki gibidir:

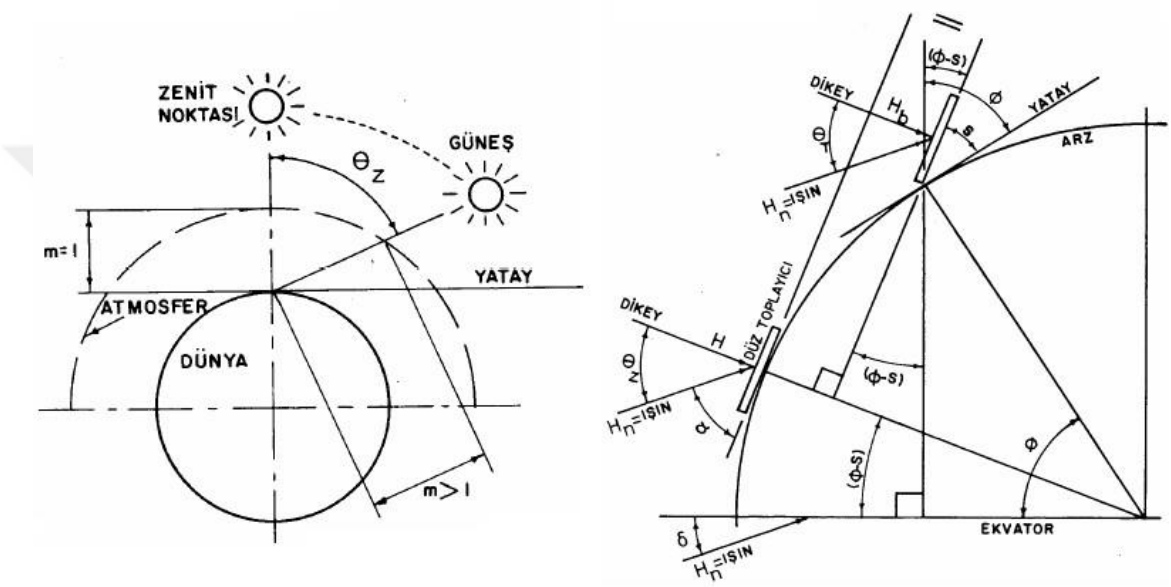
$\mathbf{m}_{hava} = \mathbf{1}/\cos(\theta_z)$ (4.4).

Enlem açısı (Φ): Yerden dünyanın merkezine doğru olan radyal çizgi ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır, Kuzey yarım kürede 0° ile 90° arasında bir değer alır.

Saat açısı (ω): Zamanın açısal bir temsili olarak tanımlanır. 1 saat, 15° boylam eşittir. Her ülke için yerel saat, 15° boylam ve katları esas alınarak uygulanır.

Eğim açısı (S): Yatay düzlem ile eğik düzlem arasındaki açıdır.

**Şekil 4.6:** Zenit Açısı ve Diğer Güneş Açıları.




Tanımlanan güneş açılarının da birbiriyle ilişkili olduğunu gösteren trigonometrik ilişkiler vardır.

Geliş açısı; dünyanın ve güneşin göreli konumları enlem, boylam ve yüzey eğimi gibi faktörlerden etkilenir. Bu nedenle, gelme açısı; sapma, enlem, eğim Açı, yüzey azimutu ve saat açısı ilişkilidir. Bu durumda, geliş açısı ilişkisi aşağıdaki gibi türetilir:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\Phi \cos S -$$

$$\sin\delta \cos\Phi \sin S \cos\gamma + \cos\delta \cos\Phi \cos S \cos\omega$$

$$+\cos\delta \sin\Phi \sin S \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin S \sin\gamma \sin\omega \quad (4.5)$$

Zenit açısının, benzer şekilde enlem açısı, deklinasyon açısı ve saat açısı ile olan bağıntısı zenit açısı bağıntı denklem (4.6)'de gösterilmiştir:

$$\cos\theta_z = \sin\Phi \sin\delta + \cos\delta \cos\Phi \cos\omega \quad (4.6)$$

Geliş açıları: genellikle eğim, enlem, eğim ve saat gibi açılarla ilişkilendirilmektedir. Güneye bakan eğimli yüzeyler için geliş açısı ilişkisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\Phi \cos S - \sin\delta \cos\Phi \sin S + \cos\delta \cos\Phi \cos S \cos\omega$$

$$+ \cos\delta \sin\Phi \sin S \cos\omega \quad (4.7)$$

Güneye bakan dik yüzeyler için geliştirilen geliş açısı bağıntısı:

$$\cos\theta = -\sin\delta \sin\Phi - \cos\delta \sin\Phi \cos\omega \quad (4.8)$$

Eğimi 0° olan bir yüzeye yatay yüzey denir. Bu seviyelerde gelme açısı ve zenit açısı eşittir. Bu özel durumda, yatay düzlem için, başucu açısı 90° ise, güneye doğru eğim ilişkisi, gün batımındaki açı şu şekilde hesaplanır:

$$\cos\omega gb = -\tan\Phi \tan\delta \quad (4.9)$$

Zamanın açısal olarak gösterimi olarak 1 saat boylam olarak 15°'ye eşittir. Buradan hareketle güneş ışığı saatleri şu şekilde hesaplanır:

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan\Phi \tan\delta) \quad (4.10)$$

Yükseklik açısının; deklinasyon açısı, enlem açısı ve saat açısı ile ilişkisi ise aşağıdaki gibidir:

$$\sin\alpha = \sin\Phi \sin\delta + \cos\Phi \cos\delta \cos\omega \quad (4.11)$$

Bir güneş paneli üzerindeki radyasyon miktarı, yatay panellerin nasıl yerleştirildiğine ve verimliliği artırmak için nasıl açılı olarak yerleştirildiğine bağlı olarak farklı şekilde hesaplanır.

Bu durumda yatay yüzeydeki anlık güneş radyasyonu şu şekilde hesaplanır:

$$H = I_o \left(1+0{,}0033 \cos\frac{360\,n}{365}\right) \cos\theta z \quad (4.12)$$

Yukarıdaki formülde zenit açısı 0° ise maksimum güneş ışınımı miktarı:

$$H_n = I_o \left(1+0{,}0033\cos\frac{360\,n}{365}\right) \quad (4.13)$$

Yatay bir yüzeye gelen güneş radyasyonunun maksimum güneş radyasyonuna oranı böyle bulunmaktadır:

$$\frac{H}{Hn} = \cos\theta z \quad (4.14)$$

Verimliliği artırmak için eğimli bir açıyla yerleştirilmiş bir güneş paneline dik olan güneş ışınımı miktarı Denklem 4.15'tir. Hesaplama yöntemi Denklem 4.16'da gösterilmiştir:

$$H_b = H_n \cos\theta T \tag{4.15}$$

$$H_b = H\left(\frac{\cos\theta T}{\cos\theta z}\right) \tag{4.16}$$

Güneş paneline dik olan güneş ışınımının yatay düzlemde gelen güneş ışınımına oranı:

$$R_b = H_b / H = \frac{\cos\theta T}{\cos\theta z} \tag{4.17}$$

Bu nedenle, bir açıyla yerleştirilmiş bir güneş paneline normal gelen güneş radyasyonu da şu şekilde yazılabilir:

$$H_b = H\, R_b \tag{4.18}$$

Belirli bir eğim açısı ile konumlandırılmış güneş panellerine atmosfere yayılmış ve heryönden gelen güneş radyasyonları vardır. Bu yaygın güneş radyasyonu:

$$H_d = H_{d.y}\, \frac{1+\cos S}{2} \tag{4.19}$$

Burada Hd,y yatay düzeydeki yaygın güneş radyasyonunu belirtmekte olup yayılı radyasyon oranına bağlıdır ve şu formül aracılığıyla bulunur:

$$H_{d.y} = K_y\, H \tag{4.20}$$

Yayılı radyasyon oranı ise bulutluluk faktörüne bağlıdır aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$k_y = 1{,}390 - 4{,}027\, K + 5{,}310\, K^2 - 3{,}108\, K^3 \tag{4.21}$$

Bulutluluk faktörü ise aşağıdaki denklem 4.22 yardımıyla bulunur:

$$K = H/H_n \tag{4.22}$$

Eğik bir açıyla yerleştirilmiş güneş panellerine yansıyan güneş radyasyonu da vardır. Bu yansıyan güneş radyasyonu Denklem 4.23'e göre hesaplanır:

$$H_y = (H+H_{d,y})\left(\frac{1-\cos S}{2}\right)\rho \tag{4.23}$$

burada ρ, Tablo 4.11'de gösterildiği gibi farklı yüzeyler için farklı değerler alan yansıma katsayısıdır.

**Tablo 4.11: Ortalama Yansıtma Katsayıları**

| Yüzey | Ortalama Yansıtma Katsayısı (ρ) |
|---|---|
| Kar (yeni yağmış veya buz kaplı) | 0,75 |
| Su yüzeyi | 0,07 |
| Yeşil çim | 0,26 |
| Beton kaplı alan | 0,22 |
| Toprak (kil,balçık vb..) | 0,14 |
| Çam ormanları (kış mevsimi) | 0,07 |
| Sonbahardaki ormanlar | 0,26 |

O hâlde, belirli bir eğim açısında konumlandırılmış güneş paneline uygulanan toplam güneş radyasyonu, Denklemler 4.15, Denklemler 4.16 ile Denklemler 4.18'de hesaplandığı gibi güneş paneline dik güneş radyasyonu, Denklem 4.19'de güneş paneline güneş radyasyonunu dağıtır ve 4.23 denkleminde güneşlilik, panele yansıtılan güneş radyasyonunun toplanmasıyla elde edilir:

$$H_t = H_b + H_d + H_y \tag{4.24}$$

Güneş paneline toplam güneş radyasyonu genellikle kJ/m$^2$-gün, kJ/m$^2$-yıl veya kWh/m$^2$-gün, kWh/m$^2$-yıl cinsinden hesaplanmaktadır.

Bir varlığın ekonomik ömrü boyunca zamanla değerindeki azalmaya amortisman denir. Bu kayıp değerler dönem giderlerinde gösterilir. Sabit yüzdeli basit amortisman yöntemine göre yıllık amortisman payı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Amortisman payı} = \frac{Vaılık\ Değeri - Hurda\ Değer}{Ömür} \tag{4.25}$$

Bu çalışmada Moritanya şartlarına göre elektrik satış fiyatı 0,145$/kWh ve ıskoto oranı %10 olarak alınacaktır. Gelir vergisi oranı %21 olarak hesap edilecek, nakit girişi ile net nakit akışı verilecektir. PV santral yatırımı yaptıkttan sonra yine de geri ödeme süresi ve net bugünkü değer yöntemleri kullanılarak değerlendirilecektir (Ceyhun, 2016, s. 54-58).

### 4.2.2. Geri Ödeme Süresi (GÖS)

GÖS; herhangi bir yatırımın gelirini ne kadar süreyle ödeyeceği Burada bulmak için kullanılan formül, 1 yıllık fiili nakit iade tablosunu ve PVsyst'in teorik tahmin verilerini kullanacaktır.

$$\text{GÖS} = N_{\text{negatif}} + \frac{N\ negatif}{F} \tag{4.26}$$

Geri ödeme süresi yatırımcının beklentilerinden düşükse, yatırım kabul edilebilir.

### 4.2.3. Net Bügünkü Değer (NBD)

Yatırımın ilk gününde vergi sonrası net nakit akışının belirli bir iskonto oranına göre iskonto edilmesidir. Buradaki iskonto oranı, yatırımcıların yatırımdan ne bekleyebileceğini gösterir. İndirgenmiş nakit akışı, yatırımın ilk gününde özkaynak giderinden düşülür. Sonuç, yatırımın net bugünkü değerini (NPV) gösterir. NPV > 0, yatırımın beklentileri aştığı ve yatırımın kabul edildiği anlamına gelir. NPV = 0, yatırımın gelir ve giderlerinin yalnızca birbirini tatmin ettiği anlamına gelir. NPV < 0, yatırımın beklendiği kadar ekonomik olmadığını gösterilmiştir (Cesur, 2006, s. 19).

Net bugünku değer aşağıdaki formülüyle hesaplanabilir.

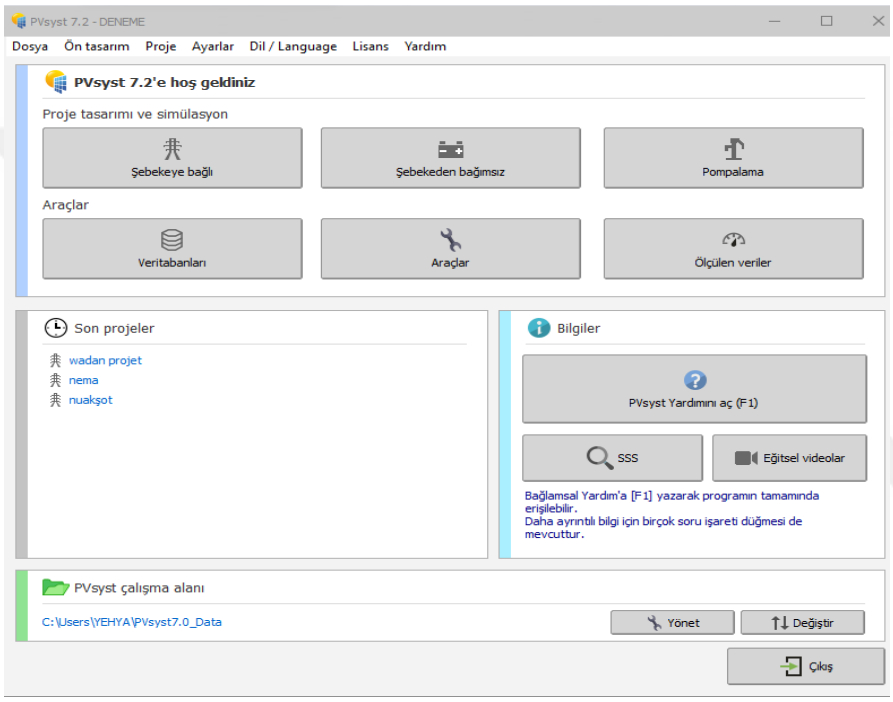
$$\text{NDB} = [\sum_{T=0}^{N} \left(\frac{At}{(1+r)n}\right)] - \text{C} \tag{4.27}$$

# BEŞİNCİ BÖLÜM
# BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

## 5.1. PVSYST PROGRAMININ TANITILMASI VE GEREKLİ BİLGİLERİN GİRİLMESİ

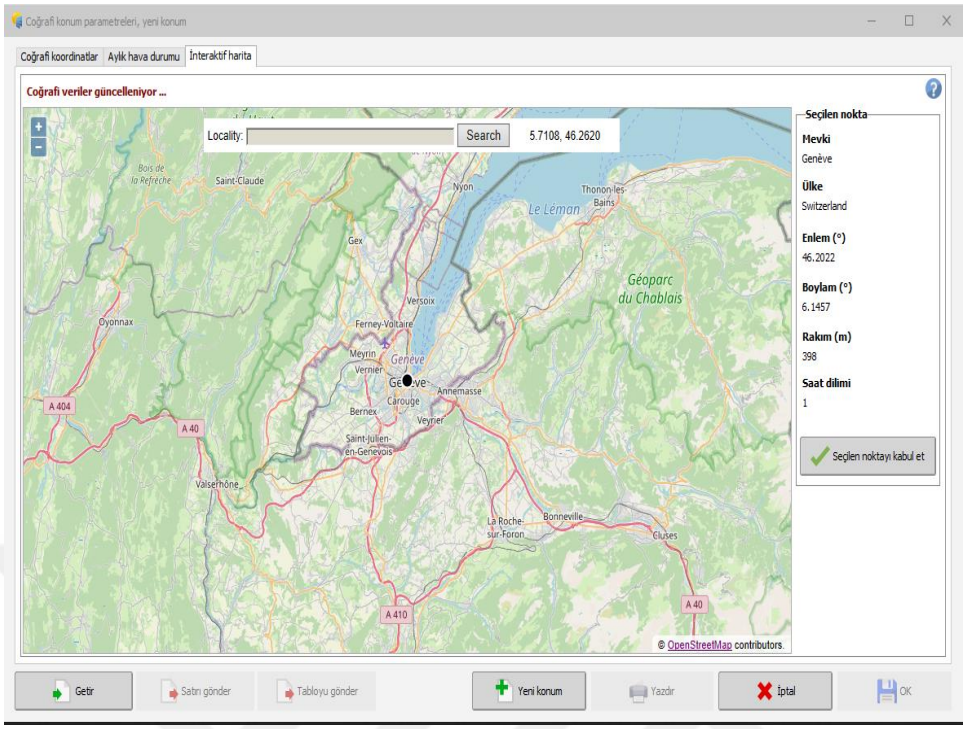
PVsyst programının teorik olarak güneş enerjisi santrallerinin en önemli avantajlarından biri üretilebilecek enerji miktarını hesaplayabilmesidir. Herhangi fotovoltaik sistem (şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem, GESP sistemi ve pompa kullanmasını) boyut ve modellerde seçebilecektir. Pvsyst programı çalıştığı zaman karşılaştığımız bu ana sayfa otomatik olarak açılacaktır.

**Şekil 5.1:** Pvsys Giriş Ekranı



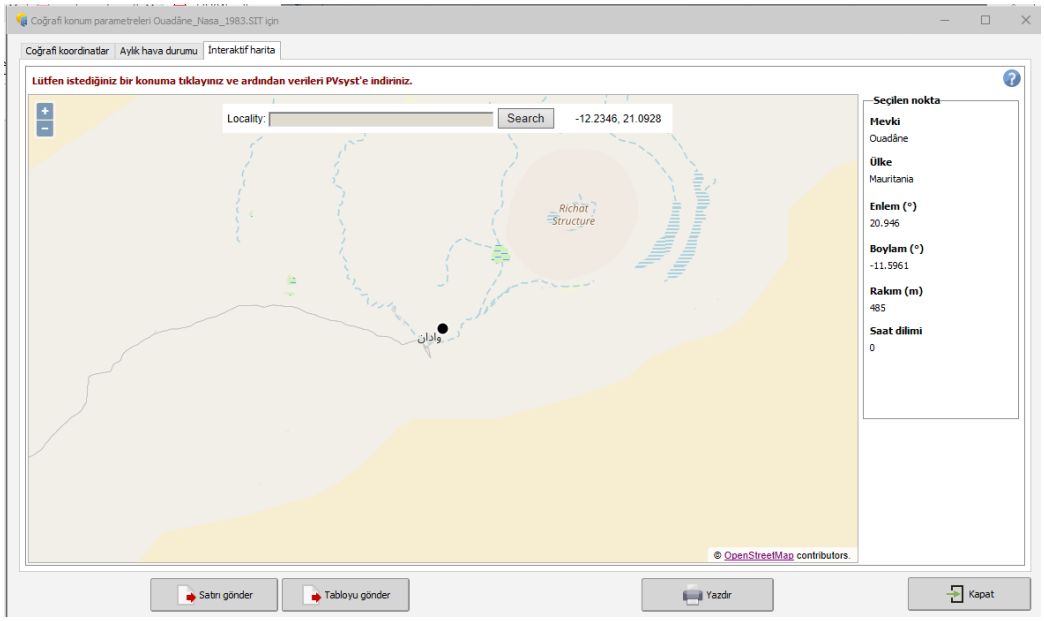

Şekil 5.1'de yazılım giriş ekranı verilmiş olup projelerin özelikle şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompa kullanmasını boyut ve modeller gibi özellikleri seçilebilmektedtir. Bu çalışma için yapılan projelendirmeler şebekeye bağlı olarak seçilmiştir.

**Şekil 5.2:** Pvsyst Konumu İndirme Bilgeleri Ekranı




Konum bilgisi coğrafi koordinat olarak girilen ekranın ilgili alanına ait veriler, indirme ekranı Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

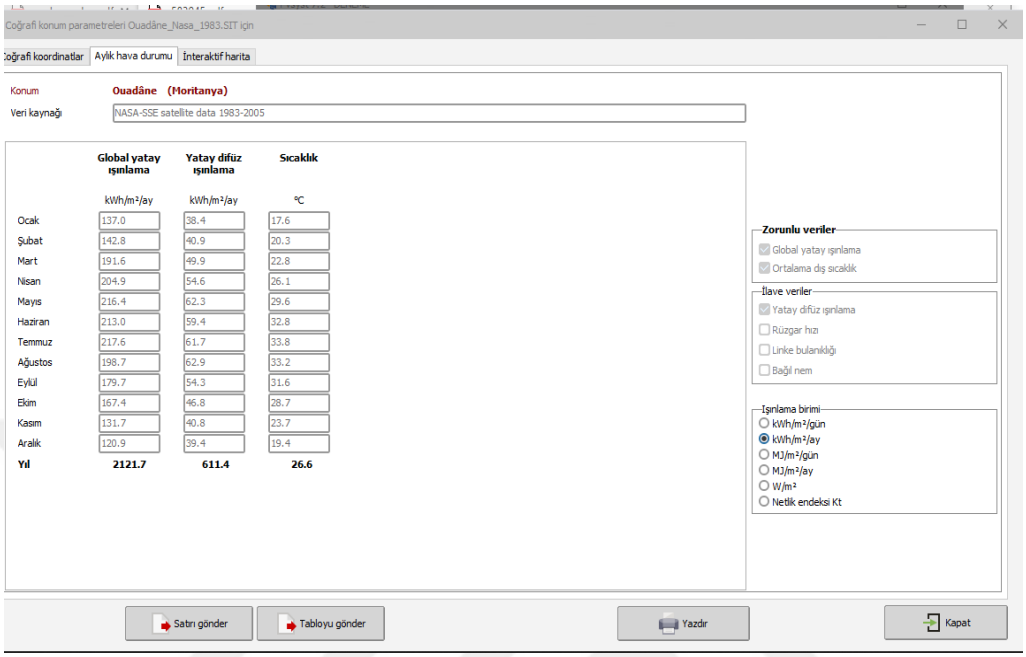
**Şekil 5.3:** Konum Bilgi Ekranı




Veriler indirildikten sonra santralin kurulacağı alanın konum koordinatlarına ulaşılmış ve sonraki tüm işlemler bu koordinatların değerlerine dayandırılmıştır.

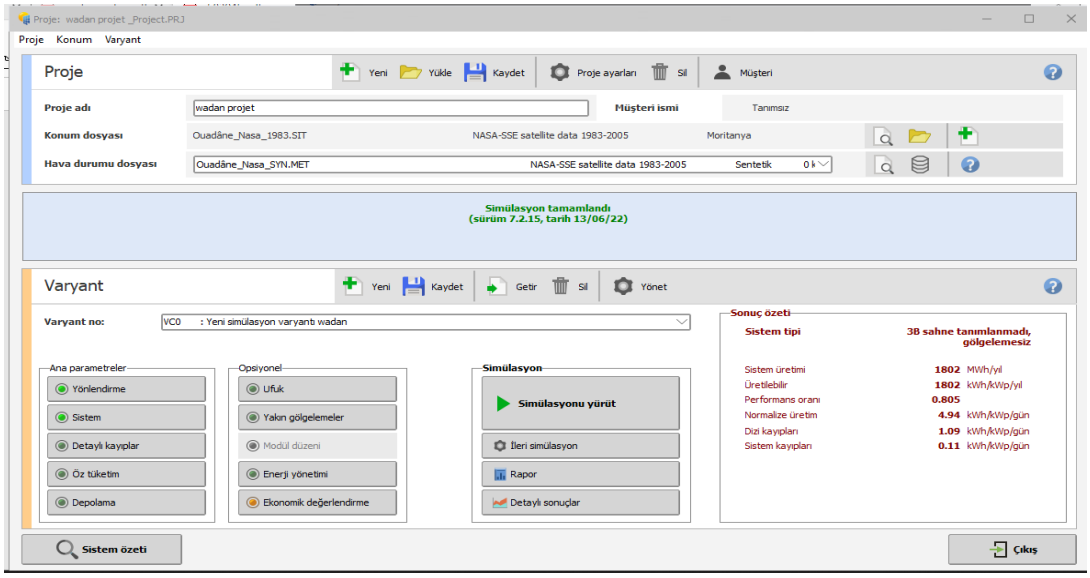
Şekil 5.3'te verilen ısı, ışınım, nem gibi parametler verilecektir. PVsyst datasındaki tüm veriler değerlendirilmiştir.

**Şekil 5.4:** Seçili Konum Aylık Işınım Tablosu



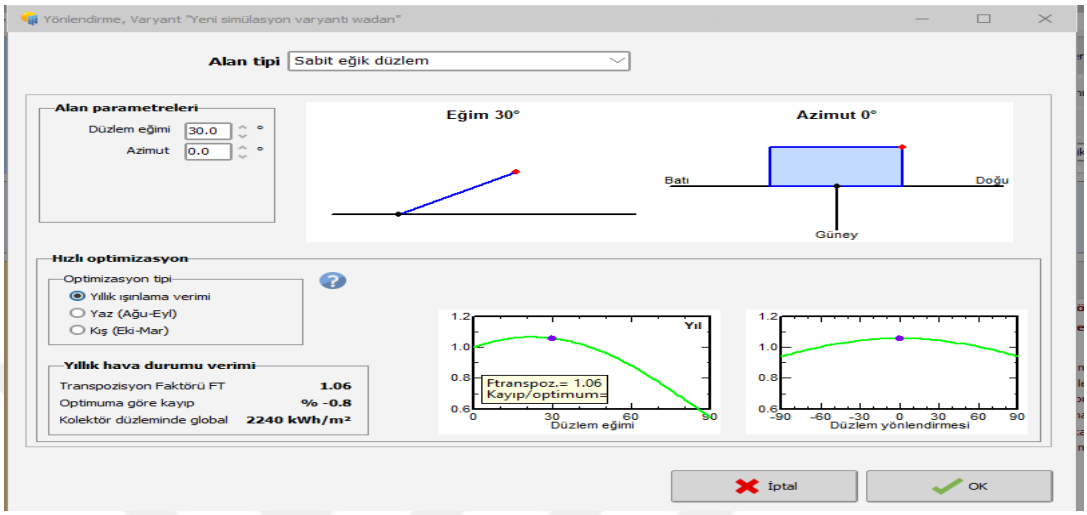

Şekil 5.4'te seçilen koordinatlar için piranometre aylık radyasyon, sıcaklık, rüzgar değerleri ile global yatay ışınlama ve yatay difüz ışınlama yıllık toplamlar olarak gösterilmiştir.

**Şekil 5.5:** Pvsyst Projeleri Sayfası



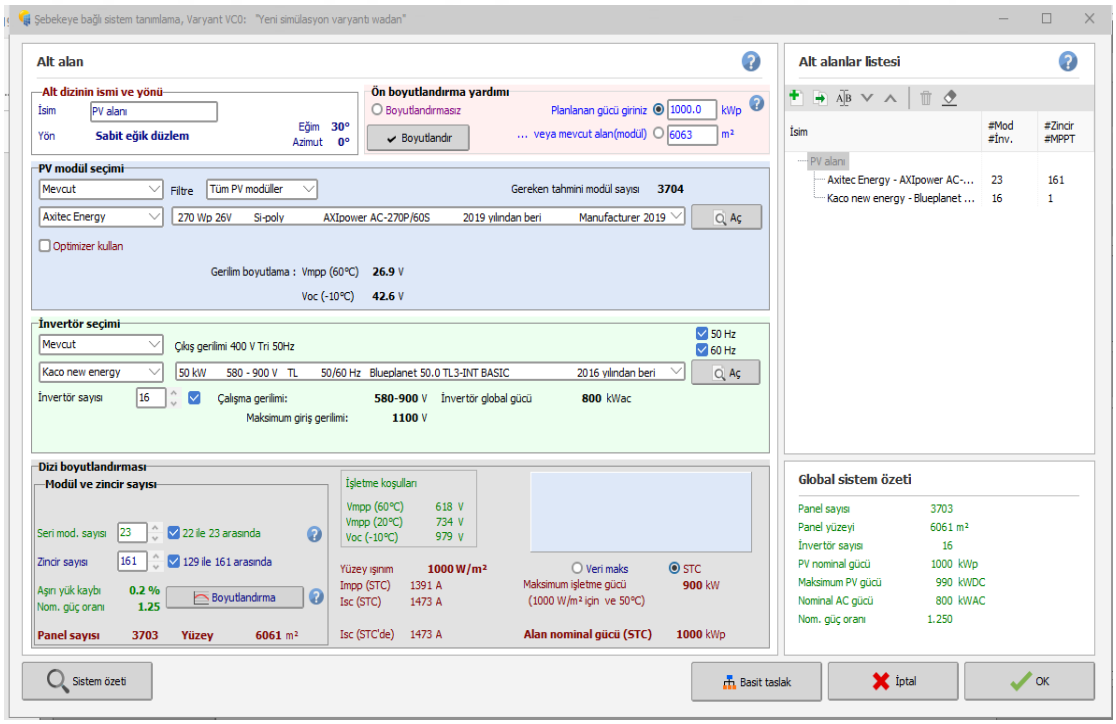
Projeler kaydedildiği zaman bu sayfa ekranı Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Hesap yanlış girilmiş veya parametler birini yanlış seçip sayfaya dönerken yineden simülasyon yapılabilmektedir.

**Şekil 5.6:** Pvsyst Eğimi Giriş Ekranı




Şekil 5.6'da görüleceği üzere kurgulanan sistemlerde Eğim ve Azimut girilir. Buna göre simülasyonda eğim değeri 30° ve azimut 0° olarak girilmiştir.

**Şekil 5.7:** Sistem Teknik Özellikleri Giriş Sayfası

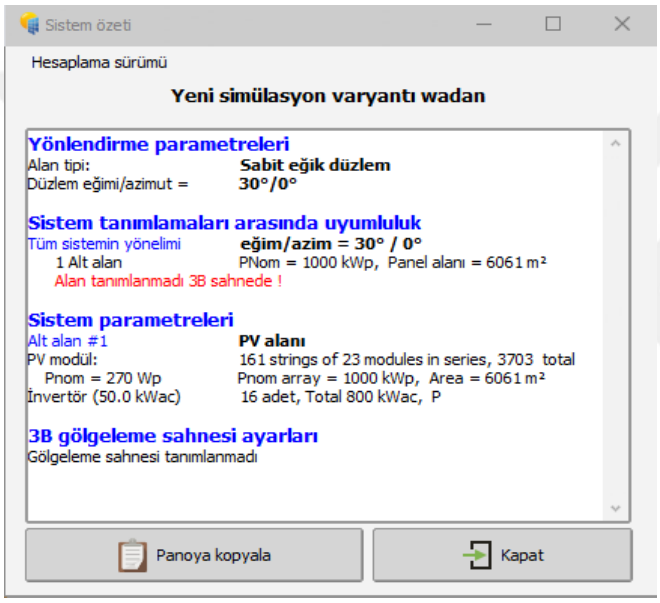



Tasarlanan Güneş Enerji Santrali (GES) tek başına çalışacağı ve 1 adet olacağı için "Çeşit Sayısı" 1 olarak seçilmiştir."Planlanan Gücü Girin" bölümüne güneş enerjisi

santralinin nominal gücü girilmiştir."PV Modülü Seç" bölümünden önceden belirlenmiş nominal gücü 1MW olan bir model PV paneli seçilecektir. Seçim yapıldıktan sonra program gerekli panel sayısını ve gerekli inverter gücünü hesaplayacaktır. "Select Inverter" alanında daha önce belirlenen güç değeri ve model seçilebilmektedir.

Şekil 5.7'de veriler ekranda PVsyst veri tabanından fotovoltaik güneş panelleri ve inverter seçilebilecektir. Panel ve inverter sayısı gibi bilgileri girmek yerine sistemin toplam kurulu gücü girilmektedir. Değerleri PVsyst tarafından otomatik olarak yapılmaktadır.

**Şekil 5.8:** Sistem Özeti




Pv modül ile pv alanı detaylı bir şekilde verilmiştir. Pano ile inverter bilgilerinden sonra gerekli verilerin girildiği kısımdır. Buradaki kullanıma hazır sistemler olduğu için gerçek verilere yakın verileri kullanmak mümkündür. Panel üreticileri, fotovoltaik panellerin verimlilik kaybı kısmının gerçek verilerini vermektedir. Değerler üreticinin web sitesinden alınabilecek ve Şekil 5.8'deki ekrana girilmektedir.

## 5.2. PVSYST ANALİZ SONUÇLARI

### 5.2.1. Nuakşot İli İçin Genel Sonuçlar

Şekil 5.9´a göre her aşamayı gösteren simülasyon bilgilerinin bir özeti bulunmaktadır. Panel sayısı, inverter sayısı, simülasyon süresi, verim kaybı vb. bilgilerin bir özeti görülmektedir.

**Şekil 5.9:** Nuakşot Analiz Sonuçları 1

**Genel parametreler**

**Şebekeye bağlı sistem** — **3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz**

**Kolektör düzleminin yönlendirmesi**

| **Yönlendirme** | | **Dizi ayarları** | **Kullanılan modeller** | |
|---|---|---|---|---|
| Sabit düzlem | | 3B sahne tanımlanmadı | Transpozisyon | Perez |
| Eğim/Azimut | 30 / 0 ° | | Difüz | Perez, Meteonorm |
| | | | Circumsolar | ayrı |

| **Ufuk** | **Yakın gölgelemeler** | **Kullanıcı ihtiyaçları** |
|---|---|---|
| Ufuk tanımlanmadı | Gölgelemesiz | Sınırsız yükleme (şebeke) |

**Kolektör alanının özellikleri**

| **PV modül** | | **İnvertör** | |
|---|---|---|---|
| Üretici | Generic | Üretici | Generic |
| Model | AXIpower AC-270P/60S | Model | Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC |
| (Orijinal PVsyst veritabanı) | | (Orijinal PVsyst veritabanı) | |
| Birim gücü | 270 Wp | Birim gücü | 50.0 kWac |
| PV modül sayısı | 3703 adet | İnvertör sayısı | 16 adet |
| Nominal (STC) | 1000 kWp | Toplam güç | 800 kWac |
| Modül | 161 Zincir x 23 Seri | Çalışma gerilimi | 580-900 V |
| **İşletme şartlarında (50°C)** | | Nom. güç oranı (DC:AC) | 1.25 |
| Pmpp | 900 kWp | | |
| U mpp | 647 V | | |
| I mpp | 1391 A | | |

| **Total PV gücü** | | **İnvertör toplam gücü** | |
|---|---|---|---|
| Nominal (STC) | 1000 kWp | Toplam güç | 800 kWac |
| Toplam | 3703 modül | İnvertör sayısı | 16 adet |
| Panel yüzeyi | 6061 m² | Nom. güç oranı | 1.25 |
| Hücre yüzeyi | 5459 m² | | |

**Dizi kayıpları**

| **Termal kayıp faktörü** | | **DC kablolama kaybı** | | **Modül kalite kaybı** | |
|---|---|---|---|---|---|
| Işınıma göre modül sıcaklığı | | Global alan direnci | 7.8 mΩ | Kayıp oranı | -0.5 % |
| Uc (sabit) | 20.0 W/m²K | Kayıp oranı | 1.5 STC'de% | | |
| Uv (rüzgar) | 0.0 W/m²K/m/s | | | | |

| **Modül uyumsuzluk kaybı** | | **Dizi uyumsuzluk kaybı** | |
|---|---|---|---|
| Kayıp oranı | 2.0 MPP'de% | Kayıp oranı | 0.1 % |

**IAM kayıp faktörü**

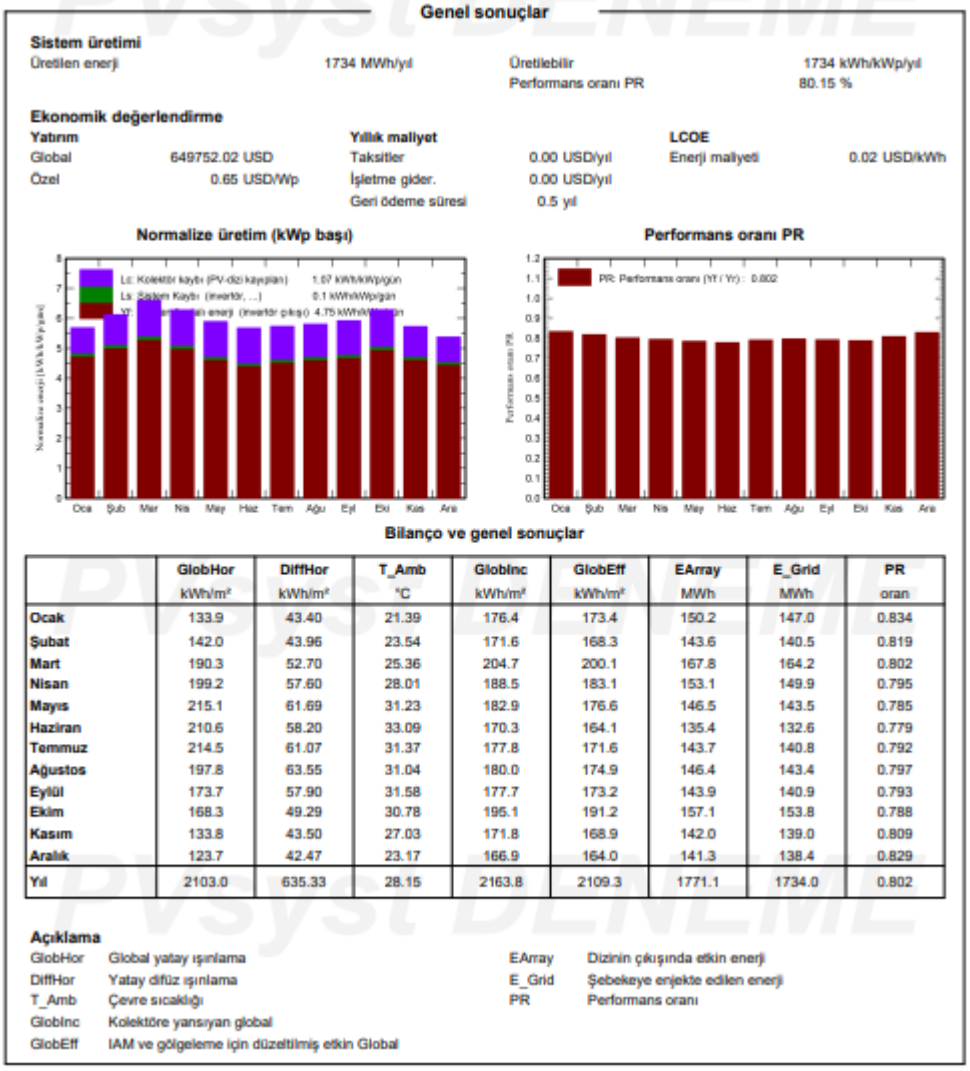
Yansıma etkisi (IAM): Fresnel, normal cam, n = 1.526

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

Şekil 5.10'da seçilen bölgeler için sistemin yıllık üretimini göstermektedir. Bu değerler hesaplanırken alandaki radyasyon değerleri, güneşlenme saatleri, panel verimliliği vb. dikkate alınmalıdır. Sistemin arazi bilgisi ve kullanıcı tarafından simülasyon bilgisi girilmiştir.

Şekil 5.10'da verilen ışınım tablosundaki en önemli nokta ise verilerin herhangi bir yıllık değil, ortalama 20 yıllık simüle edilmiş değerlerdir. Bu doğrudan simülasyon sırasında gerçekleştirilecek olan radyasyon değerlerinin, üretim hacimlerinin ve bunlardan sistem gelirinin hesaplanmasını sağlamaktadır.

**Şekil 5.10:** Nuakşot Analiz Sonuçları 2



**Genel sonuçlar**

**Sistem üretimi**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Üretilen enerji | 1734 MWh/yıl | Üretilebilir | 1734 kWh/kWp/yıl |
| | | Performans oranı PR | 80.15 % |

**Ekonomik değerlendirme**

| Yatırım | | Yıllık maliyet | | LCOE | |
|---|---|---|---|---|---|
| Global | 649752.02 USD | Taksitler | 0.00 USD/yıl | Enerji maliyeti | 0.02 USD/kWh |
| Özel | 0.65 USD/Wp | İşletme gider. | 0.00 USD/yıl | | |
| | | Geri ödeme süresi | 0.5 yıl | | |

**Normalize üretim (kWp başı)**



**Performans oranı PR**



**Bilanço ve genel sonuçlar**

| | GlobHor kWh/m² | DiffHor kWh/m² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | PR oran |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ocak | 133.9 | 43.40 | 21.39 | 176.4 | 173.4 | 150.2 | 147.0 | 0.834 |
| Şubat | 142.0 | 43.96 | 23.54 | 171.6 | 168.3 | 143.6 | 140.5 | 0.819 |
| Mart | 190.3 | 52.70 | 25.36 | 204.7 | 200.1 | 167.8 | 164.2 | 0.802 |
| Nisan | 199.2 | 57.60 | 28.01 | 188.5 | 183.1 | 153.1 | 149.9 | 0.795 |
| Mayıs | 215.1 | 61.69 | 31.23 | 182.9 | 176.6 | 146.5 | 143.5 | 0.785 |
| Haziran | 210.6 | 58.20 | 33.09 | 170.3 | 164.1 | 135.4 | 132.6 | 0.779 |
| Temmuz | 214.5 | 61.07 | 31.37 | 177.8 | 171.6 | 143.7 | 140.8 | 0.792 |
| Ağustos | 197.8 | 63.55 | 31.04 | 180.0 | 174.9 | 146.4 | 143.4 | 0.797 |
| Eylül | 173.7 | 57.90 | 31.58 | 177.7 | 173.2 | 143.9 | 140.9 | 0.793 |
| Ekim | 168.3 | 49.29 | 30.78 | 195.1 | 191.2 | 157.1 | 153.8 | 0.788 |
| Kasım | 133.8 | 43.50 | 27.03 | 171.8 | 168.9 | 142.0 | 139.0 | 0.809 |
| Aralık | 123.7 | 42.47 | 23.17 | 166.9 | 164.0 | 141.3 | 138.4 | 0.829 |
| Yıl | 2103.0 | 635.33 | 28.15 | 2163.8 | 2109.3 | 1771.1 | 1734.0 | 0.802 |

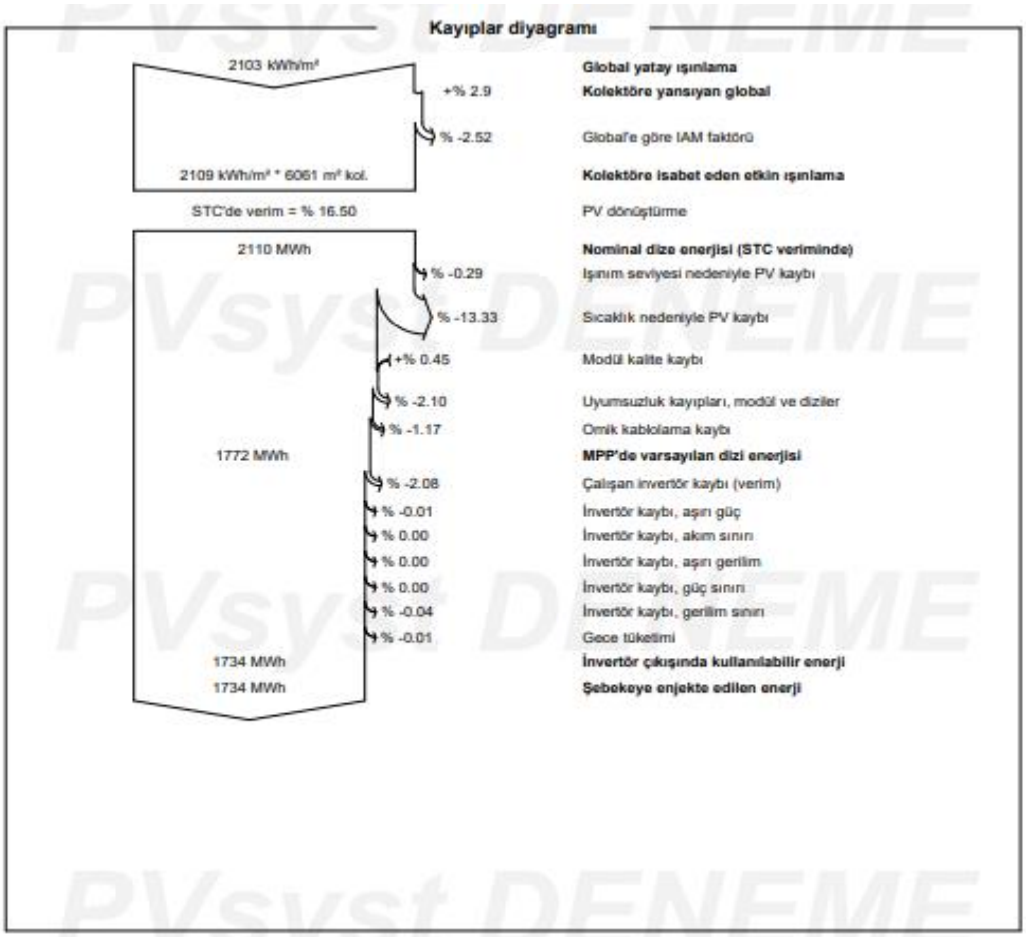
**Açıklama**

| | | | |
|---|---|---|---|
| GlobHor | Global yatay ışınlama | EArray | Dizinin çıkışında etkin enerji |
| DiffHor | Yatay difüz ışınlama | E_Grid | Şebekeye enjekte edilen enerji |
| T_Amb | Çevre sıcaklığı | PR | Performans oranı |
| GlobInc | Kolektöre yansıyan global | | |
| GlobEff | IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global | | |

Şekil 5.11'de oluşturulan ortalama üretim tablosundan değerler alınarak hangi yılda hangi değişikliklerin beklendiği Şekil 5.13'te inverterin tahmini arıza süresi, panellerin verim kaybı vb. koşulların hangi yıllardan sonra olacağı ve bu faktörlerden kaynaklanan verim kayıpları gösterilmiştir.

Şekil 5.10 ve şekil 5.11'den de anlaşılacağı üzere sistem %80,15 olarak performans oranına sahip olup teorik olarak yılda 1734 MWh enerji üretebilmektedir. PV panellerin enerji üretiminin 20 yıl olması beklenmektedir. Modüller ve dizi bağlantılarından %2,10 kayıp olup en yüksek kayıp %13,33 olarak sıcaklıkdandır.

**Şekil 5.11:** Nuakşot Analiz Sonuçları 3




### 5.2.2. Nema İli İçin Genel Sonuçlar

Şekil 5.12´de her aşamayı gösteren simülasyon bilgilerinin bir özeti bulunmaktadır. Panel sayısı, iverter sayısı, simülasyon süresi, verim kayıpları vb. bilgilerin bir özeti gösterilmektedir.

**Şekil 5.12:** Nema Analiz Sonuçları 1

**Genel parametreler**

**Şebekeye bağlı sistem** — **3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz**

**Kolektör düzleminin yönlendirmesi**

| **Yönlendirme** | | **Dizi ayarları** | **Kullanılan modeller** | |
|---|---|---|---|---|
| Sabit düzlem | | 3B sahne tanımlanmadı | Transpozisyon | Perez |
| Eğim/Azimut | 30 / 0 ° | | Difüz | Perez, Meteonorm |
| | | | Circumsolar | ayrı |

| **Ufuk** | **Yakın gölgelemeler** | **Kullanıcı ihtiyaçları** |
|---|---|---|
| Ufuk tanımlanmadı | Gölgelemesiz | Sınırsız yükleme (şebeke) |

**Kolektör alanının özellikleri**

| **PV modül** | | **İnvertör** | |
|---|---|---|---|
| Üretici | Generic | Üretici | Generic |
| Model | AXIpower AC-270P/60S | Model | Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC |
| (Orijinal PVsyst veritabanı) | | (Orijinal PVsyst veritabanı) | |
| Birim gücü | 270 Wp | Birim gücü | 50.0 kWac |
| PV modül sayısı | 3703 adet | İnvertör sayısı | 15 adet |
| Nominal (STC) | 1000 kWp | Toplam güç | 750 kWac |
| Modül | 161 Zincir x 23 Seri | Çalışma gerilimi | 580-900 V |
| **İşletme şartlarında (50°C)** | | Nom. güç oranı (DC:AC) | 1.33 |
| Pmpp | 900 kWp | | |
| U mpp | 647 V | | |
| I mpp | 1391 A | | |

| **Total PV gücü** | | **İnvertör toplam gücü** | |
|---|---|---|---|
| Nominal (STC) | 1000 kWp | Toplam güç | 750 kWac |
| Toplam | 3703 modül | İnvertör sayısı | 15 adet |
| Panel yüzeyi | 6061 m² | Nom. güç oranı | 1.33 |
| Hücre yüzeyi | 5459 m² | | |

**Dizi kayıpları**

| **Termal kayıp faktörü** | | **DC kablolama kaybı** | | **Modül kalite kaybı** | |
|---|---|---|---|---|---|
| Işınıma göre modül sıcaklığı | | Global alan direnci | 7.8 mΩ | Kayıp oranı | -0.5 % |
| Uc (sabit) | 20.0 W/m²K | Kayıp oranı | 1.5 STC'de% | | |
| Uv (rüzgar) | 0.0 W/m²K/m/s | | | | |

| **Modül uyumsuzluk kaybı** | | **Dizi uyumsuzluk kaybı** | |
|---|---|---|---|
| Kayıp oranı | 2.0 MPP'de% | Kayıp oranı | 0.1 % |

**IAM kayıp faktörü**

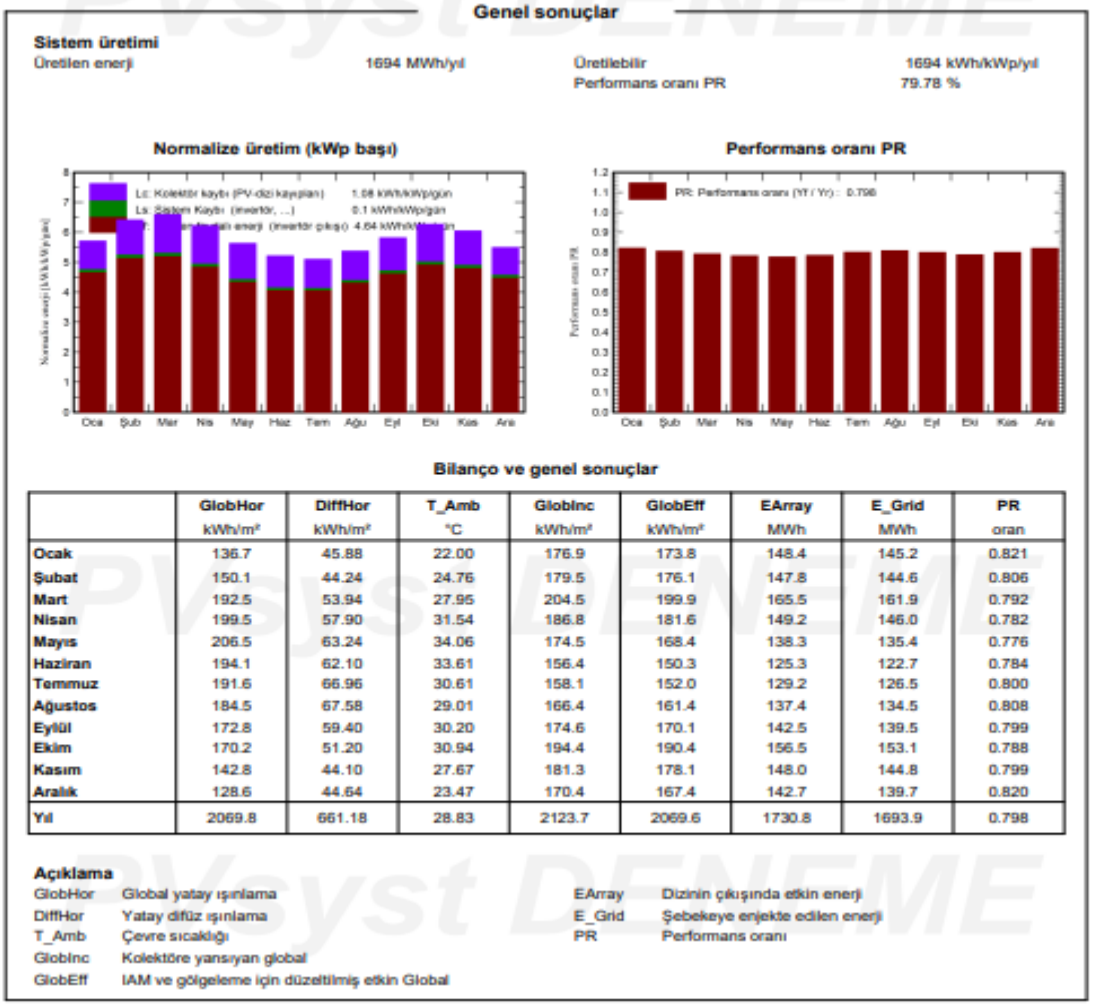
Yansıma etkisi (IAM): Fresnel, normal cam, n = 1.526

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

Şekil 5.13'e seçilen bölgeler için sistemin yıllık üretimini göstermektedir. Bu değerler hesaplanırken alandaki radyasyon değerleri, güneşlenme saatleri, panel verimliliği vb. dikkate alınmalıdır. Sistemin arazi bilgisi ve kullanıcı tarafından simülasyon bilgisi girilmiştir.

Şekil 5.13'e verilen ışınım tablosundaki en önemli nokta ise verilerin herhangi bir yıllık değil, ortalama 20 yıllık simüle edilmiş değerlerdir. Bu doğrudan simülasyon sırasında gerçekleştirilecek olan radyasyon değerlerinin, üretim hacimlerinin ve bunlardan sistem gelirinin hesaplanmasını sağlamaktadır.

**Şekil 5.13:** Nema Analiz Sonuçları 2



**Genel sonuçlar**

**Sistem üretimi**

Üretilen enerji 1694 MWh/yıl

Üretilebilir 1694 kWh/kWp/yıl

Performans oranı PR 79.78 %

**Normalize üretim (kWp başı)**



**Performans oranı PR**



**Bilanço ve genel sonuçlar**

| | GlobHor kWh/m² | DiffHor kWh/m² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | PR oran |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ocak | 136.7 | 45.88 | 22.00 | 176.9 | 173.8 | 148.4 | 145.2 | 0.821 |
| Şubat | 150.1 | 44.24 | 24.76 | 179.5 | 176.1 | 147.8 | 144.6 | 0.806 |
| Mart | 192.5 | 53.94 | 27.95 | 204.5 | 199.9 | 165.5 | 161.9 | 0.792 |
| Nisan | 199.5 | 57.90 | 31.54 | 186.8 | 181.6 | 149.2 | 146.0 | 0.782 |
| Mayıs | 206.5 | 63.24 | 34.06 | 174.5 | 168.4 | 138.3 | 135.4 | 0.776 |
| Haziran | 194.1 | 62.10 | 33.61 | 156.4 | 150.3 | 125.3 | 122.7 | 0.784 |
| Temmuz | 191.6 | 66.96 | 30.61 | 158.1 | 152.0 | 129.2 | 126.5 | 0.800 |
| Ağustos | 184.5 | 67.58 | 29.01 | 166.4 | 161.4 | 137.4 | 134.5 | 0.808 |
| Eylül | 172.8 | 59.40 | 30.20 | 174.6 | 170.1 | 142.5 | 139.5 | 0.799 |
| Ekim | 170.2 | 51.20 | 30.94 | 194.4 | 190.4 | 156.5 | 153.1 | 0.788 |
| Kasım | 142.8 | 44.10 | 27.67 | 181.3 | 178.1 | 148.0 | 144.8 | 0.799 |
| Aralık | 128.6 | 44.64 | 23.47 | 170.4 | 167.4 | 142.7 | 139.7 | 0.820 |
| Yıl | 2069.8 | 661.18 | 28.83 | 2123.7 | 2069.6 | 1730.8 | 1693.9 | 0.798 |

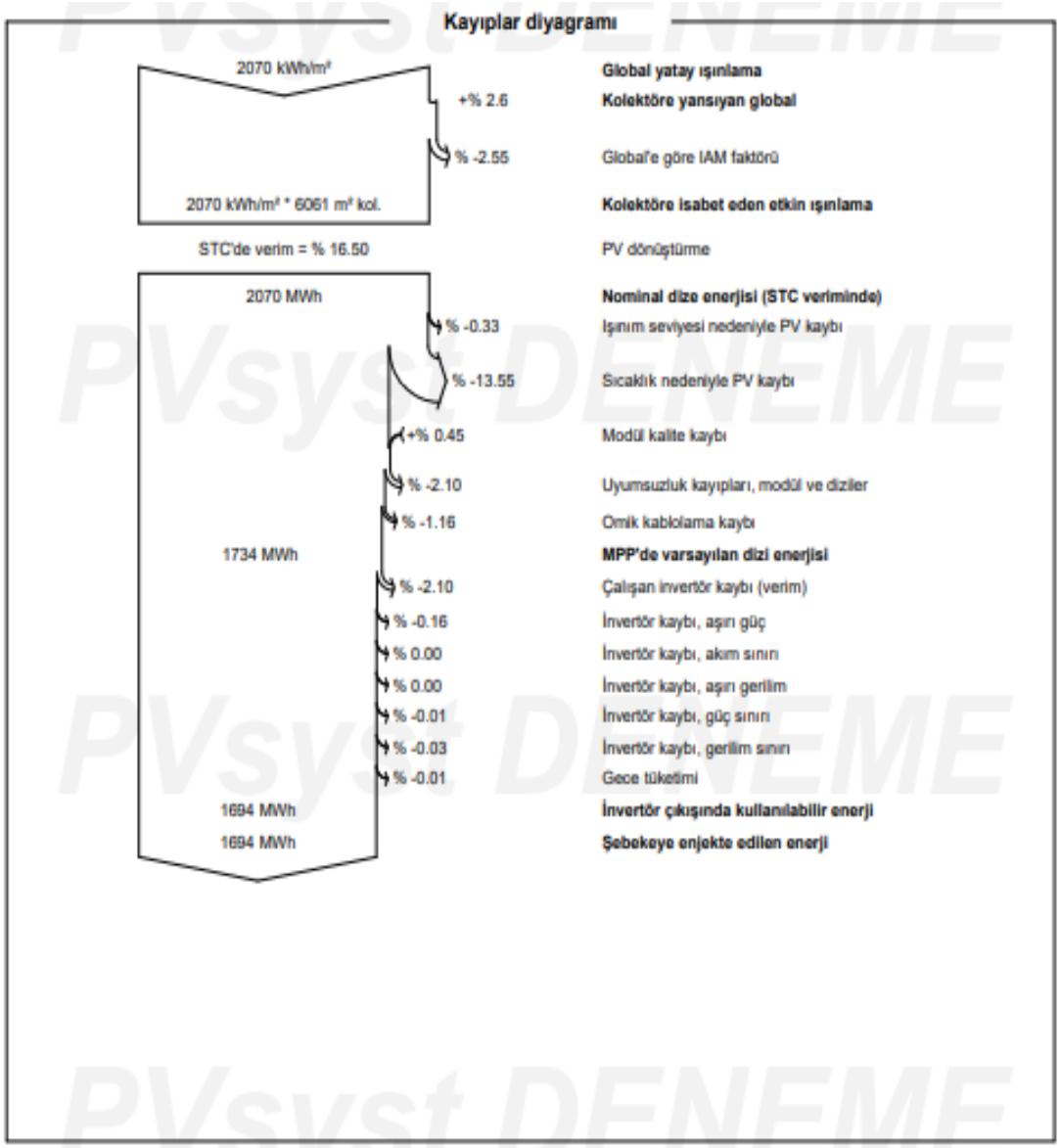
**Açıklama**

GlobHor Global yatay ışınlama
DiffHor Yatay difüz ışınlama
T_Amb Çevre sıcaklığı
GlobInc Kolektöre yansıyan global
GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
EArray Dizinin çıkışında etkin enerji
E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji
PR Performans oranı

Şekil 5.14'de oluşturulan ortalama üretim tablosundan değerler alınarak hangi yılda hangi değişikliklerin beklendiği Şekil 5.13'te inverterin tahmini arıza süresi, panellerin verim kaybı vb.koşulların hangi yıllardan sonra olacağı ve bu faktörlerden kaynaklanan verim kayıpları gösterilmiştir.

Şekil 5.13 ve şekil 5.14'den de anlaşılacağı üzere sistem %79,78 olarak performans oranına sahip olup teorik olarak yılda 1734 MWh enerji üretebilmektedir. PV panellerin enerji üretiminin 20 yıl olması beklenmektedir. Modüller ve dizi bağlantılarından %2,10 kayıp olup en yüksek kayıp %13,5 olarak sıcaklıkdandır.

**Şekil 5.14:** Nema Analiz Sonuçları 3




### 5.2.3. Wadan İli İçin Genel Sonuçlar

Şekil 5.15´de her aşama için simülasyon bilgilerini gösteren bir özet bulunmaktadır. Panel sayısı, inverter sayısı, dizi kayıpları, pv toplam gücü, inverter toplam gücü ile simülasyon süresi bilgilerin bir özeti verilmiştir.

**Şekil 5.15:** Wadan Analiz Sonuçlar 1

**Genel parametreler**

**Şebekeye bağlı sistem** — **3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz**

**Kolektör düzleminin yönlendirmesi**

| **Yönlendirme** | | **Dizi ayarları** | **Kullanılan modeller** | |
|---|---|---|---|---|
| Sabit düzlem | | 3B sahne tanımlanmadı | Transpozisyon | Perez |
| Eğim/Azimut | 30 / 0 ° | | Difüz | Perez, Meteonorm |
| | | | Circumsolar | ayrı |

| **Ufuk** | **Yakın gölgelemeler** | **Kullanıcı ihtiyaçları** |
|---|---|---|
| Ufuk tanımlanmadı | Gölgelemesiz | Sınırsız yükleme (şebeke) |

**Kolektör alanının özellikleri**

| **PV modül** | | **İnvertör** | |
|---|---|---|---|
| Üretici | Generic | Üretici | Generic |
| Model | AXIpower AC-270P/60S | Model | Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC |
| (Orijinal PVsyst veritabanı) | | (Orijinal PVsyst veritabanı) | |
| Birim gücü | 270 Wp | Birim gücü | 50.0 kWac |
| PV modül sayısı | 3703 adet | İnvertör sayısı | 16 adet |
| Nominal (STC) | 1000 kWp | Toplam güç | 800 kWac |
| Modül | 161 Zincir x 23 Seri | Çalışma gerilimi | 580-900 V |
| **İşletme şartlarında (50°C)** | | Nom. güç oranı (DC:AC) | 1.25 |
| Pmpp | 900 kWp | | |
| U mpp | 647 V | | |
| I mpp | 1391 A | | |

| **Total PV gücü** | | **İnvertör toplam gücü** | |
|---|---|---|---|
| Nominal (STC) | 1000 kWp | Toplam güç | 800 kWac |
| Toplam | 3703 modül | İnvertör sayısı | 16 adet |
| Panel yüzeyi | 6061 m² | Nom. güç oranı | 1.25 |
| Hücre yüzeyi | 5459 m² | | |

**Dizi kayıpları**

| **Termal kayıp faktörü** | | **DC kablolama kaybı** | | **Modül kalite kaybı** | |
|---|---|---|---|---|---|
| Işınıma göre modül sıcaklığı | | Global alan direnci | 7.8 mΩ | Kayıp oranı | -0.5 % |
| Uc (sabit) | 20.0 W/m²K | Kayıp oranı | 1.5 STC'de% | | |
| Uv (rüzgar) | 0.0 W/m²K/m/s | | | | |

| **Modül uyumsuzluk kaybı** | | **Dizi uyumsuzluk kaybı** | |
|---|---|---|---|
| Kayıp oranı | 2.0 MPP'de% | Kayıp oranı | 0.1 % |

**IAM kayıp faktörü**

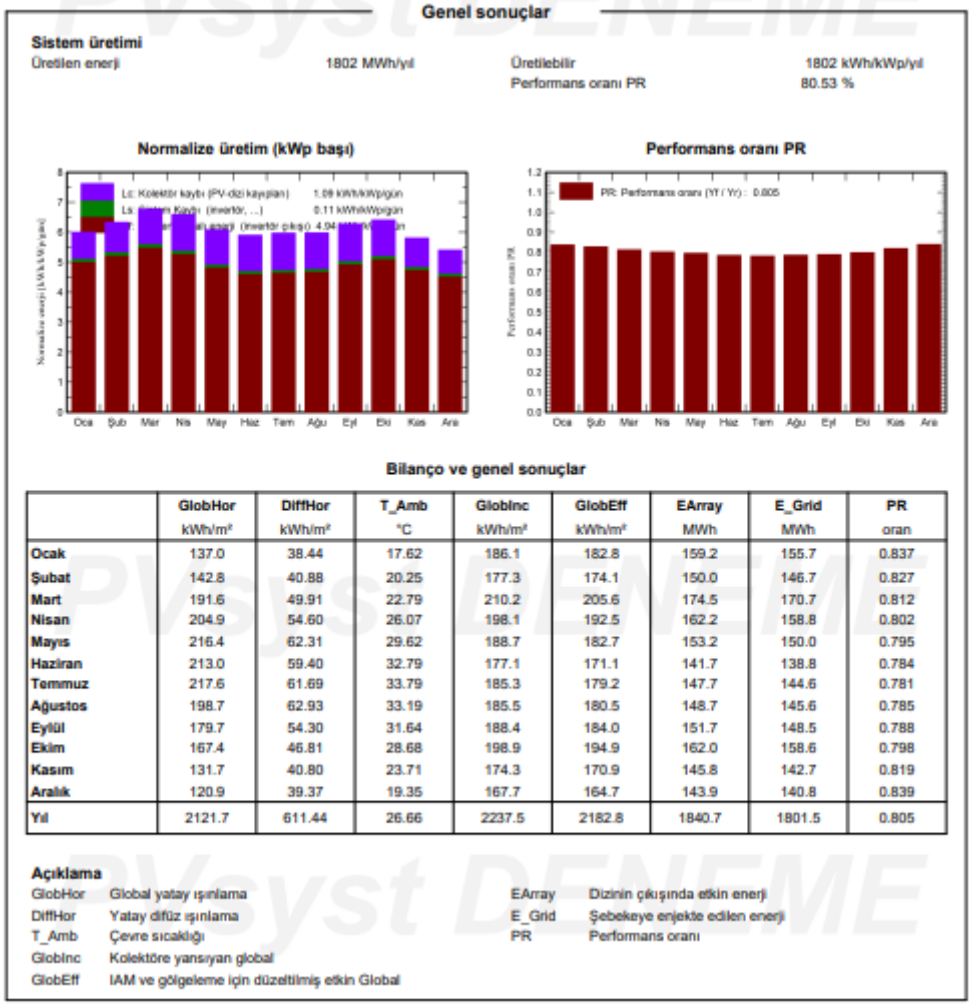
Yansıma etkisi (IAM): Fresnel, normal cam, n = 1.526

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

Şekil 5.16'da seçilen bölgeler için sistemin yıllık üretimini göstermektedir. Bu değerler hesaplanırken alandaki radyasyon değerleri, güneşlenme saatleri, panel verimliliği vb. dikkate alınmalıdır. Sistemin arazi bilgisi ve kullanıcı tarafından simülasyon bilgisi girilmiştir.

Şekil 5.16'da verilen ışınım tablosundaki en önemli nokta ise verilerin herhangi bir yıllık değil, ortalama 20 yıllık simüle edilmiş değerlerdir. Bu doğrudan simülasyon sırasında gerçekleştirilecek olan radyasyon değerlerinin, üretim hacimlerinin ve bunlardan sistem gelirinin hesaplanmasını sağlamaktadır.

**Şekil 5.16:** Wadan Analiz Sonuçlar 2



**Genel sonuçlar**

**Sistem üretimi**

Üretilen enerji 1802 MWh/yıl

Üretilebilir 1802 kWh/kWp/yıl

Performans oranı PR 80.53 %

**Normalize üretim (kWp başı)**



**Performans oranı PR**



**Bilanço ve genel sonuçlar**

| | GlobHor kWh/m² | DiffHor kWh/m² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | PR oran |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ocak | 137.0 | 38.44 | 17.62 | 186.1 | 182.8 | 159.2 | 155.7 | 0.837 |
| Şubat | 142.8 | 40.88 | 20.25 | 177.3 | 174.1 | 150.0 | 146.7 | 0.827 |
| Mart | 191.6 | 49.91 | 22.79 | 210.2 | 205.6 | 174.5 | 170.7 | 0.812 |
| Nisan | 204.9 | 54.60 | 26.07 | 198.1 | 192.5 | 162.2 | 158.8 | 0.802 |
| Mayıs | 216.4 | 62.31 | 29.62 | 188.7 | 182.7 | 153.2 | 150.0 | 0.795 |
| Haziran | 213.0 | 59.40 | 32.79 | 177.1 | 171.1 | 141.7 | 138.8 | 0.784 |
| Temmuz | 217.6 | 61.69 | 33.79 | 185.3 | 179.2 | 147.7 | 144.6 | 0.781 |
| Ağustos | 198.7 | 62.93 | 33.19 | 185.5 | 180.5 | 148.7 | 145.6 | 0.785 |
| Eylül | 179.7 | 54.30 | 31.64 | 188.4 | 184.0 | 151.7 | 148.5 | 0.788 |
| Ekim | 167.4 | 46.81 | 28.68 | 198.9 | 194.9 | 162.0 | 158.6 | 0.798 |
| Kasım | 131.7 | 40.80 | 23.71 | 174.3 | 170.9 | 145.8 | 142.7 | 0.819 |
| Aralık | 120.9 | 39.37 | 19.35 | 167.7 | 164.7 | 143.9 | 140.8 | 0.839 |
| Yıl | 2121.7 | 611.44 | 26.66 | 2237.5 | 2182.8 | 1840.7 | 1801.5 | 0.805 |

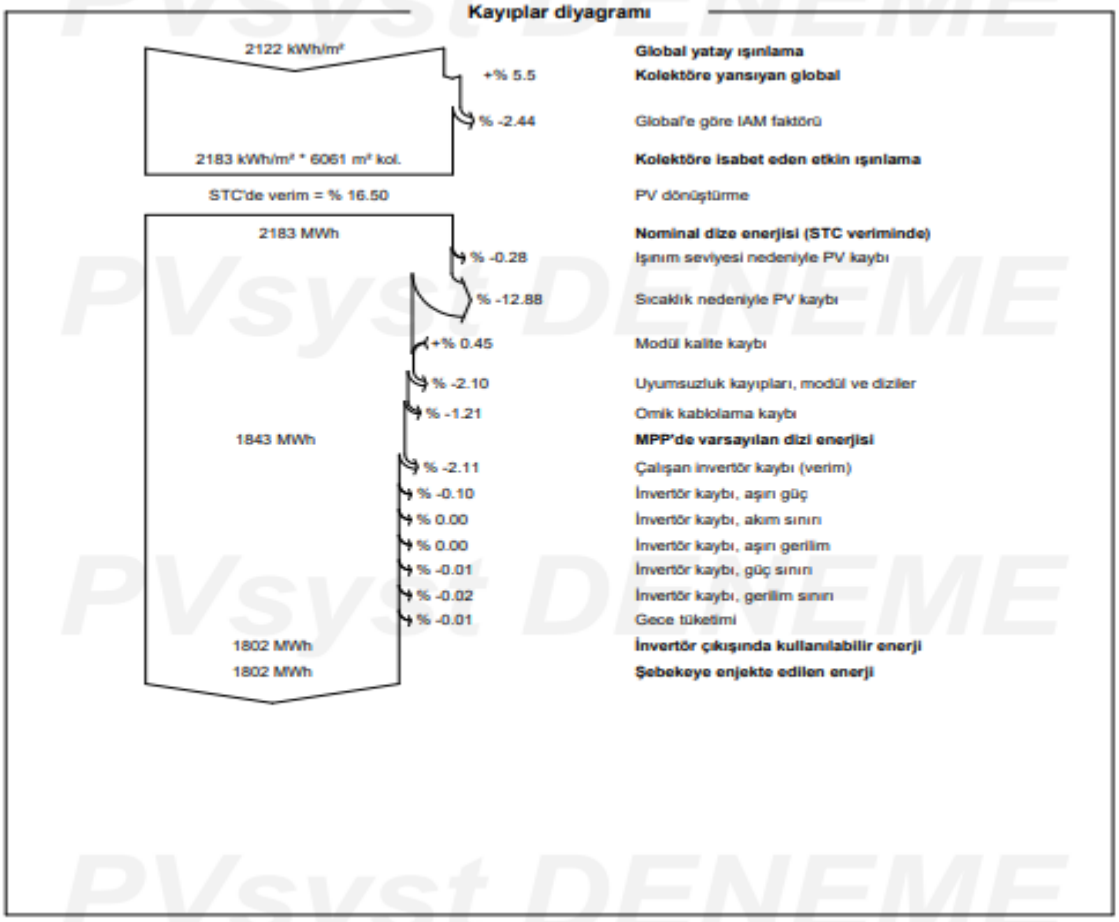
**Açıklama**

GlobHor Global yatay ışınlama
DiffHor Yatay difüz ışınlama
T_Amb Çevre sıcaklığı
GlobInc Kolektöre yansıyan global
GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
EArray Dizinin çıkışında etkin enerji
E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji
PR Performans oranı

Şekil 5.17'de oluşturulan ortalama üretim tablosundan değerler alınarak hangi yılda hangi değişikliklerin beklendiği Şekil 5.17'de inverterin tahmini arıza süresi, panellerin verim kaybı vb.koşulların hangi yıllardan sonra olacağı ve bu faktörlerden kaynaklanan verim kayıpları gösterilmiştir.

Şekil 5.16 ve şekil 5.17'den de anlaşılacağı üzere sistem %80,53 olarak performans oranına sahip olup teorik olarak yılda 1734 MWh enerji üretebilmektedir. PV panellerin enerji üretiminin 20 yıl olması beklenmektedir. Modüller ve dizi bağlantılarından %2,10 kayıp olup en yüksek kayıp %12,88 olarak sıcaklıkdandır.

**Şekil 5.17:** Wadan Analiz Sonuçlar 3



# ALTINCI BÖLÜM
# MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde belirlenen Moritanya illerinin her birinde kurulabilecek 1 MW'lık şebeke bağlantılı PV santrallerinin Moritanya'daki 3 farklı il için maliyet analizi yapılmştır.

Bu çalışma için kredi alınmayacağı öngürülmüştür. Bu kapsamda kuruluş maliyeti, net bugünkü değer, geri ödeme süresi ve yatırım getirisi iller arasında aynı olacaktır.

Moritanya´da üretilen elektrik şebekeye 0.145$/kWh karşılığında satılacaktır. Geri ödeme süresi, net bugünkü değer ve yatırımın ekonomik olup olmadığı değerlendirilmiştir.

## 6.1. NUAKŞOT İLİ İÇİN MALİ SONUÇLAR

MW kurulu güce sahip şebekeye bağlı bir PV santralinin ilk yatırım maliyeti; güneş panelleri, inverterler, yapı malzemeleri, sarf malzemeleri, ana ile saha panelleri, şebekeye bağlı ekipmanlar, gerekli cihazlar, güvenlik malzemeleri, nakliye, montaj ile diğer maliyetlerdir. Buna dayanarak gerekli pazar araştırması yapılarak ilk yatırım maliyeti Tablo 6.1'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

**Tablo 6.1: Finansal Parametreler**

| PV mödül | İnverter | Diğer Ekipmanlar |
|---|---|---|
| 419.994,26$ | 71.757,77 $ | 862.980 $ |

**Tablo 6.2: Nuakşot İli Detaylı Ekonik Analiz Sonuçları**

| Yıllar | Elektrik Satışı | Işletme Giderleri | Amortisman Payı | Vergiye Esas Gelir | Vergiler | Net kâr | Kümülatif Net Nakıt Akışları |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2023 | 345109 | 8500 | 15861 | 304121 | 63865 | 196929 | **-470726** |
| 2024 | 339932 | 8925 | 15861 | 298519 | 62689 | 196593 | **-308252** |
| 2025 | 334755 | 9371 | 15861 | 292896 | 61508 | 196241 | **-160813** |
| 2026 | 329579 | 9840 | 15861 | 287251 | 60323 | 195871 | **-27031** |
| 2027 | 324402 | 10332 | 15861 | 281583 | 59132 | 195482 | 94348 |
| 2028 | 319225 | 10848 | 15861 | 2755889 | 57937 | 195074 | 204462 |
| 2029 | 314049 | 11391 | 15861 | 270170 | 56736 | 194645 | 304346 |
| 2030 | 308872 | 11960 | 15861 | 264424 | 55529 | 194195 | 394940 |
| 2031 | 303696 | 12558 | 15861 | 258650 | 54316 | 193723 | 477097 |
| 2032 | 298519 | 13186 | 15861 | 252845 | 53097 | 193227 | 551595 |
| 2033 | 293342 | 13846 | 15861 | 247009 | 51872 | 192706 | 619137 |
| 2034 | 288166 | 14538 | 15861 | 241140 | 50639 | 192159 | 6803365 |
| 2035 | 282989 | 15265 | 15861 | 235237 | 49400 | 191585 | 735860 |
| 2036 | 277812 | 16028 | 15861 | 229297 | 48152 | 190982 | 786152 |
| 2037 | 272636 | 16829 | 15861 | 223319 | 46897 | 190349 | 831720 |
| 2038 | 267459 | 17671 | 15861 | 217301 | 45633 | 189684 | 873000 |
| 2039 | 262283 | 18554 | 15861 | 211240 | 44360 | 188986 | 910390 |
| 2040 | 257106 | 19482 | 15861 | 205136 | 43079 | 188253 | 944249 |
| 2041 | 251929 | 20456 | 15861 | 198985 | 41787 | 187484 | 974904 |
| 2042 | 246753 | 21479 | 15861 | 192786 | 40485 | 186676 | 1002653 |
| **Toplam** | **5918612** | **281061** | **317220** | **4987799** | **1047438** | **3850845** | **1002653** |

Nuakşot ili için 20 yıl süreli şebekeye bağlı üretilen enerji 1734 MWh/yıl ve toplam kurulum maliyetleri 1.354.732 USD ile amortisman payı 15.861 USD olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalara göre geri ödeme süresi 4,2 yıl olarak bulunmuştur. Net bugünkü değer (NBD) ise 606.085 USD hesaplanmıştır.

## 6.2. NEMA İLİ İÇİN MALİ SONUÇLAR

1 MW kurulu güce sahip şebekeye bağlı bir PV santralinin ilk yatırım maliyeti; güneş panelleri, inverterler, yapı malzemeleri, sarf malzemeleri, ana ile saha panelleri, şebekeye bağlı ekipmanlar, gerekli cihazlar, güvenlik malzemeleri, nakliye, montaj ile diğer maliyetlerdir. Buna dayanarak gerekli pazar araştırması yapılarak ilk yatırım maliyeti Tablo 6.3'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

**Tablo 6.3: Finansal Parametreler**

| PV mödül | İnvertör | Diğer Ekipmanlar |
|---|---|---|
| 419.994,26$ | 67272,90$ | 862.980$ |

**Tablo 6.4: Nema İli Detaylı Ekonik Analiz Sonuçları**

| Yıllar | Elektrik satışı | Işletme giderleri | Amortisman payı | Vergiye Esas gelir | Vergiler | Net kâr | Kümülatif net nakıt akışları |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2023 | 337120 | 8500 | 17054 | 296357 | 62235 | 192581 | **-470194** |
| 2024 | 332064 | 8925 | 17054 | 290875 | 61084 | 192245 | **-311314** |
| 2025 | 327007 | 9371 | 17054 | 285372 | 59928 | 191892 | **-167142** |
| 2026 | 321950 | 9840 | 17054 | 279847 | 58768 | 191522 | **-36330** |
| 2027 | 316893 | 10332 | 17054 | 274298 | 57603 | 191133 | 82349 |
| 2028 | 311836 | 10848 | 17054 | 268725 | 56432 | 190725 | 190008 |
| 2029 | 306780 | 11391 | 17054 | 263125 | 55256 | 190297 | 287660 |
| 2030 | 301723 | 11960 | 17054 | 257499 | 54075 | 189847 | 376225 |
| 2031 | 296666 | 12558 | 17054 | 251844 | 52887 | 189374 | 456539 |
| 2032 | 291609 | 13186 | 17054 | 246160 | 51693 | 188878 | 529360 |
| 2033 | 286552 | 13846 | 17054 | 240443 | 50493 | 188358 | 595378 |
| 2034 | 281496 | 14538 | 17054 | 234694 | 49266 | 187811 | 655220 |
| 2035 | 276439 | 15265 | 17054 | 228911 | 48071 | 187236 | 709456 |
| 2036 | 271382 | 16028 | 17054 | 223091 | 46849 | 186633 | 758802 |
| 2037 | 266325 | 16829 | 17054 | 217232 | 45619 | 186000 | 803129 |
| 2038 | 261268 | 17671 | 17054 | 211334 | 44380 | 185336 | 843464 |
| 2039 | 256212 | 18664 | 17054 | 205394 | 43133 | 184638 | 879993 |
| 2040 | 251155 | 19482 | 17054 | 199409 | 41876 | 183905 | 913070 |
| 2041 | 246098 | 20458 | 17054 | 193378 | 40609 | 183135 | 943014 |
| 2042 | 241041 | 21479 | 17054 | 187299 | 39333 | 182327 | 970116 |
| **Toplam** | **5781615** | **281061** | **341080** | **4855288** | **1019610** | **3763874** | **970116** |

Nema ili için 20 yıl süreli şebekeye bağlı üretilen enerji 1694 MWh/yıl ve toplam kurulum maliyetleri 1.354.732 USD ile amortisman payı 17.054 USD olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalara göre geri ödeme süresi 4,3 yıl olarak bulunmuştur. Net bugünkü değer (NBD) ise 585.900 USD hesaplanmıştır.

## 6.3. WADAN İLİ İÇİN MALİ SONUÇLAR

1 MW kurulu güce sahip şebekeye bağlı bir PV santralinin ilk yatırım maliyeti; güneş panelleri, inverterler, yapı malzemeleri, sarf malzemeleri, ana ve saha panelleri, şebekeye bağlı ekipman ve cihazlar, güvenlik malzemeleri, nakliye, montaj ve diğer maliyetlerdir. Buna dayanarak gerekli pazar araştırması yapılarak ilk yatırım maliyeti Tablo 6.5'de gösterildiği gibi verilmiştir.

**Tablo 6.5: Wadan İli Detaylı Ekonik Analiz Sonuçları**

| Yıllar | İşletme giderleri | Amortısman Payı | Vergiye Esas gelir | Vergiler | Net kâr | Kümülatif net nakıt akışları |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2023 | 8500 | 15861 | 324450 | 68134 | 202210 | **-465924** |
| 2024 | 8925 | 15861 | 318647 | 66918 | 201875 | **-299086** |
| 2025 | 9371 | 15861 | 312822 | 65693 | 201522 | **-147679** |
| 2026 | 9840 | 15861 | 306976 | 64465 | 201152 | **-10290** |
| 2027 | 10332 | 15861 | 301106 | 63232 | 200763 | 114368 |
| 2028 | 10848 | 15861 | 295211 | 61994 | 200355 | 227464 |
| 2029 | 11391 | 15861 | 289291 | 60751 | 199927 | 330058 |
| 2030 | 11960 | 15861 | 283343 | 59502 | 199477 | 423115 |
| 2031 | 12558 | 15861 | 277367 | 58247 | 199004 | 507512 |
| 2032 | 13186 | 15861 | 271361 | 56986 | 198508 | 584046 |
| 2033 | 13846 | 15861 | 265324 | 55718 | 197987 | 653439 |
| 2034 | 14538 | 15861 | 259253 | 54443 | 197440 | 716350 |
| 2035 | 15265 | 15861 | 253148 | 53161 | 196866 | 773375 |
| 2036 | 16028 | 15861 | 247007 | 51871 | 196263 | 825057 |
| 2037 | 16829 | 15861 | 240827 | 50574 | 195630 | 871890 |
| 2038 | 17671 | 15861 | 234608 | 49268 | 194965 | 914320 |
| 2039 | 18554 | 15861 | 228346 | 47953 | 194267 | 952754 |
| 2040 | 19482 | 15861 | 222041 | 46629 | 193535 | 987563 |
| 2041 | 20456 | 15861 | 215688 | 45295 | 192765 | 1019082 |
| 2042 | 21479 | 15861 | 209288 | 43950 | 191957 | 1047615 |
| **Toplam** | **281061** | **317220** | **5356103** | **1124782** | **3956470** | **1047615** |

Wadan ili için 20 yıl süreli şebekeye bağlı üretilen enerji 1802 MWh/yıl ve toplam kurulum maliyetleri 1.354.732 USD ile amortisman payı 15.861 USD olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalara göre geri ödeme süresi 4,3 yıl olarak bulunmuştur. Net bugünkü değer (NBD) ise 585.900 USD hesaplanmıştır.

**Tablo 6.6: Maliyet Analizi Sonuçları**

| İller | Geri Ödeme Süresi (yıl) | Net Bugünkü Değer ($) |
|---|---|---|
| Nuakşot | 4,2 | 606.085 |
| Nema | 4,3 | 585.900 |
| Wadan | 4,1 | 744.163 |

Tablo 6.6'da görüleceği üzere geri ödeme sürelerinin 4,1 ve 4,3 yıl arasında değiştiği belirlenmeştir. Buna ilaveten çalışma yapılan illerinin tamamının net bugünkü değerleri pozitif olurken, 585.900 ile 744.163 $ arasında değerler almıştır. Bu doğrultuda 1 MW'lık güneş santral yatırımının Moritanya'daki belirlenen iller için uygun ve ekonomik beklentiler doğrultusunda olduğu ortaya çıkmaktadır.

# YEDİNCİ BÖLÜM
# SONUÇ VE ÖNERİLER

## 7.1. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji talebinin giderek arttığı Moritanya'da, dünyaya pararel olarak yenilenebilir enerjinin önemi her geçen gün daha fazla artmaktadır.

Bu çalışmada PVsyst 7.2 yazılımı kullanılarak Moritanya'da 3 il için 1 MW kapasiteli şebeke bağlantılı bir güneş enerji santrali tasarlanmıştır. Santral için gerekli olan tüm teçhizat ve ekipmanlar tasarım aşamasında seçilmiştir.

Güneş panelleri ve inverterler başta olmak üzere tüm parçalar ve ekipmanlarının seçiminde verimlilik, kalite, fiyat ve servis desteği gibi konulara dikkat edilmiştir. Seçilen kurulum yeri için güneş enerjisi verileri NASA bünyesindeki Atmosfer Bilimi Veri Merkezi'nden alınmıştır.

Tasarım süresinde güneş paneli konumlandırılırken, seçilen konum için en uygun güneş açısı (eğim açısı, yüzey azimutu) dikkate alınmıştır. Ayrıca güneş panelleri ve ekipmanlarında oluşabilecek verim kayıpları da dikkate alınmaktadır.

**Tablo 7.1: İllere Göre Enerji Üretim ve Geri Ödeme Süreleri**

| İl | Enerji Üretimi (MWh) | Net Bugünkü Değer ($) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
|---|---|---|---|
| Nuakşot | 1802 | 606.085 | 4,2 |
| Nema | 1694 | 585.900 | 4,3 |
| Wadan | 1734 | 744.163 | 4,1 |

Maliyet analizi; yatırımcılar için bir fikir oluşturmak amacıyla üç farklı şekilde analiz edilmiştir. Tablo 7.1'de analizin sonuçlarına göre, toparlanma geri ödeme sürelerinin 4,1 ile 4,3 yıl arasında olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada Moritanya'da belirlenen iller için yıllık elektrik enerjisi üretimi Nuakşot için 1802 MWh/yıl, Nema için 1694 MWh/yıl ve Wdan için 1734 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak, bölgedeki tüm illerin net bugünkü değerleri (NBD) de olumlu olurken, 585.900 ile 744.163 ABD doları arasında hesaplanmışlardır. Bu anlamda 1 MW'lık fotovoltaik bir santralı yapılan yatırımın bölgedeki tüm illere uygun olduğu ve ekonomik beklentileri karşıladığı ortaya çıkmıştır.

Bu araştırmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden yararlanmaktır. Bu araştırma Moritanya gibi gelişmekte olan bir ülkede, elektrikte kendi kendine yeterliliğe sahip olmak ve sorunlarının üstesinden gelmek, Moritanya ekonomisini geliştirmek ve dünyadaki durumunu değiştirmek için stratejik bir hedefi temsil edecektir.

# EKLER

**Ek 1.** Termik Santral Gruplarının ve Transformatörlerinin Özellikleri

| | Centrale Arafat | | Centrale Wharf | Centrale Duale |
|---|---|---|---|---|
| | G1 a G4 | G5 et G6 | | |
| Fournisseur Alternateur | ALSTOM | LEROY SOMER | HYUNDAI | ABB |
| Type alternateur | Machine Synchrone Excitation: à diodes tournantes | Machine Synchrone Excitation: PMG | Machine Synchrone : Excitation : self-exciting brushless | Machine Synchrone Excitation: AVR |
| $S_n$ | 10000 kVA | 1263 kVA | 5076.0 kVA | 20798 kVA |
| $P_n$ | 8208 kW ? | 8208 kW | 4230 kW | 17100 kW |
| $U_n$ | 5500 V | 5500 V | 11000 V | 11000 V |
| $I_n$ | 1050 A | 1077 A | 266.4 A | 1092 A |
| $f_n$ | 50 Hz | 50 Hz | 50 Hz | 50 Hz |
| F.P. | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Connexion | Y | Y | Y | Y |
| $N_n$ | 500 rpm | 500 rpm | 750 rpm | 500 rpm |
| Nombre de cylindres | 9 cylindres | 9 cylindres | 18 cylindres | 18 cylindres |
| Cycle Moteur | A quatre temps | A quatre temps | A quatre temps | A quatre temps |
| Fournisseur Moteur | MAN | MAN | MAN | WARTSILA |
| Type Moteur | 9L48 | 9L60 | 18V2832S | 18V50DF |

Caractéristiques des groupes électrogènes

| | Centrale Arafat | | | Centrale Wharf | | Centrale Duale | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Transfo des Groupes 1 à 4 | Transfo des Groupes 5 et 6 | Transfo de Couplages | Transfo de Module | Transfo de Couplage | Transfo des Groupes | Transfo de Couplage |
| $U_1/U_2$ | 5,5kV/15kV | 5,6kV/33kV | 15kV/33kV | 11kV/33kV | 33kV/15kV | 33kV/11kV | 33kV/225kV |
| $I_1/I_2$ | 1050A/400A | 1050A/175A | 1200A/630 A | 530A/1679 A | 279A/615A | 367A/1102A | 153A/1049A |
| $S_n$ | 10MVA | 10MVA | 31,5MVA | 32MVA | 16MVA | 21MVA | 60MVA |
| fréquence | 50Hz | 50Hz | 50Hz | 50Hz | 50Hz | 50Hz | 50Hz |
| Couplage | Δ/Y | Y/Δ | Y/Y? | Y/Δ | Y/Y | Y/Δ | Y/Y |
| Symbole de couplage | Yn0 d11 | YNd11 | YNyn0 | YNd11 | YNyn0 | YNd11 | YNyn0 |
| Refroidissement | ONAN | ONAN | ONAN | ONAN | ONAN | ONAN | ONAN |
| Fournisseur | ALSTHOM | ABB | ABB | AREVA | WINDER Elelectrical | SIEMENS | SIEMENS |

**Ek 2. Güneş Modüllerinin Listeleri ve Güçleri**

| Mauritania MPV Module List | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| FS (A-Si) | Quantity | Power (Wp) | $I_{MPP}$ | $I_{SC}$ | $V_{OC}$ | $V_{MPP}$ |
| 410 | 1,296 | 531,360 | 2.57 | 3.25 | 197.0 | 160.0 |
| 420 | 3,719 | 1,561,980 | 2.61 | 3.30 | 198.0 | 161.0 |
| 430 | 13 | 5,590 | 2.61 | 3.30 | 198.0 | 161.0 |
| FS (u-Si) | Quantity | Power (Wp) | $I_{MPP}$ | $I_{SC}$ | $V_{OC}$ | $V_{MPP}$ |
| 470 | 72 | 33,840 | 2.17 | 2.64 | 283.4 | 217.0 |
| 480 | 198 | 95,040 | 2.20 | 2.67 | 284.3 | 218.0 |
| 490 | 945 | 463,050 | 2.22 | 2.71 | 285.2 | 220.0 |
| 500 | 2,760 | 1,380,000 | 2.23 | 2.61 | 290.0 | 225.3 |
| 510 | 6,549 | 3,339,990 | 2.24 | 2.64 | 292.0 | 227.7 |
| 520 | 5,675 | 2,951,000 | 2.37 | 2.81 | 283.5 | 219.8 |
| 530 | 2,946 | 1,561,380 | 2.39 | 2.83 | 285.2 | 221.8 |
| 540 | 3,410 | 1,841,400 | 2.41 | 2.84 | 287.0 | 223.8 |
| 550 | 1,966 | 1,081,300 | 2.43 | 2.85 | 288.7 | 225.7 |
| 560 | 277 | 155,120 | 2.46 | 2.87 | 290.4 | 227.7 |
| Total | 29,826 | 15,001,050 | | | | |

# KAYNAKÇA


Akman, E., Akın, S., Karanfil, G. ve Sönmezoğlu, S. (2013). Organik güneş pilleri. *Trakya University Journal of Engineering Science June, 14*(1), 272-278.

Almarshoud, A. F. (2016). Performance of solar resources in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66*(C), 694-701.

Ayaz, R. (2012). *Farklı PV teknolojilerinin gerçek ortam verileri kullanılarak modellenmesi ve İstanbul şartlarında optimum eğim açılarının belirlenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Gedik, T. ve Akyüz, K. C. (2005). Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7*(7), 51-61.

Ceyhun, A. (2016). *Türkiye ege bölgesi güneş enerjisi potansiyeli tekno-ekonomik analizi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisana Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kütahya.

El Shimy, M. (2009). Viability analysis of PV power plants in Egypt. *Renewable Energy, 34*(10), 2187-2196.

Gasals, X. (2006). Solar absorption cooling in Spain: Perspectives and outcomes from the simulation of recent installations. *Renewable Energy, 31*(9), 1371-1389.

Guo, X., & Guo, X. (2015). Photovoltaic power development under policy incentives: Asystem Dynamics Analysis. *China Energy, 93*(1), 589-598.

Holderman, C., Kissel , J., & Beigel , G. (2014). Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. *Energy Policy, 67*, 612-617.

Homer. (2017). Elektrikli yenilenebilir hibrit optimizasyon modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 425-437.

Moritanya Vergi Dairesi. (2019, 6 Temmuz). Erişim Adresi: https://www.impots.gov.mr:8080/dgı/professionnels/calendrier_obligations_paiemen.

Enerji Üretim Analiz ve Değerlendirme İşletme Maliyetleri Hesaplaması. (2022, 26 Haziran). Erişim Adresi: http://www.pvsyst.com.

Kantraoğlu, F. (2010). Fotovoltaik sistemler. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, 3*(2), 28-34.

Koç, A., Karakaya, F. ve Altun, H. (2007, 10 Eylül). Fotovoltaik pil teknolojileri ve yenilenebilir enerji politikaları. Erişim Adresi: emo.org.tr.

Köse, G. (2010). *Hibrit (Güneş+Rüzgâr) enerji sisteminden elektrik üretimi Kütahya örneği* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kütahya.

Li, C., & Yu, W. (2016). Techno-economic comparative analysis of off-grid hybrid photovoltaic/diesel/battery and photovoltaic/battery power systems for A Household in China. *Journal of Cleaner Production, 124*(1), 258-265.

Martins, F., Pererira, E., & Abreu, S. (2007). Satellite-derived solar resource maps for Brazil under swera project. *Solar Energy, 81*(4), 517-528.

Mertens, K. (2018). *Photovoltaics fundamentals, technology and practice* (Second Edition). Jhon Wiley ve Son.

Milosavlyelic, D., Paslovic, T., Mirjanic, D., & Divnic, D. (2016). Photovoltaic solar plants in the Republic of Srpska -current state and perspectives. *Renewable And Sustainable Energy Reviews, 62*(1), 546-560.

Mohamed, A. (2018, 20 Mart). İki güneş enerjisi santrali (Şehrin kuzeyinde 15 Mw ve Şehrin doğusunda 50 Mw) ve bir Rüzgar Santrali (Güneyde 30 Mw) Kuruldu. Nuakchott. Erişim Adresi: https://www.petrol.gov.mr.

Mohtasham, J. (2015). Renewable energies. *Energy Procedia, 74*(C), 1289-1297.

Öztürk, H. (2012). *Güneş enerjisi ve uygulamaları* (1. Basım). İstanbul: Birsen Yanın Evi.

Pelland, S., & Thevenard, D. (2013). Estimating the uncertainty in long-term photovoltaic yield predictions. *Solar Energy, 91*, 432-445.

Sağlam, E. (2018). *Fotovoltaik sistemlerin kurulum aşamaları ve işletimdeki santrallerin gerçekleşen üretim değerlerinin simulasyon sonuçları ile karşılaştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bililimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yaralanmada kullanılan fotovoltaik (Pv) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26*(3), 89-106.

Shimuro, S., Herrero, R., Zuffo, M., & Jrimonie, J. (2016). Production costs estimation in photovoltaic power plants using reliabilit in Brazil. *Solar Energy, 133,* 294-304.

Shudhakar, K., & Kumar, B. (2015). Performance evaluation of 10 Mw grid connected solar photovoltaic power plant in İndia. *Energy Report, 1*, 184-192.

Sidi, C., Ndiaye, M., Bah, M., Mbodi , A., Ndaye, A., & Ndiaye , P. (2016). Performance analysis of the first large-scale (15 Mwp) grid-connected photovoltaic plant in Mauritanie. *Energy Conversion And Management, 119*, 411-421.

Moritanya Elektrik Üretimi. (2020, 13 Aralık). Erişim Adresi: www.somelec.mr.

Tamer Khatib, A., Shaymaa, E., & Monera, S. (2019). Rehabilitation of the Mauritanian oasis using and optimal photovoltaic irrigation system, energy conversion and management in Mauritanie. *Energy Conversion And Management, 119*, 111-984.

TMMOB. (2012).*Türkiye'nin enerji görünümü* (2. Baskı). Ankara: Makine Mühendisleri Odası.

Ventura, C., & Tina, G. (2015). Development of models for on-line diagnostic and energyassessment analysis of Pv power plants: The study case of 1mw sicilian pv plant. *Energy Procedia, 83*, 248-257.

Yacoub, C. (2019, 15 March). Stratégies de Gestion du flux energétique du réseau dans la vie de Nuakchott Retrieved from: https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02865436/document.

# DİZİN

**-F-**

Fotovoltaik, v, viii, x, xii, 10, 15, 16, 17, 27, 61

**-G-**

Güneş pili, 5

**-M-**

Moritanya, v, xi, xiii, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 20, 33, 51, 54, 56, 60, 62

**-N-**

Nema, v, vi, ix, x, xi, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 56

Nuakşot, v, viii, ix, x, xi, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 18, 20, 21, 25, 26, 40, 41, 42, 43, 52, 54, 56

**-W-**

Wadan, v, vi, ix, x, xi, 18, 23, 24, 25, 26, 46, 47, 48, 49, 54, 56