

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

Ali salem SOULEYMEN¹, Mustafa Arif ÖZGÜR^{2*}

^{1,2}Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendislik Bölümü, Kütahya, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ile Moritanya'nın üç ili için enerji optimizasyonu yapılmıştır. Bu kapsamda Moritanya'da bulunan ve belirlenen iller için 1 MW kurulu güce sahip şebeke bağlantılı güneş enerji santrali PVsyst 7.2 yazılımı ile tasarlanmıştır. Güç istasyonu kurulumu için gerekli teçhizat ve ekipmanların seçimi yazılım ile yapılmış, tespit edilen konumların enerji verileri NASA'ya ait Atmosferik Bilim Veri Merkezi'nden temin edilmiştir. Moritanya'da belirlenen iller için öngörülen senaryolar için aylık elektrik enerjisi üretim miktarları ile kullanıcı ihtiyaçları değerleri hesaplanmıştır. Güneş santrallerinin enerji üretimlerinden elde ettikleri yıllık gelirler, ilk yatırım maliyetleri de hesaplanarak maliyet analizi yapılmıştır. Ayrıca Geri Ödeme Süresi (GÖS) ve Net Bugünkü Değer (NBD) ile geri dönüş süresi hesaplanmıştır. Maliyet analizi sonucunda Moritanya'da belirlenen iller için yatırımın uygun olup olmadığı hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmaya göre Moritanya'da belirlenen iller için yıllık elektrik enerjisi üretimi Nuakşot için 1802 MWh/yıl, Nema için 1694 MWh/yıl ve Wadan için 1734 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Performans oranı en yüksek olan il Wadan % 80,53, Nuakşot %80,15 ve en az performans oranı ise Nema %79,78 olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme sürelerinin 4,1 ve 4,3 yıl arasında değerler aldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda belirlenen iller için NBD pozitif olurken değerleri ise 585.900 ile 744.163 \$ arasında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nuakşot, Nema, Wadan, Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, Maliyet Analizi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

Sorumlu Yazar: Mustafa Arif ÖZGÜR, arif.ozgur@dpu.edu.tr

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

Abstract

In this study, energy optimization was made for three provinces of Mauritania with solar energy, which is one of the renewable energy sources. In this context, a grid-connected solar power plant with an installed power of 1 MW for the provinces in Mauritania was designed with PVsyst 7.2 software. The equipment and equipment required for the power station installation were selected with the software, and the energy data of the determined locations were obtained from the Atmospheric Science Data Center of NASA. For the scenarios foreseen for the provinces in Mauritania, monthly electrical energy production amounts and user needs values were calculated. The annual revenues of solar power plants from their energy production and the initial investment costs were calculated and a cost analysis was made. In addition, payback period (PPP) and Net Present Value (NPV) and payback period were calculated. As a result of the cost analysis, it was calculated whether the investment was appropriate for the provinces determined in Mauritania. According to this study, annual electrical energy production for the provinces determined in Mauritania was calculated as 1802 MWh/year for Nuakchott, 1694 MWh/year for Nema and 1734 MWh/year for Wadan. The province with the highest performance rate was Wadan 80.53%, Nuakchott 80.15% and the lowest performance rate Nema 79.78%. It has been determined that payback periods take values between 4.1 and 4.3 years. At the same time, while NPV was positive for the provinces determined, their values varied between \$585.900 and \$744.163.

Keywords: Nuakshot, Nema, Wadan, Photovoltaic, Solar Energy, Cost Analysis, Renewable Energy Resources.

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ve dünya nüfusunun git gide artması enerjiye duyulan ihtiyacı da arttırmaktadır. Bu talebe karşı daha fazla enerji üretimi gereksinimi söz konusu olmuştur. Kullanılan kaynakların doğada sınırlı miktarda bulunması, oluşumunun binlerce yıl gerektirmesi ve bu kaynakların oluşturduğu atıkların çevreye zarar vermesiyle farklı enerji kaynakları arayışı başlamıştır. Talep edilen enerjinin karşılanması dışında gelecek nesillere yaşanılabilir bir dünya bırakma adına tüm dünyada su, güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı

enerji üretim sistemleri hayata geçirilmiştir ve hayata geçirilmeye devam etmektedir [1].

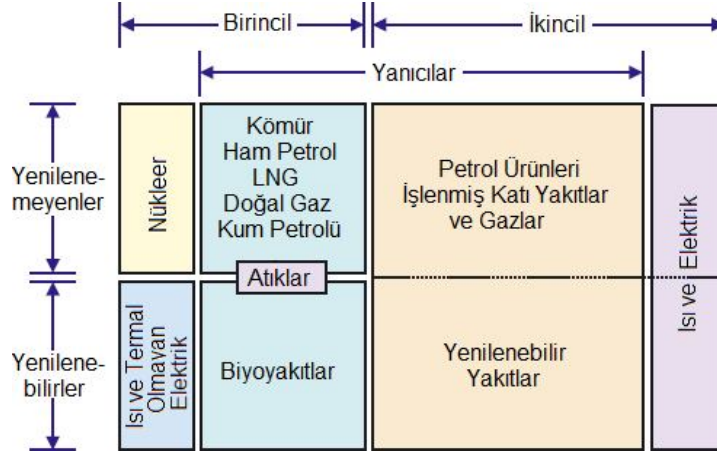
Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal ve kendi kendini yenileyebilen kaynaklar olmalarının yanı sıra çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olmaması, tercih nedenleri arasında yer almaktadır. Bu avantajlara rağmen kurulum maliyetinin yüksek olması ve kullanılan teknolojik yapının çok yaygın olmaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır [2].

Güneş'in çekirdeğinde büyük miktarda enerji birikmiştir. Güneş tarafından yayılan ve iletilen enerji, güneş çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreci tarafından salınan ışınım enerjisidir. Hidrojen gazının Güneş'te helyuma dönüşmesi, füzyon sürecinden kaynaklanır. Güneş'ten Dünya'ya 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 $0-1.000 \text{ W/m}^2$ 'dir [3].

Fotovoltaik hücrenin yapısına bağlı olarak güneş enerjisi %5 ile %20 arasında bir verimle elektrige dönüştürülebilir. %10'un altında verim değerine sahip olan fotovoltaik hücreler verimli ve ekonomik sayılmaz. Güç çıkışını artırmak için birden fazla fotovoltaik hücre paralel veya seri olarak bağlanabilir. Bu durumda Watt'tan Megawatt'a kadar santral tasarımı yapmak mümkündür. Fotovoltaik hücre çeşitleri dört farklı teknolojiye sahiptir. Bunlar monokristal, polikristal, ince film ve nano teknoloji olarak sıralanabilir [4].

Yakma işleminden sonra ortaya çıkan enerji çeşitlerine göre kullanılan malzemenin içeriğine ve yanma reaksiyonunun mekanik veya elektrik formda olmasına bağlı olarak ısı veya güç elde edilmesinden dolayı bu enerji çeşitleri 'enerji kaynağı' olarak tanımlanır. Enerji, bir iş yapma kabiliyeti olarak tanımlanabilir ve ısı, ışık (radyant), mekanik, elektrik, kimyasal ve nükleer enerji gibi, farklı formlarda karşımıza çıkmaktadır [5].

Enerji kaynakları temel olarak Şekil 1'de görüldüğü üzere birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak özetlenebilir. Birincil enerjiler; petrol, doğalgaz, kömür gibi yeryüzünde kaynaklarından direkt elde edilen veya bu kaynakların farklı işlemleri sonucu alınan enerjidir. Birincil enerji kaynakları: petrol, kömür, linyit, doğalgaz, nükleer enerji (uranyum ve toryum), hidrolik, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, dalga gücü, odun olarak sayılmaktadır [6-7].



Şekil 1. Enerji Kaynakları Terminolojisi

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.
- Tükenmez bir enerji türüdür.

Güneş enerjisinin dezavantajları ise;

- 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 [8].

2. MATERYAL ve METOT

Güneş paneli seçimi yapılırken verimlilik, kalite, fiyat ve servis desteği gibi hususlar göz önünde bulundurulur. Inverterin ana görevi, doğru akımı alternatif akıma dönüştürmektir. Sistemin ürettiği elektrik enerjisini şebekeye verebilmek için uygun duruma getirir. Inverter seçerken aynı şekilde verimlilik, kalite, fiyat ve hizmet desteği gibi unsurlara da dikkat edilmelidir.

Tablo 2.1. Güneş Paneli Verileri

Kapasite	270 W _P
Önyüz	3,2 mm kalınlığında, setleştirilmiş, yansız beyaz cam
Hücre	Polikristal yüksek performans 60 hücre
Çerçeve	40mm kalınlığında alüminyum çerçeve
Ağırlık	Çerçeveyle birlikte 18,7 kg
Ölçüler	1650*992*40mm

Bu çalışmada fotovoltaik güneş panelleri teknik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Sistemde Moritanya’da bulunan 3 il için hesaplamalar yapılmış olup belirtilen her il için (Nuakşot, Nema, Wadan) toplam 3703 adet Axitec marka 270 W_P gücünde 60 hücreli polikristal fotovoltaik güneş paneli kullanılmıştır [9].

Inverter özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir. Kurulan sistemlerde, Nema santrali için 15 diğer iki santral için 16 adet inverter kullanılmıştır. Marka olarak KACO 50 kW model blueplanet 50.0 TL3 BASIC inverterler kullanılmıştır [10].

Tablo 2.2. Inverter 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
Çalışma sıcaklığı aralığı	-20 °C- +60 °C
Ses	<61db(A)
Ölçüler	750*500*425 mm
Ağırlık	70-73 kg

2.1 Diğer Teçhizat ve Malzemeler

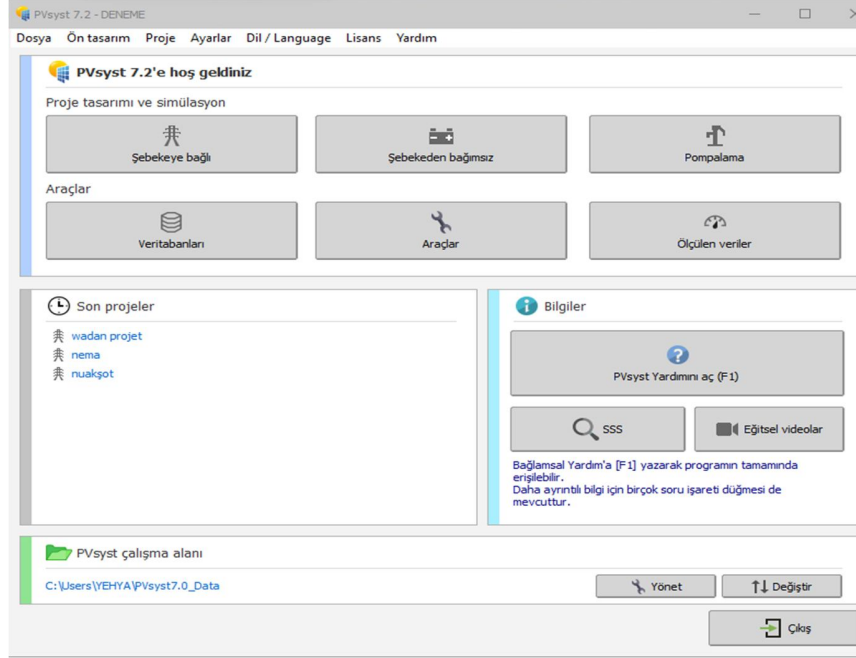
1 MW kurulu güce sahip PV santralleri için güneş panelleri ve inverterler hariç minimum gerekli ekipman ve malzemeler; inşaat, sarf malzemeler, ana panolar ve saha panoları, güç bağlantı ekipmanları/cihazları ve güvenlik malzemeleri tek tek ele alınmış ve maliyetleri hesaplanmıştır.

Galvanizli çelik yapı, bağlantı elemanı yapısı ve malzemeler oluşturulmuştur. Sarf malzemeleri; 4mm solar kablo, 6mm solar kablo, model MC4 solar, konnektörler, DC koruyucu sigortalar, haberleşme kabloları, topraklama ve diğer kablolar, topraklama malzemeleri, kablo kanalları, diğer gerekli tüm sarf malzemelerinden oluşur. Anakart ve saha plakası; anakart, inverter toplama plakasından oluşmaktadır. Güç bağlantı ekipmanı ve cihazları; transformatörler, transformatör aksesuarları, ekipman ve bağlantı malzemeleri, orta gerilim hücre ve ekipmanları, orta gerilim direkleri ve ekipmanlardan oluşmaktadır. Son olarak güvenlik ekipmanları kamera sistemi ile dikenli tel olarak kabul edilmiştir.

2.2 Pvsyst 7.2 Programı

PVsyst Programı, güneş enerjisi santrallerini simüle edebilen üçüncü taraf bir yazılımdır. Şekil 2.1'de giriş ekranı verilen yazılım, yenilenebilir enerji sektöründeki gerçek verileri ve görünürlüğü nedeniyle sektörde çalışan her türlü mühendis, yönetici ve yatırımcının tercihi 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 için başarılı sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.1: Pvsyst7.2 Giriş Ekranı

2.3 Güneş Enerji Hesaplamaları

Güneş sabiti yıl boyunca değişir.

$$R = 1 + 0,033 \cos \frac{360 N}{365} \quad (2.1)$$

Güneş sabiti yılın herhangi bir günü için şu şekildedir;

$$I_{on} = I_0(1 + 0,0033 \cos \frac{360 n}{365}) \quad (2.2)$$

Burada seçilen n günün aya göre nasıl hesaplanacağı Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Hesaplama dünya ile güneş arasında oluşan açı dikkate alınmalıdır. Güneş açıları ve tanımları sırasıyla aşağıda verilmiştir [7].

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

Tablo 2.3: Örnek Günlere Göre N Değerlerinin Hesaplaması

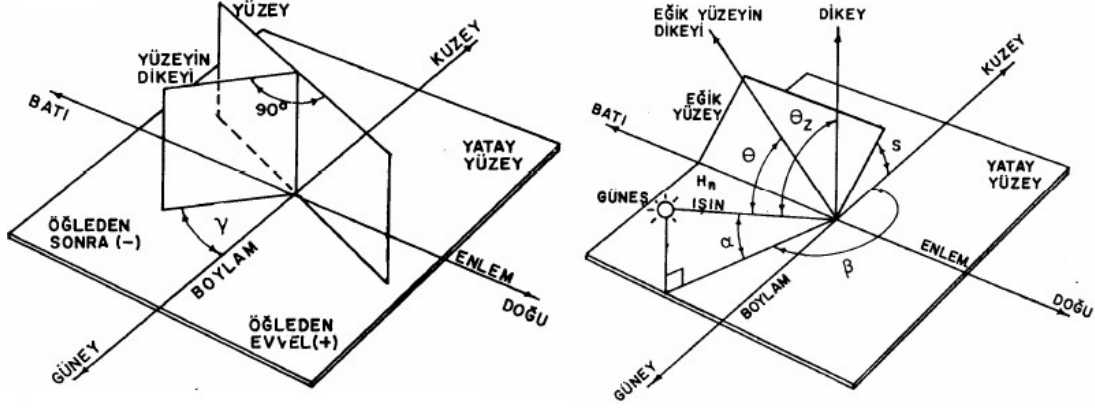
Örnek Gün Ayın i.Günü	Aylar	i. Gün için	Yılın n.Günü
2	Ocak	i	2
4	Şubat	31+ i	35
7	Mart	59+ i	66
8	Nisan	90+ i	98
10	Mayıs	120+ i	130
13	Haziran	151+i	164
15	Temmuz	181+ i	196
17	Ağustos	212+ i	229
21	Eylül	243+i	264
22	Ekim	273+i	295
25	Kasım	304+i	329
27	Aralık	334+i	361

Güneş azimut 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.

Deklinaşyon açısı (δ): Dünyanın merkezi ile güneşin merkezini ekvator düzlemi ile birleştiren doğrunun oluşturduğu açıdır. Kuzey Yarım Küre'de olumlu, Güney Yarım Küre'de olumsuz. Eğim açısı Cooper denklemi yardımıyla bulunabilir ve -23.45° ile $+23.45^\circ$ arasında değişebilir.

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360(284+n)}{365}\right] \quad (2.3)$$

Burada n, Tablo 2.3'te olduğu gibi yılın ilk gününden itibaren günü ifade etmektedir.



Şekil 2.2. Güneş Açıları

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

Zenit açısı (θ_z): Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınlarının yönü arasındaki açıdır.

Eğik bir açıyla yerleştirilmiş güneş panellerine yansıyan güneş radyasyonu da vardır. Bu yansıyan güneş radyasyonu Denklem 2.4'e göre hesaplanır.

$$H_y = (H + H_{d,y}) \left(\frac{1 - \cos S}{2} \right) \rho \quad (2.4)$$

burada ρ , Tablo 2.4'te gösterildiği gibi farklı yüzeyler için farklı değerler alan yansıma katsayısıdır. Bir varlığın ekonomik ömrü boyunca zamanla değerindeki azalmaya amortisman denir. Bu kayıp değerler dönem giderlerinde gösterilir. Basit amortisman yöntemine göre yıllık amortisman payı denklem (2.5)'de verilmiştir. [11].

$$\text{Amortisman payı} = \frac{\text{Yıllık Değeri} - \text{Hurda Değer}}{\text{Ömür}} \quad (2.5)$$

Geri Ödeme Süresi (GÖS); yatırımların değerlendirilmesinde statik bir yöntem olup paranın zaman değerini dikkate almaz. Yatırımdan sağlanan net nakit akışlarının, yatırım için yapılan harcamaları karşılayabilmesi için geçmesi gerekli olan yıl sayısının belirlenmesi esasına dayanmaktadır, çalışmada 1 yıllık fiili nakit tablosu ve PVsyst'in teorik tahmin verileri kullanılacaktır.

$$\text{GÖS} = N_{\text{negatif}} + \frac{N_{\text{negatif}}}{F} \quad (2.6)$$

GÖS yatırımcının beklentilerinden düşükse, yatırım kabul edilebilir. [11]

Tablo 2.4. Ortalama Yansıtma Katsayıları

Yüzey	Ortalama yansıtma katsayısı (ρ)
Kar	0,75
Su yüzeyi	0,07
Yeşil çim	0,26
Beton kaplı alan	0,22
Toprak	0,14
Çam ormanları	0,07
Sonbahardaki ormanlar	0,26

2.3.1 Net Bugünkü Değer (NBD)

Yatırımın ilk gününden itibaren 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 başa baş olduğu anlamına gelir. $NPV < 0$, yatırımın beklendiği kadar ekonomik olmadığını gösterir.

Net bugünkü değer aşağıdaki formüle göre hesaplanır [12].

$$NDB = \left[\sum_{T=0}^N \left(\frac{At}{(1+r)^n} \right) \right] - C \quad (2.7)$$

Ekonomik ömrü tamamlanmış bir yatırımın satış değeri olarak kabul edilen hurda değer, bir güneş santralının varlık değerinin %30'u kadardır. [13]

$$\text{Varlık değer} = \text{ilk yatırım} - \text{nakliye} - \text{montaj} - \text{diğer} \quad (2.8)$$

$$\text{Hurda değer} = \text{varlık değeri} * 0,3 \quad (2.9)$$

Yatırımın ekonomik ömrü boyunca gelirleri ile giderlerini birbirine eşitleyen iskonto oranı bulunur. Kısaca $NBD = 0$ eşitliğinin sağlayan iskonto değeri hesaplanır. Hesaplanan iskontonun yatırımcının öngördüğü beklentiyi karşılayıp karşılamadığına bakılır [14].

3. PVSYSY ANALİZ SONUÇLARI

3.1 Nuakşot İli İçin Genel Sonuçlar

Şekil 3.1’de gösterilen bilgilerden de anlaşılacağı gibi her aşamayı gösteren simülasyon bilgilerinin bir özeti bulunmaktadır. Panel sayısı, inverter sayısı, simülasyon süresi, verim kaybı vb. bilgilerin bir özetini görülmektedir. [15]

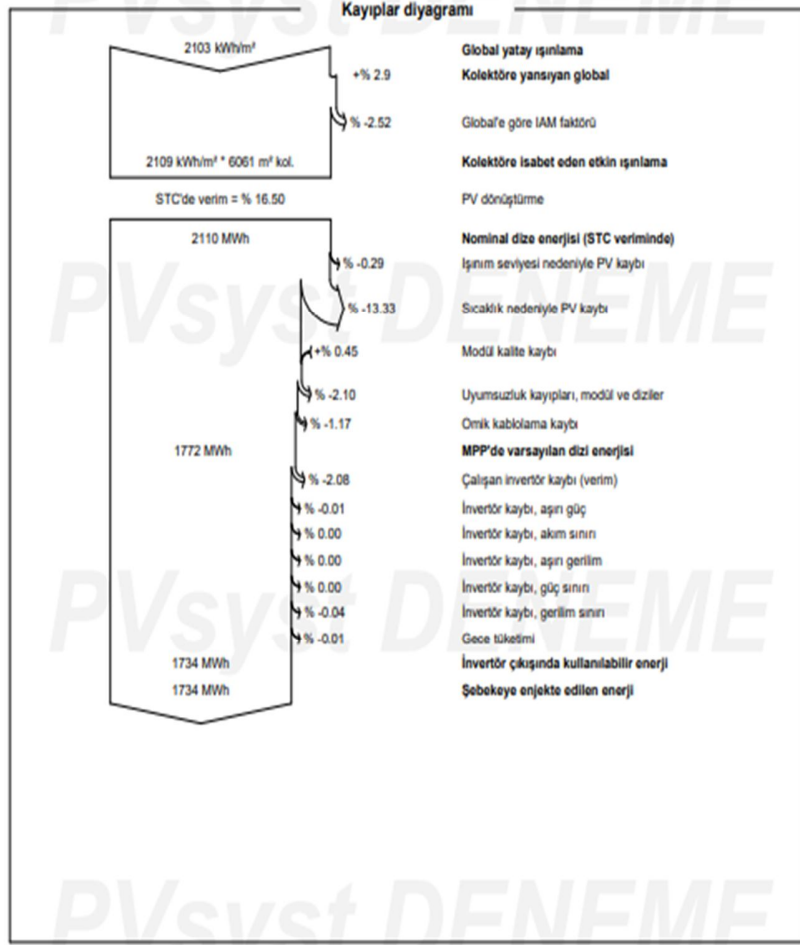
Genel parametreler			
Şebekeye bağlı sistem	3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz		
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	Dizi ayarları	Kullanılan modeller	
Yönlendirme	3B sahne tanımlanmadı	Transpozisyon	Perez
Sabit düzlem		Difüz	Perez, Meteororm
Eğim/Azımut	30 / 0 °	Circumsolar	ayn
Ufuk	Yakın gölgelemeler	Kullanıcı ihtiyaçları	
Ufuk tanımlanmadı	Gölgelemesiz	Sınırsız yüklem (şebeke)	

Kolektör alanının özellikleri			
PV modül	Generic	İnvertör	Generic
Üretici	AXIpower AC-270P/60S	Üretici	Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC
Model		Model	
(Orjinal PVsyst veritabanı)		(Orjinal 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)		Norm. 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 m ²	Norm. güç oranı	1.25
Hücre yüzeyi	5459 m ²		

Dizi kayıpları								
Termal kayıp faktörü	DC kablolama kaybı	Modül kalite kaybı						
İşinme göre modül sıcaklığı	Global alan direnci	Kayıp oranı	-0.5 %					
Uc (sabit)	7.8 mΩ							
20.0 W/m ² K	Kayıp oranı	1.5 STC'de%						
Uv (rüzgar)								
0.0 W/m ² K/m/s								
Modül uyumsuzluk kaybı	Dizi uyumsuzluk kaybı							
Kayıp oranı	Kayıp oranı							
2.0 MPP'de%	0.1 %							
IAM kayıp faktörü								
Yansımaya 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 3.1. Nuakşot Genel Parametreleri

Şekil 3.2'den de anlaşılacağı üzere sistem %80,15 performans oranına sahip olup teorik olarak yılda 1734 MWh enerji üretebilmektedir. PV panellerin üretim ömrünün 20 yıl sürmesi beklenmektedir. Modüller ve dizi bağlantılarından olan kayıp %2,10 ile en fazla kayba sıcaklık neden olmaktadır [15].

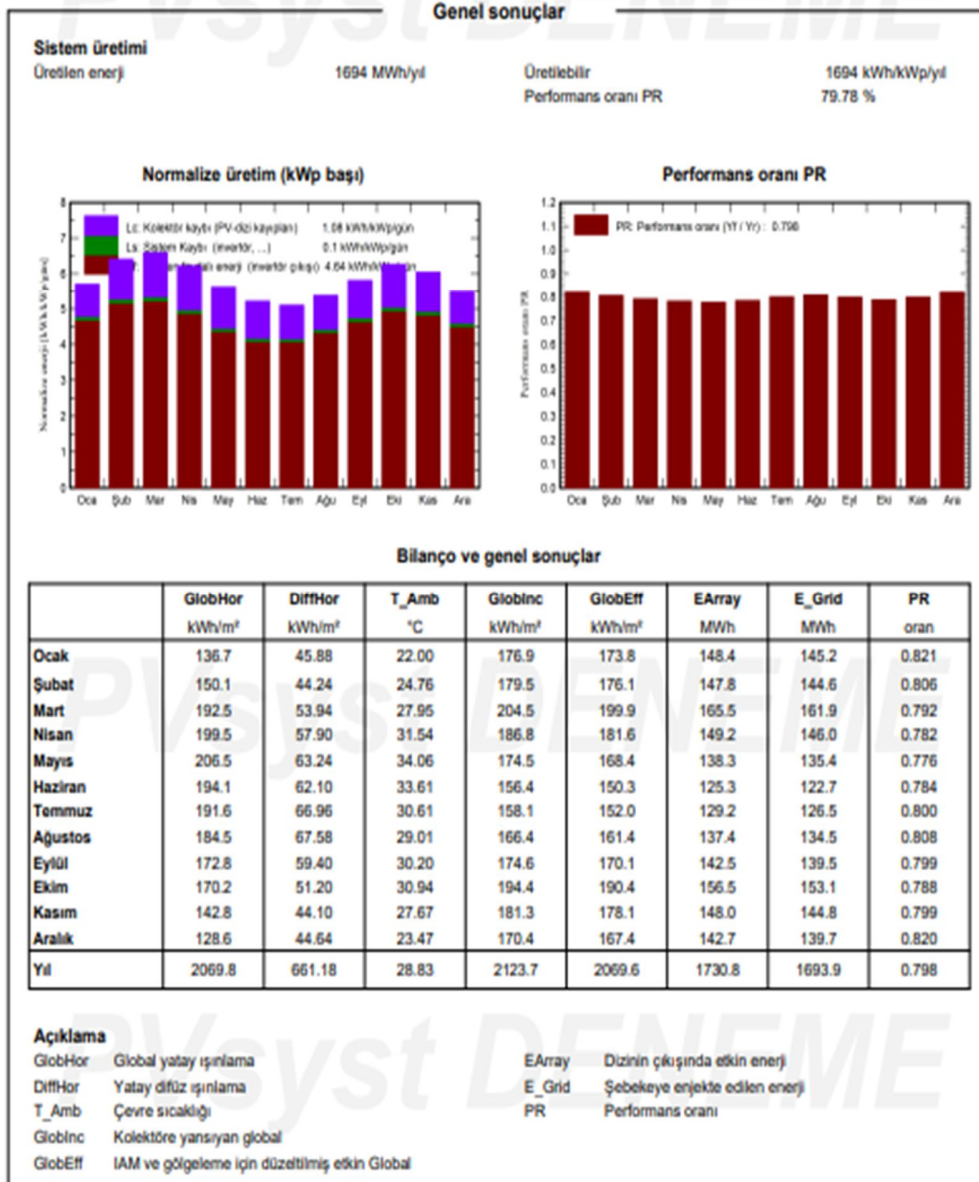


Şekil 3.2. Nuakşot Kayıplar Diyagramı

3.2 Nema İli İçin Genel Sonuçlar

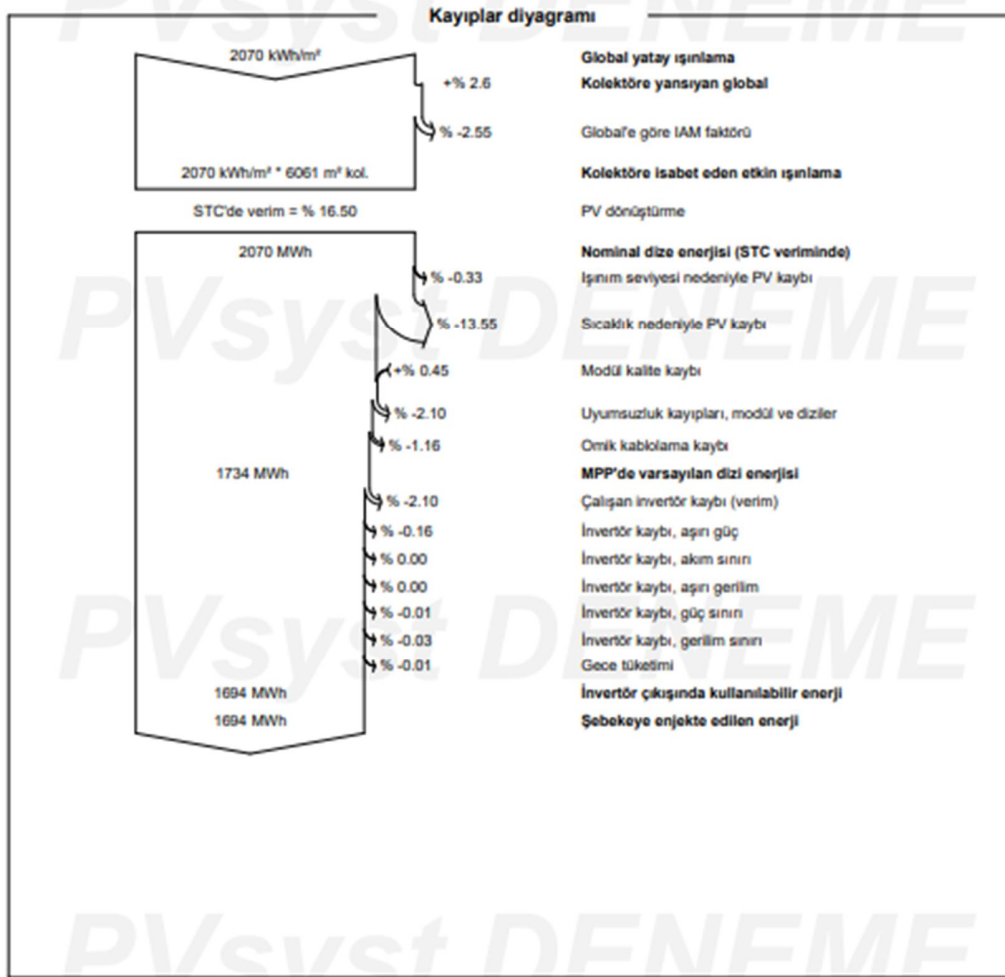
Şekil 3.3'te seçilen bölgeler için sistemin yıllık üretimini göstermektedir. Bu değerler hesaplanırken alandaki radyasyon değerleri, güneşlenme saatleri, panel verimliliği, global yatay ışınlama, çevre sıcaklığı ve performans oranı dikkate alınmaktadır.

Şekil 3.3'te de verilen ışınlam değerleri için piranometrede en dikkat edilmesi gereken husus ise verilerin herhangi bir yıllık değil ortalama 20 yıllık simüle edilmiş değerler olduğudur. Bu doğrudan simülasyon sırasında gerçekleştirilecek olan radyasyon değerlerinin, üretim hacimlerinin ve bunlardan sistem gelirinin hesaplanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.3. Nema Genel Sonuçlar

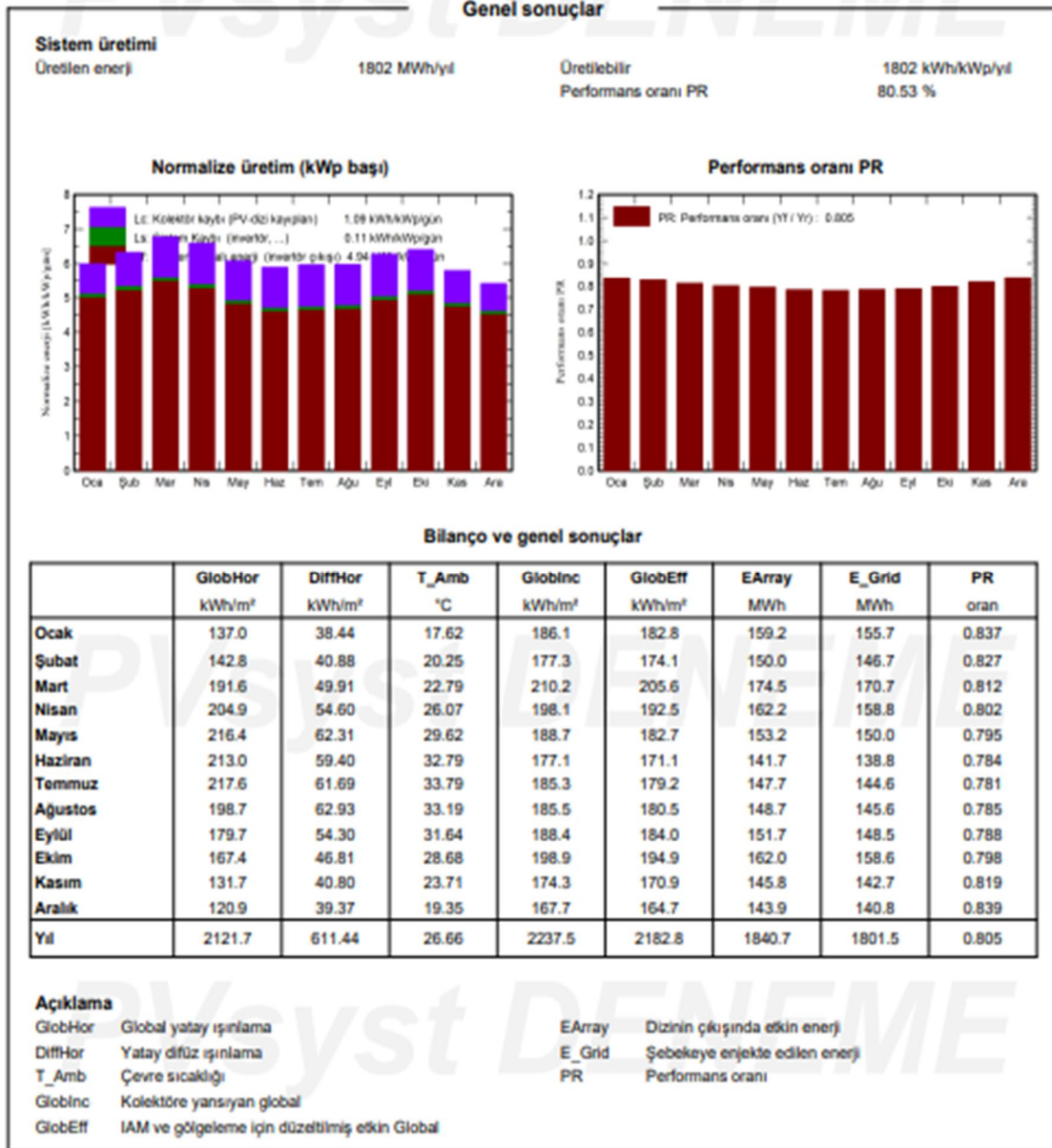
Şekil 3.4.'de görüleceği üzere sistem %79,78 performans oranına sahip olup teorik olarak yılda 1694 MWh enerji üretebilmektedir. PV panel üretim kapasitesinin 20 yıl olması, ardından modüllerde ve dizi bağlantılarında %2,10 ile sıcaklık etkilerinden dolayı %13,5 bozulma olması beklenmektedir [15].



Şekil 3.4. Nema Kayıplar Diyagramı

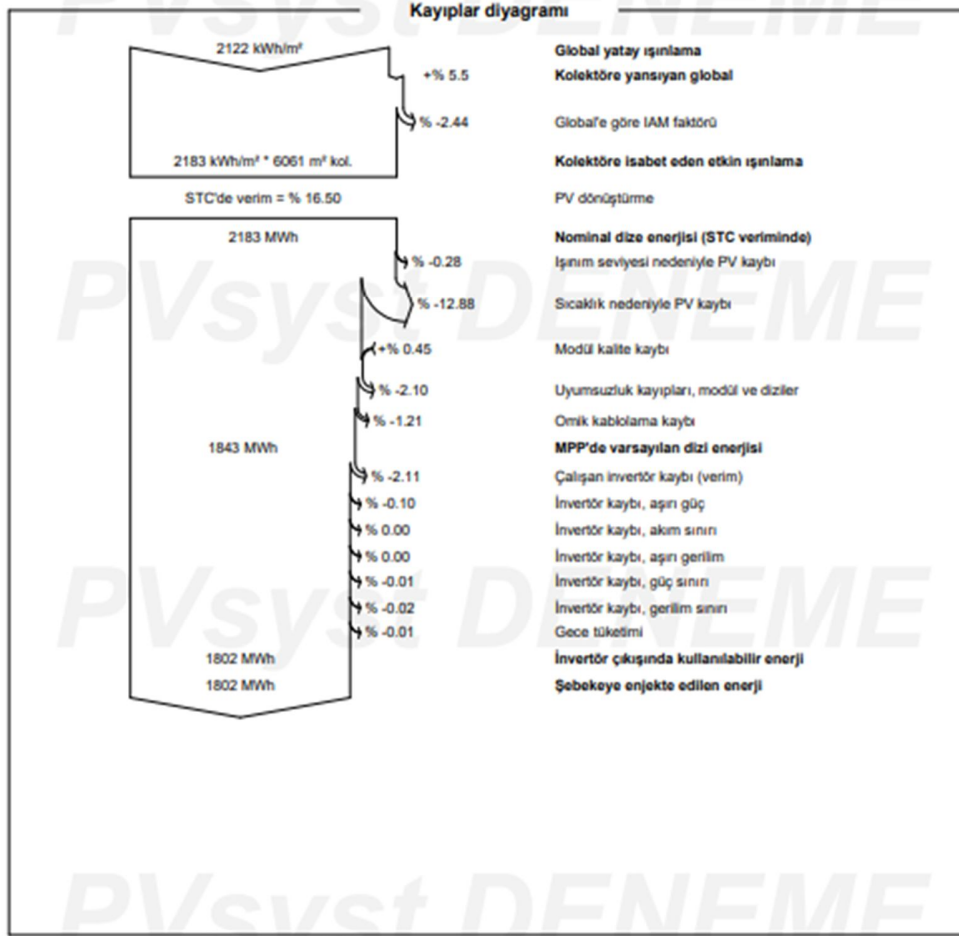
3.3 Wadan İli İçin Genel Sonuçlar

Şekil 3.5, seçilen bölgeler için sistemin yıllık üretimini göstermektedir. Bu değerler hesaplanırken alandaki radyasyon değerleri, güneşlenme saatleri, panel verimliliği, global yatay ışınlama, çevre sıcaklığı ile performans oranı dikkate alınmıştır. [15]



Şekil 3.5. Wadan Genel Sonuçlar

Şekil 3.6'dan da görüleceği üzere %80,53 performans oranı ile sistemin teorik olarak yılda 1802 MWh enerji üretmesi beklenmektedir. PV panel üretiminin 20 yıl olması, modül ve dizi bağlantılarından %2,10 ve sıcaklık etkilerinden dolayı %12,88 kayıp olması beklenmektedir [15].



Şekil 3.6. Wadan Kayıplar Diyagramı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Moritanya gibi gelişmekte olan bir ülkede güneş enerji potansiyeline göre belirlenen 3 büyük il için enerji optimizasyonu yapılmıştır. Moritanya güneş enerjisinden elektrik üretiminde kendi kendine yeterliliğe sahip olmak ve mevcut sorunlarının üstesinden gelmek, Moritanya ekonomisini geliştirmek ve dünyadaki durumunu değiştirmek için stratejik bir hedefi temsil etmektedir.

Yapılan bu çalışmaya göre Tablo 4.1'den de görüleceği üzere Moritanya'da belirlenen iller için yıllık elektrik enerjisi üretimi Nuakşot için 1802 MWh/yıl, Nema için 1694 MWh/yıl ve Wadan için 1734 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Performans oranı en yüksek Wadan % 80,53, sonrasında Nuakşot %80,15 ve en az performans oranı ise Nema %79,78 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. İllere Göre Enerji Üretim Değerleri

İl	Enerji üretimi (MWh/yıl)	Performans oranı (%)
Nuakşot	1802	80,15
Nema	1694	79,78
Wadan	1734	80,53

Ayrıca, güneş santralının yıllık satış geliri, ilk yatırım maliyeti baz alınarak maliyet analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Tablo 4.2'den de görüleceği üzere geri ödeme sürelerinin 4,1 ve 4,3 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. 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.

Tablo 4.2. İllere Göre Geri Ödeme Süreleri

İl	Geri ödeme süresi (yıl)	Net bugünkü değer (\$)
Nuakşot	4,2	606.085
Nema	4,3	585.900
Wadan	4,1	744.163

Kısaltmalar

R	Güneş ve dünya arası mesafe
I_o	Güneş sabiti (W/m^2)
I_{on}	Yılın her hangi bir günü için güneş sabiti (kW/m^2)
n	Yılın ilk gününden itibaren seçilen gününkaçıncı gün olduğu
α	Yükseklik açısı ($^{\circ}$)
β	Güneş azimut açısı ($^{\circ}$)
γ	Yüzey azimuth açısı ($^{\circ}$)
θ	Geliş açısı ($^{\circ}$)
θ_z	Zenit açısı ($^{\circ}$)
$H_{d,y}$	Yatay yüzeydeki yaygın güneş radyasyonu (kj/m^2)
K_y	Yayıllı radyasyon oranı
n	Ödeme dönemi (yıl)
GÖS	Geri ödeme süresi
$N_{negatif}$	Kümülatif net nakit akışları tablosunda en son oluşan negatif değer
$n_{negatif}$	$N_{negatif}$ 'in olduğu yıl
F	($n_{negatif} + 1$) yılındaki vergi sonrası oluşan net nakit akışı
NBD	Net bugünkü değer
t	Yıllar
A_t	t yılındaki vergi sonrasında oluşan net nakit akışı
r	İskonto oranı (%)
Pr	Performans oranı

KAYNAKLAR

- [1] İrem.A.,Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Beslenen Konutlar İçin Enerji Yönetim Sistemi,Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 4, 2022.
- [2] Mohtasham,J., Review Renewable Energies.Energy Procedia., C 74 , S 1289-1297, 2015.
- [3] TMMOB.,Türkiye'nin Enerji Görünümü (2.baskı). Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 2012.
- [4] Öztürk.H., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi,Istanbul, 2012.



- [5] OECD/IEA., Organisation for Economic Co- Operation and Development /The International Energy Agency (IEA), www.iea.org. Organisation for Economic Co- Operation and Development 2021, Erişim tarihi : 18.07.2021
- [6] Satman. A.,Türkiye’de Enerji Ve Geleceği.İstanbul Teknik Üniversitesi Görüşü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [7] Piero.G., Mediterranean Energy Perspectives, Turkey, S 315-375, 2008.
- [8] Mertens. K., Photovoltaics Fundamentals,Technology and Practice, 2, Jhon Wiley ve Sons, New York, 2018.
- [9] Güneş Paneli Verileri, www.axitec.com 2001, Erişim tarihi: 15.06.2022.
- [10] İnvvertör Özellikleri, www.kaco.com 1998, Erişim tarihi: 16.06.2022.
- [11] Ceyhun. A.,Türkiye Ege Bölgesi Güneş Enerjisi Potansiyeli Tekno-Ekonomik Analizi,Yüksek Lisans Tezi , Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 54-58, 2016.
- [12] Abdelrazik, M.K., Abdelaziz, S.E., Hassan, M.F., Hatem, T.M., Climate Action: Prospects of Solar Energy in Africa. Energy Reports, C 8, s 11363- 11377.
- [13] Demirtürk. C.,Yenilenebilir Enerji kaynaklarından Rüzgar ve Güneş Enerjisi Karşılaştırmalı Fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 36-39, 2013.
- [14] Kahya. E.,Mühendislik Ekonomisi, Eskişehir, 2009.
- [15] Enerji Üretim Analiz Ve Değerlendime, İşletme Maliyetleri Hesaplaması www.pvsyst.com, Erişim tarihi: 10.05.2022.
- [16] Köse.G., Hibrit (Güneş+Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi Kütahya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 136, 2010.