



Sabit ve Güneş Takipli Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırmalı Analizi Performance Analysis of Constant and Solar Tracking Photovoltaic Systems

¹Abdullah AKTAŞ , ²Behçet KOCAMAN 

¹Ada Mühendislik, Bitlis, Türkiye,

²Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bitlis, Türkiye

¹a.aktas.13@gmail.com, ²bkocaman@beu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 14 July 2024

Accepted : 13 September 2024

Keywords:

Renewable energy sources,
Photovoltaic Systems, Solar
Tracking Systems

ABSTRACT

Recently, the need for energy has been constantly increasing. Energy searches are being carried out to meet this increasing energy need. These searches have also increased scientific studies on renewable energy resources. Due to the fact that fossil fuels will be depleted over time, create negative environmental impacts and increases in raw material prices, this has led to an increase in efforts to turn to new and sustainable energy sources. One of the important renewable energy sources is solar energy. In this study, for the 500 kW fixed-axis MRS Uğraşlar solar power plant (SPP) located within the borders of Bitlis province, Güroymak district; Performance analysis was carried out by simulation in the PVsyst solar energy simulation program environment. It was interpreted by comparing it with simulation and real system data. Recommendations are also presented for planning and system engineers.

© 2024 Bandırma Onyedli Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 14 Temmuz 2024

Kabul : 13 Eylül 2024

Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir Enerji Kaynakları,
Fotovoltaik Sistem, Güneş Takip
Sistemi

ÖZET

Son zamanlarda enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için enerji arayışları yapılmaktadır. Bu arayışlar, yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yapılan bilimsel çalışmaları da artırmıştır. Fosil yakıtların zamanla tükenmesi, çevresel olumsuz etkiler oluşturması ve hammadde fiyatlarındaki artışlar olması nedeniyle, yeni ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelme çalışmalarının artmasına neden olmuştur. Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir. Bu çalışmada, Bitlis ili, Güroymak ilçesi sınırları içerisinde bulunan 500 kW kurulu güçlü sabit eksenli MRS Uğraşlar güneş enerjisi santrali (GES) için; PVsyst güneş enerjisi simülasyon programı ortamında benzetimi yapılarak performans analizi yapılmıştır. Simülasyon ve gerçek sistem verileri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Ayrıca planlama ve sistem mühendisleri için öneriler sunulmuştur.

© 2024 Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Günümüzde sürekli artan enerji ihtiyacı ve mevcut enerji ihtiyacını karşılayabilecek enerji kaynaklarının yetersiz oluşu, alternatif enerji kaynaklarının keşfi ve geliştirilmesi hususunda büyük bir önem arz etmektedir. Nitekim klasik yöntemlerle yapılan enerji üretimi ve tüketimi, yaşadığımız doğada büyük yıkımlara yol açmakta ve ileriye yönelik yaşanabilecek geri dönüşü olmayan tahribatlara sebebiyet vermektedir. Yaşanabilecek potansiyel tehlikeler göz önüne alındığında, enerji kaynaklarının keşfi ve üretimi konusunda jeotermal, biyokütle, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) önem kazanmaktadır [1]. Özellikle güneş enerjisinin potansiyeli, sağlamış olduğu kullanım kolaylığı, yenilenebilir ve çevre dostu oluşu diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında dikkatlerin azımsanmayacak bir boyutunu üzerine çekmektedir [2]. Ayrıca ülkeler kaynak anlamında dışa bağımlı olmayan, karbondioksit (CO₂) emisyonu düşük, güneş ve rüzgâr gibi sürdürülebilir enerji üretim kaynaklarına yönelmektedir [3]. Güneşin, hemen hemen tüm enerji kaynakları için başlıca kaynak olduğu bilinmesine rağmen, güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üreten sistemler oldukça yeni bir gelişmedir. Bu dönüşümün ilk adımı, Edmond Becquerel tarafından 1839'da fotovoltaik etkinin keşfiyle atılmış ve 1914'te %1 verimliliğe sahip selenyum hücreler geliştirilmiştir [4]. Günümüzde hala kullanılan ilk güneş hücresi 1954 yılında Bell laboratuvarında çalışan Chaplin ve ekibince tasarlanmıştır. İlk güneş hücreleri yarı iletken teknolojisine sahip olup, güneş enerjisinin yalnızca %4 gibi küçük bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülebiliyordu. Yüksek maliyeti nedeniyle fotovoltaik panel üretim teknolojisi uzun yıllar boyunca laboratuvar çalışması olarak kalmıştır. Ancak, üretim teknolojilerinin gelişmesi ve malzeme bilimi sayesinde maliyetleri düşen ve yüksek verimliliğe (%10-%20) sahip FV paneller, 1980'lerden sonra ticari alanda kendilerini göstermiş ve kullanımları artmıştır [5]. Karakaş ve arkadaşları FV sistemlerde maksimum güç noktası ile güneşin izlenebilmesi için tipik bir kontrol düzeneği tasarımının yaptıkları çalışmalarında, küçük FV sistemlerde maksimum güç noktasının izlenmesi konusundaki araştırmalarını güneş enerji güç işletim aygıt tasarımı örneğini inceleyerek yapmışlardır [6]. Helwa ve arkadaşları, güneş enerjisini farklı güneş takip sistemlerinde gözlemiş ve güneş takip sisteminden çıkışta alınan enerjinin sabit sistemden daha fazla olduğunu elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre iki eksenli izleyicide daha yüksek kazanç bulunup dikey eksenliden sabit eksenliye doğru azaldığı görülmüştür [7]. Çalışmalarında verileri yıllık bazda mevsimsel olarak karşılaştırarak kış aylarında elde edilen verimin daha yüksek, yaz aylarında ise aradaki verim farkının daha az olduğunu ortaya koyan Alaçakır ve Korucu, güneş takip sistemini sabit eksenli sisteme göre mukayese edip güneş takip sistemi ile %20'nin üzerinde verim sağlandığını hesaplamışlardır [8]. Karakaya vd. panel verimini artırmak adına panel yüzeyini soğutma, kullanılan yarı iletken malzemenin değişimi, uygun açıyı yakalama, güneş takip sistemleri çalışmaları yapmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda %47'e kadar verim artışı sağlanmıştır [9]. Dumitrascu ve arkadaşları çalışmalarında hassas adım motorlarından yapılmış iki aktüatör kullanarak iki değişikliğe (azimut değişimi ve açılma açısı) dayanan mekanik parça uygulamasıyla kartezyen koordinatlardan küresel koordinatlara matematiksel bir dönüşüm kullanarak yüksek verim almayı amaçlamıştır [10]. Literatürde FV sistemlerin enerji verimini artırmak için yapılan çalışmaların oldukça popüler ve fazla olduğu görülmektedir. Fosil yakıtların zamanla tükenmesi, çevresel olumsuz etkiler oluşturması ve hammadde fiyatlarındaki artışlar nedeniyle, yeni ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelme çalışmalarının artmasına neden olmuştur. Ayrıca enerji ihtiyacının sürekli artması ve bu artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yapılan bilimsel çalışmalar önem kazanmıştır. Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden üretilecek elektrik enerjisinin verimini artırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, Bitlis ili, Güroymak ilçesi sınırları içerisinde bulunan 500 kW kurulu güçlü sabit eksenli MRS Uğraşlar GES için; PVsyst güneş enerjisi simülasyon programı ortamında benzetimi yapılarak tek eksen takipçi düzlemlili ve çift eksenli takipçi düzlemlili sistemle karşılaştırılarak performans analizi yapılmıştır.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Bu çalışmada, tasarlanan FV sistemin sabit, tek eksenli güneş takipli ve çift eksenli güneş takipli performans analizleri yapılmıştır. Bu nedenle FV sistemler ve Güneş takip sistemleri için ayrı başlıklar altında bilgi verilecektir. Benzetim yazılımı olarak PVsyst platformu kullanılmıştır.

2.1. Fotovoltaik Sistemler

Yarı iletken malzemelerden yapılarak yüzeylerine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren araçlara fotovoltaik hücreler denmektedir. Genellikle 100 cm² alana, 0.01-0.04 cm arasında kalınlığa sahiptir. FV panellerin istenilen güç ve gerilim değerinde oluşturulması için FV hücrelerin seri ve paralel bağlanması gerekmektedir [11-15]. Benzer şekilde seri ve paralel bağlanan paneller de FV sistemleri oluşturur. Son yıllarda geleneksel güneş hücrelerinin yerine geçebilecek üretim teknolojileri daha kolay, maliyeti daha düşük, verimi yüksek hücreler için çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. FV hücrelerin modellenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ayrıca, yapılan çalışmalar neticesinde yaklaşık modeller arasında tek diyetli yapı ön plana çıkmaktadır.

Güneş hücreleri, güneş ışınımı altında 1 ile 1.5Watt arası güç üretebilirler, verimleri buna bağlıdır. Tek bir diyottan alınabilecek akım 2 ile 2.5 Amper arasında değişirken, gerilim değeri ise 0.5 ile 0.6 Volt arasında olmaktadır. Bu sebeple, yüksek güçlü modüller elde etmek için bu hücreler arasında seri ve paralel bağlantılar yapılmaktadır. Bu bağlantı yöntemiyle güneş paneli meydana gelmektedir [16].

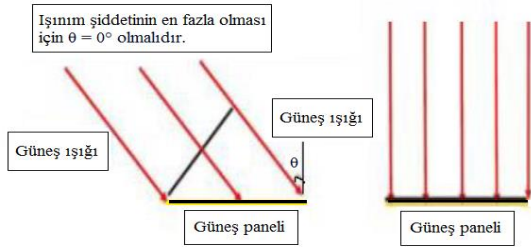
2.2. Güneş Takip Sistemleri

Güneş takip sistemleri (GTS), FV hücrenin güneşi en dik açıda alması için yapılan güneşi izleme sistemleridir. Bu sistemler üzerinde yapılan bütün çalışmalarda temel amaç, yatırım maliyetinin amorti zamanını kısaltmak ve elde edilecek enerji üretim verimini artırmaktır. Takipçi sistemleri ile hedeflenen panelin üzerine düşen ışınım miktarını ve buna bağlı olarak üretimi arttırmaktır. Paneller üzerine düşen radyasyon değeri, FV panellerin normali ile güneş ışığının yaptığı açının kosinüsü ile hesap edilmektedir. Üretimin maksimum olabilmesi için güneş ışığının panel yüzeyine dik açı ile düşmesi gerekmektedir. Güneş ışığının panel yüzeyine sürekli dik açı ile düşmemesi GTS'nin geliştirilmesini sağlamıştır. Şekil 1'de güneş paneli üzerine düşen ışınım gösterilmiştir.

Bütün GTS'nin temel fonksiyonu, ışının sisteme istenen doğrultuda gelmesini sağlamak için harekete 1 ya da 2 serbestlik derecesi sağlamaktır. Tek eksenli takip sistemleri, hareketlerini yalnızca bir eksende gerçekleştirir. Genellikle güneşin hareketine paralel olarak izleme yapmaktadır [1].

2.1.1. Tek Eksenli Takip Sistemleri

Bu tip GTS'nde, güneş enerjisine sahip sistemlerin azimut veya dikey hareketlerden biri gerçekleşir. Bu tür takip sistemlerinin tercih edilme nedenlerinden biri, monte edildiği alandaki serbest alanın sağladığı avantajlardır. Örnek olarak, parabolik oluklu olan sistemlerde azimut açısı takibi yapılmaktadır. Birçok çatı uygulaması alan darlığı nedeniyle yalnızca yükseklik açısı takibi yapar. Şekil 2'de tek eksenli olan güneş takip sisteminin görseli gösterilmektedir [17].



Şekil 1. Güneş paneli üzerine düşen ışınım.

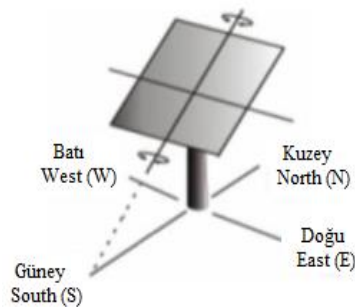


Şekil 2. Tek eksenli güneş takip sistemi.

Üretilen elektrikli enerjisinin verimini arttırmak ve ticari güneş sistemlerini ekonomikleştirmek için en basit yol, tek eksenli güneş takibidir. Basit ekipmanlar kullanılarak performans önemli derecede artırılabilir. Çift eksene sahip sistemlerin tek eksene sahip sistemler ile karşılaştırıldığında bazı avantaj ve dezavantajları olmaktadır. Çift eksenli sistemler enerji verimliliği konusunda avantaja sahipken, bakım masraflarının fazla olması, montajının zorluğu ve daha çok hareketli parçaya sahip olması nedeniyle dezavantaja sahiptir. Bununla birlikte genel olarak çift eksenli takip sisteminden daha az profile sahip oldukları için daha hafiftirler [16].

2.2.2. Çift Eksenli Takip Sistemleri

Hem yükseklik hem azimut eksenlerinin hareketine izin veren sistemlerdir. Çift eksenli takip sistemleri yeterli uygunluğa sahip bileşenler kullanılarak en iyi performansı sağlamaktadır. Takip sistemlerini mafsal eksenlerine göre sınıflandırmak mümkündür. Tek eksenli takip sistemleri polar, yatay ve azimut açılarına göre sınıflandırılırken, çift eksenli takip sistemleri ise azimut ve polar açılarına göre ikiye ayrılır. Şekil 3'te polar tek eksenli ve Şekil 4'te yatay tek eksenli takip sistemleri gösterilmektedir.

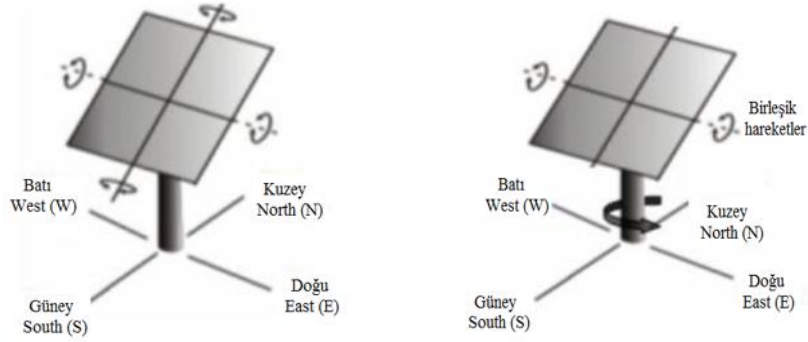


Şekil 3. Polar tek eksenli takip sistemi.



Şekil 4. Yatay tek eksenli takip sistemi.

Şekil 3'te görülen tek eksene sahip GTS'nde panelin yüzeyinin güneye doğru eğimlidir. Panel alanının ağırlık merkezinden geçen bir eksenle döndürülerek azimut açısı takip ettirilir. Sistemin geometrisi gereği, panel azimut açısı hareketini yaparken yükseklik açısını da kısmen takip eder. Bu özellik, enerji üretim değerlerini artırır ve diğer tek eksenli takip sistemlerine kıyasla polar tek eksenli takip sistemlerinin performansını yükseltir [2]. Yatay eksenli güneş takip sistemleri, panellerin yere yatay bir eksen etrafında döndürülmesi ile çalışmaktadır. Yapıları çoklu hareketlere uygun olduğundan, tek bir motorla çok sayıda FV diziyi aynı anda çalıştırmak mümkündür. Çift eksenli sistemler ise polar ve azimut açılarına göre ayrılmaktadır. Polar çift eksenli sistemler, günlük olarak sadece kendi etraflarında dönerler. Yıllık hareketlerini ise, güneşin mevsimsel değişimine ayak uydurarak ara ara kontrol sisteminden veya algılayıcılardan aldıkları komutlarla gerçekleştirirler. Azimut tek eksenli takip sistemleri, yere göre dik bir eksenle döndürülmesi ile çalışır ve özellikle büyük panel alanları için tercih edilir. Ayrıca performanslarını artırmada etkilidir. Çift eksenli azimut takip sistemleri, gün içinde kendi etraflarında ve mevsimsel hareketlere göre iki eksen üzerinde daima hareket ederler. Bu nedenle, kontrol edilmeleri daha karmaşıktır ve daha fazla dikkat gerektirir. Şekil 5'te polar çift eksenli ve Şekil 6'da azimut çift eksenli takip sistemi gösterilmiştir [2].



Şekil 5. Polar çift eksenli takip sistemi. Şekil 6. Azimut çift eksenli takip sistemi.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarlanan fotovoltaik sistemin sabit, tek eksenli güneş takipli ve çift eksenli güneş takipli performans analizleri MRS Uğraşlar GES yerleşkesi seçilerek yapılmıştır. Benzetim yazılımı olarak PVsyst platformu kullanılmıştır. PVsyst birçok çeşitte güneş enerjisi sistemi tasarımı yapılabilen, tasarımı yapılan üç boyutlu güneş paneli modellerini program üzerinde yerleştirerek, hava şartlarına bağlı olarak panellerdeki gölgelenmelerin benzetimi yapılabilen güneş enerjisi simülasyon programıdır. MRS Uğraşlar GES 500 kWp kurulu gücünde, sabit 27 ° eğik düzlemlerle 2019 yılında üretime başlamıştır. Sistem; 1860 adet 275 Wp gücünde SolarTürk ENERJİ FV paneller ile 8 adet 60 kWp gücünde Huawei marka invertörden oluşmaktadır. Tablo 1'de MRS Uğraşlar GES yıllık üretim verisi gösterilmiştir. 2020 yılı üretimin 841315 kWh/yıl olduğu görülmüştür.

Tablo 1. MRS uğraşlar ges aylık üretim verileri.

MRS Uğraşlar GES Yıllık Üretim	
Aylar	Üretim(kWh/ay)
Ocak	36043
Şubat	59871
Mart	68334
Nisan	82166
Mayıs	94200
Haziran	91156
Temmuz	83740
Ağustos	93289
Eylül	85376
Ekim	79157
Kasım	42840
Aralık	25143
TOPLAM	841315 kWh/yıl

3.1. Fotovoltaik Sistem Konum Bilgisi ve Işınlanma Verisi

Fotovoltaik sistem tasarımı için PVsyst programı kullanılmış olup programa MRS Uğraşlar GES'in konumunun enlem ve boylamları girildi. Seçilen konum için Meteororm programından global yatay ışınlanma ve iklim verileri çekilmiş olup Tablo 2'de gösterilmiştir.

Yıllık ışınlanma verileri göz önünde bulundurulduğunda en yüksek yatay ışınlanma haziran ayında, en yüksek yatay difüz ışınlanma ise mayıs ayında gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Seçilen konuma ait yıllık ışınlanma verileri.

	Global Yatay Işınlanma kWh/m ² /ay	Yatay Difüz Işınlanma kWh/m ² /ay	Sıcaklık °C	Rüzgâr Hızı m/s	Linke Bulanıklığı [-]	Bağıl Nem %
Ocak	75.9	28.6	-3.1	1.89	2.686	75.5
Şubat	88.6	30.5	-1.7	1.0	3.056	76.3
Mart	141.2	47.7	3.1	2.40	3.588	71.3
Nisan	178.5	54.3	8.3	2.60	4.383	66.5
Mayıs	211.7	66.2	13.4	2.50	3.868	63.4
Haziran	258.5	51.8	18.3	2.40	3.269	54.4
Temmuz	252.9	52.9	22.2	2.29	3.360	48.5
Ağustos	235.0	43.2	22.4	2.30	3.214	45.1
Eylül	184.3	40.6	17.5	2.20	2.914	49.5
Ekim	125.7	36.0	11.7	2.29	3.304	61.2
Kasım	87.8	26.5	4.4	2.00	2.750	70.0
Aralık	69.9	22.9	-0.7	1.90	2.646	74.6
Yıl	1910.0	22.9	9.6	2.2	3.253	63.0

3.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Fotovoltaik sistem, 500 kWp kurulu gücünde olacaktır. Tasarımda Solarwatt marka BLUE 60P modeli 275 Wp nominal gücündeki Si-poly panel kullanılmıştır. MRS Uğraşlar GES'te kullanılan panel, polikristal özelliklere sahiptir. Bu çalışmada seçilen panel, MRS Uğraşlar GES'te kullanılan panele en yakın verilere sahip aynı güçte olan paneldir. Kullanılan panelin parametreleri Şekil 7'de gösterilmiştir.

Model: Üretici:

Dosya adı: Veri kaynağı:

Nominal güç (STC'de): Wp Tol. +/- %

Teknoloji:

Üretici teknik özellikleri veya diğer ölçümler:

Referans koşullar	Gref	1000	W/m ²	TRef	25	°C
Kısa devre akımı	Isc	9.350	A	Açık devre Voc	38.30	V
Maks. güç noktası	Impp	8.790	A	Vmpp	31.30	V
Sıcaklık katsayısı	muisc	4.7	mA/°C	Hücre sayısı 60 seri		
	veya muisc	0.050	%/°C			

Model özeti:

Ana parametreler	
Rparal	300 Ω
Rsh (G=0)	1200 Ω
R seri model	0.28 Ω
R seri maks.	0.32 Ω
Görünür R seri	0.44 Ω

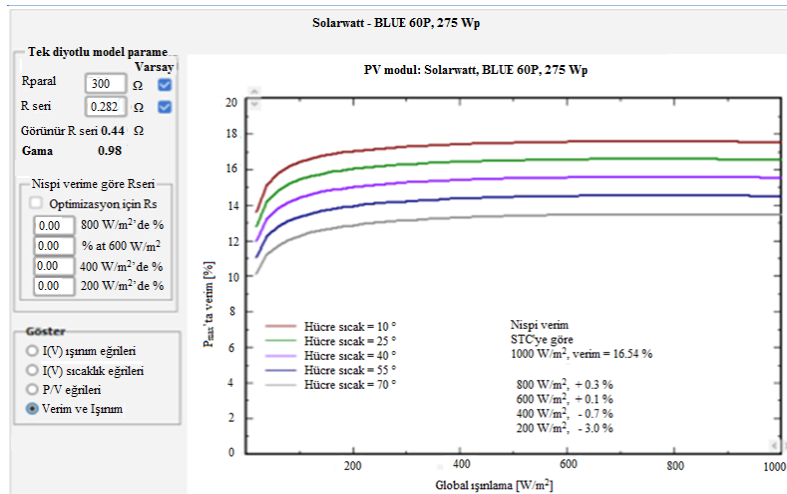
İşletme model sonuçları:

İşletme koşulları	GOper	1000	W/m ²	TOper	25	°C
Maks güç noktası	Pmpp	275.1	W	Sıcaklık katsayısı	-0.40	%/°C
Akım	Impp	8.81	A	Genlim Vmpp	31.2	V
Kısa devre akımı	Isc	9.35	A	Açık devre Voc	38.3	V
Verim	/ Hücre yüzeyi	Yok	%	/Modül yüzeyi	16.54	%

Model parametreleri:

Gama	0.976
IoRef	0.08 nA
muVoc	-129 mV/°C
muPmax sabit	-0.41/°C

Şekil 7. FV panel parametreleri.



Şekil 8. Panelin ışınımına göre verimi.

Şekil 7'de görüldüğü gibi çalışma için seçilen panel, 275 Wp gücünde, referans koşullarda ışınım değeri 1000

W/m², 25 °C derecedeki açık devre gerilimi 38,30 V ve kısa devre akım değeri 9,35 A olan parametrelere sahiptir. Panelin ışımına göre verimini gösteren grafik, Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8'de görülen verilere dayanarak ışımına göre en yüksek verim, hücre sıcaklığı 10°C iken ve en düşük verim hücre sıcaklığı 70°C iken olduğu görülmektedir. Ayrıca tasarımda invertör olarak Huawei marka SUN2000-60KTL-HV-D1-0001 modeli kullanılmıştır. Seçilen invertör, MRS Uğraşlar GES'te kullanılan invertördür. Seçilen invertörün parametreleri Şekil 9'da verilmiştir.

Seçilen invertörün DC giriş bilgileri; minimum güç noktası gerilimi 600 V, maksimum güç noktası gerilimi 1450 V iken çıkış bilgileri 50 Hz, 400 V AC olarak ayarlanmıştır. Invertöre ait verimi gösteren grafik, Şekil 10'da verilmiştir.

Seçilen invertöre ait verim tablosu incelendiğinde giriş gerilimi üç kademe olarak seçilebilen ve düşük gerilim 880 Vdeğerinde dahi %98 oranında verim sağladığı görülmektedir. Tasarımın simülasyon varyantı Şekil 11'de verilmiştir. Fotovoltaik sistemin yıl boyu verimini yüksek tutmak için sabit düzlemde düzlem eğimi 27° seçilmiştir.

Model: SUN2000-60KTL-HV-D1-001 Üretici: Huawei Technologies
 Dosya adı: Huawei-Sun2000_60KTL_HV_D1_001.OND Ven kaynağı: Manufacturer 2018
 Orjinal PVsyst veritabanı Üret. son tarihi 2017

Giriş (DC, PV alanı)

Minimum MPP gerilimi: 600 V
 Pnom için min. gerilim: N/A V
 MPPT başına maksimum akım: N/A A
 Nominal MPP gerilimi: 1080 V
 Maksimum MPP gerilimi: 1450 V
 Mutlak maks PV gerilimi: 1500 V
 Güç sınırı: 80 W

Geççek fiziksel anlamı olmayan sözleşmesel özellikler: Zorunlu
 PV nominal gücü: N/A kW
 Maksimum PV gücü: 67.2 kW
 Maksimum PV akımı: 88.0 A

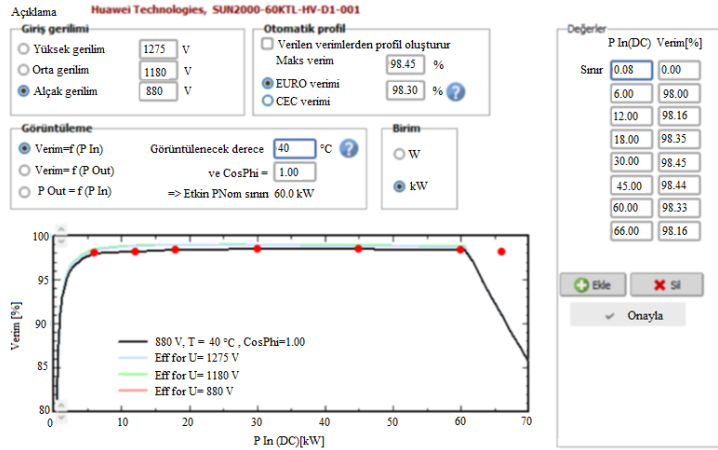
Çıkış (AC şebeke)

Monofaze:
 Trifaze:
 Bifaze:
 Frekans: 50 Hz (checked), 60 Hz
 Şebeke gerilimi: 400 V
 Nominal AC gücü: 60.0 kVA
 Maksimum AC gücü: 66.0 kVA
 Nominal AC akımı: 43.3 A
 Maksimum AC akımı: 48.0 A

Verim

Maksimum verim: %98.97
 Verim 3 gerilim için belirleniyor

Şekil 9. Seçilen invertör parametreleri.



Şekil 10. İntertör verimi.

Yönlendirme parametreleri

Alan tipi: Sabit eğik düzlem
 Düzlem eğimi/azimut = 27° / 0°

Sistem tanımlamaları arasında uyumluluk

Tüm sistemin yönelimi: 27° / 0°
 1 Alt alan PNom = 500 kWp, Modül alanı =3022 m²
 Alan tanımlandı 38 sahne !

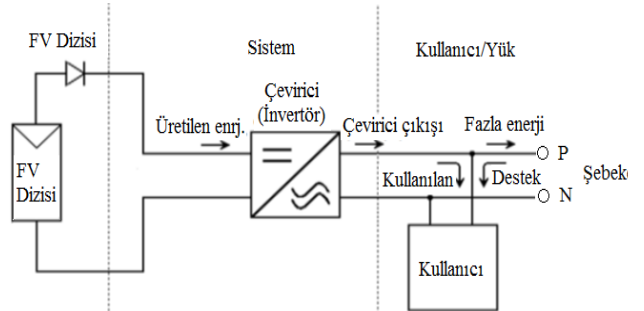
System parameters

Alt alan=1
 PV modül: 79 strings of 23 modules in series, 1817 total
 Pnom= 275 Wp Pnom array = 500 kWp, Area = 3022 m²
 İntertör (60.0 kWac) 1 MPPT girişleri, Total 480 k

3B gölgeleme sahnesi ayarları

Gölgeleme sahnesi tanımlanmadı

Şekil 11. Simülasyon varyantı.



Şekil 12. Fotovoltaik sistem tek hat şeması.

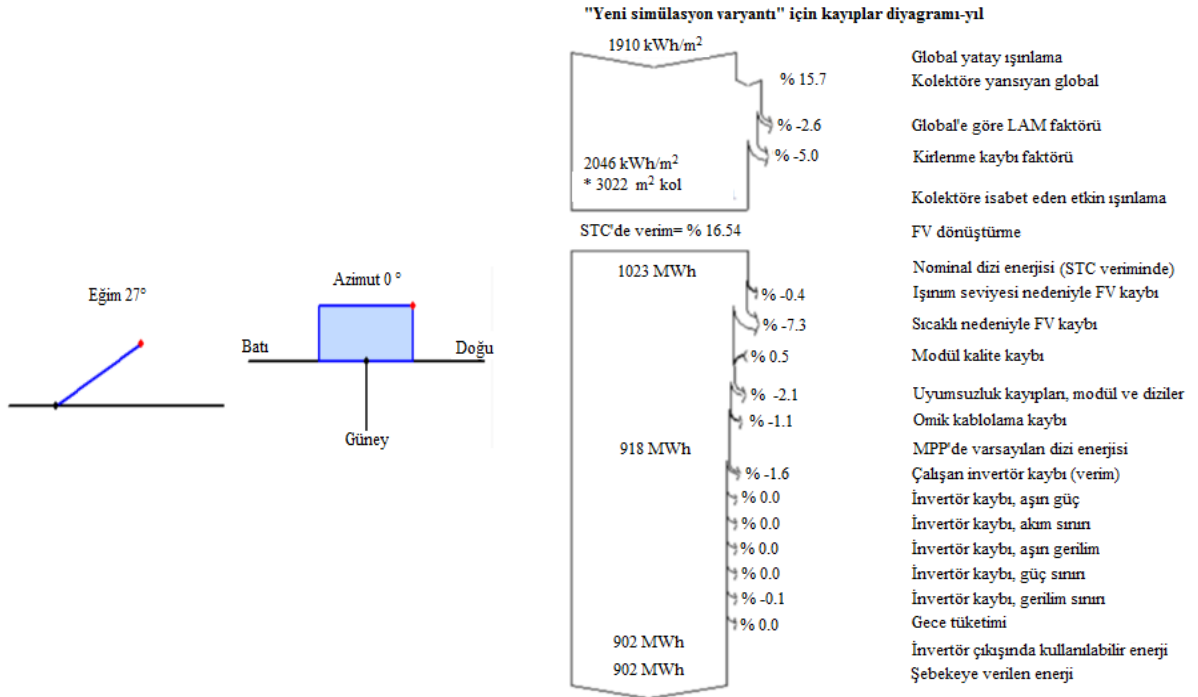
Tasarım için azami $6m^2$ alana ihtiyaç vardır. Tasarım yapılırken gün boyu panellerin üzerine herhangi bir gölgeleme olmadığı varsayılmıştır. Tasarımın tek hat şeması Şekil 12’de verilmiştir. Şekil 12’de verilen FV sistemde panellerde üretilen enerji çeviricide alternatif akıma çevirilerek tüketiciye verilmektedir. Tüketiciden arta kalan enerji şebekeye verilmektedir ya da tam tersi durumda tüketicinin eksik kalan enerji ihtiyacı şebeke tarafından karşılanmaktadır.

4. BULGULAR

Tasarlanan sistem için sabit eğik düzlem, tek eksenli takipçi düzlemi ve çift eksenli takipçi düzlemi ayarlamaları yapılarak performans analizi amacıyla PVSyst tabanında farklı sistem düzlemleri için simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre performans analizi yapılarak sistemlerin kayıplar diyagramı, kolektör düzlemine yansıyan referans enerji grafiği, günlük giriş/çıkış diyagramı grafiği, yansıyan ışınlanma dağılım grafiği ile günlük sistem çıkış enerjisi grafiği incelenmiştir.

4.1. Fotovoltaik Sistemin Sabit Eğik Düzlemler Olarak Tasarımı ve Simülasyonu

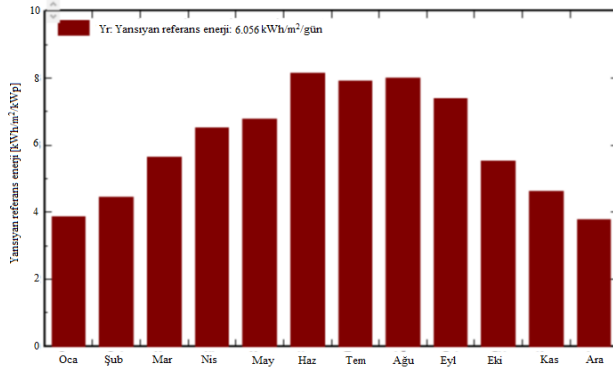
Sabit eğik düzlemlerli fotovoltaik sistemin eğimi ve panellerin yerleşim yönü Şekil 13’te verilmiştir. MRS Uğraşlar GES referans alınarak PVSyst güneş enerjisi simülasyon programıyla benzetimi yapılan FV sistemin simülasyonu yapıldığında invertör çıkışında 902 MWh/yıl şebekeye verilebilecek enerji olduğu görülmüştür. MRS Uğraşlar GES’in 2020 yılında $841,315 \text{ MWh/yıl}$ enerji ürettiği Tablo 1’de verilmiştir. Simülasyon sonucuna göre, MRS Uğraşlar GES’in yaklaşık olarak % 6,8’lik daha az enerji ürettiği görülmüştür. Arızalar sonucu çıkabilecek enerji üretim kesintileri ve üretimi azaltıcı yöndeki diğer etkiler (panel kirlenmesi, hava şartları vb) göz önünde bulundurulduğunda, program sonucu elde edilen enerji üretim verileri ile gerçek sistemin enerji üretim verileri arasındaki %6,8’lik bir farkın makul karşılanabileceği ve programın sağlıklı veri verdiği düşünülmektedir. Ayrıca simülasyon sonucunda kayıpların büyük bir oranının invertör kaybı, sıcaklık nedeniyle FV kaybı, Ohmik kablolama kaybı ve kirlenme kaybindan kaynaklandığı görülmüştür. Sistemin kayıplar diyagramı Şekil 14’te verilmiştir.



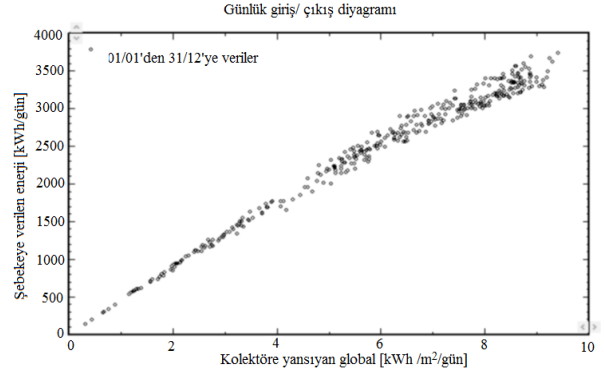
Şekil 13. FV'nin düzlem eğimi ve yerleşim yönü. Şekil 14. Sabit eğik düzlemlerli FV sistemin kayıplar diyagramı.

Fotovoltaik sistemlerin en önemli bileşeni kolektör düzlemidir. Sistemler karşılaştırılırken kolektör düzlemine yansıyan referans enerji baz alınarak sistem performansı analizi yapılabilir. Şekil 15’de kolektör düzlemine yansıyan referans enerji grafiği verilmiş olup yansıyan referans enerjinin $6056 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ olduğu görülmüştür. Şekil 16’da FV sistemin günlük güç giriş/çıkış diyagramı verilmiştir. İdeal sistemlerde üretilen enerji günlük lineer olarak artar fakat sistemde kayıplar olduğu için lineer olarak bir artış olmadığı gözükmemektedir. Fakat grafikten de anlaşılacağı üzere lineere yakın bir artış olduğu anlaşılmaktadır.

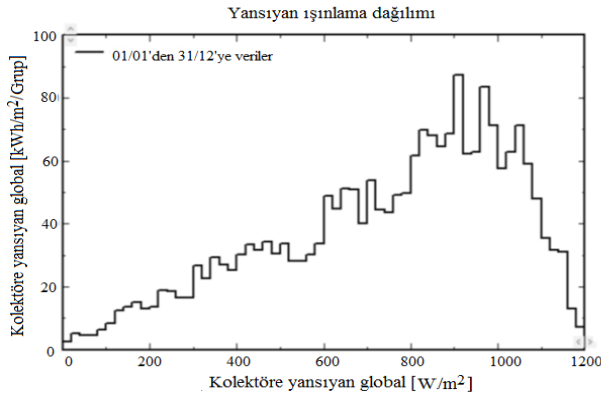
Sabit eğik düzlemlerli FV sistemin günlük sistem çıkış enerjisi Şekil 17’de verilmiştir. Panelin metrekareye düşen ışınım miktarı da farklı düzlemler için değişmekte olup performans analizi için yarar sağlamaktadır. Ayrıca sabit eğik düzlemlerli FV sistemin günlük çıkış enerjisi Şekil 18’de verilmiştir. Yaz aylarında üretilen enerjide belirgin bir artış olduğu görülmektedir.



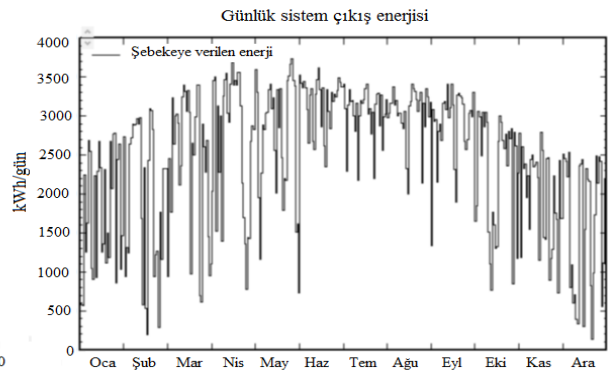
Şekil 15. Sabit eğik düzlemlı FV sistemin kolektör düzlemine yansıyan referans enerjisi.



Şekil 16. Sabit eğik düzlemlı FV sistemin günlük giriş-çıkış diyagramı.



Şekil 17. FV sistemin günlük sistem çıkış enerjisi.



Şekil 18. FV sistemin günlük çıkış enerjisi.

Tablo 3. Sabit eğik düzlemlı FV sistemin genel verileri.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	Earray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	75.9	28.65	-3.11	119.9	110.8	54.38	53.48	0.893
Şubat	88.6	30.53	-1.74	124.9	115.9	55.76	54.84	0.879
Mart	141.2	47.69	3.11	175.2	162.3	76.31	75.06	0.857
Nisan	178.5	54.28	8.30	195.6	181.1	82.76	81.38	0.833
Mayıs	211.7	66.15	13.41	209.7	193.9	86.40	84.97	0.811
Haziran	258.5	51.82	18.25	144.0	225.4	97.14	95.55	0.784
Temmuz	252.9	52.86	22.20	245.0	226.2	95.53	93.96	0.768
Ağustos	235.0	43.24	22.39	248.2	229.8	95.94	94.37	0.761
Eylül	184.3	40.55	17.53	221.5	205.4	88.55	87.11	0.787
Ekim	125.7	35.96	11.67	171.4	158.9	71.52	70.35	0.821
Kasım	87.8	26.47	4.41	138.3	128.0	60.45	59.46	0.860
Aralık	69.9	22.92	-0.73	116.8	108.0	52.23	51.35	0.880
Yıl	1910.0	501.13	9.71	2210.4	2045.7	916.96	901.90	0.817

Tablo 4. MRS Uğraşlar GES ve PVsyst sabit eksenli aylık üretim veri karşılaştırması.

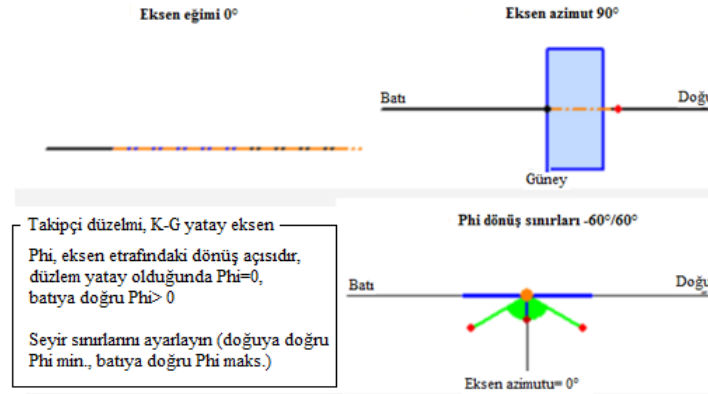
AYLAR	MRS Uğraşlar Aylık Üretim Verileri	PVsyst Aylık Çift Eksenli Üretim Verileri	FARK (kWh/ay)
	ÜRETİM (kWh/ay)	ÜRETİM (kWh/ay)	
Ocak	36.043	73.700	37.657
Şubat	59.871	70.800	10.929
Mart	68.334	100.700	32.366
Nisan	82.166	111.000	28.834
Mayıs	94.200	122.600	28.400
Haziran	91.156	149.700	58.544
Temmuz	83.740	142.600	58.860
Ağustos	93.289	136.900	43.611
Eylül	85.376	120.800	35.424
Ekim	79.157	94.400	15.243
Kasım	42.840	82.600	39.760
Aralık	25.143	70.300	45.157
TOPLAM	841.315 kWh/yıl	1.276.100 kWh/yıl	434.785 h/yıl

Tablo 3'te sabit eğik düzlemlili FV sistemin genel verileri görülmektedir. Şebekeye verilen enerji 902 MWh/yıl olarak görülmektedir. MRS Uğraşlar GES ve PVSyst simülasyonu sabit eksenli panellere ait aylık üretim verilerinin karşılaştırma tablosu Tablo 4'te gösterilmiştir.

Simülasyon sonucuna göre, MRS Uğraşlar GES'in yaklaşık olarak %6,8'lik daha az enerji ürettiği görülmüştür. Arızalar sonucu çıkabilecek enerji üretim kesintileri ve üretimi azaltıcı yöndeki diğer etkiler (panel kirlenmesi, hava şartları vb) göz önünde bulundurulduğunda, program sonucu elde edilen enerji üretim verileri ile gerçek sistemin enerji üretim verileri arasındaki %6,8'lik bir farkın makul karşılanabileceği ve programın sağlıklı veri verdiği düşünülmektedir. Ayrıca üreticiden alınan bilgiler doğrultusunda temmuz ayında tesiste oluşan 3 günlük arıza nedeni ile tesis olması gerekenden daha düşük enerji üretmiştir. Bu veriler ışığında elde ettiğimiz %6,8'lik fark arıza oluşmaması durumunda daha da azalacaktır.

4.2. Fotovoltaik Sistemin Tek Eksen Takipçi Düzlemi ile Tasarımı ve Simülasyonu

Tek eksen takipçi düzlemlili fotovoltaik sistemin panel yerleşim yönü Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19. Tek eksen takipçi düzlemlili FV system.

Fotovoltaik sistemin simülasyonu yapıldığında invertör çıkışında 1132 MWh/yıl üretilebilir enerji olduğu görülmüştür. Sistemin kayıplar diyagramı Şekil 20'de verilmiştir.

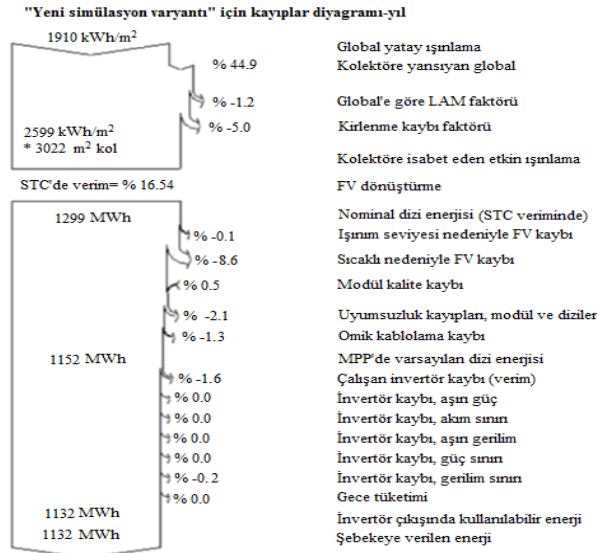
Kolektör düzlemine yansıyan referans enerji grafiği Şekil 21'de verilmiştir. Burada yansıyan referans enerjinin 7585 kWh/m²/gün olduğu görülmüştür. Işınım miktarının sabit eğik düzlemlili FV sistem ışınım miktarına göre yüksek olduğu görüldü. Bu da kolektör yüzeyinde daha fazla ışınım olduğunu göstermektedir.

Günlük güç giriş/çıkış diyagramı, Şekil 22'de verilmiştir. Şekil 22'deki grafikten de anlaşılacağı üzere şebekeye günlük verilen enerji miktarı sabit eğik düzlemlide 3750 kWh/gün seviyesine kadar çıkmış iken tek eksen takipçi düzlemlili sistemde 5600 kWh/gün seviyelerindedir. Şekil 23'te yansıyan ışınlanma dağılımı verilmiştir. Sabit eğik düzlemlili FV sistemde metrekareye düşen ışınım 90 kWh seviyesinde iken bu değer tek eksen takipçi düzlemlili FV sistemde 130 kWh olarak görülmektedir.

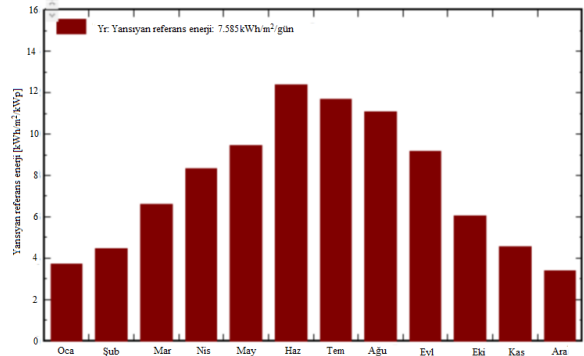
Ayrıca Şekil 24'te günlük sistem çıkış enerjisi gösterilmiştir. Sabit eğik düzlemlili sistemde sistem çıkış enerjisi yaz aylarında 3750 kWh/gün seviyesini bulurken tek eksen takipçi düzlemlili FV sistemde ise 5600 kWh/gün seviyesine kadar çıkmıştır. Tek eksen takipçi düzlemlili sistem için genel bilgileri içeren Tablo 5'te görülmektedir. Şebekeye verilen enerji yaklaşık olarak 1132 MWh olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Tek eksen takipçi düzlemlili FV sistemin genel verileri.

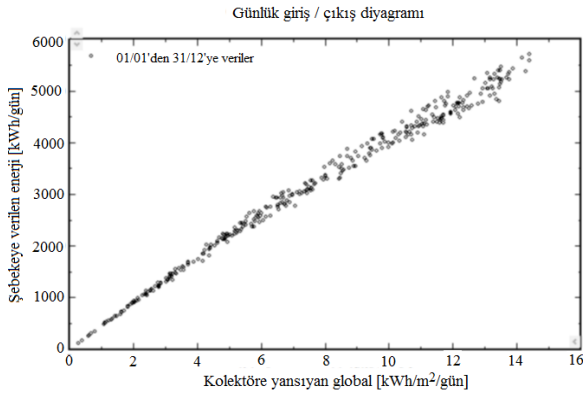
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	Earray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	75.9	28.65	-3.11	115.1	106.0	52.8	51.9	0.902
Şubat	88.6	30.53	-1.74	124.2	115.2	56.3	55.3	0.892
Mart	141.2	47.69	3.11	204.6	191.5	90.3	88.9	0.869
Nisan	178.5	54.28	8.30	250.3	235.6	106.9	105.2	0.841
Mayıs	211.7	66.15	13.41	293.3	276.5	121.2	119.3	0.814
Haziran	258.5	51.82	18.25	371.6	351.3	148.2	145.8	0.785
Temmuz	252.9	52.86	22.20	361.8	342.0	141.5	139.3	0.770
Ağustos	235.0	43.24	22.39	344.1	325.0	134.2	132.1	0.768
Eylül	184.3	40.55	17.53	275.6	259.3	111.9	110.1	0.800
Ekim	125.7	35.96	11.67	187.0	174.4	79.2	78.0	0.834
Kasım	87.8	26.47	4.41	136.4	126.1	60.4	59.4	0.872
Aralık	69.9	22.92	-0.73	104.3	95.6	47.1	46.3	0.889
Yıl	1910.0	501.13	9.71	2768.4	2598.5	1150.1	1131.6	0.818



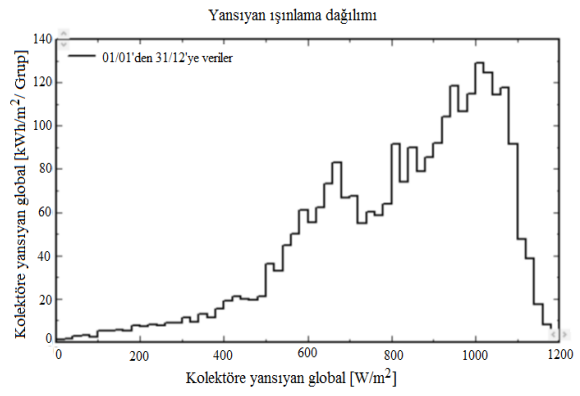
Şekil 20. Tek eksen takipçi düzlemlı FV sistemin kayıplar diyagramı.



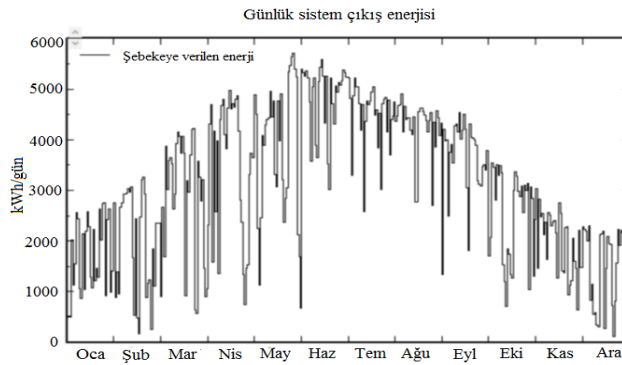
Şekil 21. Tek eksen takipçi düzlemlı FV sistemin kolektör düzlemine yansıyan referans enerji.



Şekil 22. Tek eksen takipçi düzlemlı FV sistemin günlük giriş-çıkış diyagramı.



Şekil 23. Tek eksen takipçi düzlemlı FV sistemin günlük sistem çıkış enerjisi.

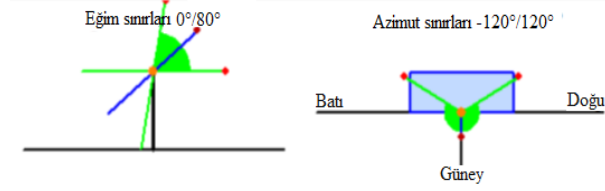


Şekil 24. Tek eksen takipçi düzlemlı FV sistemin yıllık sistem çıkış enerjisi.

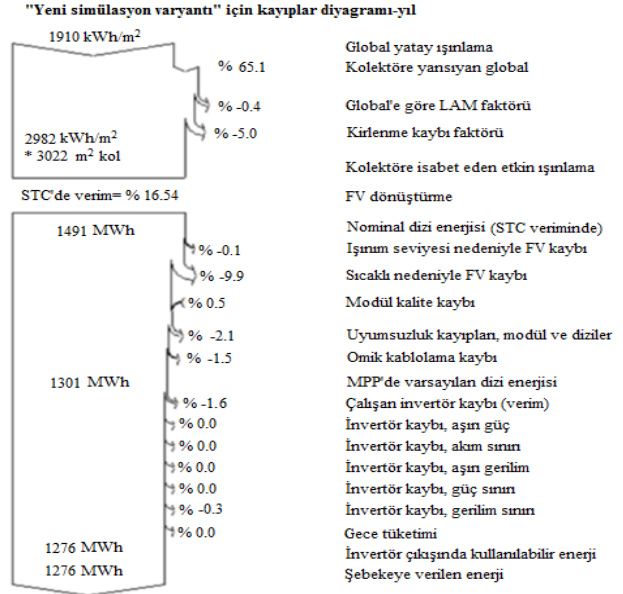
Tablo 6'da MRS Uğraşlar GES ve PVSyst simülasyonu tek eksenli panel sistemine ait aylık üretim verilerinin karşılaştırma tablosu gösterilmiştir. Simülasyon sonucuna göre, sabit eksenli MRS Uğraşlar GES'in tek eksenli sisteme göre yaklaşık % 25 daha az enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Özellikle kış aylarında hareketli panelin verimi çok fazla artırdığı tespit edilmiştir.

4.3. Fotovoltaik Sistemin Çift Eksenli Takipçi Düzlemi ile Tasarımı ve Simülasyonu

Çift eksenli takipçi düzlemlı fotovoltaik sistemin panel yerleşim yönü Şekil 25'te verilmiştir. Fotovoltaik sistemin simülasyonu yapıldığında invertör çıkışında 1276MWh/yıl üretilebilir enerji olduğu görüldü. Ayrıca simülasyon sonucunda kayıpların büyük bir oranının invertör kaybı, sıcaklık nedeniyle FV kaybı ve Ohmik kablolama kaybindan kaynaklandığı görülmüştür. Sistemin kayıplar diyagramı Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 25. Çift eksenli takipçi düzlemlü FV sistem.



Şekil 26. Çift eksenli takipçi düzlemlü FV sistemin kayıplar diyagramı.

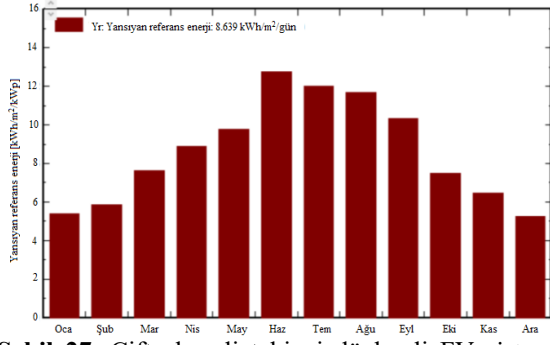
Tablo 6. MRS Uğraşlar GES ve PVSyst tek eksenli aylık üretim veri karşılaştırması.

AYLAR	MRS Uğraşlar Aylık Üretim Verileri ÜRETİM (kWh/ay)	PVSyst Aylık Tek Eksenli Üretim Verileri ÜRETİM (kWh/ay)	FARK (kWh/ay)
Ocak	36.043	51.900	15.857
Şubat	59.871	55.300	-4.571
Mart	68.334	88.900	20.566
Nisan	82.166	105.200	23.034
Mayıs	94.200	119.300	25.100
Haziran	91.156	145.800	54.644
Temmuz	83.740	139.300	55.560
Ağustos	93.289	132.100	38.811
Eylül	85.376	110.100	24.724
Ekim	79.157	78.000	-1.157
Kasım	42.840	59.400	16.560
Aralık	25.143	46.300	21.157
TOPLAM	841.315 kWh/yıl	1.131.600 kWh/yıl	290.285 kWh/yıl

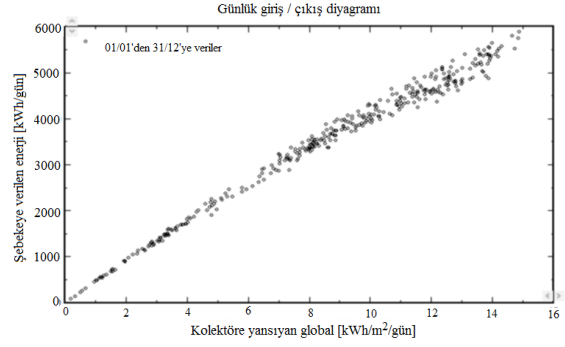
Şekil 27'de kolektör düzlemine yansıyan referans enerji grafiği verilmiş olup yansıyan referans enerjinin 8639 kWh/m²/gün olduğu görülmüştür. Işınlam miktarının sabit eğik düzlemlü FV sistem ve tek eksen takipçi düzlemlü FV sistem ışınlam miktarına göre çok daha yüksek olduğu görüldü. Bu da çift eksenli takipçi sisteminin üretiminin çok daha yüksek olacağını göstermektedir. Şekil 28'de günlük güç giriş/çıkış diyagramı verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere şebekeye günlük verilen enerji miktarı sabit eğik düzlemde 3750 kWh/gün, tek eksen takipçi düzlemlü sistemde 5600 kWh/gün seviyelerinde iken bu değer çift eksenli takipçi düzlemlü FV sistemde 6000 kWh/gün olduğu ve günlük giriş/çıkış eğrisinin önceki sistemlerin eğrisine göre daha lineer olduğu görülmektedir.

Şekil 29'da yansıyan ışınlama dağılımı verilmiştir. Sabit eğik düzlemlü FV sistemde metrekareye düşen ışınlam 90 kWh, tek eksen takipçi düzlemlü FV sistemde 130 kWh seviyesinde iken çift eksen takipçi düzlemlü sistemde 220 kWh olarak görülmektedir. Şekil 30'da günlük sistem çıkış enerjisi gösterilmiştir. Sabit eğik düzlemlü sistemde sistem çıkış enerjisi yaz aylarında 3750 kWh/gün, tek eksen takipçi düzlemlü FV sistemde 5600 kWh/gün, çift eksenli takipçi düzlemlü FV sistemde 6000 kWh/gün seviyelerindedir. Tablo 7'de çift eksenli takipçi düzlemlü sistem için genel bilgileri içeren tablo görülmektedir. Şebekeye verilen enerji 1276,2 MWh olarak görülmektedir. Tablo 8'de MRS UĞRAŞLAR GES ve PVSyst simülasyonu çift eksenli panel sistemine ait aylık üretim verilerinin karşılaştırma tablosu gösterilmiştir. Simülasyon sonucuna göre, sabit eksenli MRS Uğraşlar GES'in çift eksenli sisteme göre yaklaşık %41 daha az enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Özellikle kış aylarında hareketli panelin verimi çok fazla artırdığı tespit edilmiştir. Tasarlanan sistemler genel açıdan incelendiğinde, Tablo 9'da belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır. Tablo 9'da yıl bazında FV sistemlere ait genel veriler gösterilmiştir. Bu veriler doğrultusunda kolektöre yansıyan referans enerji sabit eğik düzlem baz alındığında tek eksen takipçi düzlemlü sistemde %25, çift eksen takipçi düzlemlü sistemde %42 daha fazla olduğu görülmüştür.

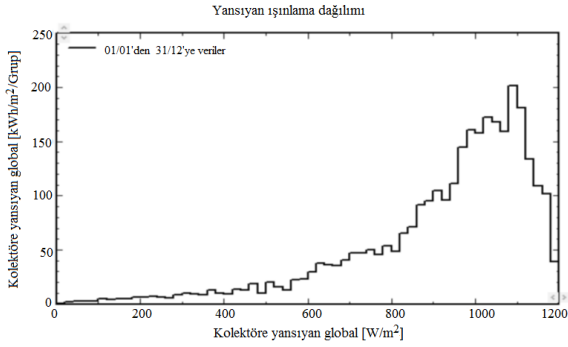
Kolektöre yansıyan referans enerji, panelin güneş ışınlarını alma süresi ve açısıyla doğru orantılı olduğundan çift eksenli takipçi düzlemlı sistemin güneş ışınlarını çok daha fazla ve dik açıyla aldığı görülmüştür.



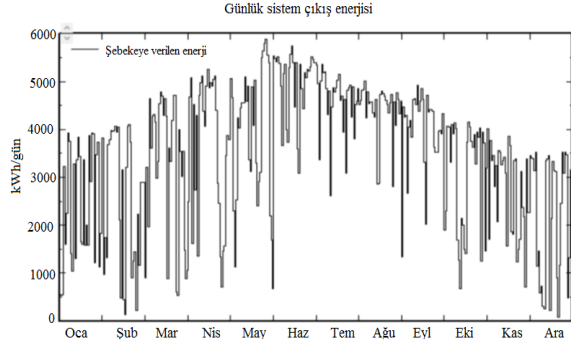
Şekil 27. Çift eksenli takipçi düzlemlı FV sistemin kolektöre yansıyan referans enerjisi.



Şekil 28. Çift eksenli takipçi düzlemlı FV sistemin günlük giriş-çıkış diyagramı.



Şekil 29. Çift eksenli takipçi düzlemlı FV sistemin günlük sistem çıkış enerjisi.



Şekil 30. Çift eksenli takipçi düzlemlı FV sistemin günlük sistem çıkış enerjisi.

Tablo 7. Çift eksenli takipçi düzlemlı FV sistemin genel verileri.

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	Earray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	75.9	28.65	-3.11	167.1	157.9	74.9	73.7	0.883
Şubat	88.6	30.53	-1.74	163.5	154.4	72.0	70.8	0.867
Mart	141.2	47.69	3.11	235.9	222.8	102.4	100.7	0.854
Nisan	178.5	54.28	8.30	266.8	252.1	112.9	111.0	0.833
Mayıs	211.7	66.15	13.41	302.7	286.0	124.7	122.6	0.811
Haziran	258.5	51.82	18.25	382.9	362.5	152.2	149.7	0.783
Temmuz	252.9	52.86	22.20	372.8	352.9	145.0	142.6	0.766
Ağustos	235.0	43.24	22.39	382.1	342.8	139.2	136.9	0.757
Eylül	184.3	40.55	17.53	309.3	292.7	122.8	120.8	0.781
Ekim	125.7	35.96	11.67	232.8	220.1	95.9	94.4	0.811
Kasım	87.8	26.47	4.41	194.4	163.9	84.0	82.6	0.850
Aralık	69.9	22.92	-0.73	163.0	154.1	71.5	70.3	0.863
Yıl	1910.0	501.13	9.71	3153.2	2982.4	1297.3	1276.2	0.810

Tablo 8. MRS Uğraşlar GES ve PVSyst çift eksenli aylık üretim veri karşılaştırması.

AYLAR	MRS Uğraşlar Aylık Üretim Verileri	PVSyst Aylık Çift Eksenli Üretim Verileri	
	ÜRETİM (kWh/ay)	ÜRETİM (kWh/ay)	FARK (kWh/ay)
Ocak	36.043	73.700	37.657
Şubat	59.871	70.800	10.929
Mart	68.334	100.700	32.366
Nisan	82.166	111.000	28.834
Mayıs	94.200	122.600	28.400
Haziran	91.156	149.700	58.544
Temmuz	83.740	142.600	58.860
Ağustos	93.289	136.900	43.611
Eylül	85.376	120.800	35.424
Ekim	79.157	94.400	15.243
Kasım	42.840	82.600	39.760
Aralık	25.143	70.300	45.157
TOPLAM	841.315 kWh/yıl	1.276.100 kWh/yıl	434.785 kWh/yıl

Tablo 9. Yıl bazında FV sistemlere ait genel veriler.

	MRS Uğraslar Aylık Üretim Verileri	PVsyst Sabit Eksenli Aylık Üretim Verileri	PVsyst Aylık Tek Eksenli Üretim Verileri	PVsyst Aylık Çift Eksenli Üretim Verileri
AYLAR	ÜRETİM (kWh/ay)	ÜRETİM (kWh/ay)	ÜRETİM (kWh/ay)	ÜRETİM (kWh/ay)
Ocak	36.043	53.480	51.900	73.700
Şubat	59.871	54.840	55.300	70.800
Mart	68.334	75.060	88.900	100.700
Nisan	82.166	81.380	105.200	111.000
Mayıs	94.200	84.970	119.300	122.600
Haziran	91.156	95.550	145.800	149.700
Temmuz	83.740	93.960	139.300	142.600
Ağustos	93.289	94.370	132.100	136.900
Eylül	85.376	87.110	110.100	120.800
Ekim	79.157	70.350	78.000	94.400
Kasım	42.840	59.460	59.400	82.600
Aralık	25.143	51.350	46.300	70.300
TOPLAM	841.315 kWh/yıl	901.880 kWh/yıl	1.131.600 kWh/yıl	1.276.100 kWh/yıl

5. SONUÇ

Bu çalışmada, FV sistemin sabit eğik düzlemlili, tek eksen takipçi düzlemlili ve çift eksenli takipçi düzlemlili olarak PVsyst platformu altında tasarımı ve benzetimi yapılmıştır. Tasarlanan sistemlerin performans analizlerinde yıllık üretimlerine, kolektör ışınım değerlerine bakılmıştır. Sabit eğik düzlemlili sistemden 902 MWh/yıl, tek eksen takipçi düzlemlili sistemden 1132 MWh/yıl, çift eksenli takipçi düzlemlili sistemden ise 1276 MWh/yıl enerjinin şebekeye verilebildiği görülmüştür. Tek eksen takipçi düzlemlili sistemin % 25, çift eksenli takipçi düzlemlili sistemin ise % 41, sabit eğik düzlemlili sistemden daha fazla enerji üretebildikleri görülmüştür. Takipçi düzlemlili sistemler güneşi takip edip güneş ışınlarını kolektöre en dik açıda alma prensibiyle çalıştıkları için üretim daha fazla olmuştur. Kurulum ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında çift eksen takipçi düzlemlili sistemlerin kurulumunun tek eksen takipçi düzlemlili ve sabit eğik düzlemlili sisteme göre daha avantajlı olacağı düşünülmektedir. Tasarlanan FV sistemler incelendiğinde FV sistem tasarım aşamasında performans analizleri, ilk kurulum ve bakım maliyetleri göz önünde bulundurularak projelendirme yapılmalıdır. FV sistemler üretimleri ile ilk kurulum ve bakım maliyetlerine göre sınıflandırılmalı yatırımcıya kuracağı sistemin maliyetini en kısa sürede amorti edip kara geçebileceği sistem önerilmelidir. Dünyadaki enerjinin ihtiyacını büyük bir kısmının kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan elde ediliyor olması doğaya ciddi zararlar vermekte ve karbon emisyonunu artırmaktadır. Bu oranı azaltmak dolayısıyla doğaya verilen zararları düşürmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini yaygınlaştırmak büyük önem taşımaktadır. Aynı kurulu güçteki sistemlerden daha fazla enerji üretme yolları aramakta bu duruma katkı sağlayacaktır.

Yazar Katkıları

İlk yazar makaleyi yazmış ve düzenlemiştir. İkinci yazar hazırlık ve uygulamada yer almıştır. Bu çalışma ikinci yazarın yürüttüğü Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] W. Nsengiyumva, S.G. Chen, L. Hu, X. Chen, "Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.81, no.1, pp. 250–279, 2017.
- [2] M. Yılmaz, "Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [3] B. Furkan, "Konya şartlarında güneş takipli bir PV sistemi ile diğer PV sistemlerinin verimlerinin karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2024.
- [4] Ç. Emir, "Katar 2030 yılı elektrik üretim kapasitesinin güneş enerjisi ile artırımı: Çatı üstü güneş sistemi tasarımı ve çevreye katkısı", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 2023.
- [5] S. Gorjian, H. Sharon, H. Ebadi, K. Kant, F.B.Scavo, G.M. Tina, "Recent Technical Advancements, Economics and Environmental Impacts of Floating Photovoltaic Solar Energy Conversion Systems", *Journal of Cleaner Production*, vol. 278, no.1, pp.1-69, 2021.
- [6] U. Badak ve A.B. Yıldız, "Fotovoltaik Güneş Paneli Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Verime Etkisi", *İğdır Üniv. Fen Bil Enst. Der.*, vol. 10, no. 4, pp. 2496–2507, 2020.

- [7] A. Awasthi, A.K. Shukla, S.R. Murali Manohar, C. Dondariya, K.N. Shukla, D. Porwal, G. Richhariya, "Review on sun tracking technology in solar PV system", *Energy Reports*, vol. 6, no.1, pp. 392–405, 2020.
- [8] A. Etcı, A. Bilhan, "PVSyst ile Konya İlinde Sabit ve Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Modellenmesi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol.32, no.1, pp. 142-147, 2021.
- [9] H. Karakaya, İ.E. Şen, "Fotovoltaik Panallerde Verim İyileştirme Yöntemleri", *Conference Proceedings of the International Symposium on Innovative Technologies in Engineering & Science*, pp. 1179-1188, 2019.
- [10] B. Dumitrascu, L. Baicu, A.C. Florescu, N. Nistor, "3D Tracking System At Maximum Solar Emissivity With Microcontroller", *IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 2021.
- [11] S. Rustemli, F. Dincadam, M. Demirtas, "Performance comparison of the sun tracking system and fixed system in the application of heating and lightning", *The Arabian Journal for Science and Engineering*, vol.35, no.28, pp. 171-183, 2010.
- [12] S. Seme, B. Štumberger, M. Hadžiselimović, K. Sredenšek, "Solar Photovoltaic Tracking Systems for Electricity Generation: A Review", *Energies*, vol.13, no.16, pp.1-24, 2020.
- [13] İ. Kayri, "Fotovoltaik Uygulamalar İçin Kararlı Tek Eksenli Bir Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Uygulaması", *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 28. no.2, pp. 432-450, August, 2023.
- [14] Ö. Gülaçmaz, H. Başdemir, E. Gülaçmaz, "Mevcut Bir Eğitim Yapısında Enerji Verimliliğini İyileştirmeye Yönelik Bir Analiz", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 10, no. 1, pp. 325–341, 2022.
- [15] S. Rüstemli, F. Dinçer, E. Unal, M. Karaaslan, C. Sabah, "The analysis on sun tracking and cooling systems for photovoltaic panels", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no.22, pp. 598-603, 2013.
- [16] S. Rustemli, Z. Ilcihan, G. Sahin, G.J.H.M. Wilfried van Sark, "A novel design and simulation of a mechanical coordinate based photovoltaic solar tracking system", *AIMS Energy*, vol.11, no.5, pp. 753–773, 2023.
- [17] J.A. Idoko, I.N. Abubakar, H.M. Yusuf, B.M. Mustapha, B.A. Adegboye, "Design and Implementation of Automatic Solar Tracking System to Maximize Solar Energy Extraction", *Bayero Journal Of Engineering And Technology (BJET)*, vol.15, no.3, pp. 110-123, 2020.