

Hareketli ve Sabit Tip Güneş Enerjisi Sistemlerinin Karşılaştırılması

Mehmet Kan^{1*}, Furkan Sülü¹

¹Makine Mühendisliği Bölümü / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
(*mehmetkan@sdu.edu.tr)

(Received: 17 April 2024, Accepted: 25 April 2024)

(2nd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, April 18-19, 2024)

ATIF/REFERENCE: Kan, M. & Sülü, F. (2024). Hareketli ve Sabit Tip Güneş Enerjisi Sistemlerinin Karşılaştırılması. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(3), 127-136.

Özet – Güneş enerjisinin kullanımı günümüzde her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinden en yüksek düzeyde faydalanmak için güneşten gelen ışığın açısına göre sistemler hareket ederler. Bu çalışmada, hareketli ve sabit güneş enerjisi sistemlerinin performansı nümerik olarak incelenmiştir. Ayrıca PVsyst hesaplama programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Hareketli ve sabit tip güneş enerjisi sistemleri Isparta konumunda simülasyon programında kurulmuştur. PVsyst yazılımı, solar pompa on-grid sulama sistemleri, off-grid (OFF-GRID) vb. alanlarda hesaplamalar yapmak için dünya çapında ve ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılım sayesinde santral inşaatı planlanan bölgelerin gölgeleme analizi gibi birçok veriye dayalı olarak yapılabilmektedir. PVsyst programında hesaplamaları sonucunda elde edilen veriler ışığında üretimin detaylı bir analiz sunulmaktadır. Bu üretim analizi, güneş enerjisi konusunda deneyimli EPC (Mühendislik, Tedarik ve Montaj) firmalarından elde edilen bilgiler temel alınarak formüle edilmiş ve maliyet fayda analizi için kullanılmıştır. Yıllık kazançlara bakıldığında sabit sistem yılda 23.438,05\$ kazandırırken hareketli sistem yılda 28.607,88\$ kazandırmaktadır. Buna göre hareketli sistem, sabit sisteme göre yılda yaklaşık %22 daha fazla kazandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Güneş Enerjisi, Güneş Paneli, Pvsyst, Hareketli Güneş Takip Sistemi, Sabit Tip Güneş Enerjisi Sistemi.

I. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı her geçen gün daha da artmaktadır. Fosil yakıtların azalması ve çevreye verdikleri zarardan dolayı enerji arayışları ortaya çıkmaktadır. Bu arayışların sonucunda da yenilenebilir enerji kaynakları ortaya çıkmıştır. Bu kaynaklar yapısı gereği sınırsız olduğu için yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtları gibi çevreye zarar vermemektedirler. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi güneşin çekirdeğindeki helyum gazının hidrojen gazına dönüşmesi sırasında açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesinden fotovoltaik sistemler kullanılmaktadır. [1,2]

Güneş enerjisi sistemleri teknolojinin gelişmesi ile hareketli ve sabit olarak günümüzde sıklıkla görülmektedir. Sabit güneş enerjisi sistemleri, seçilen konstrüksiyon sisteminin üzerine panellerin eğimi genellikle güneşe bakacak şekilde sabit olarak yerleştirilmesidir. Son yıllarda güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte verimlilik çalışmaları hızla artmaktadır. Bu çalışmalardan birisi de sabit güneş panelleri sistemleri yerine hareketli panel uygulamasıdır. Bu sistemlere tracker güneş enerjisi sistemleri de denmektedir. Güneşten gün boyu yararlanmak amacıyla uygulanan tracker güneş enerjisi sisteminin verimliliği artıracağı düşünülmektedir. Literatürde araştırmacıların hareketli ve sabit tip güneş enerjisi

sistemleri ile ilgili çalışmalarına bakacak olursak; Armakan yaptığı tez çalışmasında iki eksenli güneş takip sisteminin prototipini tasarlamıştır. Bu sistemi açık devre bilgisayar kontrollü olarak incelemiştir [3]. Şenpınar yaptığı çalışmada sabit ve hareketli güneş sistemlerinin optimum açısını hesaplayarak bu açı sayesinde sistemlerde elde edilen enerjinin artmasını sağlamaktadır [4]. Bilgin, yaptığı tez çalışmasında fotovoltaik malzemeleri incelemiş ve güneş takibi yapmak için güneş takip sistemini tasarımı yapmıştır. Elde ettiği sonuçlarla hareketli sistemden elde edilen elektrik enerjisi miktarının %37 oranında fazla olduğunu bulmuştur [5]. Uzunok tez çalışmasında iki eksenli güneş takip sisteminin tasarlanması ve sabit sistemle güneş takip sistem eden sistem arasındaki verimi incelemiştir. İskenderun ilçesinde yaptığı ölçümler sonucu %17,07 oranında verim artışını tespit etmiştir. Ayrıca güneş takip sisteminin maliyet analizini de yapmıştır [6]. Karamanav tez çalışmasında güneş enerjisinin mahiyeti ve güneş ışınlarının dünyaya olan etkileri incelenmiş olup, fotovoltaik dönüşüm ilkleri üzerinde durmuştur. Güneş pillerinin verimlilikleri ve kullanım alanları üzerinde tespitler yapmıştır [7]. Çalışkan ve Öztürk çalışmalarında farklı güneş takip sistemlerini incelemiştir. Güneş takip sistemlerinin çalışma prensipleri, birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları, çalışma verimleri gibi özelliklerini deneysel olarak incelemiştir [8]. Tomson tek eksenli güneş panelinin deneysel olarak performans analizi çalışmasında bulundu. Tek eksenli güneş paneli ile sabit tip güneş panelinin karşılaştırılmasını yapmıştır [9]. Sungur çalışmasında PLC ile kontrol edilen iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamıştır. Tasarladığı iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit sistemi karşılaştırmıştır [10]. Sağlam ve Akkaya Oy yaptıkları çalışmada sabit güneş enerjisi sistemi ile iki eksenli güneş takip sisteminin tasarımını ve uzaktan izlenmesini sağlamışlardır [11]. Yılmaz yaptığı çalışmada sabit güneş takip sistemi ile iki eksenli güneş takip sisteminin karşılaştırılmasını yapmıştır [12]. Acakpovi vd. çalışmalarında iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. İki eksenli güneş takip eden sisteminin sabit sisteme göre %10,7 daha verimli olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca sistemin maliyet analizini yaparak bu sistemin avantajlarına ve dezavantajlarını açıklamışlardır [13]. Etcı ve Bilhan yaptıkları çalışmada PVSyst yazılım program ile sabit eksenli veya çift eksenli güneş takip sistemi kullanılması durumunda Konya ilindeki güneş enerji potansiyeline ait analiz yapmışlardır [14]. Kuncan vd. yaptıkları çalışmada Batman ilinde 30 kW şebekeye bağlı güneş enerji sisteminin tasarımını ve simülasyonunu yapmışlardır [15].

Bu çalışmada sabit ve hareketli güneş takip sistemleri simülasyonu yapılarak verim analizi elde edilmiştir. Hareketli ve sabit tip güneş enerji sistemleri her açıdan karşılaştırılarak birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Hareketli ve sabit tip güneş enerjisi sistemlerinin karşılaştırılması ve verim analizinde, PVSyst hesaplama programı kullanılmıştır. PVSyst yazılımı, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız (OFF-GRID), solar pompalı sulama sistemleri vb. alanlarda hesaplama yapmak için dünyada ve ülkemizde sıkça kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım sayesinde, santral kurulması planlanan bölgelerin yıllık güneşlenme saati, ışınlam değerleri, firmalardan alınan geniş ürün yelpazesi, kullanılması planlanan ürünlerin tüm teknik detayları, gölgelenme analizi gibi birçok veri kullanılarak doğru ve tutarlı hesaplamalar yapılabilmektedir. PVSyst programında hesaplamalar yapıldıktan sonra program bize detaylı bir üretim analizi sunmaktadır. Bu üretim analizi, güneş enerjisi konusunda tecrübeli EPC (Mühendislik, tedarik ve kurulum) firmalarından alınan bilgilerin doğrultusunda formüle edilerek maliyet ve kâr analizi yapmak üzere kullanılabilir.

Sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için iki sistemin de kurulu gücü ve konumu sabit tutulmuştur. Şekillerde görüldüğü üzere Isparta Çünür Bölgesi'nde m^2 başına güneşlenme $1654kWh/m^2$ 'dir. Bu değer panellerin verimliliğine doğrudan etki etmektedir.

A. Sabit Güneş Enerjisi Sisteminin Simülasyonu

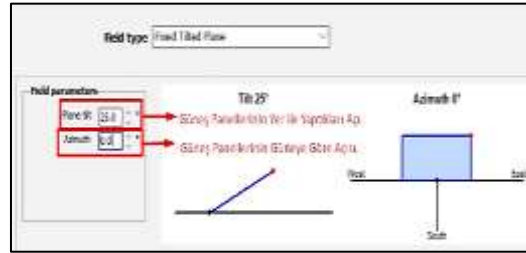
Sabit güneş enerjisi sisteminin simülasyonunda öncelikle kurulması planlanan sistemin konumu belirlenir. Bu çalışmada hem sabit hem de tracker güneş enerjisi sistemi için Süleyman Demirel Üniversitesi Batı Kampüsü tercih edilmiştir. Konum seçildikten sonra PVSyst programı seçilen bölge için yıllık toplam ışınım ve güneşlenme değerlerini getirir (Şekil 1).

	Global horizontal irradiation kWh/m ² /year	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /year	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Cloud turbidity E _t	Relative Humidity %
January	105.7	23.9	1.9	1.70	0.761	74.2
February	116.2	21.1	2.8	1.60	0.800	71.3
March	123.8	20.6	7.0	1.10	0.810	65.2
April	131.1	23.2	13.6	1.00	0.800	62.7
May	133.8	22.2	15.6	1.01	0.790	60.2
June	111.8	19.8	23.2	1.10	0.700	54.1
July	102.9	18.9	24.0	1.00	0.700	44.7
August	114.4	14.4	24.4	1.00	0.700	46.7
September	122.9	17.2	18.1	1.00	0.700	55.5
October	111.9	19.3	13.4	1.10	0.740	62.8
November	101.1	21.3	7.8	1.00	0.800	68.5
December	101.1	21.4	1.4	1.00	0.760	75.5
Year	1204.3	188.5	12.8	1.7	0.871	61.8

Yıllık Ortalama Güneşlenme Saati: 2804.3
Global horizontal irradiation year-to-year variability: 6.8%

Şekil 1. Seçilen konumdaki yıllık güneşlenme saati

Sabit tip arazi güneş enerjisi sistemlerinde panellerin yer ile yapması gereken açı verimlilik açısından büyük önem arz etmektedir. Panel üretici firmalar tarafından belirlenen en verimli eğim açısı ise 25 derecedir. PVSyst programında eğim 'tilt' olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da eğim 25 derece seçilip panellerin güneşe göre yaptığı açı ise en verimli olacak şekilde 0 derece seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Paneller için eğim seçim ekranı

Kurulu AC güç 100kWe, kurulu DC güç ise 131kWp alınmıştır. DC gücün AC güçten fazla olmasının sebebi inverter kayıplarının ve diğer kayıpların meydana gelmesidir. PVSyst programı panellerin kaplayacağı alanı ise 633m² olarak hesaplamıştır. ON-GRİD Fotovoltaik sistemlerde DC/AC güç oranının 1,25'ten fazla ve 1,50'den az olması uygun kabul edilir. Bu işlemler yapıldıktan sonra panel seçimine geçilir. Bu çalışmada şuanda piyasada bolca bulunabilen ve yerli bir marka olan CW Enerji markasının 460Wp gücündeki paneli kullanılmıştır. Panel seçimi yapıldıktan sonra inverter seçimi yapılır. Bir önceki paragrafta bahsedilen kurala göre, piyasada da rahatça bulunabilen ve tercih edilen bir inverter olması açısından Huawei markasının 100Kw güce sahip M1-100-KTL modeli seçilmiştir. Simülasyonun yapılabilmesi için panellerin birbiriyle hangi oranlarda paralel veya seri bağlanmaları gerektiğine karar vermek gerekir. Paneller birbirine seri bağlandığında gerilim, paralel bağlandığında ise akım artar. Panellerin birbiri ile dizelendirilerek seri bağlanmasının en büyük sebebi DC kablo maliyetlerinin azaltılmak istenmesidir. Bu çalışmada da inverterin maksimum alabileceği seri bağlı panel sayısının 18 olduğunun belirlenmesinden dolayı dizeler 18 panelli olarak oluşturulmuştur. Simülasyonun gerçeğe yakın değerler verebilmesi için yıllık kaybın yazılması gerekir. Bu çalışmada yıllık kayıp %1,5 olarak belirlenmiştir. Daha sonra programın kaç kW AC güçte sınırlama yaptığımızı bilmesi için Grid Power Limitation sekmesine 100Kw değeri girilir. Şekil 3'te görülen tabloda sistemin aylık megawatt cinsinden ürettiği değerler verilmiştir. Tablodaki E_grid sütunu tüm kayıplar çıkarıldıktan sonra sistemin net

üretimini göstermektedir. Tablo incelendiğinde sistemin özellikle yaz aylarında daha fazla üretim yaptığı gözlemlenmektedir.



Şekil 3. Üretim tablosu

Eğer sistemde hiç kayıp meydana gelmeseydi şekilde görüldüğü üzere yılda 235.2MWh üretim yapılabilirdi. Ancak kayıpların hesaba girmesiyle bu değer 204.9MWh'ye düşmüştür.

B. Hareketli Güneş Enerjisi Sisteminin Simülasyonu

Hareketli güneş enerjisi sisteminin simülasyonunda öncelikle kurulması planlanan sistemin konumu belirlenir. Tracker güneş enerjisi sistemi için de sabit değer oluşturmak açısından Süleyman Demirel Üniversitesi Batı Kampüsü tercih edilmiştir. Orientation bölümü de hazırlandıktan sonra Near Shading denilen trackerlı sistemlerde yerleşim yapmayı sağlayan ve simülasyonu daha tutarlı bir hale getiren bölüme girilir. Burada panel yerleşimi yapılır. Daha sonra Panellerin kapladığı alan hesaplanır. Son olarak da seçilen bir gün üzerinden bir günlük simülasyonu yapılarak panellere düşen gölge miktarı hesaplanır. Bu projede referans gün olarak 10.06.2022 tarihi seçilmiştir. Kalan tüm kısımlar sabit güneş enerjisi sistemi ile aynı değerler ve aynı malzemeler kullanılarak oluşturulmuştur. Eğer sistemde hiç kayıp meydana gelmeseydi yılda 305.4 MWh üretim yapılabilirdi. Ancak kayıpların hesaba girmesiyle bu değer 254.7MWh'ye düşmüştür.

Simülasyondan alınan bilgiler doğrultusunda üretim verilerini elde ettik. Bu üretim verileri baz alınarak tüketim değerleri ortalama değerler alınarak elektrik birim fiyatı, güncel maliyet, aylık ve yıllık kazanç ve amortisman süresi aşağıdaki Tablo 1'de görüldüğü üzere hazırlanmıştır. Yatırım bedeli, EPC(Mühendislik, Tedarik, Kurulum) firmalarına danışılarak w başına 0,65\$ olarak alınmıştır.

Tablo 1. Sabit sistemde MWh cinsinden aylık üretim ve tüketim tablosu

Aylık Üretim Tablosu				
Ay	Üretim MWh	Tüketim MWh	Mahsuplaşılın Tüketim MWh	Üretim Fazlası Satış Miktarı MWh
Ocak	11,97	15,00	11,97	0,00
Şubat	11,92	15,00	11,92	0,00
Mart	16,85	15,00	15,00	1,85
Nisan	18,10	15,00	15,00	3,10
Mayıs	21,07	15,00	15,00	6,07
Haziran	21,07	15,00	15,00	6,07
Temmuz	21,91	15,00	15,00	6,91
Ağustos	21,58	15,00	15,00	6,58
Eylül	20,56	15,00	15,00	5,56
Ekim	16,13	15,00	15,00	1,13
Kasım	12,94	15,00	12,94	0,00
Aralık	10,82	15,00	10,82	0,00
TOPLAM	204,82	180,00	167,65	37,27

Üretim tablosundaki tüm değerler PVSyst'ten alınan üretim raporunun E-Grid sütunundan alınmıştır. Tüketim değerleri ise sistemin veriminin yüksek olması açısından üretim değerlerine yakın tutulmuştur. Enerji Piyasası denetleme kurulunun her yıl açıkladığı tüketici birim fiyatları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Enerji piyasası denetleme kurulunun her yıl açıkladığı tüketici birim fiyatları

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ocak 2022 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler		
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli
Orta Gerilim / Çift Verimli		
Sanayi	295,6209	34,3846
Ticarethane	274,691	53,5875
Mesken	156,7637	53,0783
Tarımsal Sulama	166,6156	44,1334
Orta Gerilim / Çift Verimli		
Sanayi	306,1338	37,9808
Ticarethane	277,5562	66,8442
Mesken	155,2981	65,5380
Tarımsal Sulama	166,3751	54,9507
Alçak Gerilim / Tek Verimli		
Sanayi	304,1128	56,7641
Ticarethane (30 kWh gün ve altı)	193,6229	79,6378
Ticarethane (30 kWh gün üstü)	283,4458	79,6378
Mesken (8 kWh gün ve altı)	78,7820	77,8883
Mesken (8 kWh gün üstü)	159,2625	77,8883
Tarımsal Sulama	167,1218	65,4368

Tablo 3'te orta gerilim sanayi aktif enerji birim fiyatı, Tablo 4'te sabit sistemde aylık TL bazında kazancı ve Tablo 5'te sabit sistemde yatırım ile bilgilere yer verilmiştir.

Tablo 3. Orta gerilim sanayi aktif enerji birim fiyatı

Birim Fiyatlar	TL/kWh
OG Sanayi Aktif Enerji Birim Fiyatı	3,0613
Dağıtım Bedeli	3,0798
Fatura Birim Fiyatı(KDV Hariç Vergiler)	3,4411
KDV'li	4,0606

Tablo 4. Sabit sistemde aylık TL bazında kazanç

Aylık Üretim Tablosu	
Ay	Toplam Kazanç TL
Ocak	43.463,67
Şubat	43.282,12
Mart	60.129,23
Nisan	63.955,90
Mayıs	73.048,07
Haziran	73.048,07
Temmuz	75.619,60
Ağustos	74.609,35
Eylül	71.486,79
Ekim	67.925,06
Kasım	49.985,79
Aralık	39.287,96
TOPLAM	722.841,60

Tablo 5. Sabit sistemde yatırım ile alakalı diğer önemli bilgiler

Yatırım Bedeli TL (KDV Hariç)	-1.601.308,80
Yıllık Toplam Kazanç TL	722.841,60
Yatırım Bedeli USD (KDV Hariç)	-85.176,00
Yıllık Toplam Kazanç USD	38.449,02
Geri Dönüşüm Süresi / Yıl	2,00
Dolar Kuru	18,80
DC Kurulu Güç (kWp)	131,04
kWh / kWp / yıl	1.156,00
Yıllık Öngörülen Elektrik Zammı	%25

Simülasyondan alınan bilgiler doğrultusunda üretim verilerini elde ettik. Bu üretim verileri baz alınarak tüketim değerleri ortalama değerler alınarak elektrik birim fiyatı, güncel maliyet, aylık ve yıllık kazanç ve amortisman süresi aşağıdaki Tablo 6'da görüldüğü üzere hazırlanmıştır. Yatırım bedeli, EPC (Mühendislik, Tedarik, Kurulum) firmalarına danışılarak w başına 1,1\$ olarak alınmıştır.

Tablo 6. Hareketli sistemde MWh cinsinden aylık üretim ve tüketimi

AYLIK ÜRETİM TABLOSU				
Ay	Üretim MWh	Tüketim MWh	Mahsuplaşılın Tüketim MWh	Üretim Fazlası Satış Miktarı MWh
Ocak	15,16	15,00	15,00	0,16
Şubat	15,22	15,00	15,00	0,22
Mart	19,89	15,00	15,00	4,89
Nisan	20,23	15,00	15,00	5,23
Mayıs	25,68	15,00	15,00	10,68
Haziran	27,52	15,00	15,00	12,52
Temmuz	29,07	15,00	15,00	14,07
Ağustos	25,15	15,00	15,00	10,15
Eylül	25,21	15,00	15,00	10,21
Ekim	20,16	15,00	15,00	5,16
Kasım	16,54	15,00	15,00	1,54
Aralık	13,46	15,00	13,46	0,00
TOPLAM	253,29	180,00	178,46	74,83

Üretim tablosundaki tüm değerler PVSyst'ten alınan üretim raporunun E-Grid sütunundan alınmıştır. Tüketim değerleri ise sistemin veriminin yüksek olması açısından üretim değerlerine yakın tutulmuştur (Tablo 7).

Tablo 7. Enerji Piyasası denetleme kurulunun her yıl açıkladığı tüketici birim fiyatları tablosu

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ocak 2023 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler		
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli
Orta Gerilim / Çift Verimli		
Sanayi	195,4965	14,7972
Ticarethane	179,3849	23,0611
Mesken	129,8706	22,8419
Tarımsal Sulama	134,4881	18,9925
Orta Gerilim / Çift Verimli		
Sanayi	202,1130	16,3448
Ticarethane	182,5837	28,7660
Mesken	130,9038	28,2039
Tarımsal Sulama	135,9633	23,6477
Alçak Gerilim / Tek Verimli		
Sanayi	204,8204	25,2888
Ticarethane (30 kWh gün ve altı)	133,1871	34,2716
Ticarethane (30 kWh gün üstü)	188,4627	34,2716
Mesken (8 kWh gün ve altı)	78,9190	33,5187
Mesken (8 kWh gün üstü)	134,3397	33,5187
Tarımsal Sulama	139,4434	28,1603

Güneş enerjisi sistemleri ülkemizde genellikle sanayi işletmecileri tarafından talep edildiği için birim fiyat belirlenmesi de yukarıda Tablo 8'de görüldüğü gibi OG sanayi aktif enerji birim fiyatı olarak alınmıştır. Tablo 9'da hareketli sistemde aylık TL bazında kazancı ve Tablo 10'da hareketli sistemde yatırım bilgileri verilmiştir.

Tablo 8. OG sanayi aktif enerji birim fiyatı tablosu

Birim Fiyatlar	TL/kWh
OG Sanayi Aktif Enerji Birim Fiyatı	2,0211
Dağıtım Bedeli	0,1634
Fatura Birim Fiyatı(KDV Hariç Vergiler)	2,1846
KDV'li	2,5778

Tablo 9. Hareketli sistemde aylık TL bazında kazancı

Aylık Üretim Tablosu	
Ay	Toplam Kazanç TL
Ocak	54.955,56
Şubat	55.139,24
Mart	69.435,69
Nisan	70.479,55
Mayıs	87.160,84
Haziran	92.793,70
Temmuz	97.538,78
Ağustos	85.538,33
Eylül	85.722,01
Ekim	70.262,25
Kasım	59.180,21
Aralık	48.873,93
TOPLAM	877.077,11

Tablo 10. Hareketli sistemde yatırım bilgileri

Yatırım Bedeli TL (KDV Hariç)	-2.956.262,40
Yıllık Toplam Kazanç TL	877.077,11
Yatırım Bedeli USD (KDV Hariç)	-157.248,00
Yıllık Toplam Kazanç USD	46.653,04
Geri Dönüşüm Süresi / Yıl	2.75
Dolar Kuru	18,80
DC Kurulu Güç (kWp)	131,04
kWh / kWp / yıl	1.156,00
Yıllık Öngörülen Elektrik Zammı	%25

III. BULGULAR

Sabit güneş enerjisi sisteminde kayıplar düşüldükten sonra yıllık net üretim 204.9MWh iken hareketli güneş enerjisi sisteminde kayıplar düşüldükten sonra yıllık net üretim 254.7MWh'dir.

Sabit sistem 627m² yer kaplarken hareketli sistem 641m² yer kaplamaktadır. Sabit güneş enerjisi sisteminde yatırım maliyeti 85.176,00\$ iken hareketli güneş enerjisi sisteminde yatırım maliyeti 144.144,00\$ olarak hesaplanmıştır.

Amortisman sürelerine bakıldığında sabit güneş enerjisi sistemi kendini 2,83 yılda amorti ederken, hareketli güneş enerjisi sistemi kendini 3,67 yılda amorti etmektedir.

Yıllık kazançlara bakıldığında sabit sistem yılda 23.438,05\$ kazandırırken hareketli sistem yılda 28.607,88\$ kazandırmaktadır. Hareketli sistemler sabit sistemlere göre daha maliyetli ve teknolojik olarak daha karmaşık sistemlerdir. Kurulum maliyetleri ve kurulum zamanı hareketli sistemlerde daha fazladır.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Sabit güneş enerjisi sisteminde kayıplar düşüldükten sonra yıllık net üretim 204.9MWh iken hareketli güneş enerjisi sisteminde kayıplar düşüldükten sonra yıllık net üretim 254.7MWh'dir. Bu değerlere bağlı olarak üretim açısından verimlilik hareketli güneş enerji sistemlerinde sabit güneş enerjisi sistemlerine göre yaklaşık %23 daha fazladır. Sabit sistem 627m² yer kaplarken hareketli sistem 641m² yer kaplamaktadır. Buna bağlı olarak sabit güneş enerjisi sistemi kaplanan yer açısından daha verimlidir.

Sabit güneş enerjisi sisteminde yatırım maliyeti 85.176,00\$ iken hareketli güneş enerjisi sisteminde yatırım maliyeti 144.144,00\$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre sabit güneş enerjisi sistemi, hareketli güneş enerjisi sistemine göre yaklaşık %69 daha hesaplıdır.

Amortisman sürelerine bakıldığında sabit güneş enerjisi sistemi kendini 2,83 yılda amorti ederken, hareketli güneş enerjisi sistemi kendini 3,67 yılda amorti etmektedir. Buna göre Sabit güneş enerjisi sistemi kendini hareketli sisteme göre yaklaşık %29 daha erken amorti etmektedir.

Yıllık kazançlara bakıldığında sabit sistem yılda 23.438,05\$ kazandırırken hareketli sistem yılda 28.607,88\$ kazandırmaktadır. Buna göre hareketli sistem, sabit sisteme göre yılda yaklaşık %22 daha fazla kazandırmaktadır.

Hareketli sistemler sabit sistemlere göre daha maliyetli ve teknolojik olarak daha karmaşık sistemlerdir. Kurulum maliyetleri ve kurulum zamanı hareketli sistemlerde daha fazladır. Ülkemizde ve dünyada sabit güneş enerjisi santrallerinin kullanımı daha yaygındır. Bunun en büyük sebebi de rakamlarla açıkladığımız finansal nedenlerdir. Hareketli güneş enerjisi sistemleri, sabit güneş enerjisi sistemlerine göre üretim açısından galip gelse de finansal açıdan hala galip gelememiştir.

Bu çalışmada da görüldüğü gibi hareketli güneş enerjisi sistemlerinin amortisman süreleri ve yatırım maliyetleri kabul edilebilir düzeyin üstündedir. Gelecekte hareketli güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaşabilmesi için maliyetlerin düşürülmesi ve bu maliyetleri düşürebilecek uygun teknolojilerin bulunması gerekmektedir. Eğer hareketli sistemler yaygınlaşırsa gelecekte sabit sistemlere göre daha küçük alanlarda çok daha fazla elektrik üretimi yapılabilecek ve sistemlerin verimliliği artırılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Gündoğdu K., & Kabadayı H. S., & Öztürk A. (2016), Fotovoltaik paneller için güneş takip edebilen basit ve ekonomik bir sistem tasarımı, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, 634-639.
- [2] Akcan E., & Kuncan M., & Minaz M. R. (2020), Pvsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 18, 248-261.
- [3] Armakan E., (2003), Analysis Of Two- Axis Sun Tracking System, Master Of Science, Dokuz Eylül University Izmir Institute of Technology, İzmir.
- [4] Şenpınar A., (2006), Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Elazığ, 36- 41.42
- [5] Bilgin Z., (2006). Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Uzunok S., (2007), Fotovoltaik Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- [7] Karamanav M., (2007), Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [8] Çalışkan H., Öztürk, H.K., (2008), Güneş Takip sistemlerinin İncelenmesi, 2. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, 96-111.
- [9] Tomson T.,(2008), Discrete Two-Positional Tracking Of Solar Collectors, Renewable Energy, Tallin, Estonia, 33(3), 400-405.
- [10] Sungur C., 2009, Multi-Axes Sun-Tracking System With PLC Control For Photovoltaic Panels In Turkey, Renewable Energy, 34(4), 1119-1125.
- [11] Sağlam S., Akkaya Oy S. (2024). İki Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli Fotovoltaik (PV) Sistemlerinin Tasarımı Ve Uzaktan İzlenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1, 348-364
- [12] Yılmaz M., (2013). Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- [13] Acakpovi, A., Asabere, N.Y., Sunny, D.B., (2015). Low Cost Two-Axis Automatic Solar Tracking System, Foundation of Computer Science FCS, New York, ABD, 3(8), 46-53.
- [14] Etcı A., Kocalmış Bilhan A. (2021). PVSyst ile Konya İlinde Sabit ve ift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Modellenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, zel Sayı 32, 142-147.
- [15] Kuncan M., Akcan E., Minaz M. R., (2020). PVSyst Yazılımı ile 30 kW şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 18, 248-261.