



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İki Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli Fotovoltaik (PV) Sistemlerinin Tasarımı Ve Uzaktan İzlenmesi

 Serkan SAĞLAM ^{a,*},  Sibel AKKAYA OY ^a

^a Deniz Bilimleri Ve Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Deniz Bilimleri Fakültesi, Ordu Üniversitesi, Ordu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: serkan.saglam@windowslive.com
DOI: 10.29130/dubited.1053817

ÖZ

Bu çalışmada, iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli fotovoltaik sistemlerinin tasarımı ve uzaktan izlenmesi sağlanmıştır. PV sistemler Samsun ili Bafra ilçesinde bulunan Bafra Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi içerisinde bulunan bir konumuna yerleştirilmiştir. Sistemler aynı süre zarfında, aynı konumda ve birbirlerini gölgelemeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Fotovoltaik sistemlerde elde edilen enerji akıllı inverterler sayesinde belirli aralıklarla alınarak raporlanmıştır. Üretilen enerji değerleri akıllı invertere bağlanan raspberry pi devre kartı sayesinde internet üzerinden bağlantı kurularak alınmış ve internet sitesinde yayınlanmıştır. Uygulaması gerçekleştirilen sistemlerde elde edilen enerji değeri, bu sistemlerin maddi karşılığı, yatırımı karşılama süresi gibi değerler kıyaslanarak iki eksenli takip sisteminin Karadeniz bölgesi için uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistem, Solar sistem, İki Eksenli Takip sistemi

Design And Remote Monitoring Of Two Axis Solar Tracking System And Fixed Axis Photovoltaic (PV) Systems

ABSTRACT

In this research, design and remote monitoring of fixed axis photovoltaic systems with two axis solar tracking system is provided. PV systems are located in Bafra Vocational and Technical Anatolian High School located in Bafra district of Samsun province and placed in a shading area at certain times of the day. The aim of this is to see to what extent the biaxial tracking system will be efficient in case the fixed system is exposed to shading. The energy obtained in photovoltaic systems is reported by being collected in certain periods thanks to intelligent inverters. The generated energy values were taken previously by remote connection by means of raspberry pi circuit board connected to smart inverter and published on the website. The energy value obtained in the systems implemented, the material equivalent of these systems, the values such as amortization of investment were compared and the suitability of the biaxial tracking system for the Black Sea region was investigated.

Keywords: Fotovoltaic system, Solar tracker system, Dual axis tracker system

I. GİRİŞ

Son yıllarda, dünyanın dört bir yanındaki enerji alanı araştırmacıları, fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan sorunlara çözümler aramaktalar. Bu sorunlar arasında fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ve zararlı çevresel gazların salınması bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin en önemli kaynakları güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerjidir. Günümüzde güneş enerjisi, dünyanın her yerindeki mevcudiyeti nedeniyle en çok ilerleme kaydeden yenilenebilir enerji kaynaklarından başında gelmektedir [1].

Geleneksel enerji kaynaklarının üretim ve dağıtım zorluklarının yanında daha hızlı üretim ve son kullanıcıya ulaştırılma avantajı olan yenilenebilir enerji kaynakları gelecek yıllarda bir kurtarıcı olabileceğine sahiptir. Bununla birlikte şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler şebekede meydana gelen enerji kesintilerinin önüne geçerek doğaya CO₂ salınımını azaltabilir [2]. Dünya da 2000 yılından 2016 yılına kadar güneş enerjisinden elde edilen enerji 8 kat artmıştır [3]. Son yıllarda fotovoltaik teknolojinin kurulum maliyetlerinde önemli düşüşler olmuştur. Bu düşüşte kurulum prosedürlerinin optimizasyonu ve üretim süreçlerindeki gelişmeler etkili olmuştur [4].

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bilgi İdaresi kuruluşu tarafından yayınlanan yıllık Enerji Görünümü, 2040 yılına kadar dünyanın enerji talebinin 2014 enerji durumuna göre % 50 artmasının beklendiğini belirtmektedir [6].

PV sistemleri ilk olarak kullanılmaya başlandığında enerji üretim değerleri oldukça düşüktü. Çünkü güneş panelleri sabit olarak konumlanmıştı. Günümüzde güneş enerji sistemlerinin verimlerini arttırmak için güneş panellerini güneşe en dik açı ile konumlandırarak elde edilen verimi arttırmak amaçlanmıştır [7]. Serbestlik derecelerine göre üç tür izleyici vardır: Sabit, tek eksenli ve çift eksenli sistemler. Ayrıca kontrol birimlerine bağlı olarak aktif ve pasif sistemlere ayrılırlar.

Güneşin ışınımının enerjisi ve yönü, dünyanın dönüşü ve atmosferik bileşimi nedeniyle sürekli değişir. PV modülleri, sabitlenmiş montajlı olarak yalnızca güneş tarafından yayılan radyasyon enerjisinin bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilir. Daha fazla enerji üretmek için, PV modülleri güneşe doğru yönelim sağlamalıdır. Geliş açısı ve radyasyon yoğunluğu sabit kaldığında, sonuç olarak enerji sabit kalır. Bu amaçla, bir güneş izleme sistemi kullanmak gereklidir. Bu sadece güneş ışığından verimli bir şekilde yararlanmayı mümkün kılmakla kalmaz, aynı zamanda difüzör radyasyonundan da yararlanmayı mümkün kılar, bu da güneş enerjisi üretiminde % 30-50 artışa neden olur [8].

Güneş takip doğruluğu, aktif izleme sistemi ile iyileştirilebilir. Sistem, güneş panelini güneşin hareketine göre bir dizi kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen bir motor veya hidrolik hareketlendiriciden geçirir. Bu sistem, açık ve kapalı döngüler olarak sınıflandırılabilir. Açık döngü, mikroişlemci tabanlı sistem, güneşin hareketini tahmin etmek için matematiksel formüller kullanır ve güneş ışığını algılamak için algılayıcılara ihtiyaç duymaz. Sistem, mevcut durumu (azimut ve irtifa açılarına göre güneşin konumu) ve geri bildirim ihtiyaçları olmadan algoritma setlerini (güneş ışığını algılayan algılayıcılar) gerektirir. Kapalı devre sisteme kıyasla basit ve düşük maliyetli bir yaklaşımdır. Genel olarak, güneşi izlemek için sisteme bir güneş ışınması geometri modeli yerleştirilmiştir. Açık döngü sistemiyle ilgili sorunlar arasında hata düzeltme özelliği vardır ve sistem, sistemdeki harici bozuklukları (kurulum ve çalıştırma sırasında yanlış hizalama) telafi edemeyebilir [9].

Bir diğer önemli özellikleri, kurulumdan sonraki işletme ve bakım maliyetlerinin az olmasıdır. Fotovoltaik panellerin birçok avantajına karşılık, bu sistemlerin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması özellikle küçük kullanıcıların bu yatırıma uzak durmasının sebeplerindedir. Ayrıca panel verimlerinin ilk kullanımlarda %20-30'ler civarında olması ve geçen yıllar boyunca verimin düşmesi sebebi ile de maliyetlerini amorti edebilme süreleri de oldukça uzundur. Bu sebeple fotovoltaik panellerden etkili bir şekilde faydalanabilmek için kullanım amacına ve kurulacak alana uygun bir sistem seçimi yapmak son derece önemli olmaktadır. Özellikle ülkemizde kurulum maliyetini düşük tutabilmek adına sabit sistemler tercih edilmektedir. Halbuki yatırım miktarını biraz arttırarak takip mekanizmasına sahip sistemler sayesinde elde edilecek verimi fark yaratacak şekilde yukarıya taşımak

mümkündür. Ancak takip sistemi uygulaması yapılır iken tek eksen veya iki eksenli sistemler arasında bulunan maliyet ve verim oranları da dikkatli bir şekilde araştırılmalıdır. Fotovoltaik paneller sabit yerleştirildiği uygulamalarda panellerden elde edilen enerji miktarı, güneşin doğuş ve batış saatlerinde düşük olmaktadır. Bu olumsuzluğun önüne geçebilmek için tek eksenli, çift eksenli, güneş odaklamalı sistemler gibi güneşi izleyebilen sistemler son yıllarda popüler çalışma alanları haline gelmiştir.

Mostefa G. [10] sabit bir fotovoltaik sistem ile çift eksenli takip sistemini sıradan bir aydınlatma ile test ederek sistemler arasındaki verimi incelenmiştir. Işık kaynağının değişik konumlar ile test edilmesi ile birlikte takip sisteminin motorlarının harcadığı enerji dikkate alınmadığı durumda %69' a varan bir enerji üretim farkı olmuştur. Ancak üretim farkı tüm harcamalar dikkate alındığında %32 oranında belirlenmiştir. Taher M. ve ark. [11] yaptıkları çalışmada sabit, tek eksen ve çift eksen sistemlerin enerji üretim değerlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada hem kış hem yaz aylarında sonuçlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı coğrafi bölgeye göre değişik açılarda konumlandırmanın yapıldığı çalışmada kış aylarında %30 yaz aylarında %44'e varan bir üretim farkı ortaya çıkmıştır. Sebastijan S. [12] ve ark. Slovenya da yaptıkları çalışmada sabit fotovoltaik sistem ile iki eksenli güneş takip sistemlerinin enerji üretim değerlerini karşılaştırmışlardır. İki eksenli takip sistemini dişi sistemler ile konumlandırılan sistemlerde iki eksenli takip sistemi, sabit sisteme göre %27 oranında fazla üretim yaptığını ortaya koymuşlardır.

M Sidek [13] ve ark. Hassas yükselme açlarına sahip iki eksenli takip sistemi ile gerçekleştirdikleri çalışmada 1 yıl boyunca elde ettikleri sonuçları incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda kapalı bir havada iki eksenli takip sistemi %12 oranında verim farkı elde ederken açık günde maksimum %26 oranında enerji farkı elde etmiştir. Emmanuel M.; [14] ve ark. Botswana da birçok solar takip sistemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Tek eksenli, doğu-batı eksenli, güney doğu eksenli, iki eksenli takip sistemlerini fiziki anlamda uygulamasını yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda en çok verim alınan montaj teknolojisi %33-43 arasında değişen oranlar ile iki eksenli takip sistemi olmuştur. P.M. Rodrigo [15] büyük solar takip sistemleri yaptığı çalışmada panel sistemlerinin birbirlerini gölgeme durumlarını ve yerleşim özelliklerini incelemiştir. Bu araştırma sonucunda yapılan iyileştirmeler ile panel etkinliklerinin %24, kablolu maliyetlerinin %7 oranında azalabileceğini ortaya koymuştur. P.A. Hohne [16] ve ark. şebeke bağlantılı hibrid sistemlerde kullanılmak üzere iki eksenli takip sistemlerini farklı senaryolar da inceleyerek yatırım ve geri dönüş kazanımlarını incelemişlerdir. Bir sağlık kuruluşunda enerji depolama ihtiyaçları da göz önünde bulundurularak yapılan çalışmada iki eksenli takip sistemleri ile birlikte akü sistemlerinin kullanılması sayesinde %32'lik bir enerji artışına imkan vereceği sonucuna ulaşmışlardır. Woradej M. [17] ve ark. Tayland'da iki eksenli takip sisteminin 2 ve 4 kenarına sırası ile yansıtıcı aynalar ekleyerek, solar sisteme olan etkilerini incelemiştir. Çalışma sonunda 2 yansıtıcılı solar sistem %13, 4 yansıtıcılı solar sistemin %16 yansıtıcı olmayan iki eksenli takip sistemine oranla verimli olduğunu bilgisine ulaşmışlardır.

M. Hoffmann [18] ve ark. Brezilya'da gerçekleştirdikleri çalışmada 152 gün boyunca aylık periyotlar halinde iki eksenli solar takip sisteminin verim analizini yapmışlardır. Çalışma süresinin %40'ı kapalı hava şartlarına sahip olmuştur. Yaklaşık 6 ay boyunca yapılan çalışma sonunda kış aylarında %17 yaz aylarında %31'lik verim farkı elde edilmiş olup. Toplam verim ortalaması %23 olarak ortaya çıkmıştır. F.A.Khalil [19] ve arkadaşları İran'da yaptıkları çalışma ile farklı izleme senaryoları ile sabit sistemleri birbirileri ile olan verim ve enerji kayıplarını ortaya koymuşlardır. İncelenen sistemleri arasında iki eksenli izleme sistemi, dikey izleme sistemi, şebeke bağlantılı sistemler bulunmaktadır. Çalışma sonunda %32 oranı ile iki eksenli takip sistemi en çok verim elde sistem olmuştur. Mehmet D. ve ark. [20] hava kurutucu sistemleri plc ve takip sistemi ekleyerek etkinlikte meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. İki eksenli takip sistemini hava kurutucu sistem ile birleştirerek plc destekli olan sistem sabit solar sisteme göre %42-52 değerleri arasında fark meydana getirmiştir. Laurie B.[21] ve ark. yüksek albedo değerine sahip ortamda gerçekleştirdikleri çalışmada, iki eksenli güneş takip sisteminin bir bölümüne fotovoltaik panelleri düz bir şekilde, diğer bölümünü panelleri ters bir şekilde yerleştirmişlerdir. Işığı yansıtma değer olarak bilinen albedo değeri karlı bölgelerde maksimum seviyede olduğu için ışığın büyük bir bölümünü geri yansıttığı için olumsuz etki göstermektedir. Laurie B. ve ark. tek yüzlü güneş takip sisteminin normal sisteme oranla %41 daha fazla verim getirisinde bulunacaklarını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada sabit tek yüzlü sistemin standart sisteme oranla %14

daha fazla kazanımı olduklarını ifade etmişlerdir. Sidharth M. [22] ve ark. prototip olarak hazırladıkları sistemde bir adet iki eksenli takip sistemi ile bir adet sabit sistemi mukayese etmişlerdir. Takip sistemlerinin harcadıkları enerjiyi minimize etmek için belirli periyotlar da takip adımı gerçekleştiren sistem hazırlamışlardır. Bu çalışma sonucunda iki eksenli takip sistemi sabit sisteme oranla %37 daha fazla çıkış gerilimi elde etmişlerdir.

Iswadi H.[23] ve ark. hareket gücünün servo motorlar ile sağlandığı güneş takip sistemi çalışmasında; sistemlerini sabit eksenli fotovoltaik sistem ile kıyaslamış ve çalışma sonucunda %61,84 oranında kazanç sağlamışlardır. Hussain M. F [24] ve ark. bulunan konumun bulutlanma durumunu dikkate alarak hazırladıkları çalışmada sabit sistem, tek eksenli takip sistemi ve iki eksenli takip sistemini bir arada incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda tek eksenli takip sistemi %32.2, iki eksenli takip sistemi %36.8 oranında verim elde etmiştir. Bulutlanmanın ise %3.44 oranında kayıp oluşturduklarını bildirmişlerdir. Youcef B. [25] ve ark. Cezayir’de yaptıkları çalışmada dişli sistemler ile hareket kabiliyeti kazandırdıkları iki eksenli takip sistemlerini, sabit fotovoltaik sistem ile verim olarak kıyaslamışlardır. Bu çalışma sonucunda iki eksenli takip sistemi %20 oranında daha fazla verim elde ettiği bildirilmiştir. Flores Hernández ve ark. [26] mekanik olarak farklı bir tasarım kullandıkları iki eksenli takip sistemini, sistem dışarısında bulunan ve güneş konumunu belirleyen alıcı sistem ile kontrol etmişlerdir. Meksika’da yaptıkları çalışma sonucunda %32’ye varan enerji kazanımını rapor etmişlerdir. Jie Sun [27] ve ark. sıcak su sağlamak için parabolik sistem araştırması yaptıkları çalışmada, ayna sistemini iki eksenli takip sistemi ile birleştirmişlerdir. Bu çalışma sonrasında %68 ısı kazancı ve toplama verimi ise % 17-18 olarak bildirilmiştir. Hassan F. [28] iki adet güneş takip sistemi tasarlamıştır. Bu sistemlerin bir tanesi sensör içermeyen diğeri ise sensör içeren yapıdadır. Algılayıcı içeren iki eksenli takip sistemi, 4 farklı mevsimde sırasıyla 27.7%, 32.5%, 37.3%, 42.7% sensör içermeyen iki eksenli takip sistemi ise 19.1%, 22.4%,26.1%, 30.2% değerlere ulaşmıştır.

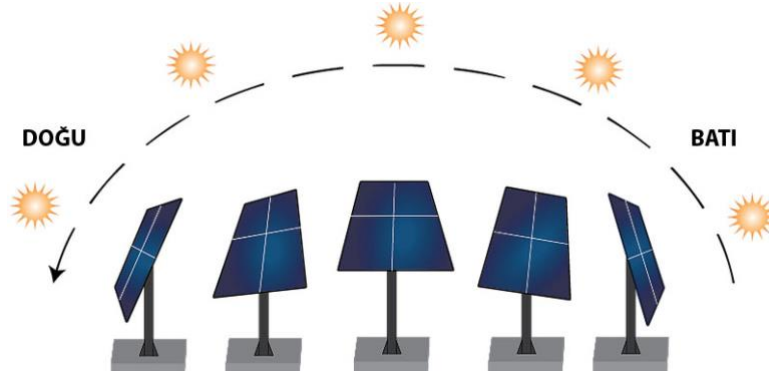
Ahmad I. B. I. [29] ve ark. prototip olarak gerçekleştirdikleri ve dişli sistemler ile çalışan iki eksenli takip sistemi sabit fotovoltaik sisteme oranla %20 fazla verim elde etmiştir. Paweł O. [30] ve ark. soğutma sistemlerinin güneş takip sistemleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda solar panellerinin soğutulması durumunda takip sistemlerinin %1 daha fazla enerji verimi elde edebileceği sonucuna varmışlardır. Hyuna K.[31] ve ark. takip sistemi tasarımında hava durumunun önceden tespit edilmesinin etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre özellikler bulutlu havalarda takip sisteminin minimum izleme sistemi sayesinde %24.88 oranında net verim elde edebileceğini bildirmişlerdir. Yönetken A. ve ark.[32] yaptıkları çalışmada aynı teknik özelliklere sahip 3 adet güneş paneli üzerine 3 farklı tip algılayıcı yerleştirmiştir. Elde edilen verilere göre güneş panellerinin sabit ve 2 eksenli hareketli konumda toplam üretimleri karşılaştırıldığında hareketli konumun sabit konuma göre; ışık sensörlü sistemde %36,68 oranında, smd sensörlü sistemde %38,42 ve ışığa duyarlı dirençli sistemde %43,58 oranında artış görülmüştür.

Bu çalışmada iki eksenli takip sistemi ile sabit fotovoltaik sistemin enerji verim değerleri karşılaştırılarak birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları göz önüne koyulacaktır. Türkiye’de bulunan Karadeniz bölgesinde takip sistemlerinin çok fazla kullanılmaması sebebi ile bu konu üzerinde durulmuş ve detaylı bir çalışma yapılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir güneş izleme sistemi, güneşin konumunu izler ve güneş fotovoltaik modüllerini en iyi güç çıkışını üreten bir açıda tutar. Güneşi verimli bir şekilde izlemek için farklı güneş izleme ilkeleri bulunmaktadır. Bir güneş izleme sistemi tasarlanmanın arkasındaki fikir, fotovoltaik modüllerini maksimum güneş ışığını yakalamak için güneşin hareketini gökyüzünde izleyebilecek bir konuma yerleştirmektir. İzleme sistemi, elektrik enerjisi çıkışını en üst düzeye çıkarmak için en iyi geliş açısını alabilecek bir konuma yerleştirilmelidir. Günlük ortalama güneş ışınımı dünya çapında 4 – 7 kilo-Watt-Saat (KWh / m²) arasında değişmektedir. Bu yüksek miktardaki günlük güneş ışını, su pompalama, telekomünikasyon ve aydınlatma gibi elektrik üretimi için pek çok uygulamada güneş enerjisinin kullanılmasına yol açmıştır.

Güneş ışınımı aylara, günün saatine, hava koşullarına, coğrafi bölgeye ve güneşin gökyüzündeki konumuna göre değişir. Çift eksenli izleme sistemleri, doğu-batı ve kuzey-güney olmak üzere iki eksende güneşin yörüngesini takip eder. İzleme sistemlerini ve tahrik trenlerini kontrol etmek için, kapalı döngü ve açık döngü kontrol sistemleri kullanılabilir. Kapalı-döngü kontrol sistemleri, konumu belirleyen foto sensörleri kullanır. Açık döngü kontrol sistemleri havanın bulutlu olma durumuna karşılık güneşin konumunu matematiksel bir algorithmadan alır ve güneş panelini konumlandırır. Bulutlu havalarda kapalı döngü sistemler fazla hareket edeceği için aşırı enerji tüketimine sebep olur. Bu sorunu gidermek için hibrit sistemler kullanılır. Türüne bakılmaksızın izleme sistemi, uzun ömür, minimum ile güvenilir çalışma bakım ve dolayısıyla düşük işletme maliyetleri gereklidir.



Şekil 1. Güneş takip sistemi.[33]

Yapılan çalışmada 2 adet solar sistemin birbirilerine olan farklılıkları ortaya koyulmuştur. Sistemlerden ilki 260 watt güneş paneline sahip sabit eksenli güneş enerji sistemidir. Bu sistem için 1 adet 260 watt güç üretebilen polikristal yapıda güneş paneli kullanılmıştır. Paneli teknik özellikleri Tablo 1. de verilmiştir.

Tablo 1. Güneş teknik panel özellikleri.

Maksimum Güç (P_{max})	260Wp
Modül Verimliliği	15,86
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	30,4
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	8,56
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	37,3
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9,04
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40~+ 85°C
Maks. Seri Sigorta Akımı	15A

Tablo 2. Güneş paneli mekanik özellikleri.

Hücre Boyutu	156,75 mm x 156,75 mm
Hücre Sayısı	60 (6X10)
Ağırlık	18 kg
Panel Boyutu	1648x995x35mm
Maks. Rüzgar/Kar Yüğü Dayanımı	2400/5400 Pa
Bağlantı Kutusu	IP67

Sabit eksenli güneş enerji sistemi için panel 30° ile montajı yapılan mekanik sisteme sabitlenmiştir. Panel çıkışına 1 adet 24 V. akü ile birlikte 1 adet 24 V. Tommatech marka New 3K model inverter bağlanmıştır. Kullanılan inverter panel üretim değerlerini zamansal olarak saklayabilmesi için akıllı inverter olarak bilinen üründen tercih edilmiştir. Bu sayede yıl boyunca üretilen enerji değerleri kaydedilmiştir. Kurulu montaj hali Şekil 2. ve 3. de verilmiştir.



Şekil 2. Sabit eksenli güneş enerji sistemi.

Çalışmada kullanılan diğer sistem 2 eksenli güneş enerji sistemidir. Bu sistemde Tablo 1. de özellikleri verilen güneş paneli kullanılmıştır. İki eksenli güneş takip sistemi güneşi takip ederken pasif takip sistemi esasına dayanmaktadır. Mekanik sistem üzerinde bulunan 4 adet ışığa bağımlı direnç sayesinde ışık bilgisini almakta ve bu değerleri kıyaslayarak ufuk açısı ve yükseklik konumunda hareketi sağlamaktadır. İki eksenli takip sistemlerinde panel konumlandırmalarının yapılabilmesi için genellikle dişli sistemler kullanılmasına rağmen çalışma yapılan sistemde 2 adet lineer hareketlendirici kullanılmıştır. Sistemde kullanılan lineer hareketlendiricinin teknik özellikleri Tablo 3.de verilmiştir.

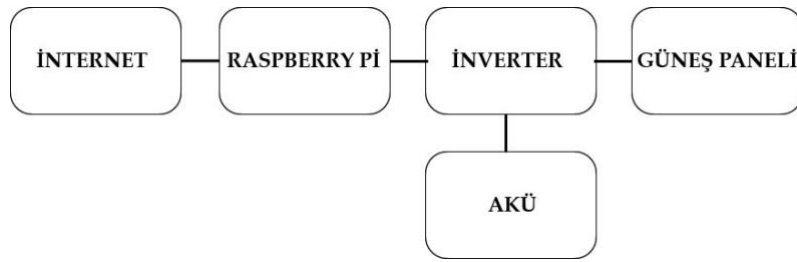
Tablo 3. Lineer aktüatör özellikleri.

Dinamik Yük Kapasitesi (itme) N	6000
Dinamik Yük Kapasitesi (çekme) N	4000
Statik Yük Kapasitesi (itme) N	6000
Statik Yük Kapasitesi (çekme) N	4000
Giriş Voltajı	24
Tam Yükte Hızı	3
Strok Ölçüsü	500
Limit Anahtarı	Var
Aşırı Yük Koruması	Var
IP Sınıfı	IP66
Çalışma Sıcaklığı	+5°C ~ +40°C

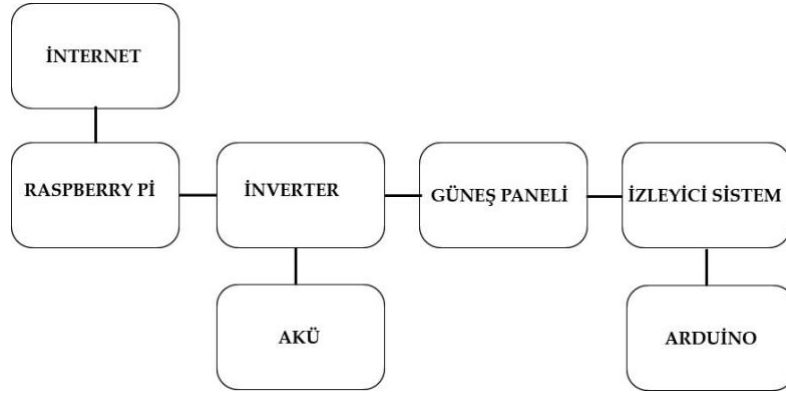


Şekil 3. İki eksenli güneş takip sistemi.

Mekaniksel kurulumları yapılan güneş enerji sistemlerinden üretilen enerji verisini elde edilmesi, sistemde kullanılacak akıllı inverterler aracılığı ile yapılacaktır. Sabit eksenli güneş enerji sisteminde panel çıkışı akıllı invertere bağlanırken, iki eksenli takip sisteminde bu bağlantıya ek olarak ve raspberry pi programlama kartı kullanılacaktır. Güneş konumunu takip için, arduino programlama kartı ile 4 adet LDR sensör kullanılmaktadır. Takip sistemlerinde güneşten enerji elde edilirken, takip mekanizması için ne kadar enerji harcanacağı önem taşımaktadır. LDR'lerin ne kadar zaman ara ile kıyaslama yaptığı ve kıyaslama sonucunda motorların ne kadar süre ile hareket ettiği önemlidir. Çok sık kıyaslama yapılması durumunda sensörlerin çok hassas olmaması durumunda motorlar ileri ve geri hareket yapabilir veya yaptıkları çok küçük hareket elde edilen enerjiye karşılık gelmeyebilir. Bu sorunun önüne geçmek için sensörlerden gelen verileri 15 dk. ara ile kıyaslama yapılmıştır. Bu süre güneşin yer değiştirmesi ve enerji üretimi için optimum süre olduğu yapılan çalışma sonucunda görülmüştür. Takip mekanizmasının gün sonunda başlangıç noktasına gelmesi ve gün battıktan sonra sürekli olarak çalışmasının önüne geçmesi için arduino ile birlikte kullanılan saat modülü entegre edilmiştir. Bu modül sayesinde saat bilgisine bakılarak istenen saatlerin dışında çalışılmasının önüne geçilmiştir. Kullanılan lineer aktüatör içerisinde barındırdığı limit anahtarı sayesinde son kademeye geldikten sonra adım sinyali gelse bile akım çekmediği için herhangi bir enerji tüketimi söz konusu olmamaktadır. Bu sayede yaz ve kış günlerinde farklı saatlerde kararlı havaya karşı sistem yazılımında değişiklik yapmaya gerek duyulmamaktadır. Şekil 6. ve şekil 7. de sabit eksenli ile iki eksenli güneş takip sistemlerine ait blok diyagram görülmektedir.



Şekil 4. Sabit eksenli güneş enerji sistemi.



Şekil 5. Hareketli eksen güneş enerji sistemi.

Sabit eksenli sistem ve iki eksenli takip sisteminde yıl boyunca veri alabilmek için sistem tasarımına yazılım ile müdahale etmek gerekmiştir. Büyük çapta projelerde uzaktan izleme sistemleri kullanılmaktadır. Ancak sistemin yapısı itibari ile uzaktan izleme sistemlerinin maliyetli oluşu sebebiyle daha hesaplı bir çözüm kullanılmıştır. Her iki sistemde kullanılan akıllı inverterler teknik özellikleri sayesinde panellerin ürettiği enerjiyi kayıt altına almaktadır. İnverterlerin çıkışına bağlanan 24 v. aküler sayesinde enerji üretimi bitse dahi inverterler, arduino ve raspberry programlama kartları çalışmaya devam etmektedir. Çalışma süresince olabilecek teknik sorunlarda (bağlantı sorunları, şiddetli hava olayları, vb.) veri kayıtlarını güven altına alabilmek için raspberry programlama kartlarına Windows IOT işletim sistemi kurulmuştur. Akıllı inverterler ile birlikte gelen yazılım Windows işletim sistemine uygun olduğu için IOT cihazlar için üretilen sürüm kullanılmıştır. Güneş enerji sistemlerine bağlanan raspberry pi programlama kartları dahili wifi özelliğine sahip olduğu için inverter yazılımları tarafından verilerin belirli periyotları ile alınması ve indirilen dosyanın gün sonunda e-posta ile gönderilmesini sağlayan bir yazılım tasarlanmıştır.

Mevcut çalışma 1 yıl boyunca 2 tip güneş enerji sisteminin çalışmasından olmuştur. 1 yıl sonunda 2 sistemin de kümülatif enerji değeri üzerinden çıkarımda bulunulacaktır. Kümülatif enerji tüm yoğunluk değerlerinin belirli bir süre boyunca hesaplanmasından oluşur. Toplam enerji üretimi 1 yıl üzerinden hesaplanacaktır. Bu hesaplama yapılırken ana denklem;

$$E_{inc} = \int_{T_{SS}}^{T_{SR}} I_{inc} dt \quad (1)$$

Formülde A güneş panelinin yüzey alanı, T_{SS} ve T_{SR} güneşin doğuş ve batış zamanı, I_{inc} güneş enerji değeridir. Sabit eksenli güneş enerji sistemi için güneş ışıını şü şu şekilde ifade edilir.

$$I_{inc} = I * \cos\delta * \cos\theta \quad (2)$$

Formülde θ güneş ışığı ile panel arasındaki açıdır, δ eğim açısıdır, güneş ışığının geliş açısı günün saatine ve ayrıca mevsime göre değişiklik gösterdiği için formüle göre güneş ışıını da değişir. Çift Eksen için δ ve θ her ikisi de sıfırdır. Tek Eksen için δ Mevsimlere göre değişir ancak θ değişmez. Güneş ışıının teorik değeri;

$$I = I_0 * (0.7) AM^{0.678} \quad (3)$$

olarak ifade edilir. Burada $I_0 = 1367 \text{ W / m}^2$ atmosfer dışındaki uzaydaki güneş ışıınıdır ve $AM = \csc(\alpha)$, yeryüzü üzerindeki güneş ışığının yükselme açısının (α) bir fonksiyonu olan ve irtifa olarak da bilinen hava kütesidir. Herhangi bir zamanda güneş ışığının geliş açısı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta\sin\gamma + \cos\delta\cos\gamma\cos\omega) \quad (4)$$

Burada φ enlemdir ve δ eğim açısıdır.

$$\delta = 23.45^0 \sin \left\{ \frac{360}{365} (n + 284) \right\} \quad (5)$$

Burada n = yılın n . günü (yani 1 Ocak n = 1 anlamına gelir). ω saat açısıdır ve gün doğuşundan gün batımına kadar gün içinde geçen saat sayısını derece olarak ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\omega = \omega_s - 15 (t - T_{sr}) \quad (6)$$

t , 24 dilimine göre günün saatidir, ω_s verilen gün doğumu açısıdır.

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \varphi \tan \delta) \quad (7)$$

Bulutlanma güneş enerji sistemlerinde çözümü olmayan doğal bir sorundur. Bulutun varlığı, güneş enerji verimliliğini olumsuz yönde etkiler. Bulut, güneşten gelen radyasyonun önemli bir kısmının dünya yüzeyine ulaşmasını engeller. Güneşte güneşlenme, belli bir zaman penceresinde belirli bir yatay yüzey tarafından alınan ve görünüşe göre güneşin yüksekliğine ve bulutun örtüsüne bağlı olan güneşin radyasyon enerjisinin ölçüsüdür. Yapılan çalışma Karadeniz Bölgesinde olduğu ve Karadeniz Bölgesinin bulutlanma etkisi fazla olduğu için, güneşli günlerde ve bulutlu günlerde enerji miktarını yaklaşık olarak hesaplamak gerekir. Tamamen bulutlu bir günde alınan enerji, tamamen güneşli olan bir gündeki enerjinin yaklaşık %20-%30 arasına karşılık gelir. Bununla ilgili matematiksel formül aşağıda verilmiştir:

$$E_{güneş} = \int_{TSR}^{TSS} (I \sin \alpha + 0.1I) dx \quad (8)$$

$$E_{bulut} = \int_{TSR}^{TSS} 0.2 I dx \quad (9)$$

Diğer adım yaklaşık güneşli ve bulutlu gün sayısını bulmaktır.

$$E_{toplam} = x * E_{güneş} + y * E_{bulut} \quad (10)$$

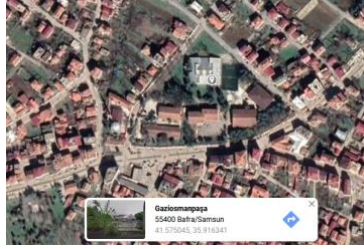
$$x + y = Toplam \text{ istenen aylar} \quad (11)$$

Tüm bu denklemlerden yola çıkarak aşağıdaki formül ile bulutlu ve güneşli günlerden üretilen toplam enerji bulunmaktadır.

$$E_{toplam} = Toplam \text{ Gün} \text{ İstenen Ay} * E_{güneş} \quad (12)$$

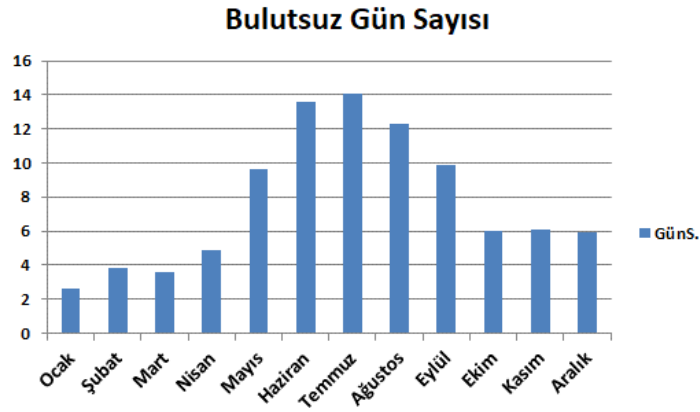
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma Samsun ili Bafra ilçesi Bafra Meslek ve Teknik Anadolu Lisesi'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışma 01.01.2020 – 01.01.2021 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Bu tarihler arasında toplamda 14 gün boyunca teknik sorunlar sebebiyle enerji üretimi durmuştur. Ancak iklim özelliklerine göre bir önceki ve sonraki gün verisinin ortalaması alınmıştır.



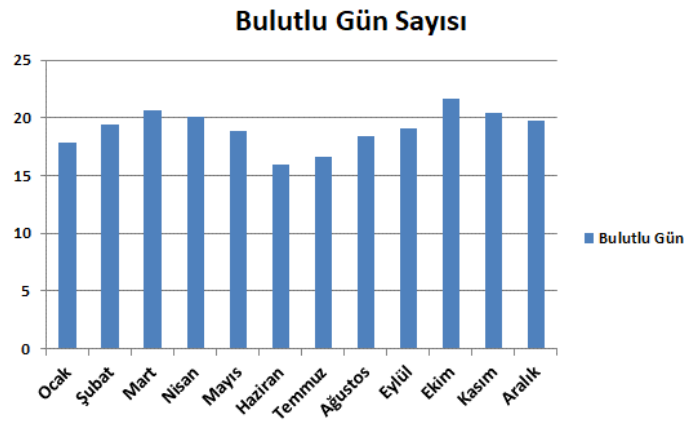
Şekil 6. Çalışma alanı coğrafi özellikleri.

Çalışma süresince güneş enerji sistemlerinin bulunduğu konuma ait iklim olayları grafikler ile gösterilmiştir. Çalışma yapılan yıl boyunca çalışma konumu için toplamda 92 gün bulutsuz olarak tespit edilmiştir. İlgili grafik Şekil 9. da verilmiştir.



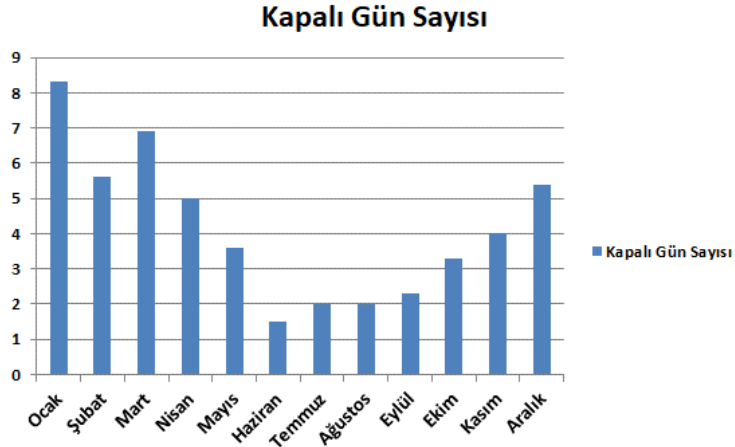
Şekil 7. Bulutsuz gün sayısı.

Çalışma süresi boyunca toplam 228 gün bulutlu olarak kayıt edilmiştir.



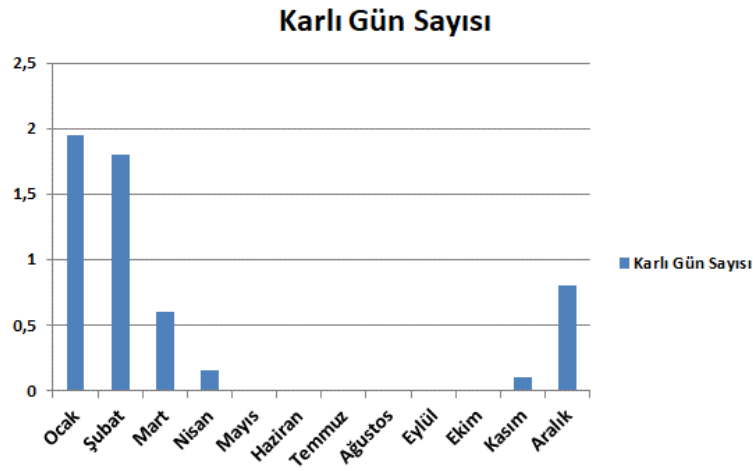
Şekil 8. Bulutlu gün sayısı.

Yapılan çalışma süresince enerji üretiminin en düşük olduğu ve gökyüzünün tamamen kapalı olduğu gün sayısı 44 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 9. Kapalı gün sayısı.

2020-2021 tarihleri arasında çalışma yapılan konumda şiddeti değişken olmak ile birlikte 7 gün kar yağışlı olarak tespit edilmiştir.



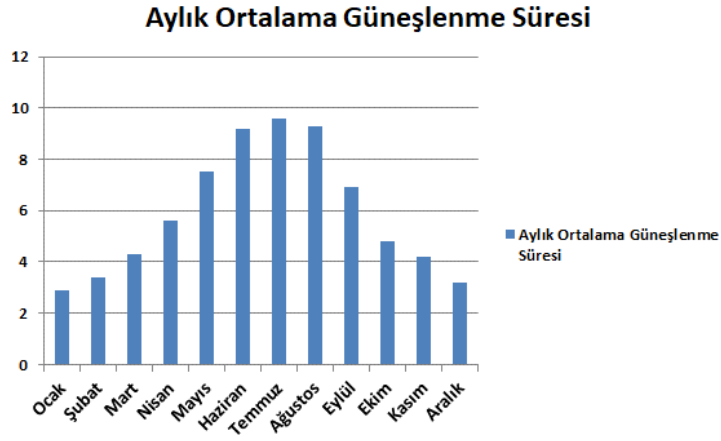
Şekil 10. Kar yağışlı gün sayısı.

Çalışmanın yapıldığı konumda sistemin kurulu olduğu alanda toplamda 8 kar ile kaplı olarak ölçülmüştür. Ancak İkili eksenli takip sistemi mevcut hareketi itibari ile kar ile önemli ölçüde kaplanmamıştır. Ancak sabit eksenli sistem üzerinde daha fazla kar bulunması söz konusu olmuştur.



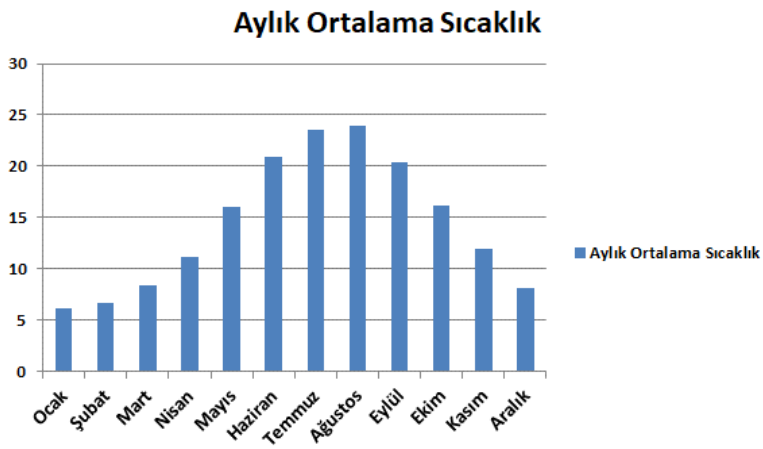
Şekil 11. Karla örtülü gün sayısı.

Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süresi 7,2 iken çalışma yapılan konumda yıllık ortalama güneşlenme süresi 5,9 dur.



Şekil 12. Aylık ortalama güneşlenme süresi.

Sıcaklık ortalaması en düşük Ocak ayında 6,1, en yüksek Temmuz ayında 23,6 ve yıllık ortalaması 14,6 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 13. Aylık ortalama sıcaklık süresi.

Çalışmada kurulumları yapılan sabit eksenli ve hareketli eksen güneş enerji sistemleri 1 yıl süresince gölge, rüzgâr gibi hava olaylarından en az etkileneceği konuma montajları yapılmıştır. Panellerden üretilen enerji akıllı inverterler sayesinde saatlik dilimler ile kayıt altına alınmaktadır. Akıllı inverterler sistem enerjisi kesildiğinde kayıt ettikleri verileri saklama özellikleri olmadığı için herhangi bir sebeple enerji üretimi kesintiye uğrasa dahi akü sayesinde bir süre daha çalışmaya devam etmektedir. Sistem verilerinin sağlıklı alınabilmesi için akıllı inverter ile eşleştirilen raspberry pi programlama kartı sayesinde verilerin düzenli periyotlar ile kayıt altına alınması amaçlanmıştır. Akıllı inverter yazılımı sadece Windows işletim sistemi ile çalıştığı için raspberry pi programlama kartına IOT cihazlar için üretilen Windows Iot işletim sistemi kurulmuştur. Akıllı inverter yazılımının Windows Iot işletim sistemine kurulumu ile panel verilerinin kayıt altına alınması sağlanmıştır. Tek eksenli güneş enerji sisteminde en düşük enerji üretimi 13,42 kWh ile ocak ayında en yüksek enerji üretimi 36,25 kWh ile temmuz ayında gerçekleşmiştir. Yıllık toplam enerji üretimi ise 303,93 kWh olarak ölçülmüştür. Sabit eksenli güneş enerji sistemine ait enerji verileri Tablo 4. de verilmiştir.

Tablo 4. Sabit eksenli sistem enerji verileri.

Aylar(2020)	Enerji(kWh)
Ocak	13,47
Şubat	15,86
Mart	23,11
Nisan	28,53
Mayıs	32,45
Haziran	34,36
Temmuz	36,25
Ağustos	35,78
Eylül	29,47
Ekim	20,68
Kasım	17,35
Aralık	16,62

İki eksenli takip sistemine ait veriler Tablo 5. de gösterilmiştir. İki eksenli takip sistemi en düşük enerji üretimini 18,72 kWh ile 2020 yılı ocak ayında en yüksek enerji üretimini 51,27 kWh temmuz ayında gerçekleştirmiştir. 399,51 kWh olarak ölçülmüştür.

Tablo 5. İki eksenli sistem enerji verileri.

Aylar(2020)	Enerji(kWh)
Ocak	18,72
Şubat	20,18
Mart	27,53
Nisan	36,4
Mayıs	42,47
Haziran	48,21
Temmuz	51,27
Ağustos	49,68
Eylül	37,2
Ekim	25,74
Kasım	22,58
Aralık	19,53

Elde edilen verilerin ışığında Tablo 4. ile Tablo 5. kıyaslandığında en yüksek enerji farkının temmuz ayında %41,43 olduğu, en az farkın ise aralık ayında %17,50 olduğu görülmektedir. Anlık bulutlanma

gibi hava olayları sebebiyle aylara bağılı olarak düzenli bir artış veya azalışın olamayacağı sistemin yıllık enerji üretim ortalaması ise 31,4 olarak tespit edilmiştir.

IV. SONUC

Mevcut çalışma Samsun ili Bafra ilçesinde 1 Ocak 2020 ile 31 Aralık 2021 tarihleri arasında yapılmıştır. Çalışmada 1 adet 260 watt güneş paneli sabit eksenli olarak, 1 adet 260 watt güneş paneli ise iki eksenli çalışacak şekilde kurulmuştur. Bu çalışmanın amacı, bir kullanıcının güneş enerji sistemi yatırımı planlarken takip sistemi ile sabit sistem arasındaki maliyet farkını görebilmesi ve yapılan yatırımı geri kazandırma süresi hakkında bilgi vermesidir. Bu sebeple, sistemler yerleşim yerinden uzak ve yüksek bir konuma kurulmak yerine yerleşim yeri içerisinde bulunan bir konuma kurulmuştur. Sistemler bir okul bahçesi içerisine kurulduğu için yakın konumda herhangi bir yüksek yapının gölgelemesine maruz kalmamıştır. Her iki sistemde bir yıllık araştırma sonunda İki eksenli güneş enerji sisteminin tek eksenli güneş enerji sistemine enerji üretim farkı %31,4 olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada panel başına düşen enerji üretim değerleri ortaya koyulmuştur. İki eksenli takip sisteminin hareket sağlamak amacıyla kullanılan lineer hareketlendiriciler, üretilen enerjiden %8 - %12 arasında enerji kullanımı gerçekleşmiştir. İki eksenli takip sisteminin verilen enerji değerleri kayıplar dışında oluşan net değerlerdir. İki eksenli takip sisteminde araştırma amacıyla 1 adet güneş paneli kullanılmasına karşılık mevcut lineer hareketlendiriciler özellik bakımından doğru bir mekanik sistem ile 4 adet güneş panelini taşıyabilecek yapıdadır. Bu sayede daha fazla akım çekmesine karşılık yatırımın geri dönüş süresini oldukça geri çekebilecektir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilmektedir.

- Ülkemizde yaygın şekilde kullanılan sabit güneş enerji sistemlerine karşılık iki eksenli takip sistemlerinin kullanılmasının avantajlı ve gerekli olduğu görülmüştür.
- Bugüne kadar takip sistemlerine kullanılan dişli sistemlerinde bakım sorunlarına karşılık lineer hareketlendiricilerin çok daha kolay kurulum sahip ve minimum bakıma ihtiyaç olduğu görülmüştür.
- Teknolojinin gelişmesi ile birlikte arduino ve raspberry pi programlama kartları sayesinde karmaşık sürücü sistemlerine ihtiyaç duyulmadan amatör kullanıcıların bile bu gibi sistemlerin kurulumlarını yapabileceği görülmüştür.
- Büyük sistemlerde yüksek fiyatlı uzaktan izleme sistemlerine alternatif olarak yazılım desteği sayesinde akıllı inverterler ile birlikte üretim değerlerinin takip edilebileceği denenmiştir.
- Dengeli bir mekanik sistem ile tek bir takip sisteminde 4 adete kadar güneş panelinin matematiksel olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. (Çok rüzgâr alan bölgelerde ilave güçlendirmeler ile birlikte daha güçlü hareketlendiriciler gerekebilir)
- Çalışma süresince en çok hareket sağlayan hareketlendirici doğu – batı ekseninde çalışan olmuştur. Kuzey-güney yönünde çalışan hareketlendirici bulutlanma durumunda devreye girmiştir. Kimi zaman ışık yansımaları ile hata üreten algılayıcılardan kaynaklanan bu hareket önemsenmeyecek kadar az olmuştur. Bundan hareketle ülkemizde iki eksenli takip sistemlerinin kullanılmasının avantaj sağlayabileceği sonucu ile birlikte tek eksenli takip sistemlerinin maliyet açısından daha uygun olabileceği sonucu ortaya koyulabilmektedir.
- Tek eksenli takip sistemlerinin çatı tipi sistemlerde zemine yakın ardışık olarak kurulması ile rüzgârdan daha az etkilenmesi sağlanarak güvenlik konusunda avantaj sağlanabilmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: B-1833).

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Allamehzadeh, "Solar Energy Overview And Maximizing Power Output Of A Solar Array Using Sun Trackers," *2016 IEEE Conference on Technologies for Sustainability*, pp. 14-19, 2016.
- [2] M. A. V. Rad, A. Tooshekan, P. Rahdan, A. Kasaeian and O. Mahian, "A comprehensive study of techno-economic and environmental features of different solar tracking systems for residential photovoltaic installations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 129, 2020.
- [3] N. A. Rousan, N. A. M. Isa and M. K. M. Desa, "Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 82, pp. 2548–2569, 2018.
- [4] D.L. Talavera, E. M.Ceron, J.P. F.Rodríguez and P. J. P.Higuera, "Assessment of cost-competitiveness and profitability of fixed and tracking photovoltaic systems: The case of five specific sites," *Renewable Energy* vol. 134, pp. 902-913, 2019.
- [5] L. Dong, T. Xing, J. Song and A. Yousefi, "Performance analysis of a novel hybrid solar photovoltaic - pumped-hydro and compressed-air storage system in different climatic zones," *Journal of Energy Storage* , vol. 35, 102293, 2021.
- [6] R. Sharma, S. Singh, K. S. Mehra and R. Kumar, "Performance enhancement of solar photovoltaic system using different cooling techniques," *Materials Today*, 2021.
- [7] M. Abdollahpour, M. R. Golzarian, A. Rohani and H. A. Zarchi, "Development of a machine vision dual-axis solar tracking system," *Solar Energy*, vol. 169, pp. 136-143, 2018.
- [8] M. A. Jallal, C. Samira and A. Zeroual, "A novel deep neural network based on randomly occurring distributed delayed PSO algorithm for monitoring the energy produced by four dual-axis solar trackers," *2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing*, vol.35, pp. 1118-1196, 2019.
- [9] E. K. Mpodi, Z. Tjiparuro and O. Matsebe, "Review of dual axis solar tracking and development of its functional model," *2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing*, vol. 35, pp. 580-588, 2019.
- [10] M. Ghassoul, "A dual solar tracking system based on a light to frequency converter using a microcontroller," *Fuel Communications*, vol. 6, 2021.
- [11] T. Maatallah, S. E. Alimi and S. Nasrallah, "Performance modeling and investigation of fixed, single and dual-axis tracking photovoltaic panel in Monastir city," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15 pp. 4053–4066, 2011.
- [12] S. Seme, G. Srpcic, D. Kavsek, S. Bozicnik, T. Letnik, Zdravko P, Z. Praunseis B. Stumberger and M. Hadziselimovic, "Dual-axis photovoltaic tracking systeme Design and experimental investigation," *Energy*, vol. 139, pp. 1267-1274, 2017.
- [13] M. Sidek, N. Azisa, W.Z.W. Hasana, M.Z.A. Ab Kadir, S. Shafie and M.A.M. Radzi, "Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control," *Energy*, vol. 124, pp. 160-170, 2017.
- [14] H. Fathabadi, "Novel high accurate sensorless dual-axis solar tracking system controlled by maximum power point tracking unit of photovoltaic systems," *Applied Energy*, vol. 173, pp. 448-459, 2016.
- [15] P.M. Rodrigo, "Balancing the shading impact in utility-scale dual-axis tracking concentrator photovoltaic power plants," *Energy*, vol. 210, 2020.

- [16] P.A. Hohne, K. Kusakana and B.P. Numbi, "Model validation and economic dispatch of a dual axis pv tracking system connected to energy storage with grid connection: A case of a healthcare institution in South Africa," *Journal of Energy Storage*, vol. 32, 2020.
- [17] W. Manosroi, P. Prompattra and P. Kerngburee. "Performance improvement of two-axis solar tracking system by using flat-mirror reflectors," *2020 7th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2020)*, vol. 6, pp. 9–14, 2020.
- [18] F. M. Hoffmann, R. F. Molz, J. V. Kothe, E. O. Benitez and L. P. C. Tedesco, "Monthly profile analysis based on a two-axis solar tracker proposal for photovoltaic panels," *Renewable Energy*, vol. 115, pp. 750-759, 2018.
- [19] F. A. Khalil, M. Asif, S. Anwar, S. Haq and F. Illahi, "Solar Tracking Techniques and Implementation in Photovoltaic Power Plants," *A. Physical and Computational Sciences* vol. 54, no. 3, pp. 231-241.
- [20] M. Das and E. K. Akpınar, "Investigation of the effects of solar tracking system on performance of the solar air dryer," *Renewable Energy*, vol. 167, pp. 917-916, 2021.
- [21] L. Burnham, D. Riley, B. Walker and J. M. Pearce, "Performance Of Bifacial Photovoltaic Modules On A Dual-Axis Tracker In A High-Latitude, High-Albedo Environment," *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 2019.
- [22] S. Makhija, A. Khatwani, M. F. Khan, V. Goel and M. M. Roja, "Design & Implementation Of An Automated Dual-Axis Solar Tracker With Data-Logging," *International Conference on Inventive Systems and Control*, 2017.
- [23] H. R. Iswadi Jamarrintan A, Syukri D, Barri A, Nurhalim D A and Budhi A, "The Implementation and Analysis of Dual Axis Sun Tracker System to Increase Energy Gain of Solar Photovoltaic," *2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics, (ICon EEI 2018)*, Batam - Indonesia, 16th-17th October 2018.
- [24] H. M. Fahad, A. Islam, M. Islam, Md. F. Hasan, W. F. Brishty and Md. M. Rahman, "Comparative Analysis of Dual and Single Axis Solar Tracking System Considering Cloud Cover", *2019 International Conference on Energy and Power Engineering*, 2019.
- [25] Y. Bekakra, L. Zellouma and H. Serhoud, "Design and Implementation of a Solar Tracker System with Dual Axis for Photovoltaic Panels in El Oued Region of Algeria", *1st International Conference on Sustainable Renewable Energy Systems and Applications*, 2019.
- [26] D.A. F. Hernández, S. P. Resendiz, N. L. Castillo, A. L. Juárez and I. Chairez, "Mechatronic design and implementation of a two axes sun tracking photovoltaic system driven by a robotic sensor," 2017.
- [27] J. Sun, R. Wang, H. Hon and Q. Liu, "An optimized tracking strategy for small-scale double-axis parabolic trough collector," *Applied Thermal Engineering*, vol. 112, pp. 1408-1420, 2017.
- [28] H. Fathabadi, "Comparative study between two novel sensorless and sensor based dual-axis solar trackers," *Solar Energy*, vol. 138, pp. 67-76, 2016.
- [29] A. I. B. Ibrahim, F. D. B. A. Rahman and M. b. Rohaizat, "Dual Axes Solar Tracker," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 8, pp. 1887-1892, 2018.
- [30] P. Oclon, P. Cisek, E. K. Jagiela, J. Taler, D. Taler, D. Skrzyniowska and M. F. Cisak, "Modeling and experimental validation and thermal performance assessment of a sun-tracked and cooled PVT system under low solar irradiation", *Energy Conversion and Management*, vol. 222, 2020.

- [31] H. Kang, T. Hong and M. Lee, “Technical performance analysis of the smart solar photovoltaic blinds based on the solar tracking methods considering the climate factors”, *Energy & Buildings* , vol.190, pp. 34-48, 2019.
- [32] A. Yönetken, T. Gürsoy,” Algılayıcı Türlerinin Güneş Takip Sisteminde Etkinliğinin Araştırılması”,*Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25,112-119,2021.
- [33] Anonim. (2020, 24 Mart) Clean Point Energy [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.cleanpointenergy.com/wp-content/uploads/2019/03/sTracker-illustration.png>