

GÜNEŞİ İZLEYEBİLEN 5,2 kW GÜCÜNDE ÇİFT EKSENLİ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Çağatay VARİŞ, Nur BEKİROĞLU, Selin ÖZÇİRA

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

cagatayvaris92@gmail.com, nbekir@yildiz.edu.tr, sozcira@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada güneşi izleyebilen 5,2 kW gücünde çift eksenli fotovoltaik sistemin tasarımı ve simülasyonu anlatılmıştır. Fotovoltaik ünitenin çalışma prensibi anlatılarak, sistemi oluşturan kısımlara yer verilmiştir. Tasarlanan yapının en önemli özelliği güneşi izleyebilme yeteneğine sahip olmasıdır.

Bu sayede güneş ışınları fotovoltaik panellerin yüzeyine sürekli dik konumda gelmekte ve güneş enerjisinden verimli bir şekilde elektrik enerjisi elde edilmektedir. Böylece aynı sayıdaki güneş panelleriyle üretilen elektrik enerjisinde %25 ile %45'e varan artışlar görülebilmektedir. Bu çalışma, yenilenebilir enerjiye yönelik bilinçlenmenin artırılması ve güneş enerji teknolojilerinden olan çift eksenli fotovoltaik sistemin özelliklerinin anlatılması amacıyla yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Talep edilen enerjinin hızla artmasına paralel olarak mevcut enerji kaynaklarının çok kısa zamanda tükeneceği bilimsel bir gerçektir. Buna ilaveten artan nüfus ve enerji talebine bağlı olarak dünyanın emisyon değerinin mevcut sınırlar içinde tutulması mümkün değildir. Bu kirliliğin devam etmesi durumunda dünya sıcaklığının artacağı ve deniz seviyesinin yükseleceği vb. sonuçlar tüm dünyada enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir.

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Bu enerji kaynağının gün ışığından elektrik enerjisine dönüşümü fotovoltaik paneller sayesinde gerçekleşmektedir. Fotovoltaik paneller çevreyi kirletebilecek herhangi bir atık veya zararlı madde içermediğinden dolayı çevreye duyarlı elemanlardır. Bir diğer önemli özellikleri, kurulumdan sonraki işletme ve bakım maliyetlerinin yok denecek kadar az olmasıdır.

Fotovoltaik panellerin birçok avantajına karşılık, bu panellerin kurulum maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca panel verimlerin genel olarak %15-25'ler civarında olması sebebi ile ilk kurulum maliyetlerini amorti edebilme süreleri de oldukça uzundur. Bu sebeple fotovoltaik panellerden etkili bir şekilde yararlanabilmek için performans-maliyet oranlarına dikkat etmek gerekmektedir.

Fotovoltaik panellerin sabit yerleştirildiği uygulamalarda panellerden elde edilen enerji miktarı, güneşin ilk ve son 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.

Bu gelişmelere bağlı olarak bu çalışmada, gün içerisinde güneş enerjisinden en fazla şekilde yararlanabilmek amacıyla tasarlanan ve simülasyonu yapılan güneşi izleyebilen çift eksenli fotovoltaik sistem anlatılmıştır. İlk olarak sistemin bütünü ele alınarak çalışma prensibi açıklanmıştır. Daha sonra, fotovoltaik sistemi yapısal olarak oluşturan panel taşıyıcı konstrüksiyon, elektrik denetim sistemi ve elektrik motorları anlatılmış. Son olarak da oluşturulan 5,2 kW gücündeki bu sistemin simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

2. KONU HAKKINDA DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALARIN ÖZETLERİ

Bu konu ile ilgili yapılmış belli başlı çalışmalara ait özetler aşağıda verilmiştir.

Sabri ve arkadaşları, güneşi izleyebilen 3 kW gücünde çift eksenli fotovoltaik güneş enerji sisteminin çalışma prensibini ve sistem ekipmanlarını anlatmışlardır. Sistemin günde yaklaşık 30 kWh enerji üretimi olduğunu ve sabit sisteme göre %45 daha fazla elektrik ürettiğini söylemişlerdir. İlk kurulum maliyeti yüksek olan sistemin, enerji kaybının az olmasından dolayı amortisman süresini azaltacağını ifade etmişlerdir [1].

Huang ve arkadaşları, tek eksenli, üç pozisyona sahip güneş izleyici sistemi kurmuşlar ve sistemin günlük ve uzun vadede ölçümlerini sabit eksenli fotovoltaik sistemi ile kıyaslayarak karşılaştırma yapmışlardır. Toplamda 1 yıl 1 ay için ölçüm yapmışlar ve bu süre zarfı sonunda 3 pozisyonlu sistem ile elde ettikleri elektrik üretiminin %37,5 daha fazla olduğunu ölçmüşlerdir. Tek

eksenli 3 pozisyonlu güneş izleyici sistemin, çift eksenli güneş izleyici solar sisteme yakın bir güç değeri verdiğini öngörmüşlerdir [2].

Sinan ve arkadaşları, sabit bir fotovoltaik sistem ile çift eksenli güneş takip eden FV panelin performans farkını, Mayıs ve haziran aylarında karşılaştırmışlardır. Çift eksenli solar sistem, sabit FV sistemiyle karşılaştırıldığında, güneş izleme sistemi sayesinde enerji üretiminin yaklaşık %64 oranında arttığını ölçmüşlerdir [3].

Lee ve arkadaşları, Malezya’da yapmış oldukları bu çalışma ile sabit eksenli fotovoltaik sistem ile çift eksenli güneş takip eden fotovoltaik sistemi ve Malezya iklimi altında dış çevre etkenlerine bağlı bu sistemlerin, nitelik ve nicelik olarak verilerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalı sonuçlar neticesinde sabit fotovoltaik sistemin enerji kazancı yönünden performansının çift eksenli izleme sistemi ile geliştiğini göstermişlerdir [4].

Lazoraiu ve arkadaşları, 142,4 Wp panel güç değerlerine sahip sabit fotovoltaik sistem ile tek eksenli güneş takip izleyicili fotovoltaik sistemi karşılaştırmışlar ve sistemin sabit eksenli sisteme göre genel olarak %12 ile %20 arası bir verim artışı olduğunu göstermişlerdir [5].

Şaban ve arkadaşları, solar radyasyonun ve güneş açısının fotovoltaik sistemler üzerindeki etkisini araştırmışlar ve 4,6 kWp çift eksenli güneş izleyici sistem ile 4,6 kWp sabit eksenli solar sistem ile kıyaslamalarda bulunmuşlardır. Çift eksenli güneş izleyici sistemin sabit eksenli sisteme göre verim artışının %41 olduğunu göstermişlerdir [6].

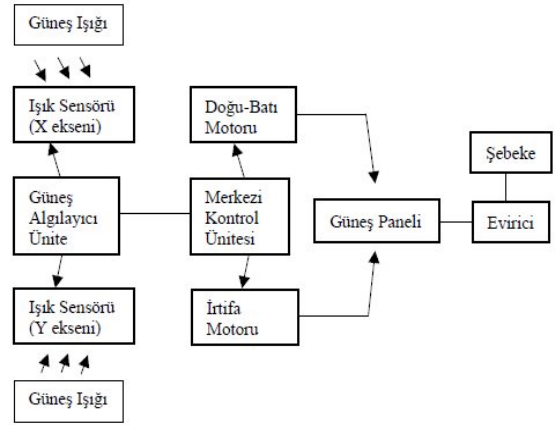
Vokas ve arkadaşları, Yunanistan'ın tüm vilayetlerinde gerçek enerji üretimini ortaya çıkarabilmek için orta ölçekli tek eksenli ve çift eksenli fotovoltaik (FV) enerji sistemini sabit eksenli sisteme göre güç üretim ve verim değerlerini karşılaştırmışlardır. Tek eksenli sistemin gerçek verilerde sabit sisteme göre %25,2 çift eksenli sistemin ise %34,5 daha fazla üretim yaptığını hesaplamışlardır [7].

Fathabadi, maksimum güç noktası izleme (MPPT) ünitesi kullanarak, yeni bir çevrimiçi sensörsüz çift eksenli güneş takip cihazı tasarlamış ve yıllık ortalama üretilen enerji değerinin sabit eksenli sisteme göre %37,1 daha fazla olduğunu ölçmüştür [8].

3. TASARLANAN ÇİFT EKSENLİ FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu çalışmada tasarlanan çift eksenli fotovoltaik sistemin en önemli özelliği, güneş panellerini taşıyan sistemi hareket ettirerek güneşe yönelmelerini sağlamasıdır. Böylece sistem elektrik üretimini maksimuma getirmektedir. Tasarımı ve simülasyonu yapılan sistemin bu yeteneği sayesinde güneş ışınlarından maksimum düzeyde yararlanılmakta ve güneş enerjisi verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

Çift eksenli fotovoltaik sistemin prensip şeması Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin güneşi izleyebilmesi için ilk olarak güneşin konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için sistemde güneş algılama elemanları kullanılmaktadır. Sistemin denetim algoritması merkezi kontrol ünitesi vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Fotovoltaik sistemin çift eksenli hareketi ise sistemde bulunan doğu-batı ve irtifa motorları ile sağlanmaktadır.



Şekil 1: Tasarlanan Çift Eksenli Fotovoltaik Sistem Şeması

Güneş algılama elemanları denetim devresi ile senkronize çalışmaktadır. Algılama elemanlarından gelen bilgiler merkezi kontrol ünitesinde değerlendirilerek, sistemin çift eksenli hareketini sağlamak üzere doğu-batı ve irtifa motorlarının sürücüsüne uygun konum sinyalleri gönderilmektedir. Konum sinyalleri sayesinde motor sürücülerini motorları tahrik ederek, fotovoltaik sisteminin çift eksenli hareketini sağlamaktadır. Bu hareket, güneş ışınlarının fotovoltaik panellerine dik gelmesi sağlanana kadar devam etmektedir. Güneş ışınlarının fotovoltaik panellere dik düşmesini sağlayan mekanik sistemin yanı sıra sistemdeki bir diğer önemli husus ise fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisinin inverter vasıtasıyla şebekeye aktarılmasıdır.

Sabit eksenli uygulamalarda ise, güneş ışınları sadece belirli bir zaman diliminde panellere dik olarak düşmektedir. Bu da panellerden elde edilen enerjinin gün içi ortalamasını oldukça düşürmektedir. Tasarlanan ve simülasyonu yapılan güneş izleyebilen sistemde ise güneş enerjisinden gün boyu yararlanma olanağı ortaya çıkmaktadır. Bu sayede klasik

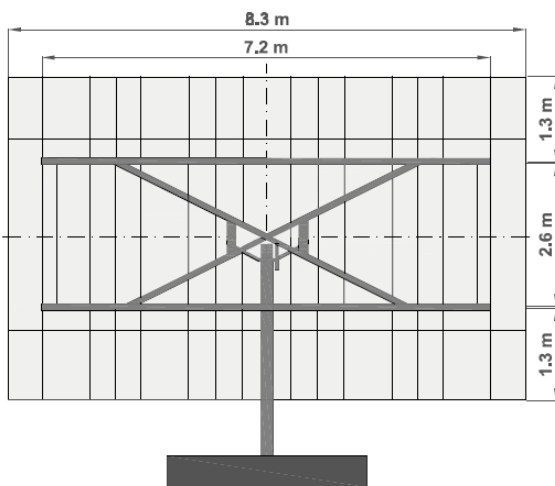
sistemlerde ortaya çıkan kayıp enerjinin sisteme katılımı sağlanmaktadır. Güneşi izleyen sistemin kullanılması ile sabit sistemlere göre %25-%45 daha fazla elektrik enerjisi üretilmektedir.

Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi depolanabilir, şebekeye aktarılabilir ve iç tüketimde harcanabilir. Elektrik enerjisinin doğru akım olarak akülerde depolanmasının yanı sıra inverter vasıtasıyla alternatif akım olarak şebekeye aktarılması da söz konusudur. Bu çalışma da elektrik enerjisi iç tüketimde harcanacak olup, şebekeye inverter vasıtasıyla aktarılacaktır.

4. ÇİFT EKSENLİ FOTOVOLTAİK SİSTEMİN YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ

4.1. Panel Taşıyıcı Konstrüksiyon

Panel taşıyıcı konstrüksiyon sistemi AutoCAD® çizim programı kullanılarak panel sayısına ve ölçülerine göre tasarlanmıştır. Şekil 2’de tasarlanan sistemin AutoCAD® çizimi görülmektedir.



Şekil 2: Tasarlanan Panel Taşıyıcı Konstrüksiyon Görüntüsü

İskelet sisteminin temeli meydana gelen yüklerin zemine aktarılmasını ve dağıtılmasını sağlamaktır. Bu sistemler TS 498 ‘de belirtildiği gibi buz yükü, kar yükü, rüzgar yükü ve deprem yükü gibi kriterleri sağlamalı ayrıca gerekli sağlamlık ve dengeye sahip olmalıdır. Sertlik, mukavemet ve alaşım özellikleri sistemin niteliğinin belirlenmesindeki önemli faktörlerdir.

Panel taşıyıcı konstrüksiyon sistemleri, kurulum yapılacak yerin özelliklerine göre; sistem statığı ve zemin statığı göz önünde bulundurularak panel ebat ve ağırlığına göre tasarlanmalıdır.

4.2.Denetim Sistemi

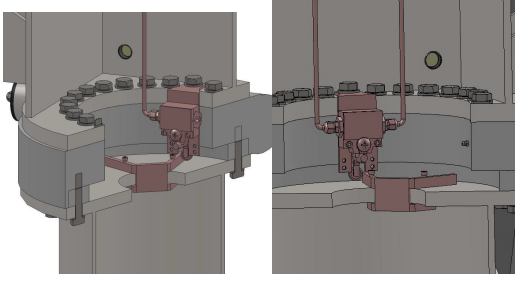
Merkezi kontrol ünitesi çift eksenli fotovoltaik sistemde güneş algılama elemanlarından gelen bilgiler doğrultusunda güneşin konumuna karar verir. Merkezi kontrol ünitesi ve güneş algılama elemanlarının görüntüsü Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3: Merkezi kontrol ünitesi ve güneş algılama elemanlarının görüntüsü

4.3.Elektrik Motorları

Sitemdeki diğer önemli elemanlar ise elektrik motorları ve bunlara ait sürücülerdir. Azimut ve zenit eksenlerinde hareketi sağlamak için redüktörlü doğru akım motoru kullanılmıştır. Bu motorların görüntüsü Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4: İrtifa ve Doğu-Batı Motorlarının Görüntüsü

Konstrüksiyon üzerine yerleştirilen redüktörlü doğru akım motorları vasıtasıyla sistemin çift eksenli hareketi sağlanmıştır.

5. TASARLANAN ÇİFT EKSENLİ FOTOVOLTAİK SİSTEMİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Küçükçekmece Sosyal Tesisi'ne yapılması düşünülen çift eksenli fotovoltaik sistem 260 W gücünde 20 adet güneş panelinden oluşmaktadır. Toplamda 5200 W güce sahip sistemin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Çift Eksenli Fotovoltaik Sistemin Teknik Özellikleri

Toplam DC Güç (Panel Gücü)	5,2 kWp
Toplam AC Güç (İnverter Gücü)	5 kW _e
Toplam Panel Alanı	35 m ²
Direk Yüksekliği	4m
Dönme Açısı	0°-300°
Yükselme Açısı	20°-90°
Denetim	Merkezi Kontrol Ünitesi
Sensör Sistemi	Güneş Algılama Elemanı
Doğu- Batı Motoru	Redüktörlü Motor
İrtifa Motoru	Redüktörlü Motor
Panel Sabitleyici Montaj Sistemi	Çelik Konstrüksiyon ve Betonarme

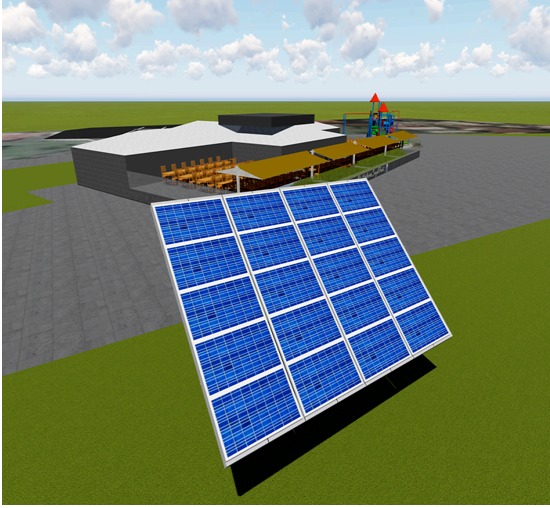
Sistem modül alanı, 20 adet panelin birleşmesiyle toplamda 35 m² olacaktır. Sistemdeki paneller arasında 10 adet alüminyum profil bulunacaktır. Taşıyıcı sistem, sıcak daldırma galvaniz çelik konstrüksiyondan oluşacaktır.

Panellerin birbirine kenetlenebilmesi için çelik kelepçeler kullanılacaktır. Uç noktalarda altta ve üstte olmak üzere toplamda 20 adet kelepçe kullanılacaktır. Bağlantı noktalarında ise 40 adet kelepçe bulunacaktır. Konstrüksiyonun montajı için gerekli tüm bağlantı elemanları paslanmaz çelik A2-70 inox kalitesinde olacaktır. Kullanılacak direk yüksekliği 4000 mm olup 600 mm'si beton içerisinde gömülü kalacak şekilde sabitlenecektir.

Güneş izleyici sistemde güneş konumunun algılanması için merkezi kontrol ünitesinin denetiminde 1 adet güneş algılama elemanı bulunacaktır. Güneş izleyici sistemde güneşin gökyüzündeki konumunu belirten 2 açı değeri ile takip gerçekleştirilecektir. Bu kontrol sisteminde eksenlerden biri azimut eksen, diğeri ise zenit ekseninde hareket etmektedir. Azimut ekseninde hareket için redüktörlü doğu-batı motoru, zenit ekseninde hareket için ise redüktörlü irtifa motoru kullanılacaktır.

Sistemde oluşabilecek kablo kaybı, gölgelenme, DC-AC dönüşüm oranı, yansıma, tozlanma sebeplerinden ötürü net olarak 5 kW'lık güç alınabilmesi için 5,2 kW gücünde panel seçilmiştir. Üretilen elektrik enerjisinin sosyal tesisin iç tüketiminde harcanması için kullanılacak inverter gücü bu bağlamda 5 kW olarak tasarlanmıştır. İnverter; çift eksenli fotovoltaik sistemin verilerinin izlenebilmesi için, RS 485 haberleşme portu ve modbus protokolüne sahip olacaktır.

Tasarlanan ve fiziksel olarak kurulumunun gerçekleşmesi beklenen çift eksenli fotovoltaik sistemin Lumion programı kullanılarak oluşturulan tasarımı Şekil 5 'te gösterilmiştir.



Şekil 5: 5,2 kW Gücünde Tasarlanan Çift Eksenli Güneş İzleyici Sistem Görüntüsü

6. ÇİFT EKSENLİ FOTOVOLTAİK SİSTEMİN SİMÜLASYONU

Tasarımı yapılan 5,2 kW güce sahip çift eksenli güneş takip sisteminin simülasyonu PVSOL yazılımı ve Meteororm hava durumu bilgisi temel alınarak oluşturulmuştur.

Çift eksenli sistem kurulumunun yapılması beklenen noktanın yatay düzlem üzerine düşen ışınlam miktarı $1364,5 \text{ kWh/m}^2$ olarak belirlenmiştir. Standart spektrum sapması ve modül yansımalarının negatif etkileri dahil edilmesine rağmen modül yüzeyinin yönlendirilmesi ve eğimi sayesinde ek olarak m^2 başına $487,92 \text{ kWh}$ ışınlam düşmesi beklenmektedir. Toplamda modül üzerine düşen ışınlam miktarı,

$$1364,5 \text{ kWh/m}^2 + 487,92 \text{ kWh/m}^2 = 1852,42 \text{ kWh / m}^2 \text{ olmalıdır.}$$

35 m^2 'lik alana sahip sistemin üzerine düşen ışınlam miktarının enerji karşılığı,

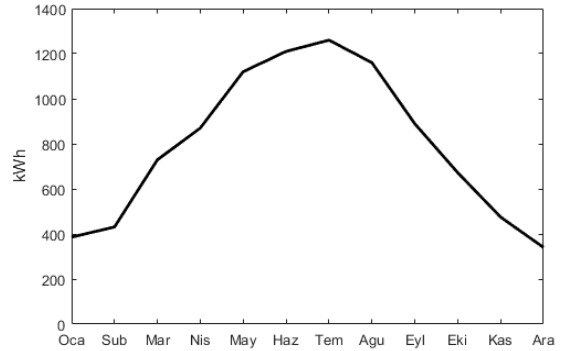
$$1852,42 \text{ kWh/m}^2 \times 35 \text{ m}^2 = 64834,7 \text{ kWh olması beklenmektedir.}$$

Kapasite faktörünün %15,6 olarak hesaplandığı çift eksenli fotovoltaik sistemin yapılan simülasyon ölçümlerine göre yıllık,

$$64834,7 \text{ kWh} \times \%15,6 = 10114,2 \text{ kWh}$$

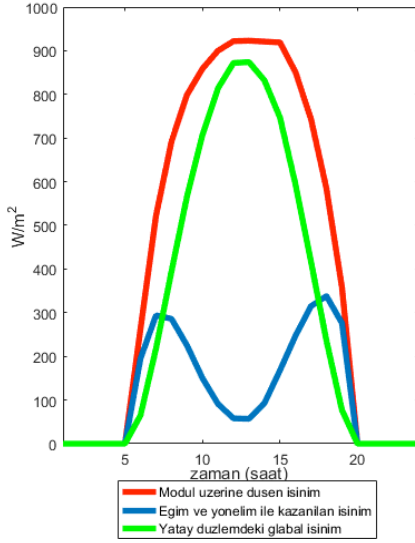
üretim yapması beklenmektedir. Ancak modül üzerinde meydana gelen kirlilik, nominal modül sıcaklığından sapma, diyot üzerinde oluşan kayıplar, inverter dönüşüm oranı, kablo kaybı, sistem tüketimi, voltaj sapması ve mismatch (uyumsuzluk) kayıplarının olmasından ötürü yıllık enerji üretiminin $8489,4 \text{ kWh}$ olması beklenmektedir. Bu kayıp toplam yıllık enerji üretiminin %16'sına tekabül etmektedir. Bu büyüklükte bir sistem için kayıp oranı kabul edilebilirdir. Yıllık $8489,4 \text{ kWh}$ üretim yapan sistemin aylara göre enerji üretim eğrisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Kurulu gücü $5,2 \text{ kWp}$ olan sistemin yıllık spesifik güç verimi,

$$8489,4 \text{ kWh} / 5,2 \text{ kWp} = 1632,5 \text{ kWh/kWp olarak hesap edilmiştir.}$$



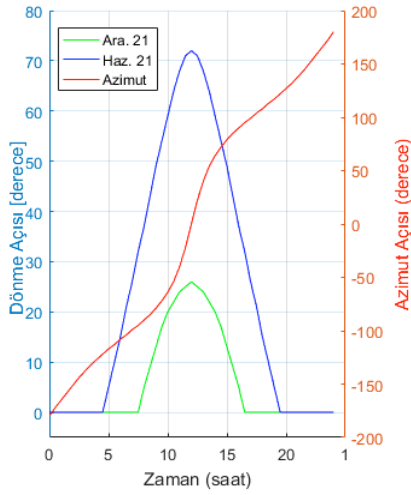
Şekil 6: Aylara Göre Enerji Üretim Eğrisi

Çift eksenli fotovoltaik sistemin eğim ve gün ışığına yönelimi modül üzerine düşen ışınlamın, yatay düzleme düşen ışınlam miktarından daha fazla olmasını sağlamıştır. Bu fark Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7: Eğim ve Yönelim ile Kazanılan Güç Yoğunluğu Eğrisi

Yukarı değeri 45,40° ile sağa değeri 64,85° koordinatları arasında ve ITRF-96 Projeksiyon tipine göre dilim orta meridyeni 27, dilim genişliği 6° olan İstanbul-Küçükçekmece Sosyal Tesisi'ne kurulacak çift eksenli fotovoltaik sistemin dönme açısına göre değişen azimut grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir.

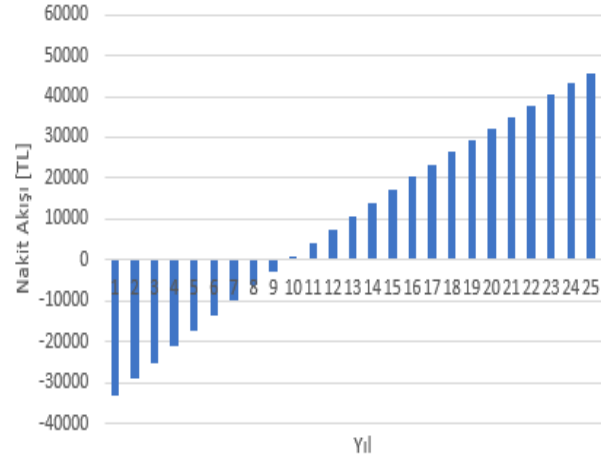


Şekil 8: Gündönümlerindeki dönme açısı durumları

21 Haziran gündönümünde saat 12:30'da sistem güneyden sapma miktarına göre (azimut açısı) 72° döndürme gerçekleştirirken, 21 Aralık gündönümünde saat 12:30'da 25° döndürme gerçekleşmiştir.

7. SİSTEM MALİYETİ VE ÇEVRESEL ETKİLER

5,2 kWp kurulu güce sahip sistem için kullanılan 20 adet 260 Wp fotovoltaik güneş panelinin, 5 kW on-grid inverterin, direk, konstrüksiyon ve ankraj işlerinin, elevasyon ve doğu-batı motorlarının, merkezi kontrol ünitesinin, kar ve rüzgar sensörünün, fotovoltaik kabloların, rüzgar koruma sarkacının, pano ve şalt ekipmanlarının, uzaktan izleme sisteminin, topraklama ve yıldırım tesisatının, projelendirme ve onay işlerinin yaklaşık maliyeti 37.000 TL olup, sistemin amortisman süresi 9,8 yıldır. Sistem nakit akış tablosu Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Sistem Geri Dönüşüm Tablosu

Tasarlanan sistem ile 1.yılda toplamda 8489 kWh üretim yapılacak olup, yaklaşık karbon ayak izi; 8489,4 kWh/yıl x 0,5453 kg = 4,6 ton CO₂ 'dir.

Ayrıca kurulacak olan sistem ile ilk yılda, 4,6 ton CO₂ / 411,4 kg CO₂ = 11 adet ağaç dikimine eş değer CO₂ salınımı engellenmiş olacaktır.

8. SONUÇLAR

Bu çalışma, çift eksenli güneş takip sistemi kullanılarak güneş enerji sisteminin verimini arttırmak için bir çözüm ortaya koymaktadır.

Çift eksenli güneş takip sistemi ile yatay düzleme düşen güneş ışınimleri daha fazla soğurulur. Çift eksenli takip sisteminin gün boyunca güneşin pozisyonunu takip etme yeteneğine bağlı olarak, güneşin doğuş ve batış saatlerinde diğer güneş enerji sistemlerine göre daha çok verim alınır.

Tasarlanan çift eksenli fotovoltaik sistem kurulumunun yapılacağı noktanın, yatay düzlem üzerine düşen ışınım miktarı $1364,5 \text{ kWh/m}^2$ olmakla birlikte, çift eksenli fotovoltaik sistemin eğimi ve yönlendirmesi sayesinde $487,92 \text{ kWh/m}^2$ 'lik ışınım kazanımı elde edilmektedir. 35 m^2 'lik alana sahip sistemde kayıplar ve kapasite faktörü göz önüne alınarak yıllık $8489,4 \text{ kWh}$ elektrik üretimi yapılması beklenmektedir. Sistemin yıllara göre nakit akışı hesaplandığında geri dönüşüm süresinin 9,8 yıl olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sistemin çevreye etkisi düşünüldüğünde, birinci yıl sonunda toplam $4,6 \text{ ton CO}_2$ salınımı engellenmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Çamur, S., Arifoğlu, B., Beşer, E., Kandemir Beşer, E., (2010). "Design and application of a 3kW sun tracking photovoltaic energy conversion unit," Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO), 2010 National Conference on, 53-57.
- [2] Huang B.J., Ding W.L., ve Huang Y.C., (2011). "Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker", Solar Energy, 85(9):1935-1944
- [3] Kivrak S., Gunduzalp M., Dincer F., (2012). "Theoretical and experimental performance investigation of a twoaxis solar tracker under the climatic condition of Denizli, Turkey", Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 332-336
- [4] Lee, J. F. and Rahim, N. A., (2013) "Performance comparison of dual-axis solar tracker vs static solar system in Malaysia," 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT), Lankgkawi, 102-107
- [5] Lazaroiu Cristian George, Longo Michela, Roscia Mariacristina, Pagano Mario, (2015). "Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption", Energy Conversion and Management, 92, 143-148
- [6] Yilmaz S., Ozcalik H.R., Dogmus O., Dincer F., Akgol O., Karaaslan M., (2015). "Design of two axes sun tracking controller with analytically solar radiation calculations", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 997-1005
- [7] Vokas Georgios A., Zoridis Georgios Ch., Lagogiannis Konstantinos V., (2015). "Single and Dual Axis PV Energy Production Over Greece: Comparison Between Measured and Predicted Data", Energy Procedia, 74, 1490-1498
- [8] Fathabadi H., (2017). "Novel Online Sensorless Dual-Axis Sun Tracker," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 22, 321-328