

# **FRESNEL AYNASI VE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN GÜNEŞ PANELİ GÜÇ ÜRETİMİNE ETKİSİ**

Doç.Dr. Ahmet Çağlar\*, Anılcan Sarıkaya\*, Ömer Faruk Eyyupoğlu\*

\*Akdeniz Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, 07070

E\*mail: [acaglar@akdeniz.edu.tr](mailto:acaglar@akdeniz.edu.tr)

Tel: 5056567201

Faks: 242 310 6306

# FRESNEL AYNASI VE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN GÜNEŞ PANELİ GÜÇ ÜRETİMİNE ETKİSİ

## ÖZET

Fresnel aynaları ışınları odaklamak ve bir yüzeye daha çok ışın toplamak gibi özelliklere sahiptir. Fresnel aynalarının farklı uygulama alanları bulunmaktadır. Fresnel aynaları sayesinde fazla materyal kullanmadan enerjiyi daha verimli kullanmak mümkündür. Bu çalışmada Fresnel aynasının bir güneş panelinin güç üretimine etkisinin yanısıra, güneş enerjisi takip sistemlerinin panel gücüne etkisi de incelenmiştir. Güneş takip sistemi ve Fresnel aynasının etkileri ayrı ayrı incelenmiş, ayrıca her ikisinin birlikte kullanılması durumunda güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanarak üretilebilecek maksimum güneş paneli gücü belirlenmiştir. Bu sayede çoğunlukla kapasitelerinin altında çalışan güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücünün mümkün olduğunca tam kapasite ile çalışması amaçlanmaktadır. Bu sistem sayesinde daha küçük paneller kullanılması da mümkün olabilecektir.

Anahtar kelimeler: Fresnel aynası, Güneş takip sistemi, Güneş paneli, Güç, Verim

## ABSTRACT

Fresnel mirrors have features such as focusing rays and collecting more rays on a surface. Fresnel mirrors have different application areas. Using Fresnel mirrors, it is possible to use energy more efficiently without using much material. In this study, the effects of both a Fresnel mirror and solar tracking system on the power generation of a photovoltaic (PV) solar panel are examined. While the effects of the solar tracking system and the Fresnel mirror were examined separately, on the other hand, the maximum solar panel power that can be produced if used the both together, in which the maximum gain from the solar energy was provided. In this way, it is aimed that the solar power plant, which operates mostly below its capacity, will operate at its installed capacity as much as possible. Furthermore, the solar power systems with a Fresnel mirror and tracking system will need smaller panel areas.

Keywords: Fresnel mirror, Solar tracking system, Solar cell, Power, Efficiency

## 1. GİRİŞ

Yenilebilir enerji sistemleri içerisinde kurulumu, bakımı ve işletimi en kolay olan güneş enerjisi santralleridir. Enerji ihtiyacı olan her yerde güneş enerjisi sistemleri kurulabilir. Bina çatısı ve verimsiz arazi gibi boş alanların işlev kazanarak enerji kaynağı olarak kullanılması mümkündür ve bu alanlarda güneş panelleri kullanarak elektrik üretimi yapılabilir. Güneş panelinin montajı modüler yapısı sayesinde oldukça kolaydır. Ekonomik olarak dışa bağımlılığı azaltarak doğal kaynaklardan elde edilen gelirin artmasına olanak sağlar. Güneş enerjisi sistemlerinin bakım maliyetleri oldukça azdır. Kişinin kendi elektriğini üreterek elektrik faturasından tasarruf yapmasını ve kazanç elde etmesini mümkün kılar. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin olup aylık ortalama güneş ışınımı ve güneşlenme süresi Tablo 1’de verilmiştir.

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen ne yazık ki bu potansiyeli yeterince etkin ve yaygın kullanamamaktadır. Bunun sebebi olarak kurumlar arası koordinasyon eksikliği ve verilen teşviklerin yetersiz kalması gösterilebilir. Ancak buna rağmen

ülkemizde güneş enerjisi hakkındaki çalışmalar oldukça uzun zamandır yapılmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarında, üniversitelerde, konu ile ilgili kurulmuş vakıf ve derneklerde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar sürdürülmektedir.

**Tablo 1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli [1]**

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (Kcal/cm <sup>2</sup> -ay) (kWh/m <sup>2</sup> -ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Enerjinin öneminin küresel ölçüde giderek artacağı ön görüldüğünden, yeni enerji kaynaklarının araştırılmasının yanı sıra mevcut enerjinin verimli kullanılması üzerine de çalışmalar yapılmalıdır [2]. Ülkemiz ve diğer milletler en azından kendi ürettikleri enerjinin kendilerine yetebilmesini amaçlamaktadır [3]. Böylece enerji ithali azalacak ve daha ekonomik çözümler üretilmeye başlanacaktır. Bu çalışma, yenilenebilir temiz enerjiyi üretmeyi ve kaynak ne kadar bol olursa olsun kaynağın daha verimli kullanılmasını amaçlamıştır. Fresnel aynası ile güneş ışınları PV panel üzerine odaklanmış düşük ışınım şiddetlerinde bile yüksek miktarda enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan imal edilen güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden maksimum oranda faydalanarak gün boyunca yüksek verimde enerji üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, Fresnel aynası ve güneş takip sisteminin her ikisi birlikte kullanılarak güneş panelinden elde edilebilecek maksimum güç miktarları tespit edilmiştir. Böylece Fresnel aynası ve takip sisteminin her ikisinin kullanıldığı durum, sadece Fresnel aynasının kullanıldığı durum, sadece takip sisteminin kullanıldığı durum ve her iki sistemin de kullanılmadığı durum olmak üzere dört farklı durum incelenmiştir. Bu dört durumun sonuçları birbirleri ile karşılaştırılarak aradaki farklar üretilen güç miktarları bakımından incelenmiştir.

### 1.1. Fresnel Aynaları (Lensleri)

Fransız fizikçi Augustin Fresnel tarafından geliştirilen Fresnel aynasının (lensinin) en önemli özelliği ışık kaynağından değişik yönlerde gelen ışınları, tek bir doğrultuda geçirmesidir. Bu sayede ışığın yönü kontrol altına alınmaktadır. İlk zamanlar bu buluş deniz fenerinde kullanıldı. Elektriğin olmadığı dönemlerde düşük ışık şiddeti veren lambalar, Fresnel mercekler sayesinde uzaklardan görülebilmekteydi [4]. Fresnel lensler daha sonra ışık veren birçok kaynağın önünde kullanılmaya başlamıştır. Fenerler, gaz lambaları Fresnel lenslerden yapılmaya başlandı. Günümüzde kullanılan profesyonel projektörlerde Fresnel lensi kullanılmaktadır. Fresnel lensler günümüzde, televizyon ve monitör gibi kaynaklardan gelen görüntüyü büyütürken dev ekran boyutlarında duvara veya perdeye yansıtma dahil birçok

alanda kullanılmaktadır [4]. Fresnel aynası ile güneş ışınımının panele yoğunlaştırılarak yüksek güç ve verimlerin elde edildiği çalışmalar literatürde mevcuttur [5,6]

### **1.2. Güneş Takip Sistemleri**

Gün boyu güneş enerjisinden maksimum verimle yararlanabilmek için Güneş Takip Sistemi (GTS) kullanılmaya başlanmıştır [7]. GTS yapımında takip eksenine göre tek eksen kontrollü ve çift eksen kontrollü olmak üzere iki farklı tasarım kullanılmaktadır. İşletme ve yatırım maliyeti olarak tek eksenliler avantajlıken verimlilikleri göz önüne alındığında çift eksen kontrollü GTS daha avantajlıdır. Çift eksen kontrollü sistem çift eksen de (kuzey-güney ve doğu-batı) güneşi izleyebilmekte ve güneşi sabahtan akşama kadar kesintisiz olarak güneş ışınları güneş paneline dik düşecek şekilde almaktadır. Kontrol yöntemine göre takip sistemleri pasif kontrollü (kapalı döngü) ve aktif kontrollü (açık döngü) sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır [8]. Diğer taraftan takip sistemleri çalışma prensibine göre ise zamana bağlı ve ışığa bağlı takip olmak üzere iki farklı şekilde güneşi takip edebilmektedir. Zamana bağlı takip sistemlerinin her bölgede aynı verimlilikle çalışması beklenmez. Bunun nedeni güneş ışınım şiddetinin ve güneşlenme süresinin bölgeden bölgeye farklılık göstermesidir. Bu sistemlerin bölgenin şartlarına göre mikrokontrolcüler kullanılarak programlanması gerekmektedir [9]. Güneşi takip eden güneş enerjisi sistemleri sabit panellerle yapılan sistemlerle karşılaştırıldığında verimlilikleri %50 'ye kadar çıkabilmektedir. GTS kullanmanın avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Güneş ve Dünya'nın hareketinden dolayı güneş enerjisinden sürekli faydalanılmadığından güneşlenme süresi boyunca azami şekilde faydalanmayı sağlar.
- Fotovoltaik hücrelerin maksimum verimi güneş ışınları dik geldiği zaman elde edilir.
- Yüksek güçler elde etmek için gerekli yüzey alanı ihtiyacının azaltılması ve böylelikle yatırım maliyetinin düşürülmesi sağlanır.
- Arazi yapısı ve saha koşullarının olumsuz etkilerini azaltır.

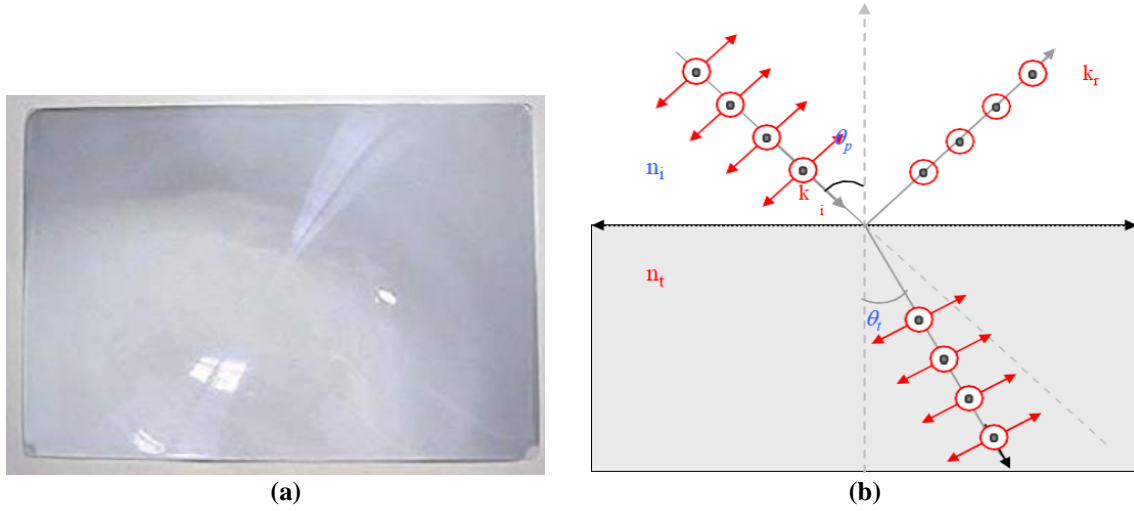
Fotovoltaik panel üzerine yapılan tüm çalışmaların ana fikri yatırımın geri dönüş süresini azaltmaya yöneliktir. Bu da ancak üretim verimliliğini artırarak gerçekleştirilebilir. Üretim verimliliğinin artması ise ancak panelin üzerine düşen ışınım şiddetinin artırılması ile sağlanır [1]. Fotovoltaik panellerin üzerine düşen güneş ışığının radyasyon değeri, güneş ışığının fotovoltaik panellerin normali ile yaptığı açının (geliş açısının) kosinüsü ile hesaplanmaktadır. Yani güneş ışığı panellerin üzerine dik açıyla düştüğü sürece üretim azami olmaktadır. Bu durum, güneşi takip ederek güneş ışınlarını devamlı dik alınmasını sağlayan bir sistemin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur [1].

Bu çalışma kapsamında güneş güç sistemleri yüksek sıcaklık uygulamaları arasında bulunan Fresnel aynalı güneş güç sistem dizaynı için gerekli tüm hesaplamalar yapılmış bu hesaplamalara uygun olarak deney seti kurulmuş ve gerekli tüm ölçümler yapılmıştır. Güneş takip sistemi de sisteme monte edilerek güneşi takip eden Fresnel aynalı güneş enerjisi sisteminin ürettiği güçler belirlenmiş diğer durumlarla karşılaştırılmıştır. Böylelikle, günümüzde enerji üretiminde kullanılan ve gün geçtikçe tükenmekte olan konvansiyonel enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmasının gerekliliği ve uygulanabilirliği açıklanmıştır.

## **2. MATERYAL VE METOD**

### **2.1. Fresnel Aynası (Lensi)**

Fresnel aynası olarak 210 mm x 297 mm boyutlu ayna kullanılmıştır. Yüzeyindeki parçalar ince kenarlı mercek görevi görmektedir. İnce kenarlı mercekli aynaların odak noktaları aynanın diğer tarafında oluşur. Fresnel aynasının odaklanması veya diğer deyişle konumlandırılması pratikte ışınların panel alanı üzerine odaklanması ve panelin dışına taşmaması suretiyle yapılır. Böylece kollektörün maksimum ışın alması sağlanır. Öte yandan Fresnel aynasında bazı kayıplar da mevcuttur. Bir kısım ışın Brewster açısı ile geldiğinden Fresnel aynası dışına çıkamaz ve bir miktar kayıp olur. Fresnel aynası ile %30'a yakın voltaj artışı elde edilir. Voltaj, akım ve dirençle doğru orantılı olduğundan akım ve dirençte de artışlar elde edilir. Böylece görünür güçte %30'dan fazla artış elde edilmiş olur. Bu durum belirli bir kurulu güç kapasitesi için daha az panel alanı kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Şekil 1'de çalışmada kullanılan Fresnel aynası ve bir Fresnel aynasının çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 1. Fresnel aynası (a), Fresnel aynasının çalışma prensibi (b)

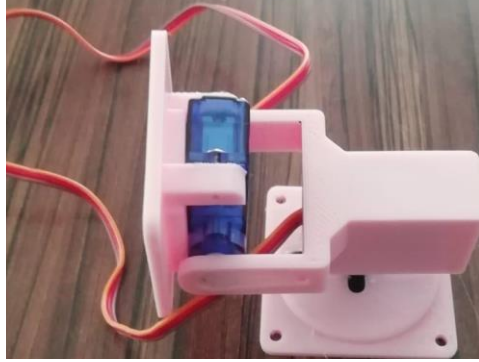
## 2.2. Takip sistemi

3D baskı yöntemiyle servo motorun yerleştirildiği ve güneş panelini çevirecek döner bir mekanizma üretilmiştir. Güneş panelinin yerleştirildiği platform bu döner mekanizmaya sabitlenmiştir. Platformun üzerine yine 3D baskı yöntemiyle üretilmiş güneş ışınlarının dik düşmesini sağlayacak bir aparat yerleştirilmiştir. Artı işareti şeklindeki bu aparatın dört tarafına LDR sensörler yerleştirilerek ışığın gücüne göre platformu ve üzerindeki paneli ışığın en kuvvetli olduğu noktaya doğru konumlandırmaktadır. Ayrıca, Fresnel aynası da uygun bir mesafede platform üzerine monte edilmiş ve platform ile birlikte dönmesi sağlanmıştır. Döner mekanizma Şekil 2'de görülmektedir. Deneylerde kullanılan güneş paneli 6 V, 1 A, 6 W'lık bir paneldir.

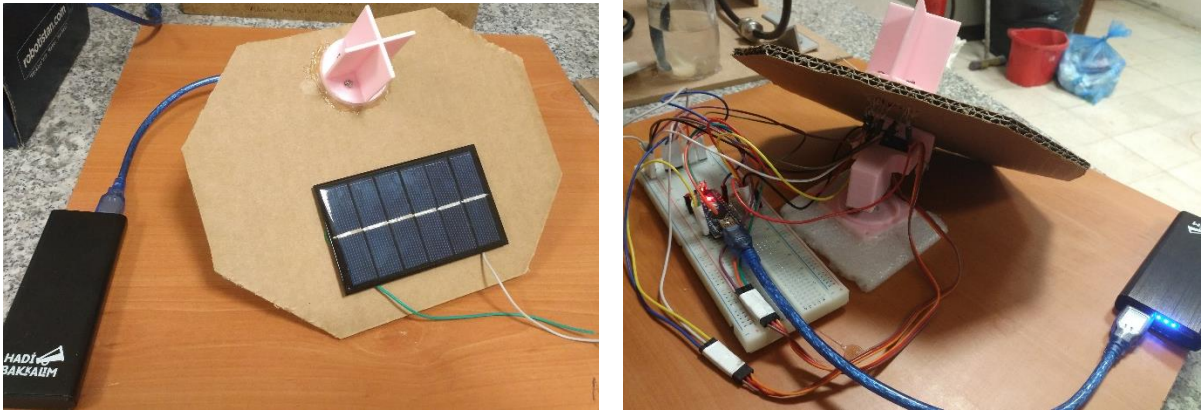
## 2.3. Kontrol devresi

Breadboard, arduino nano, bir servo motor (SG90) ve 4 adet foto dirençten (LDR) oluşan kontrol devresi Şekil 3'te görülmektedir. Servo motoru taşıyan ve platformun dönmesini sağlayan mekanizma ile güneş ışığının dik düşmesini sağlayan aparat yukarıda da belirtildiği gibi 3D baskı ile yapılmıştır. Güneş ışınımının dik düşmesi için döner platformun üzerine yerleştirilen aparatın etrafına 4 adet LDR yerleştirilmiştir. LDR'ler ışığın en parlak olduğu noktayı yani güneş ışınımının dik düştüğü pozisyonu tespit ederek sinyali arduino'ya göndermekte, arduino motora komuta ederek platformu o pozisyona hareket ettirmektedir.

Burada motora beslenecek güç powerbank, laptop, ups vb. 5 V çıkışı olan tüm kaynaklardan sağlanabilmektedir.



Şekil 2. Servo motor ve döndürme mekanizması



Şekil 3. Güneş paneli ve takip sistemi

### 3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Açık güneşli bir günde 4 farklı durum için veri alınmıştır. Takip sistemi devre dışıyken Fresnel aynalı ve Fresnel aynasız güneşe 40 derece eğimle bakan panelden alınan voltajlar ölçülmüş, sonra takip sistemi devreye alınarak panel sürekli güneşe döndüğünde Fresnel ve Fresnelsiz durumlar için ölçümler alınmıştır. Ölçümler saat 10.30'den itibaren başlayarak 4 ayrı durum için ardı ardına alınmak kaydıyla bir saat arayla 15.30'a kadar ölçümler almaya devam edilmiştir ve toplamda 4x6 veri alınarak sonuçlar tablo haline getirilmiştir. Tablo 2-5 her durum için ölçüm sonuçlarını vermektedir. 4 durum için elde edilen güçler aynı grafikte çizilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 2. Güneş takipsiz ve Fresnel aynasız durum için ölçüm sonuçları

VERİLER	SAAT	VOLTAJ (V)	AKIM (A)	GÜÇ (W)
1	10:30	2,8	0,22	0,616
2	11:30	3,2	0,22	0,704
3	12:30	3,2	0,24	0,768

4	13:30	2,9	0,24	0,696
5	14:30	3,4	0,22	0,748
6	15:30	3,2	0,19	0,608

**Tablo 3. Güneş takipsiz ve Fresnel aynalı durum için ölçüm sonuçları**

VERİLER	SAAT	VOLTAJ (V)	AKIM (A)	GÜÇ (W)
1	10:30	3,3	0,57	1,881
2	11:30	3,4	0,46	1,564
3	12:30	3,2	0,5	1,6
4	13:30	3,3	0,63	2,079
5	14:30	3,54	0,38	1,3452
6	15:30	3,4	0,42	1,428

**Tablo 4. Güneş takipli ve Fresnel aynasız durum için ölçüm sonuçları**

VERİLER	SAAT	VOLTAJ (V)	AKIM (A)	GÜÇ (W)
1	10:30	3,21	0,27	0,8667
2	11:30	3,2	0,24	0,768
3	12:30	3,2	0,25	0,8
4	13:30	3,28	0,29	0,9512
5	14:30	3,3	0,29	0,957
6	15:30	3,3	0,29	0,957

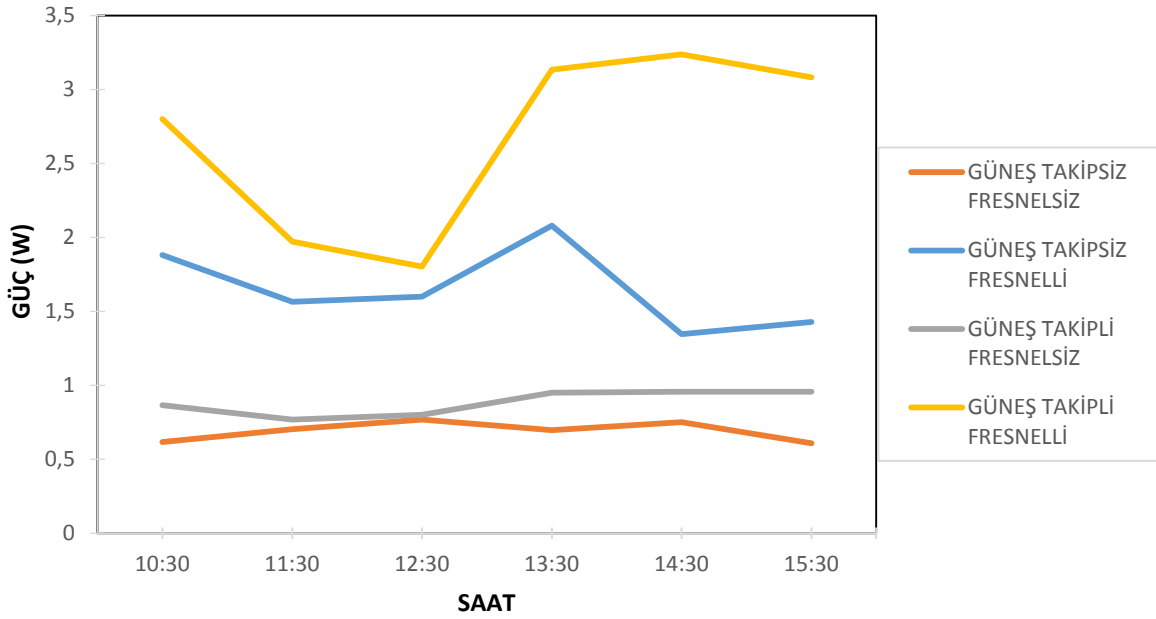
**Tablo 5. Güneş takipli ve Fresnel aynalı durum için ölçüm sonuçları**

VERİLER	SAAT	VOLTAJ (V)	AKIM (A)	GÜÇ (W)
1	10:30	3,5	0,8	2,8
2	11:30	3,4	0,58	1,972
3	12:30	3,4	0,53	1,802
4	13:30	3,52	0,89	3,1328
5	14:30	3,9	0,83	3,237
6	15:30	3,9	0,79	3,081

4 ayrı durumdan elde edilen sonuçları aynı grafik üzerinde göstererek bir karşılaştırma yapılması daha uygun olacaktır. Bu sebeple Şekil 4'te tüm durumlar için güç üretimleri verilmiştir.

Fresnel sistemlerde doğru odaklama, optimum hassasiyet ve optimum seçilmiş büyüklük sistem verimliliğini büyük ölçüde artırmaktadır. Şekil 4'te ister güneş takipli sistem olsun isterse güneş takipsiz sistem olsun Fresnel aynası kullanılması durumunda Fresnel aynasının kullanılmadığı duruma göre gücün 3 kata yakın değerlere çıktığı görülmektedir. Fresnel aynası alanı toplanılan ışın demeti (enerji) olarak büyük önem arz etmektedir. Diğer yandan, güneş takip sisteminin etkisi incelendiğinde ise takipli sistemlerde (Fresnel aynalı veya aynasız) takipsiz sistemlere göre güçte yer yer %50-55 'lere varan artışlar gözlenmiştir. Bu durumda, bazı optik kayıplarına rağmen Fresnel aynası kullanımının panel gücünü ve dolayısı

ile panel verimini güneş takip sistemi kullanımına göre daha çok artırdığı ve etkisinin daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu sonuçlar güneş takip sisteminin etkisinin zayıf olduğu ve kullanımının makul olmadığı manasına gelmemelidir. Deneylerin Antalya’da Mayıs ayında ve belli bir saat aralığı (10:30-15:30) içinde yapıldığı düşünüldüğünde, takipsiz güneş panelinin deneyler sırasında Antalya için yaz ayı optimum eğim açısına yakın bir eğimde güneğe doğru çevrilmiş olmasının ve deneylerin gün ortasına (12:00) yakın saatlerde yapılmış olmasının güneş ışınlarının güneş geliş açısına yakın değerlerde panel yüzeyine düştüğü ve bu nedenle takip sisteminin etkisinin kısmen zayıf kaldığı düşünülmektedir. Yıl boyunca ve tüm gün kullanılacağı düşünüldüğünde takip sisteminin etkisi önemli boyutlara gelecektir.



Şekil 4. Tüm durumlar için elde edilen güç üretiminin karşılaştırılması

Fresnel aynası hareketli sistemler için güneş paneline paralel ve odak noktası ile merkez arasına konulduğunda panel için en ideal ölçü yakalanırken, sabit sistemler için bazı durumlarda panel üzeri gölgeme yapabileceği unutulmamalıdır. Dolayısı ile güneş takibi olmadan Fresnel aynasının etkisinin özellikle de gün ortasından uzaklaştıkça (öğle saatleri dışında) azalacağı açıktır. Bu durum Şekil 4’te Güneş takipli-Fresnelli ve Güneş takipsiz-Fresnelli iki durum karşılaştırıldığında net olarak görülebilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Fresnel aynası ve güneş takip sistemi yardımı ile bir güneş enerjisi santralinde kurulu güçten en iyi şekilde yararlanma yolları aranmıştır. Böylece yüksek verimlilikte kullanılmayan güneş panellerinin daha efektif kullanımı araştırılmıştır. Ayrıca belli bir kapasite için daha küçük panel alanı ile yerden tasarruf sağlanması da sağlanmaktadır.

Çalışmada Fresnel aynası ve güneş takip sisteminin panel verimine etkisini belirlemek için Güneş takipli-Fresnelli, Güneş takipsiz-Fresnelli, Güneş takipli-Fresnelsiz ve Güneş takipsiz-Fresnelsiz olmak üzere dört ayrı durumda güneş panelinden elde edilen güçler incelenmiştir. En yüksek güç değerleri beklendiği gibi her iki elemanın kullanımı durumunda yani güneş takipli ve Fresnel aynalı durumda elde edilmiştir. En düşük güçler ise her ikisinin de olmadığı



durumda elde edilmiştir. Her iki elemanın da güneş panel gücünü ve dolayısı ile verimini artırdığı deneylerle doğrulanmıştır. Ancak Fresnel aynasının güneş panel gücüne etkisinin güneş takip sisteminin etkisinden daha büyük olduğu görülmüştür. Deneylein yapılış yeri, zamanı ve panelin konumlandırılmasında bu farkın etkisi büyüktür. Bu üç faktöre göre güneş takip sisteminin panel verimini bu çalışmadakinden daha çok etkileyebileceği ve hatta bazı durumlarda takip sisteminin panel verimini Fresnel aynasından daha çok artırabileceği belirtilmelidir. Ayrıca Fresnel aynasının yüksek güneş ışınımı değerlerinde kullanılmasının panel üzerinde büyük sıcaklık artışlarına sebep olacağı ve panelin yanma veya kristal yapısının bozulma riskini doğuracağı unutulmamalıdır. Bu problemi engellemek için uygun panel soğutma uygulaması yapılmalıdır.

Enerji verimliliğine yönelik bu çalışmada, üretilen prototip ve yapılan deneysel çalışma dikkate alınarak yüzeysel bir maliyet analizi yapılması durumunda bireysel kullanımda amortisman süresinin aynı kalırken ilk yatırım maliyetinin artacağı tahmin edilmektedir. Fakat endüstriyel kullanımda istenilen parça dizaynları standart olarak seri üretildiğinde yatırım maliyeti düşeceğinden yüksek kar oranlarının elde edileceği ön görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Acar, C., Kılınçdemir, İ., “Güneş Takip Sistemi Ev İçin Güneş Enerjisi Hesapları”, [http://www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dcaf51a49\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dcaf51a49_ek.pdf)
- [2] Altaş, İ.H., “Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri”, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Nisan, vol. 47, pp. 66-71, Bileşim Yayıncılık A.Ş., 1998.
- [3] Özgöçmen, A., “Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [4] Şentürk, A.E., “Bir Entegre Güneş Kombine Çevrim Santrali Fizibilite Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [5] Huang, H., Su, Y., Gao, Y. and Riffat, S., “Design Analysis of a Fresnel Lens Concentrating PV Cell”, International Journal of Low-Carbon Technologies, 6/3, 165-170, 2011.
- [6] Kumar, V., Shrivastava, R.L., Untawale, S.P., “Fresnel Lens: A Promising Alternative of Reflectors in Concentrated Solar Power”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 376-390, 2015.
- [7] Çalışkan, H., Öztürk, H.K., “Güneş Takip Sistemlerinin İncelenmesi”, 2. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK-2008), Eskişehir, 2008.
- [8] Khan, M.F. and Ali, R.L., “Automatic sun tracking system”, All Pakistan Engineering Conference, Islamabad, Pakistan, 2005.
- [9] Akkaya, R. and Kulaksız, A.A., “A Microcontroller-Based Stand-Alone Photovoltaic Power System For Residential Appliances”, Applied Energy, 78, 419-431, 2004.