

# Deneysel Aktif Güneş Takip Özellikli Taşınabilir Şarj Sistemi Tasarımı Ve Uygulaması

Elchin Ismatli<sup>1</sup>, Aytaç Gören<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tımaztepe Yerleşkesi, 35397,  
Buca, İzmir, +90 232 3019233  
aytac.goren@deu.edu.tr

\*İletişimden sorumlu yazar/Corresponding author

Geliş/Recieved: 2 Ocak (January) 2017

Kabul/Accepte: 27 Mart (March) 2017

DOI: 10.18466/cbayarfbe.320015

## Özet

Şebekeden uzak alanlarda elektronik cihazların çalıştırılması geçmişte büyük bir sorun teşkil etmekteydi. Bu sorun, şebekeden bağımsız elektrik enerjisi üreten sistemlerin gelişmesi, yeni tekniklerin ortaya çıkması ve yaygınlaşmasıyla büyük bir oranda çözüme kavuşmaya başladı. Bu alandaki araştırmaların geniş bir kısmını fotovoltaik teknolojileri ve elektrik enerjisinin üretim verimliliğini arttıran çalışmalar oluşturmaktadır. Esnek ve yarı esnek fotovoltaiklerin(FVler) giysilerde kullanımı, fotovoltaiklerin çeşitli cihazlara gömülü olarak kullanılması, farklı hücre yapılarının yüzeye uygulanabilirliğinin artırılması, enerjinin daha verimli depolanabilirliğinin sağlanmaya çalışılması bu konuda son zamanlarda üzerinde çalışma yapılan konular olmaya başlamıştır. Bu çalışmada, mühendislik eğitiminde sistem modelleme, güneş enerjisi gibi derslerde uygulama yapmaya yönelik güneşi takip eden, taşınabilir bir güneş enerjisi depolama sistemi tasarımı ve uygulaması anlatılmaktadır. Güneşin yatay ve dikey eksenlerde takibi panel yüzeyinin güneş ışınlarını günün her saatinde dikey kabul etmesini ve maksimum enerji dönüşümü yapmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmada sistemin güneşe yönelirken minimum enerji harcamasına, prototipin taşınabilir ve ekonomik olmasına önem verilmiştir. Elde edilen değerler ve veriler doğrultusunda sistemin uygulanabilirliği test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — Bataryalar, fotovoltaikler, güneş enerjisi, güneş takip sistemleri, yenilenebilir enerji.

## Design And Implementation of an Experimental Active Solar Tracking Charger System

### Abstract

Using electronic devices in outdoor areas which are away from grid had been a problem for years. Achieving technical developments in off-grid electrical energy generation systems, researching new techniques and increase in popularity of renewable energy resources lead to solve this issue. Most of the researches in these areas includes photovoltaics(PVs) technologies and improvement of efficiency of electrical energy generation. Use of semi-flex and flex PVs in smart textiles, embedded solar cells in devices, increase of applicability of PVs on surfaces using different cells, increasing storing efficiency of solar energy are some popular research areas nowadays. This research is about design and implementation of a solar tracking portable charger. The purpose of this research is to realize an implementation for system modeling and solar energy lectures in engineering study. Tracking sun in both vertical and horizontal axes provides perpendicular harvesting of solar radiation all day long, thus increases energy conversation efficiency. Using minimum energy while tracking, having portable size and economical cost of prototype are considered as main design criteria on this work. Implementation

of the designated system is tested due to data and values provided.

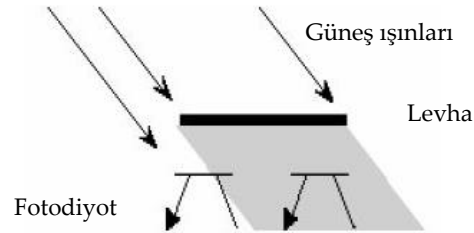
**Keywords** — Batteries, photovoltaics, renewable energy, solar energy, solar trackers,

## 1 Giriş

Teknolojinin sürekli ve hızlı geliştiği günümüzde elektronik cihazlar hayatımızın bir parçası haline geldi. Fakat bu cihazların çalışması için gereken enerji uzun süre karşılanamamaktadır. Enerji yoğunluğu yüksek batarya teknolojileri, depolanan hidrojeni kullanarak elektrik enerjisi üreten yakıt hücreleri, daha az enerji harcayan cihazlar bu yöndeki araştırmaların temel konuları olurken; bu sorunun başka bir temel çözümü ise kolay ulaşılabilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisini kullanmak olduğu söylenebilir [1,2,3,4].

Güneş enerjisinin çevre kirliliği, diğer enerji kaynaklarına olan ihtiyacı giderebilmesi, her yerden ulaşılabilir kaynak olması açısından öneminin her gün artmasına neden olmaktadır. Fakat bu enerji kaynağı üzerine yapılan yoğun araştırmalara rağmen, yaygın kullanılan en verimli fotovoltaiklerde bile verimin arzu edilen seviyelere henüz ulaşmamış ve fotovoltaikleri sadece ışınları dikey kabul ettiği zaman maksimum enerji dönüşümü yapması, fotovoltaiklerin yerleşim açılarının önemini arttırmaktadır [5]. Örneğin, zemine sabitlenmiş bir panel, gündoğumu ve günbatımı zamanında güneş ışınlarını  $0^\circ$  açıyla alması verimlerinin %45'e inmesine neden olmaktadır [6]. Bu sorunun çözümünde, verimliliğin artırılması için panellerin güneşi takip edecek bir sisteme yerleştirilmesi, açı dik gelme de yakın verimi verecek optik geometriye sahip üst katman laminasyonu veya ışığı yoğunlaştıran ek optik yüzeyler kullanılması uygulanan en yaygın yöntemlerdendir. Başka bir çözüm yöntemi ise yeni geliştirilen kimya ya da fizik teknikleri ile verimlerin arttırılmaya çalışılmasıdır. Buna bir örnek Förster rezonans enerji transfer yöntemi olarak gösterilebilir. Bu yöntemle optik olarak LSC yoğunlaştırıcılarda % 24.7 - % 75.1 arasında bir verim artışı sağlanmıştır [7, 8]. Fotovoltaik panellerin güneşe doğru yönlendirilmesi tek eksenli ve iki eksenli hareket mekanizmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek eksenli takip güneşi sadece doğudan batıya doğru izlerken, iki eksenli takip güneş yılın her gününde daha hassas bir şekilde takip edilebilir [9].

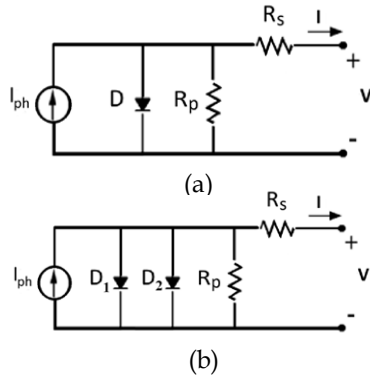
Çalışma kapsamında güneşin iki eksende takibi tasarlanmış ve takip fotodirençlerle, mikroişlemci olmadan sağlanmıştır (Şekil 1). Bu, prototipin devresinin basitliğine ve ekonomik olmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan algılayıcıların en basitleri fotodirenç kulanarak yapılmıştır [10]. Bunun yanı sıra, Jeff Damm 'Home Power' isimli çalışmasında iki fotodiyot kullanarak güneşi tek eksende takip etmiştir [11]. Fotodiyotların önü Şekil 1'de gösterildiği gibi küçük bir levha ile kapatılmıştır. Kontrolcü levhanın fotodiyotlar üzerinde yarattığı gölgeye göre paneli hareket ettirmektedir. Fakat bu yöntemin dezavantajı fotodiyotların hassaslığının az olmasıdır. Panelin hareketini için kullanılan doğru akım motorları sistemin kendi ürettiği ve depoladığı enerji ile beslenmektedir.



**Şekil 1.** Jeff Damm tarafından 'Home Power' projesinde kullanılan algılayıcı sistem [11]

Prototipin boyutlarının küçük olması (190[mm] uzunluk, 200[mm] yükseklik, 100[mm] en) ve isteniler yere kolaylıkla taşınabilir olması da bir avantajdır. Fotovoltaik (FV) hücre, genel olarak sabit akım kaynağı olarak modellenmekte ve bu bağlamda öne çıkan genel iki modelleme bulunmaktadır. Bunlar, Şekil 2 (a) ve Şekil (b) de gösterilen modellemelerdir. Denklem (1) ve (2) 'den de görülebileceği üzere, sabit akım çıkışlı kaynak, hücre üzerine düşen ışık şiddeti ile doğru orantılıdır. Fotovoltaiklerle ilgili parametreler, Tablo 1'de incelenebilir. FV hücre, ilk denklemde tek diyot, ikinci denklemde ise çift diyot genel kabulüyle gösterilmiştir. Bu modeller, Şekil (a) ve (b) de görülebilir. Hücre açık devre gerilimi değeri ise yüklü devre geriliminden oldukça farklıdır. Buna ek olarak, dış ortam sıcaklığı da hücre verimini etkile-

mektedir. Hücre matematiksel modelinin ifade edildiği aşağıdaki denklemler, Shockley diyot denklemlerinden gelmektedir.



**Şekil 2.** FV hücrenin modelleri (a) Tek diyot modeli, (b) Çift diyot modeli

**Tablo 1.** Fotovoltaiklerle ilgili parametreler

Hücre akımı hesaplamasında kullanılan parametreler			
$I_{ph}$	Işık kaynaklı akım [A]	$V$	Gerilim [V]
$I_s$	Hücre doyumu - karanlık akım - [A]	$k$	Boltzmann sbt. ( $1.38 \times 10^{-23}$ [J/K])
$T_c$	Hücre sıcaklığı [K]	$A$	İdeal faktörü [ ]
$q$	Elektron yükü ( $1.6 \times 10^{-19}$ [V])	$I$	Akım [A]
$I_{s1}$	Birinci diyot doyum akımı [A]	$I_{s2}$	İkinci diyotun doyum akımı [A]
$N_1$	$D_1$ 'in kalite faktörü [ ]	$N_2$	$D_2$ 'nin kalite faktörü [ ]
$V_t$	$I_{s1}$ gerilim [V], ( $k \cdot T_c / q$ )	$R_s$	Seri direncin iç direnci [Ω]
$R_p$	Paralel direncin iç direnci [Ω]		
Üreticiler tarafından verilen parametreler			
$V_{oc}$	Açık devre gerilimi @25°C [V]	$I_{sc}$	Kısa devre akımı @25°C [A]
$V_m$	Maks. güç gerilimi @MPP@25°C [V]	$I_m$	Maksimum güç akımı @MPP@25°C [A]
$P_m$	Maksimum güç @25°C [W]		

$$I = I_{ph} - I_s \left[ \exp \left( \frac{qV}{kT_c A} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[ \exp \left( \frac{V + I \cdot R_s}{N_1 \cdot V_t} \right) - 1 \right] - I_{s2} \left[ \exp \left( \frac{V + I \cdot R_s}{N_2 \cdot V_t} \right) - 1 \right] - \frac{(V + I \cdot R_s)}{R_p} \quad (2)$$

Güneşin takip edilmesiyle panellerin verimliliklerinin artırılması yönünde farklı yöntemler tasarlanmış ve uygulanmış, çeşitli algılayıcılar, kontrol devreleri ve motorlar kullanılmıştır.

Güneşin takibinde fotodiyot ve fotodirenç alternatif

olarak kızılötesi sensörünün de kullanılması mümkündür. J.Rizk ve Y. Chaiko tarafında yapılmış başka bir çalışmada algılayıcı olarak güneş pilleri kullanılmıştır [12]. Fotovoltaik hücreler, yüzeye birbirlerine açılı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Böyle bir tasarımda pillerin ürettiği gerilim ile güneş ışığının şiddeti arasında bağlantı olduğundan güneş tepede olmadığı sürede fotovoltaik çıkışlarında farklı gerilimler oluşturmaktadır. Bu fark, kontrol devresinde işlenerek motoru uygun yöne doğru döndürmektedir. Yapılan çalışmalarda aktüatör olarak adım motorlar da kullanılmıştır. Fakat adım motorlar daha karmaşık bir kontrol tekniği gerektirdiğinden bu çalışmada doğru akım motorları kullanılmıştır.

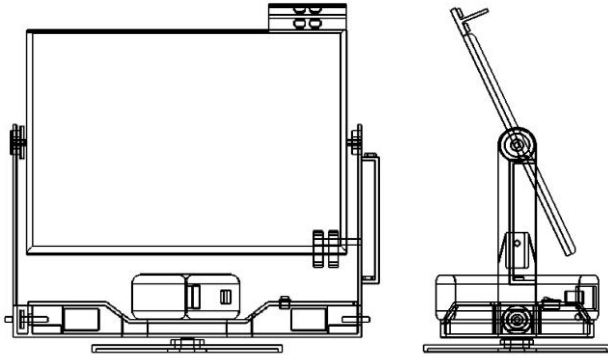
Güneş enerjisinden elektrik eldesiyle ilgili gelişmeler incelendiğinde, zamanla daha geniş bir alanda uygulama bulduğu, daha verimli sistem komponentleri ve ünitelerle daha uygun maliyetli olup, gelecekte de yeni alanlarla karşılaşılacağı rahatlıkla söylenebilir [13, 14].

## 2 Tasarım

Yapılan çalışmada prototip güneşi gün boyunca her iki ekseninde takip edecek şekilde tasarlanmıştır. Yatay ekseninde takip iki yönlü, dikey eksenindeyse tek yönlüdür ve bu hareketler birbirinden bağımsızdır.

Yatay ekseninde dönme yönünü belirlemek için dört adet, dikey eksen içinse iki adet (her yön için bir çift) ışık şiddeti ile direnci değişen komponentler (LDR) kullanılmıştır [15]. Hareketler, algılayıcıların ışık yoğunluğu geri beslemesi sonucu yapıldığından bu algılayıcılar döndürdükleri parçalara fonksiyonlarını yerine getirebilecek açılarda monte edilmiştir (Şekil 3).

Güneşin pozisyonuna göre algılayıcıların dirençlerinin değişmesi, kontrol devresindeki işlemsel kuvvetlendiricinin (OpAmp) girişlerindeki gerilimi değiştirmektedir. Bu değişim sonucu kuvvetlendirici motor sürücüsüne çıkış sinyali göndermekte ve sürücü motorun gerekli yönde dönmesini ve paneli döndürmesini sağlamaktadır. Algılayıcılar panellerle beraber hareket ettiğinden, dirençleri tekrar değişmektedir. Bu değerler birbirleriyle devamlı karşılaştırılmakta ve uygun bir toleransla eşitlendiğinde (algılayıcı dirençlerinin eşitliği durumunda) hareket durmaktadır. Her iki ekseninde hareket için blok diyagramı aynıdır.

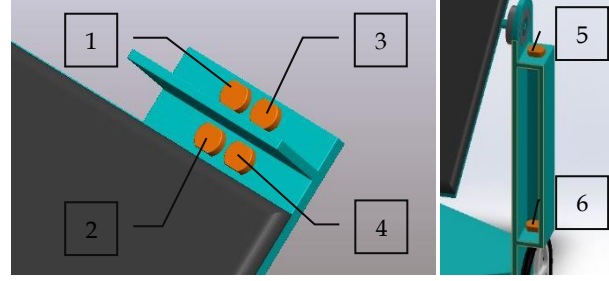


Şekil 3. Güneş takip sistemli taşınabilir şarj cihazı tasarımı

Prototipin dönmesi doğru akım motorlarıyla gerçekleştirilmiştir. Motor çıkışlarına monte edilmiş redüktörler, motor çıkış torklarını yüksek miktarda arttırmış, dolayısıyla hızda oluşabilecek kesikliklere engel olunmuştur. Redüktör çıkışı dönüş hızlarının düşük olması aynı zamanda mekanik tasarımı kolaylaştırmıştır. Taşınabilir şarj ünitesi 5 [V] ile beslendiğinden, panelin dönüştürdüğü enerji ilk olarak regülatörle 5 [V] gerilim seviyesine indirilmektedir. Daha sonra sistemdeki diğer elektronik devreler ve motorlar bu üniteden beslenmektedir. Bu çalışma yönteminin dezavantajı, şarj ünitesi dolduktan sonra, kullanım için prototipten ayrıldığında, başka bir depo takılmadığı sürece dönüştürülen enerjinin kullanılmıyor olmasıdır. Dolayısıyla sistem şarj edilecek cihazları sadece taşınabilir deposu üzerinden şarj edebilmektedir. Çalışma kapsamında prototipin tasarımı için kullanılmış ana ve ek malzemeler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Prototipin hazırlanması için gerekli parçalar

Parça İsmi	Parça bilgileri	Sayısı	
1	Fotovoltaik panel	115 [mm] x 160 [mm]	1
2	Fotodirençler	φ5 [mm]	6
3	İşlemsel kuvvetlendirici	LM324SM	1
4	Motor sürücü	L293D	2
5	Doğru akım motoru	FF-030PK	2
6	Taşınabilir şarj deposu	2600 [mAh]	1
7	Gerilim regülatörü	LM2940CT	1
8	Dirençler	10 [kΩ], 1 [kΩ]	9+6
9	Kondensatörler	10 [μF]	2
10	Redüktör	1:5000	2
11	Limit Anahtarı	adet	2
12	Açma kapama anahtarı	adet	1

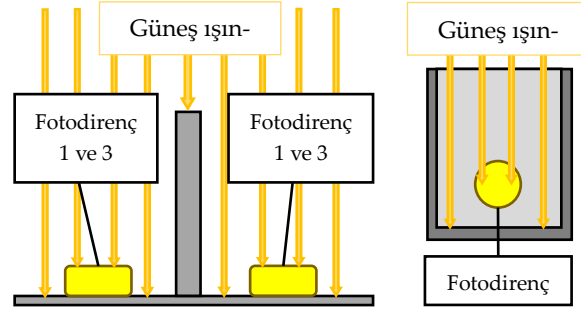


Şekil 4. Fotodirençler ve numaraları

## 2.1 Algılayıcılar

Çalışmada toplam altı adet fotodirenç algılayıcı kullanılmış ve fotodirençler Şekil 4'teki gibi numaralandırılmıştır. 1 ve 2 numaralı fotodirençler yatay ekseninde saat yönünde, 3 ve 4 numaralılar yatay ekseninde saat yönüne ters, 5 ve 6 numaralılarsa dikey ekseninde hareketi (bu ekseninde sadece bir yönde hareket var) belirlemektedir.

Kullanılan algılayıcı çiftler (1-2, 3-4 ve 5-6), biri diğerinin direnç değerini referans alarak gölgeyi tespit edecek şekilde tasarlanmıştır. Prototip, panel güneşe doğru bakarken algılayıcı çiftlerin güneş ışını aynı oranda alacağı şekilde yapılmıştır (Şekil 5).

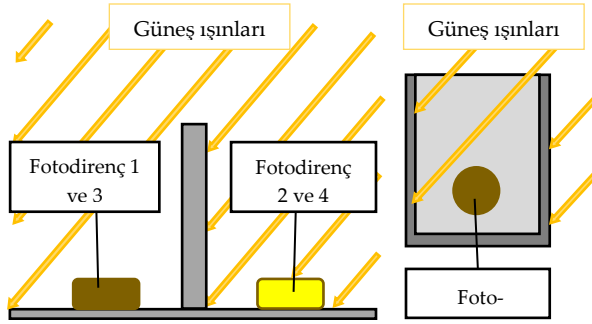


Şekil 5. Fotovoltaik yüzeyi güneşe dik iken algılayıcılar

Yatay yönde güneşi takip etmek için 1-2 ve 3-4 numaralı sensör çiftlerinin arasına levha yerleştirilmiştir. Bu levha güneşin herhangi yönde hareketi sonucu algılayıcıların gölgede kalmasına neden olacaktır ve gölgedeki sensörün geri bildirim, yatay eksen motorunun paneli uygun yönde (1-2 saat yönünde, 3-4 saat yönüne ters) döndürmesiyle sonuçlanacaktır.

Dikey yönde güneşi tespit etmek için ise 5-6 numaralı sensör çiftinin bir tanesi (6 numaralı) üç tarafı kapalı bir yuvaya yerleştirilmiştir. Diğeri ise referans olacak şekilde sürekli güneş alan yere yerleştirilmiştir. Yuvadaki algılayıcıya gölge düştüğü zaman dikey eksen motoru prototipi döndürecek. Algılayıcıya

güneş ışığı geldiğinde dönme duracak ve fotovoltaik panel yüzeyinin güneşe dikliği sağlanmış olacaktır (Şekil 6).



Şekil 6. Fotovoltaik yüzeyinin güneşe dik olmadığı durumda algılayıcılar

## 2.2 Motorlar

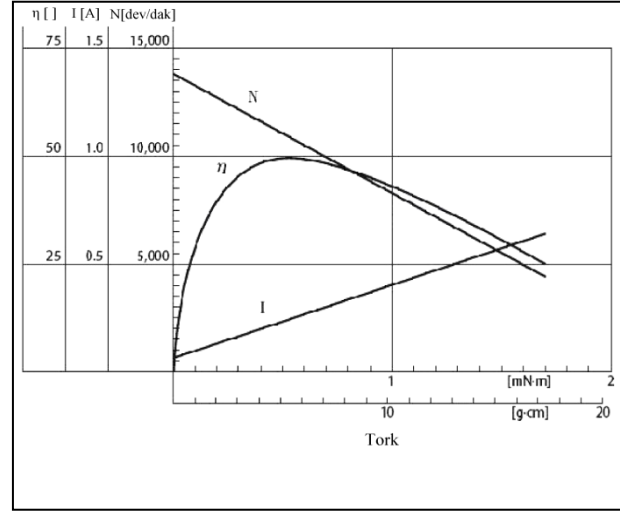
Çalışmada iki adet (yatay ve dikey eksen motoru) fırçalı doğru akım motoru kullanılmıştır. Gerilim aralıkları 2 - 5,5 [V] olan (5V nominal) FF-030PK-09210 model motorların teknik detayları ve tork eğrisi Tablo 3 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 3. Motorların teknik özellikleri

Boşta Dönme	
Hız	13800 [dev/dak]
Akım	66 [mA]
Maksimum Verimde Çalışma	
Hız	10870 [dev/dak]
Akım	250 [mA]
Tork	5,4 [g·cm] / 0,53 [mN·m]
Çıkış gücü	0,6 [W]
Hız kesimi (stall)	
Akım	910 [mA]
Tork	25 [g·cm] / 2,5 [mN·m]

Kullanılan redüktörlü motorlar 1:5000 çevrim oranına sahiptir. Redüktörler çıkış hızını dakikada 3 devire kadar indirmektedir. Böyle bir hız düşümü motorların ek bir dişli kutusu gereksinimini ortadan kaldırmıştır. Kullanılan redüktörler motorların çıkış torklarını da arttırdığından hızda kesiklilik oluşmaktadır.

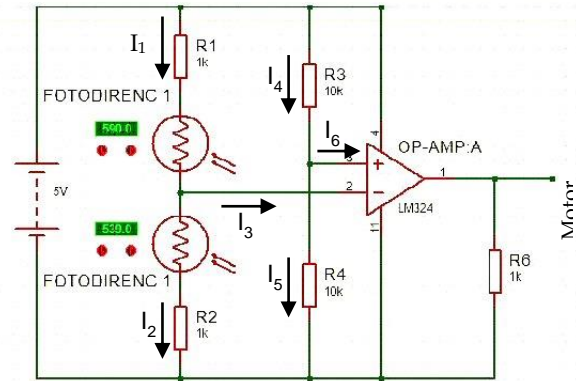
Motorlar, depolanan enerji ile motor sürücüsü üzerinden beslenmiştir. Yatay eksen motoru limit anahtarlarıyla her iki yonde, dikey eksen motoruysa sadece tek yönde hareket ettirilmiştir.



Şekil 7. Motorların tork eğrisi [16]

## 2.3 Elektronik Devreler

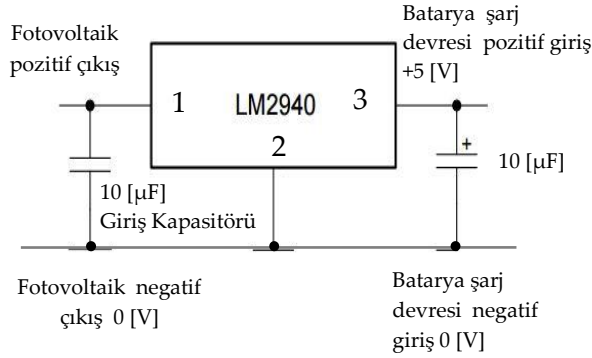
Çalışmada üç ayrı elektronik devre tasarlanıp kullanılmıştır. Bunlardan ilki şarj regülatörü devresidir ve direkt panel çıkışlarına bağlanmıştır. İkinci ve üçüncü devreler ise sırasıyla algılayıcı ve karşılaştırma devresi ile motor sürücüsü devresidir. Şekil 8'de algılayıcı ve karşılaştırma devresi bölümleri incelenebilir.



Şekil 8. Elektronik devre şeması

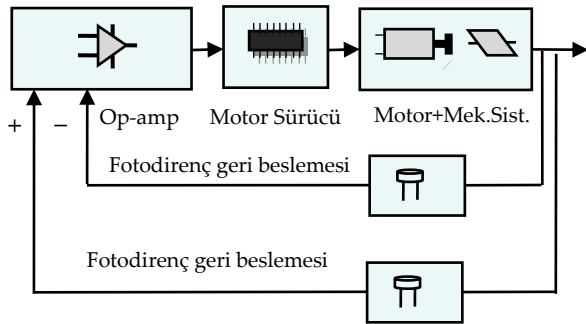
Gerilim regülatörü devresi panelden gelen elektrik enerjisinin gerilim seviyesini 5[V] seviyesine indirilip batarya paketinin beslemesi için tasarlanmıştır (Şekil 9). Batarya paketi girişinde tek hücre LiIon bataryanın şarjını denetleyen batarya yönetim devresi bulunmaktadır. Gerilim regülatörü devresinde LM2940 yongası ve iki adet 10[μF] kapasitör kullanılmıştır. LM2940 entegresinin kullanılma nedeni daha düşük minimum giriş gerilime sahip olmasıdır (6,25 [V])

[17]. Devredeki giriş kapasitörü devre panelden uzakta olduğu için, çıkış kapasitörü ise çıkış gerilimini regüle etmek için kullanılmıştır. Kullanılan regülâtörün en büyük dezavantajı, düşük de olsa enerji kaybına neden olmasıdır. LM2940 entegresi, pozitif bir gerilim regülâtörüdür ve muadil gerilim regülâtörlerine göre gerilim düşümü az olan bir regülâtördür.



Şekil 9. LM2940 entegresi ve regülâtör devresi

Çalışmada toplam üç adet aynı yapıya sahip kontrol devresi kullanılmıştır (Şekil 10). Birinci kontrol devresi (1 ve 2 numaralı fotodirençleri içermektedir) yatay ekseninde saat yönünde dönmeyi, ikinci devre (3 ve 4 numaralı fotodirençleri içermektedir) yatay ekseninde saat yönüne ters dönmeyi, üçüncü devre ise dikey yönde dönmeyi sağlayan çıkış gerilimi vermektedir. Bu kontrol devreleri op-amp ve dirençlerin (direnç ve algılayıcıların) oluşturduğu Wheatstone köprüsü olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Devreler açma-kapama anahtarıyla şarj ünitesinden 5[V] sabit gerilim ile beslenmiştir.



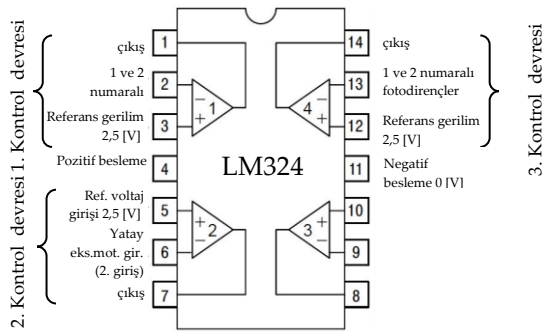
Şekil 10. Kontrol devresi gösterimi

İşlemsel kuvvetlendirici olarak ekonomik, dört adet op-amp içeren, düşük giriş akımına sahip

(maks. 100[nA]) LM324 entegresi kullanılmıştır [18]. Entergenin on iki bacağı vardır. Üç numaralı bacak pozitif gerilime (5[V]), 11 numaralı bacaksa negatif gerilime (0[V]) bağlanmıştır. Entegrenin 2, 6 ve 13 numaralı bacakları op-amp'ların tersleyen, 3, 5 ve 12 numaralı bacaklarıysa terslemeyen bacaklarıdır. Kontrol devrelerinin çıkışları 1, 7 ve 14 numaralı bacaklardan yapılmaktadır. (Şekil 11). Birinci kontrol devresinin şematiği Şekil 10'da gösterilmiştir (diğer kontrol devreleri de aynı yapıya sahiptirler). Burada 1 ve 2 numaralı fotodirençler (diğer devrelerde 1 numaralı fotodirenç yerinde 4 veya 6; 2 numaralı fotodirenç yerinde ise 3 veya 5 numaralı fotodirençler vardır) ve R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> dirençleri Wheatstone köprüsünü oluşturmaktadır. R<sub>3</sub> ve R<sub>4</sub>'ün değerleri 10[kΩ] olarak seçilmiştir ve Op-Amp'ın terslenmeyen girişine bağlanmıştır. Bu dirençlerin eşit olması Op-Amp girişindeki gerilimin 2,5[V] olmasını sağlamaktadır. Op-amp'ın tersleyen girişindeki gerilim Denklem 3 ile hesaplanabilir. Bu denklemde R<sub>fotodirenç1</sub> ve R<sub>fotodirenç2</sub> 1 ve 2 numaralı algılayıcıların dirençleri, R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> ise 1 ve 2 numaralı dirençlerin değerleridir. R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> dirençleri 1[kΩ] olduğundan bu girişteki geriliminin 2,5[V] olması için her iki fotodirenç aynı oranda güneş ışığını almalıdır. Bu nedenle herhangi bir fotodirenç gölgede kaldığında op-amp girişlerindeki gerilim değerlerinde farklar oluşmakta ve op-amp bu farkla orantılı olarak çıkış gerilimini arttırmaktadır. İşlemsel kuvvetlendiricinin besleme girişleri 0 ve 5[V] olduğundan 1 numaralı fotodirenç gelen ışığın az olması (2. fotodirençle kıyasla) çıkışın 5[V], diğer durumlardaysa çıkışın 0[V] olmasıyla sonuçlanacaktır.

$$V = \frac{R_{Fotodirenç2} + R_2}{R_{Fotodirenç1} + R_1 + R_{Fotodirenç2} + R_2} \times 5[\text{volt}] \quad (3)$$

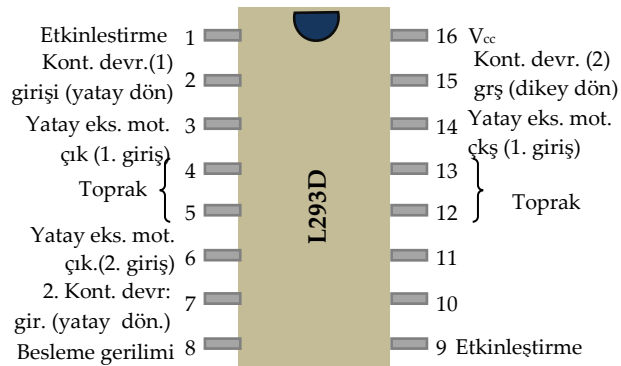
Devrede fotodirençlere seri olarak R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> dirençlerinin bağlanması ve R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> dirençlerinin değerlerinin büyük seçilmesi enerji tasarrufu amacıyla yapılmıştır. Çalışmada kullanılan motorların sürülmesi için gereken akım, kontrol devresindeki işlemsel kuvvetlendiricinin verebileceğinden fazla olduğu için L293d tipli motor sürücü entegresi kullanılmıştır.



**Şekil 11.** LM324 OpAmp entegresinin çalışmada kullanılan bağlantıları.

Entegre çift H köprüsünden oluşmaktadır ve bu yapı sürücüye 2 doğru akım motorunu birbirinden bağımsız, iki yönlü çalıştırabilme özelliğini kazandırmıştır. Sürücü her çıkışından 600[mA] akım sağlayabilmektedir [18]. L293d motor sürücüsünün Şekil 12'de gösterildiği gibi 16 bacağı vardır.

Devre kurulumunda entegrenin 4, 5, 13 ve 14 numaralı bacakları topraklanmıştır. 16 numaralı bacak entegrenin çalışmasını sağlamak için, 1 ve 9 numaralı bacaklar her iki H köprüsünü etkinleştirmek için, 8 numaralı bacaksa motoru beslemek için 5[V] gerilime bağlanmıştır. Yatay eksen motorunun girişleri 3 ve 6 numaralı bacağı, dikey eksen motorunusa sadece bir girişi 14 numaralı bacağı bağlanmıştır (Diğer girişi herhangi bir durumda panelin fazla dönmesinin engellenmesi için seri bağlanmış limit anahtarları üzerinden 0[V] gerilim hattına bağlanmıştır). Kontrol devrelerinin çıkışları 10 [kOhm] pull-down dirençleri kullanılarak 2, 7 ve 15 numaralı bacaklara bağlanmıştır.



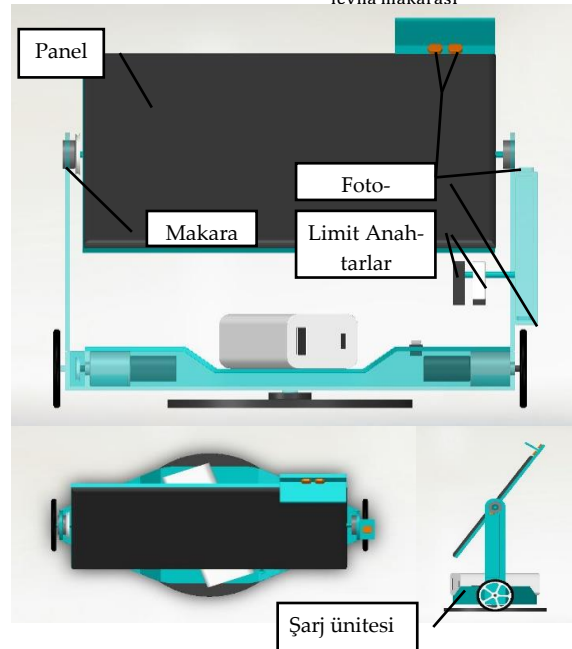
**Şekil 12.** L293D yongasının kullanılan bacaklarının işlevleri.

## 2.4 Mekanik Tasarım

Çalışmada iki parçadan oluşan prototip, katı modelleme programı yardımıyla tasarlanıp hareket ve elektronik devre benzetimleri gerçekleştirildikten sonra üretilmiştir. (Şekil 13 ve Şekil 14). İlk kısım; üzerinde güneş panelini, hareketin aktarılması için kullanılan makarayı ve kontrol devrelerindeki Wheatstone köprülerini barındıran levhadan oluşuyor. Diğer kısım; kontrol devrelerinin geri kalan hissesini, regülatör devresini, motorları taşımaktadır. Bu parçalar gövdeye monte edildikten sonra üzeri kapakla kapatılmıştır. Kapak, üzerine şarj deposu yerleştirilebilecek şekilde çökük tasarlanmıştır. Prototip, dikey eksende hareket etmek için döner eklem kullanılarak sabit disk üzerine yerleştirilmiştir. Yatay ekseninde dönme birbirine seri bağlı limit anahtarlarıyla sınırlandırılmıştır. Prototipin yatay ve dikey yönde dönme hızları Denklem (4) ve (5) ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Burada;  $\omega_{motor}$  motorların redüktör çıkışındaki radyal dönme hızları,  $r_{tekerlek}$  motora monte edilmiş tekerleğin yarıçapı,  $l_{tekerlek-eklem}$  tekerlekle eklem arasındaki mesafe,  $r_{motor}$  makarası ve  $r_{levha}$  makarası ise motor ve levhadaki makara yarıçaplarıdır.

$$\omega_{dikey} = \omega_{motor} \times \frac{r_{tekerlek}}{l_{tekerlek-eklem}} \quad (4)$$

$$\omega_{yatay} = \omega_{motor} \times \frac{r_{motor\ makarası}}{r_{levha\ makarası}} \quad (5)$$



**Şekil 13.** Prototipin mekanik tasarımı

## 2.5 Güç ve Enerji Hesabı

Hazırlanan prototipin enerji ihtiyacı sadece güneş panelinden sağlanmaktadır ve kullanılan güneş panelinin gücü  $3,5 [W_p]$ 'tir. Panellerin dönüştürdüğü bu enerjinin bir kısmı regülatörde ve kontrol devresinde kaybolmakta, bir kısmıysa motor sürücüsü ve motorların dönmesini sağlamaktadır. Geri kalan tüm enerji şarj biriminden birikmektedir. Prototipin gün boyunca güneşi takip etmesi için yatay ve dikey ekseninde toplam  $360^\circ$  dönmesi gerekmektedir. Bu hareket için gerekli zaman, Denklem (6) ve (7) ile hesaplanmıştır.  $\theta_{dikey}$  dikey ekseninde toplam dönme açısı,  $\theta_{yatay}$  yatay ekseninde toplam dönme açısıdır. Yatay ve dikey eksenindeki hareketlerin farklı zamanlarda olduğu kabul edilip toplam süre, Denklem (8) ile bulunmuştur.

$$t_{dikey} = \frac{\theta_{dikey} \times \frac{\pi}{180^\circ}}{2 \times \pi \times \omega_{dikey}} \quad (6)$$

$$t_{yatay} = \frac{\theta_{yatay} \times \frac{\pi}{180^\circ}}{2 \times \pi \times \omega_{yatay}} \quad (7)$$

$$t_{toplam} = t_{dikey} + t_{yatay} \quad (8)$$

Bu süre tüm gün çalışacak bir sistem için çok kısa olduğundan ihmal edilmiştir ve bu yüzden enerji kaybı hesaplarında fotodirençlerin gölgede kalmadığı kabulü yapılmıştır. Sistemdeki en fazla güç kaybı regülatör devresinde oluşmaktadır. Bu kaybı hesaplamak için ilk olarak panel çıkışındaki maksimum akım Denklem (9) ile bulunur.

$$I_{panel} = \frac{P_{panel}}{V_{panel}} \quad (9)$$

Burada;  $P_{panel}$  panelin maksimum verimle çalışırkenki gücü,  $V_{panel}$  panel maksimum verimle çalışırken sağladığı gerilimdir. Regülatörün enerji kaybı ise Denklem (10)'dan elde edilebilir.  $V_{devre}$  regülatör çıkışındaki gerilimdir.

$$P_{regülatör} = (V_{panel} - V_{devre}) \times I_{panel} \quad (10)$$

Kontrol devrelerindeki enerji kayıpları fotodirenç ve dirençler üzerinden geçen akım sonucu oluşmaktadır (Şekil 8'de gösterilmiştir). Bu akımları bulmak için Kirchhoff'un düğüm yasası devreye uygulanmıştır (Denklem (11) ve Denklem (12)).

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (11)$$

$$I_4 = I_5 + I_6 \quad (12)$$

Burada;  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$  Şekil 8'de gösterilen akımlardır. Kullanılan op-amp'ın girişleri yüksek empedansa sahip olduklarından  $I_3$  ve  $I_6$  akımları ihmal edilmiş

ve  $I_1 \approx I_2, I_4 \approx I_5$  olduğu bulunmuştur. Fotodirençlerin gölgede kalma süreleri ihmal edildiğinden dirençleri  $300[\Omega]$  kabul edilip  $I_1$  ve  $I_4$  akımları Denklem (13) ve Denklem (14)'ten elde edilebilir. Burada  $R_3, R_4$  3 ve 4 numaralı dirençlerin değerleridir. Akımlar bulunduktan sonra Denklem (15) ile kontrol devresinin harcadığı güç hesaplanmıştır.

$$I_1 = \frac{V_{devre}}{R_1 + R_{Fotodirenç 1} + R_2 + R_{Fotodirenç 2}} \quad (13)$$

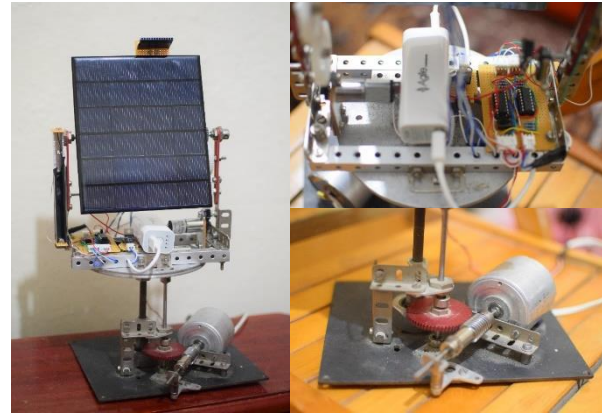
$$I_4 = \frac{V_{çıkış}}{R_3 + R_4} \quad (14)$$

$$P_{k.devresi} = 3 \times V \times (I_1 + I_4) \quad (15)$$

Motor sürücüsü, giriş pimleri 0 [V] olduğu durumda (diğer durumlar ihmal ediliyor) 40 [mA] ( $I_s$ ) akım çekmektedir [18]. Buna ek olarak giriş pimlerindeki pull-down dirençlerinde enerji kaybı vardır. Bu dirençlerdeki akım Denklem (16)'da gösterilmiştir. Bu eşitlikte  $R_{pull-down}$  pull-down dirençlerinin değerleridir. Motor sürücü entegresinin güç kaybı ise Denklem (17) ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte,  $I_s$  sürücü entegrenin çektiği akımdır.

$$I_{pull-down} = \frac{V_{devre}}{R_{pull-down}} \quad (16)$$

$$P_{sürücü} = 3 \times V_{devre} \times I_{pull-down} + V_{devre} \times I_s \quad (17)$$



Şekil 14. Uygulama sonucu hazırlanan prototip.

Tüm kayıplar bulunduktan sonra sistemin şarj deposunu doldurma gücü Denklem (18) ile elde edilir. Prototip, enerjinin depolanması için 5[V] giriş gerilimli 2600[mAh] kapasiteli şarj deposuna bağlanmıştır. Bu deponun tam dolması için gereken enerji ise Denklem (19) ile hesaplanabilir. Denklem (19)'da ( $I \times t$ ) şarj kapasitesidir. Bu kapasitenin tam dolma süresi ise Denklem (20) ile bulunmuştur. Bu işlemlerin ardından elde edilen sonuçlar Tablo 4'te incelenebilir.



$$P_{biriken} = P_{panel} - P_{regülâtör} - P_{sürücü} - P_{k.devresi} \quad (18)$$

$$E_{şarj deposu} = V_{devre} \times (I \times t) \quad (19)$$

$$t = \frac{E_{şarj deposu}}{P_{biriken}} \quad (20)$$

**Tablo 4.** Hesaplama sonuçları

$\omega_{dikey}$	0,57 [dev/dak]	$I_1$	1,9 [mA]
$\omega_{yatay}$	1,28 [dev/dak]	$I_4$	0,25 [mA]
$t_{dikey}$	105 [s]	$P_{k.devresi}$	32,25 [mW]
$t_{yatay}$	47 [s]	$I_{pull-down}$	0,5 [mA]
$t_{toplam}$	152 [s]	$P_{sürücü}$	0,21 [W]
$I_{panel}$	0,5 [A]	$P_{biriken}$	2,26 [W]
$P_{regülâtör}$	1 [W]	$E_{şarj deposu}$	13 [Wh]
		$t$	5,75 [saat]

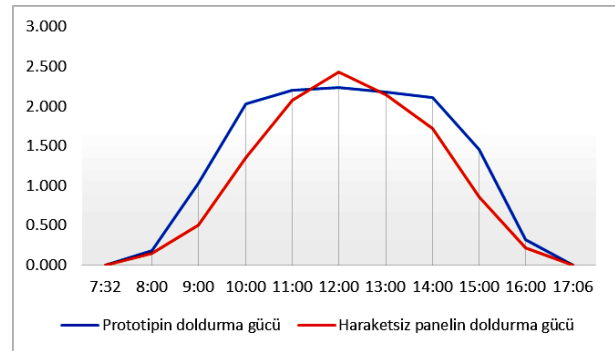
### 3 Uygulama ve Deneyle

Gerçekleştirilen mekanik tasarım uygulamaya dökülürken elektronik devreler aynı kalmış fakat mekanik tasarım parçaları değiştirilmiştir (Şekil 14). Uygulama sonucu hazırlanan prototipin tasarlandığı gibi çalışıp çalışmadığı deneyle denetlenmiş, bulunan değerler tabloda gösterilmiştir. Denei sonucunda günün farklı saatlerinde panelin besleme akımı ölçülmüş ve panelin gücü (Denklem (9)) bağıntısıyla hesaplanmıştır. Prototipin çalışması sırasında kontrol devreleri ve motor sürücü üzerindeki akımlar da avometreyle ölçülmüş, Denklem (8) - (17) bağıntıları kullanılarak güç kayıpları hesaplanmıştır (Tablo 5). Aynı zamanda hareketsiz panelin de şarj deposunu doldurma gücü hesaplanmış ve Şekil 15'te karşılaştırma yapılmıştır.

Yapılan deneyde prototipin saat 10.00 ve saat 14.00 arasında yüksek verimle çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu zaman aralığında sistemin şarj deposunu ortalama doldurma gücü 2,15 [W]'tır ve 2600 [mAh] kapasiteli depoyu tam boş iken yaklaşık 6 saatte doldurmaktadır. Bu değer teorik sonuçtan farklı olma nedeni, dikey eksen motorunun tasarlanandan farklı olması, dikey eksen güneş takibi hassasiyetinin az olması, şarj deposunun tam olarak 2600[mAh] olmaması, algılayıcı, direnç, entegre ve motorların belirlenen tolerans aralıkları ve teorik hesaplamadaki ihmallerden kaynaklanmaktadır. Şekil 15'te dikey eksen, üretilen anlık gücü - doldurma gücünü [W], yatay eksen ise saatleri göstermektedir.

**Tablo 5.** Denei sonucu ölçülen akımlar ve yapılan güç hesabı

Saat	Panelin besleme akımı [A]	Panelin gücü [W]	Kontrol devresi akımları [mA]	Regülâtörde güç kaybı [W]	Kontrol devresi güç kaybı [W]	Hareketli panel ile üretilen anlık gücü [W]	Hareketsiz panel ile üretilen anlık gücü [W]
7:32	0.000	0.00	3.75	0	0.023	0.000	0.00
8:00	0.085	0.60	4.69	0.17	0.027	0.188	0.14
9:00	0.255	1.79	5.00	0.51	0.029	1.036	0.50
10:00	0.455	3.19	5.36	0.91	0.031	2.034	1.36
11:00	0.490	3.43	5.77	0.98	0.033	2.207	2.07
12:00	0.495	3.47	5.77	0.99	0.033	2.232	2.43
13:00	0.485	3.40	5.77	0.97	0.033	2.182	2.14
14:00	0.470	3.29	5.45	0.94	0.031	2.109	1.71
15:00	0.340	2.38	5.00	0.68	0.029	1.461	0.86
16:00	0.110	0.77	4.29	0.22	0.025	0.315	0.21
17:06	0.000	0.00	3.75	0	0.023	0.000	0.00

**Şekil 15.** Hazırlanan prototipin ve sabit panelin doldurma gücü

### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, güneş enerjisini daha verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürerek batarya birimini daha kısa bir sürede doldurmak amacıyla, güneşi takip eden prototip bir sistem tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Yapılan tüm aşamalar detaylı anlatılmıştır. Çalışma, mühendislik eğitiminde ilgili ders ve laboratuvar çalışmalarında uygulama için bir prototip tasarımını ve sonuçlarının sunulmasını hedeflemiştir.

Hazırlanan prototip, gün boyunca güneşten maksimum verim elde etmek amacıyla panelin sürekli güneş ışınlarına dik olacak şekilde hareket ettiren kontrol kartlarından, mekanik sistemden ve şarj sisteminden oluşmaktadır. Böyle bir tasarım, mühen-

dislik eğitiminde kontrol sistemleri ve güneş enerjisi gibi derslerde kullanılabilmesi yanında, son zamanlarda teknolojiye olan ihtiyacımızın sonucunda ortaya çıkan cihazların şarj süresinin az olması problemini düşük güçte cihazlar için uzun süre şebekeden uzakta kalınması durumunda çözümlenebilecektir.

Çalışma kapsamında hazırlanan prototipte dikey eksenindeki takip için kullanılan algılayıcıların yerleşiminde sıkıntılar yaşanmıştır. Yapılmış yuvanın ön kısmı fazla açık olduğundan, gölge, zamanında oluşmamış ve dikey eksenindeki hassasiyeti düşürmüştür. Bu durum, foto direnç komponentinin boyutlarına uygun mekanik boyutlandırma ile çözülmüştür.

Çalışmanın ışığında hazırlanan sistemin güneşi takip mekanizmasının hassasiyeti artırılabilir ve daha büyük boyutlardaki fotovoltaiik panel uygulamaları veya güneş enerji odaklayıcılarının veriminin artırılmasında kullanılabilir.

## 5 Referanslar

- [1] Rahman, H. A.; Majid, Md.S.; Jordehi, A.R.; Kim, G.C.; Hassan, M.Y.; Fadhl, S.O. Operation and Control Strategies of Integrated Distributed Energy Resources: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015; 51, 1412-1420.
- [2] Das, V.; Padmanaban, S.; Venkitesamy, K.; Selvamuthukumaran, R.; Blaabjerg, F.; Siano, P.; Recent Advances and Challenges of Fuel Cell Based Power System Architectures and Control – A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017; 73, 10-18.
- [3] Li, Y.; Yang, J.; Song, J. Design Principles and Energy System Scale Analysis Technologies of New Lithium-Ion and Aluminum-Ion Batteries for Sustainable Energy Electric Vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017; 71, 645-651.
- [4] Belmonte, N.; Girgenti, V.; Florian, P.; Peano, C.; Luetto, C.; Rizzi, P.; Baricco, M. A Comparison of Energy Storage from Renewable Sources Through Batteries and Fuel Cells: A case study in Turin, Italy, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41/46, 21427-21438.
- [5] National Laboratory of U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, <http://www.nrel.gov/ncpv/>, 2016.
- [6] Kassem, A.; Hamad, M. A Microcontroller-Based Multi-Function Solar Tracking System, *IEEE International on Systems Conference*, 2011, Montreal, Canada, 4-7 April 2011.
- [7] Zhang, P.; Zhou, G.; Zhu, Z.; Li, W.; Cai, Z.; Numerical Study on the Properties of an Active Sun Tracker for Solar Streetlight, *Mechatronics*, 2013, 23/8, 1215-1222.
- [8] Tummeltshammer, C.; Portnoi, M.; Mitchell, S. A.; Lee, A.T.; Kenyon, A.J.; Tabor, A.B.; Papakonstantinou, I. On the Ability of Förster Resonance Energy Transfer to Enhance Luminescent Solar Concentrator Efficiency, *Nano Energy*, 2017; 32, 263-270.
- [9] HBeonLabs Technologies Pvt Ltd, [http://www.hbeonlabs.com/reports/Time Operated Solar Tracking System\\_Report.pdf](http://www.hbeonlabs.com/reports/Time%20Operated%20Solar%20Tracking%20System_Report.pdf), 2015
- [10] DAMM, J. An active solar tracking system, *HomeBrew Magazine*. Issue #17, June/July 1990.
- [11] Oo, L.L.; Hlaing, N.K. Microcontroller-based two-axis solar tracking system, *Second International Conference on Computer Research and Development*, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia, 7 - 10 May 2010.
- [12] Rizk, J.; Chaiko, Y. Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 17, 2008.
- [13] U.S. Department of Energy, [https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf), 2015.
- [14] Wolfgang, P. Power for the World - The Emergence of Electricity from the Sun. Belgium Pan Stanford Publishing, Danvers, USA, 2011; 6 pp.
- [15] Norp 12 RS datasheet, RS Components, Mart 1997.
- [16] Mabuchi Motor Co.,Ltd. "FF-030PK Motor datasheet".
- [17] Texas Instruments, "LM2940x Regulator Datasheet", Aralık 2014.
- [18] SGS-Thomson Microelectronics, "Push-Pull Four Channel Driver Datasheet".