

Designing a PLC-Based Real-Time Sun Tracking System

(Corresponding author),
Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Vocational School of Kahramanmaraş, Turkey,
sabanyilmaz1@hotmail.com

Saban Yılmaz, Ahmet Karatutlu, Celil Kekeç,

Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Vocational School of Kahramanmaraş, Turkey,

Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Vocational School of Kahramanmaraş, Turkey

Abstract

Energy costs and their harm to the environment constantly increase due to the limited nature of existing energy sources and increasing need for the energy. Renewable energy sources offer a new solution to the need for energy. Solar energy, which is one of the most important renewable energy sources, has witnessed significant developments in recent years. Solar tracking systems are used to increase the efficiency of PV systems which generate electricity using solar energy. Open loop control system was used in the application. A biaxial mechanism was designed to track solar movements in accordance

Keywords: Solar Panel, Biaxial Tracking, Active Solar Tracking System, PLC

PLC tabanlı Gerçek Zaman Saati ile Güneş Takip Sistemi Tasarımı

Özet

Enerji ihtiyacının her geçen gün arttığı günümüzde, mevcut enerji kaynaklarının kısıtlı olmasından dolayı maliyetler ve çevreye verilen zarar artmaktadır. Yeni enerji ihtiyaçlarının karşılanması için yenilenebilir enerji kaynakları yeni bir umut oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan PV sistemlerin verimini artırmak için güneş takip sistemleri kullanılmaktadır. Uygulamada açık döngü kontrol sistemi kullanılmıştır. Belirlenen güneş yörüngelerine göre takip işlemi iki eksenli olarak tasarlanan bir mekanizma ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Güneş Paneli, İki Eksenli Takipçi, Aktif Güneş Takip Sistemi, PLC

1. Giriş

Enerji; sanayinin, üretimin, gelişmenin, kalkınmanın en temel girdisidir. Gerek dünyada, gerekse ülkemizde, nüfus artısına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır (Akgün, 2006). Günümüzde kullanılan fosil yakıtların sınırlı olması, çevreyi kirletmesi ve iklim değişikliğine neden olması karşısında somut önlemler alınması gerekliliği kullanıcıları ve üreticileri temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yöneltmiştir (Demirtaş, 2009). Çevre kirliliği problemleri ile ekonomik değerlendirmeler sonucunda ucuz ve temiz enerji düşüncesi, yenilenebilir enerji araştırmalarının hızını daha da artırmıştır. Özellikle son yıllarda elektrik enerjisi üretim alanında yenilenebilir çevre dostu yeni enerji kaynakları ile enerji üretimi çok büyük önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, kullanım oranı gün geçtikçe artan ve ülkemizde de son yıllarda aydınlatma sistemleri, sinyalizasyon sistemleri gibi uygulamalarda sıkça gördüğümüz bir enerji kaynağıdır. Alternatif enerji kaynaklarından, güneşle termal ısıtma, güneş pilleri ve yakıt pilleri sahip olduğu pek çok olumlu özellik ile ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisinin öneminin giderek artması beklenmektedir. Çünkü güneş yeryüzünde tüketilen toplam enerjiden 10.000 kez daha

fazla enerjiyi yeryüzüne yollayan çevre dostu bir enerji kaynağıdır (Beyoğlu, 2011).

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 1966-1982 yılları arasında Türkiye için güneşlenme süresi ve ışınım şiddetini ölçmüştür. Bu verilerine göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl, olduğu tespit edilmiştir (Web, 2015).

Abu- Khader ve ark. (2008), PLC kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Güneş takip sistemini gün içerisinde güneşin konumuna göre dört kez döndürerek ürettikleri enerji sabit sisteme göre %30 ile %45 arasında daha fazla olduğunu ve güneşi takip etmek için harcadığı enerji ürettiği enerjinin %3'ünün altında olduğunu tespit etmiştir. Rumala (1986), servo motor, foto direnç sensörleri ve sinyal işleme devresi kullanarak gölge yöntemli bir güneş takip sistemi geliştirmiştir. Bir başka çalışmada Clifford ve Eastwood pasif bir güneş izleyici sistemi tasarlamışlardır. Bu sistemin verimi %23 arttırdığını tespit etmişlerdir. Abdallah ve Nijmeh (2004), PLC kontrollü, iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Kontrol için gün içerisinde güneşin konumunu ölçmüşler ve bu ölçüme göre güneşin hızını tahmin etmişler. Tahmin ettikleri hız ile sistemi sürekli döndürerek güneşi takip etmişlerdir. Sistemden elde ettikleri enerjiyi, güney yönünde 32° eğim açısı ile yerleştirilmiş sabit sistemde üretilen enerji ile karşılaştırmışlar ve sonucunda hareketli sistemin sabit sisteme göre yaklaşık % 41 daha fazla enerji ürettiğini fakat takip etmek için harcadıkları enerjinin ürettikleri enerjinin %3'ünü geçtiğini belirtmiştir. . Özçelik ve ark. (2011), bir güneş panelini kontrol etmek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. İki eksenli bir sistemin Azimut ve yükseklik açısını önerdikleri yöntemle değiştirebilmektedir. Demirtaş (2006), bilgisayar kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamış ve imal etmiştir. Sistemin dikey ve yatay hareketini step motor (adım motoru) ile sağlamıştır. Elde edilen verileri bilgisayar ortamına kaydedebilmek için ve sistemi bilgisayar ile kontrol edebilmek için mikro denetleyici kontrollü bir ara birim kullanmıştır. Güneş takip sistemi ile takip edildiğinde normal gün ışığında 12 Volt, güneşe dik olduğu zamanlarda 18,5 Volt, güneşi yeterli hassasiyette takip edemediği veya havanın kapalı olduğu zamanlarda ise 10 Volt civarında gerilim üretmiştir. Hareketli sistemin üretimlerini sabit sistem ile karşılaştırdığında %35 daha fazla üretim elde ettiğini savunmuştur. Sefa ve ark.(2009), Türkiye de yapmış oldukları çalışmada RS485 haberleşme ara birimi ve mikro denetleyici kontrollü tek eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistem mekanizmasının basit olması sayesinde kolay kurulum ve daha az bakım olanağı sağlayacağını belirtmişlerdir. Bingol ve ark. (2006), mikro işlemci tabanlı güneş takip sisteminde step motor ve ışık sensörü kullanarak güneşi takip etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yenilerde yayınlanmış bir çalışmada Koussa ve arkadaşları farklı gökyüzü durumları için en iyi güneş izleyici sistemi tespit etmeyi hedeflemişlerdir. Özel olarak seçtikleri belli günler için sabit ve hareketli sistemlerin verim artış yüzdelerini tespit etmişlerdir. Örneğin 1 Mayıs için sabit sisteme göre hareketli sistemin %36 daha fazla elektrik enerjisi ürettiğini tespit etmişlerdir (Koussa ve ark. 2012). Roth ve ark. (2004), güneşin konumunu takip etmek için elektromekanik bir sistem tasarlamış ve Federico Santa Maria Teknik Üniversitesi, Güneş Değerlendirme Laboratuvarında imal etmişlerdir. Platformu iki adet küçük DC motor ile hareket ettirmişlerdir. Güneş ışınlarını pyrheliometre ile doğrudan otomatik olarak ölçmüşlerdir. Bulutlu hava koşulları altında güneş görülmediğinden kullandıkları bir bilgisayar programı ile güneşin konumunu hesaplayarak (algılayıcılar tekrar güneşi algılayana kadar) kontrolü sağlamışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmayı Şili'nin Valparaiso şehrinde denemiş ve oldukça verimli olduğunu sistemin üzerine yerleştirilen güneş panellerinin dışında kolektör gibi farklı sistemlerinde kolayca monte ederek farklı amaçlar içinde kullanılabileceğini savunmuşlardır.

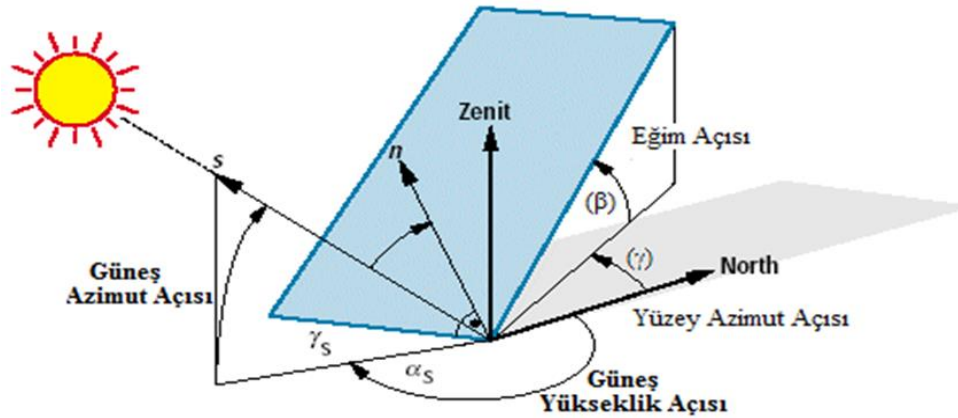
Güneş ışınımının en önemli özellikleri dünyanın kendi eksenini etrafında ve güneş çevresinde eliptik dönmesiyle belirlenir. Bu oluşumda hesaplamaların kolay olması açısından, geçmiş dönemlerden günümüze kadar birçok alanda çalışmalar yürütülmüş ve belli kabuller yapılarak yeni yöntemler geliştirilmiştir. Dünya üzerindeki herhangi bir yerin enlemi, boylam ve yüksekliğinin tanımlanması ve kutupsal koordinatların da kullanılmasıyla güneşin hareketin yerkürede incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu açıların bilinmesi sayesinde güneş enerjisinden hangi verimlilik ölçüsünde yararlanabileceği ve güneş takip sistemlerinin dönüş açıları hesaplanabilir (Kallioğlu, 2014).

Bir güneş enerjisi sisteminin yıllık performansı bulunduğu bölgenin güneş enerjisi potansiyeline bağlı olduğu gibi güneş açılarına da bağlı olarak değişmektedir. Bu açı değerleri değiştirilerek herhangi bir zamandaki performansları yükseltilebilmektedir. Yatay yüzeyler ile yaz mevsiminde ve düşey yüzeyler ile kış mevsiminde daha fazla ışınım kazancı elde edilebilmektedir. Güneş izleyici sistemler ise PV güç

sistemlerinin güneş açıları sürekli olarak değiştirilerek ve güneşi izleyerek PV güç sistemleri ile güneş ışınımından üretilen enerji en yüksek düzeylere çıkarılabilmektedir.

2.Güneş Geometrisi

Güneş geometrisi ile güneşin hareketleri ve dünyaya göndereceği ışınım miktarı hesaplanabilir. Dünya üzerindeki enlem, boylam ve rakım değerleri ile gelecek ışınım ve güneşin pozisyonu hesaplanabilir. Şekil 1’de güneş geometrisinde kullanılan güneş açıları görülmektedir.



Şekil 1.Güneş Açıları

Güneye yönlendirilmiş eğimli bir yüzeyde ve iki eksenli izleme sistemi yüzeyinde güneş ışınımı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Güneş sabitinin günlere göre düzeltme faktörü (f), n yıl içindeki gün sayısı (1-365) olmak üzere;

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(360 \cdot \frac{n}{365}\right) \quad (1)$$

Şeklinde tanımlanır. Deklinasyon açısı δ ise;

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360(n+284)}{365}\right) \quad (2)$$

Şeklinde hesaplanabilir.

Saat açısı ω ;

$$\omega = 15x(GS - 12) \quad (3)$$

Güneş yükseklik açısı ise α_s ;

$$\alpha_s = \sin^{-1}[\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega] + [\sin\phi \cdot \sin\delta] \quad (4)$$

İfadesi yarımıyla hesaplanabilir. Burada ϕ bölgenin enlem derecesidir.

Güneş azimut açısı γ_s ;

$$\gamma_s = \cos^{-1}\left(\frac{[\sin\alpha_s \cdot \sin\phi] - \sin\delta}{\cos\alpha_s \cdot \cos\phi}\right) \quad (5)$$

Şeklinde hesaplanır.

Zenit açısı ise θ_z ;

$$\theta_z + \alpha_s = 90^\circ \quad (6)$$

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha_s \quad (7)$$

Olarak elde edilebilir.

Yüzey azimut açısı γ ise;

Güneye yönlendirilmiş yüzeyler için ; $\gamma = 0$

İki eksen izlemeli sistemlerin yüzeyi için;

$$\gamma = 180 - \gamma_s \quad (8)$$

Şeklinde alınabilir.

Güneş geliş açısı θ ;

$$\theta = \cos^{-1}[\sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta] - [\sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma] + [\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega] \\ + [\cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega] + [\cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega] \quad (9)$$

Formülü yardımıyla hesaplanabilir.

Güneye yönlendirilmiş bir yüzey için $\gamma = 0$ alınır. İki eksenli izleme durumunda ise $\theta = 0$ olur. İki eksenli izleme yapan sistemin eğim açısı ise β ;

$$\beta = 90 - \alpha_s = \theta_s \quad (10)$$

İfadesi ile belirlenir.

Yatay yüzeye gelen anlık ışınım H;

$$H = 1367 \cdot \left(1 + 0,33 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right) \cdot \cos\theta_z \quad (11)$$

Olarak hesaplanabilir.

Burada 1367 W/m² olarak güneş sabitidir.

Yatay bir yüzeye gelen ışınım yoğunluğu (H) ile maksimum güneş ışınımı (H_n) arasında;

$$H_n = \frac{H}{\cos\theta_z} \quad (12)$$

Şeklinde bir ilişki vardır.

Eğik yüzeye dik direkt güneş ışınımı miktarı H_b;

$$H_b = H_n \cdot \cos\theta \quad (13)$$

İle hesaplanabilir.

R_b, PV panel üzerine gelen ışınımın yatay düzleme gelen ışınımına oranıdır ve

$$R_b = \frac{H_b}{H} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (14)$$

Şeklinde hesaplanabilir.

Böylece eğik yüzeye dik direkt güneş ışınımı miktarı H_b;

$$H_b = H \cdot R_b \quad (15)$$

Şeklinde de yazılabilir.

Eğimli bir yüzeyde difüz ışınım miktarı ise H_d, p;

$$H_{d,p} = H_d \cdot \frac{(1 + \cos\beta)}{2} \quad (16)$$

Şeklinde tanımlanabilir.

H_d yatay bir yüzeydeki difüz ışınım miktarıdır ve

$$H_d = k_y \cdot H \quad (17)$$

Şeklinde hesaplanabilir. Burada k_y yayılı ışınım oranıdır ve

$$K_y = 1,39 - 4,02 \cdot K_T + 5,31 \cdot K_T^2 - 3,108 \cdot K_T^3 \quad (18)$$

Denkliği ile hesaplanabilir. Burada K_T bulutluluk faktörü olup;

$$K_T = \frac{H}{H_n} \quad (19)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

Eğimli bir yüzeyde yansiyarak gelen ışınım miktarı H_{gr} ise;

$$H_{gr} = (H + H_d) \cdot \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right) \cdot \rho_g \quad (20)$$

Şeklinde verilir. Burada ρ_g yüzey yansıtıcılığıdır. Tablo 1’de farklı yüzeyler için yansıtma katsayıları görülmektedir.

Tablo 1. Farklı Yüzeyler İçin Yansıtma Katsayıları.

Yüzey	Ortalama Yansıtma Katsayısı
Kar (yeni yağmış veya buz kaplı)	0,75
Su yüzeyi	0,07
Yeşil çim	0,26
Beton kaplı alan	0,22
Topraklar (kil, balçık, vb.)	0,14
Çam ormanları (kış mevsimi)	0,07
Sonbahardaki ormanlar	0,26
Kara yolu	0,04
Asfalt kaplı zemin	0,10
Ölü yapraklar	0,40
Kuru çim	0,20
Kırılmış taş yüzeyler	0,20

Eğimli bir PV panel yüzeyine gelen toplam ışınım miktarı, direkt ışınım, difüz ve eğimli bir yüzeyde yansıyan ışınımın toplanmasıyla;

$$H_T = H_b + H_{d,p} + H_{gr} \quad (21)$$

Elde edilebilir.

3. Güneş Takip Sistemi Tasarımı

Bu çalışmada, güneş takip sistemi PLC kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. PLC’nin kullanılması ile mikroişlemcilerde kullanılan ayrı bir derleyiciye ve çevre birimlerine ihtiyaç duyulmadan sistemin kolay ve görsel olarak programlanması sağlanabilmektedir. Sistem modüler bir yapıya sahip olduğu için istenildiğinde PLC üzerindeki program kolayca değiştirilerek farklı bir çalışma algoritması uygulanabilmektedir. Tasarlanan sistemde PLC ile belirlenen güneş yörüngelerini iki eksenli olarak takibi gerçekleştirilmiştir ve sistemin eksenlerde hareketini sağlamak için iki ayrı motor kullanılmıştır.

Tasarlanan güneş takip sistemine ait PLC programında sistem gerçek zaman saati bilgisine bağlı olarak çalışmaktadır. Program öncelikle saatin belirlenen çalışma sınırları içinde olup olmadığını test etmekte ve eğer sistem saati 05:00 ile 20:30 arasında ise, program sistemin çalışmasına ilişkin alt programlara yönlendirilmektedir. Saat bilgisine bağlı olarak gün içerisinde sistem üç defa yatay hareket motorunu çalıştırmakta ve güneş takip işleminin daha hassas olabilmesi için sistemi yönlendirmektedir. Aynı zamanda program gün içerisindeki takip işlemini sonlandırmak ve sistemi doğu yönünde ilk başlangıç konumuna almak için saatin 21:00 olmasını beklemekte ve belirlenen zaman geldiğinde sistem otomatik olarak başlangıç değerlerine dönmektedir. Sistemin çalıştırılmasına ilişkin hazırlanan PLC programının diğer bölümünde sistem sabah saat 05:00 bilgisini test ederek program başlangıç saatini beklemektedir. Belirlenen saat geldiğinde sistem çalışmaktadır. Sistem her 15 dakikada bir hareket edecek şekilde programlanmıştır. Motorların zamana göre konum bilgisi önceden hesaplanmış ve PLC yardımıyla motorlara uygulanmaktadır. Planlanan sonlandırma saatine kadar bu şekilde devam etmektedir.

N 37° 34m 48", E 36° 55m 12" koordinatları için 01.01.2015 tarihi için Matlab ve Excel ile hesaplanmış güneş açıları ve saatlik ışınım değerleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Güneş Açılı (N 37° 34m 48", E 36° 55m 12")

Saat	Deklasyon açısı	Saat açısı	Zenit açısı	Enlem açısı	Güneş Azimut Açısı	Yatay Küresel Işınım	Dünya dışı yatay ışınım
0	-0,4003	-187,8932	164,3782	-74,3782	0,8829	0	0
1	-0,4002	-172,8983	164,6561	-74,6561	0,9027	0	0
2	-0,4001	-157,9033	156,3395	-66,3395	0,5047	0	0
3	-0,3999	-142,9084	145,1951	-55,1951	0,2299	0	0
4	-0,3998	-127,9134	133,3370	-43,3370	0,0409	0	0
5	-0,3997	-112,9184	121,3774	-31,3774	-0,1111	0	0
6	-0,3995	-97,9234	109,6046	-19,6046	-0,2487	0	0
7	-0,3994	-82,9284	98,2477	-8,2477	-0,3828	12	17
8	-0,3993	-67,9334	87,5657	2,4343	-0,5193	182	251
9	-0,3991	-52,9384	77,9013	12,0987	-0,6592	342	472
10	-0,3990	-37,9434	69,7246	20,2754	-0,7970	459	633
11	-0,3989	-22,9483	63,6431	26,3569	-0,9161	523	721
12	-0,3987	-7,9533	60,3141	29,6859	-0,9892	528	728
13	-0,3986	7,0417	60,2054	29,7946	-0,9915	474	654
14	-0,3985	22,0368	63,3340	26,6660	-0,9221	366	505
15	-0,3983	37,0319	69,2549	20,7451	-0,8048	212	292
16	-0,3982	52,0269	77,3145	12,6855	-0,6673	36	50
17	-0,3980	67,0220	86,8974	3,1026	-0,5269	0	0
18	-0,3979	82,0171	97,5242	-7,5242	-0,3899	0	0
19	-0,3978	97,0122	108,8444	-18,8444	-0,2553	0	0
20	-0,3976	112,0073	120,5943	-30,5943	-0,1177	0	0
21	-0,3975	127,0024	132,5428	-42,5428	0,0337	0	0
22	-0,3973	141,9976	144,4059	-54,4059	0,2203	0	0
23	-0,3972	156,9927	155,5989	-65,5989	0,4887	0	0
0	-0,3987	-187,9033	164,2915	-74,2915	0,8837	0	0

Prototip PLC tabanlı gerçek zaman saati ile güneş takip sisteminde 120 W, fotovoltaik panel kullanılmıştır. Sistem iki eksenli olup test çalışmalarında akü kullanılmıştır. Tasarlanan güneş takip sistemi Şekil 2’de görülmektedir. Sistem Saat başı açı değerinin belirlenmesine müteakip PLC den alınan gerçek zaman saati değerleri üzerinden güneşin doğuş saati kontrol edilmektedir. Güneş doğmuşsa bu durumda saat başı zamanı yine gerçek zaman saati değerleri üzerinden tespit edilmektedir. Saat başı olmuşsa platform sabit bir hızda doğuya ve kuzey-güney yönünde hareket ettirilmekte ve saat başı açısı değeri kadar hareket sağlanmışsa motor durdurulmaktadır. Ardından güneşin batış süresi kontrol edilmekte ve eğer güneş batmamış ise bir sonraki saat başında aynı işlem tekrarlanmaktadır. Eğer güneşin batış süresi gelmiş ise takip durdurulmakta ve platform güneşin doğuş pozisyonuna getirilerek güneşin doğuş süresi beklenmektedir. Şekil 3’de tasarlanan güneş takip sistemin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 2. Tasarlanan Güneş Takip Sistemi



Şekil 3. Tasarlanan Güneş Takip Sistemin Bileşenleri

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada güneş ışınlarından en verimli şekilde yararlanmak amacıyla tasarlanan ve prototipi üretilen güneşi takip edebilen güneş panel sistemi tanıtılmıştır. Gerçekleştirilen sistem, elektrik enerjisi üretiminde temiz enerji kaynaklarından güneş enerjisini kullandığından dolayı çevreye duyarlı olmakta ve güneş enerjisi teknolojisinin ülkemizde kullanımına bir örnek teşkil ettiğinden dolayı ise ülkemiz teknolojisine yerli katkı sağlamaktadır. Tasarlanan sistem güneşin doğumundan batımına kadar olan süre içerisinde, güneş enerjisinden en yüksek değerde istifadeyi sağlamak amacı ile güneş ışınlarının gün boyu panele dik düşmesini sağlayan elektronik kontrol devresi ve mekanik sistemden oluşmaktadır. Bu sistem

sayesinde son zamanlarda gittikçe önem kazanan temiz enerji konusunda verimlilik artacak, özellikle ilk kurulum maliyeti yüksek olan bu tür sistemlerin kendini amorti edebilme süresi azalacaktır. Aynı zamanda ülke ekonomisine ve enerjideki dışa bağımlılığın azalmasına katkıda bulunulacaktır.

5. Kaynaklar

- Abdallah S. ve Nijmeh S., "Two axes sun tracking system with PLC control," *Energy Conversion and Management*, Cilt: 45, No: 11-12, s:1931-1939, 2004.
- Abu-Khader M. M, Badran O.O. ve Abdallah S., "Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt: 12, No: 3, s:864-873, 2008.
- Akgün, A. (2006). Mikrodenetleyici Tabanlı Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Tasarımı. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Beyoğlu, M. F. (2011). Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Bingol O., Altıntaş A. ve Öner Y., "Microcontroller based solar-tracking system and its implementation," *Journal of Engineering Sciences*, Cilt: 12, No: 2, s:243-248, 2006.
- Clifford M.J., Eastwood D., "Design of a novel passive solar tracker," *Solar Energy*, Cilt: 77, No:3, Sayfa 269-280, 2004.
- Demirtaş M., "Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması," *Politeknik Dergisi*, Cilt: 9, No: 4, s:247-253, 2006.
- Demirtaş, M. (2009). PLC Kontrollü Güneş Takip Sistemi Tasarım Ve Uygulaması. e-Journal of New World Sciences Academy, 315-329.
- Duffie, J., & Beckman, W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, Second Edition. Kanada: A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, inc.
- Kallioğlu, M. A. (2014). Niğde İli İçin Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm, Yayıllı Ve Direkt Güneş Işınımını Hesaplama Modeli Geliştirilmesi. Niğde, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi.
- Koussa M., Haddadi M., Saheb D., Malek A, Hadji S., Sun Tracker Systems Effects on Flat Plate Photovoltaic PV Systems Performance for Different Sky States: A Case of an Arid and Hot Climate Energy Procedia, Cilt:18, s:839-850, 2012.
- Ozcelik S., Prakash H., Chaloo R., "Two-Axis Solar Tracker Analysis and Control for Maximum Power Generation" *Procedia Computer Science*, Volume Cilt: 6, s:457462, 2011.
- Sefa İ., Demirtaş M. ve Çolak İ., "Application of oneaxis sun tracking system," *Energy Conversion and Management*, Cilt: 50, No: 11, s:2709-2718, 2009.
- Rumala S.S.N., "A shadow method for automatic tracking," *Solar Energy*, Cilt: 37, No: 3, s:245-247, 1986.
- Roth P., Georgiev A. ve Boudinov H., "Design and construction of a system for sun-tracking," *Renewable Energy*, Cilt: 29, No: 3, s:393-402, 2004.
- Web. (2015, 06 01). Güneş. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü : <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx> adresinden alındı.
- Yalçın, A. F. (2014). Güneş enerjisi ile elektrik üreten güneş takipli dikey perde tasarımı ve analizi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Anabilim Dalı, Sistem Dinamiği ve Kontrol Bilim Dalı, Yüksek Lisans tezi.