

GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

Mekatronik Mühendisliği Bölümü

İstanbul Aydın Üniversitesi

Özet

Bu tez çalışmasında, sabit bir panele göre daha yüksek gerilim çıktısı üreten, uygulanabilir bir iki-eksenli güneş takip sisteminin belirlenmesini ve ortaya konulmasını hedeflenmektedir. Buradan yola çıkılarak, uygulanabilir bir güneş takipçisinin tasarlanması için en uygun yöntemin belirlendiği yoğun bir araştırmanın ardından, küçük ölçekli bir güneş paneli, servo motorlar, kontrolör olarak Arduino işlemcisi ve gerilim geribeslemesini kablosuz ileten bir verici kullanılarak iki eksenli bir güneş takipçi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Paneli, İki Eksenli Takipçi, Aktif Güneş Takip Sistemi

I. GİRİŞ

Başlangıçta yalnızca ısıtma ve sıcak su elde etme amacı ile kullanılan güneş enerjisi yakın zamanda gelişim gösteren ve güneş ışığını elektriğe çeviren güneş

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

pili teknolojisi sayesinde elektrik enerjisi kaynaklarından biri haline de gelmiştir. Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan güneş pilleri fotovoltaik olarak adlandırılmaktadır. Güneş pilleri, akım ve/veya gerilim ihtiyacına, dolayısı ile tüketilecek güç miktarına ve uygulamaya bağlı olarak bu piller seri ve/veya paralel bağlanmak suretiyle esnek bir biçimde kullanılabilir.

Güneş takibi, tek eksenli olarak ve/veya hassasiyeti arttırmak için iki eksenli olarak gerçekleştirilebilir. İki eksenli güneş takip sistemleri için iki tip teknik mevcuttur. Bunlar, kutupsal ya da ekvatorial takip ile yükseklik ya da eğim takibi olarak bilinmektedir. Güneş takip sistemleri güneş panellerini, güneşten gelen radyasyonu en iyi şekilde alacak diklikte tutmaya çalışarak elde edilecek enerjiyi maksimum hale getirmeyi hedefler. Ancak, dikliği sağlamada çok yüksek çözünürlüğe de ihtiyaç yoktur, zira optimal dik açıdan 10 derecelik sapma durumunda dahi verim % 98.5'in üzerindedir.

İki eksenli güneş takip sistemleri 2002 yılı öncesine kadar hobi olarak ve/veya akademik araştırmalar çerçevesinde sürdürülmekte iken bu tarihte ilk patent alınmış ve ticari çalışma ve üretim de gündeme gelmiştir. Ancak bu aşamada henüz ikinci eksenin kontrolünün sistemi karmaşıklaştırması ve mekanik eksikliklerle karşılaşılması gibi güçlükler ortaya çıkmıştır.

Güneş panellerinin kullanılmasında güneş takip sistemlerinin de bulunması zorunlu değildir, ancak performansın yükseltilmesi için de gereklidir. Güneş takip düzeneklerinin, güneş pillerinden alınan verimi artırması yanında, maliyet, güvenilirlik, enerji tüketimi ve bakım gibi olumsuz yanları da vardır. Genel olarak tüm takip sistemleri, aşağıda özetlenen karakteristik özelliklerden çoğunu ya da bir kısmını taşırlar.

- Tek kolonlu yapı ya da paralel konsol tip yapı

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

- Bir ya da iki hareketli motor
- Işık algılama birimi
- Otonom ya da yardımcı güç kaynağı
- Işık takibi ya da veritabanına göre takip
- Sürekli ya da adımlar halinde hareket
- Yönelim ve eğim ayarı

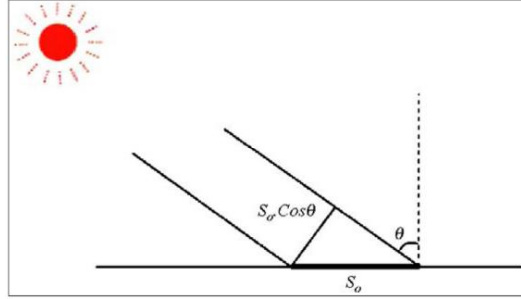
Güneş panelleri, güneş ışığı yoğunlaştırıcılar ve teleskoplar gibi güneş ışınlarının dik olarak alınmasını gerektiren uygulamalar için literatürde birkaç güneş takip yöntemi önerilmiştir. İdeal bir güneş takip sistemi, fotovoltaik güneş pilinin dosdoğru bir şekilde güneşe yöneltilmesini sağlamalıdır. Bunun için yatay ve düşeyde hareket edebilmelidir. Güneş takip sistemleri genel olarak iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu kategoriler pasif ya da mekanik takip sistemleri ile aktif ya da elektriksel takip sistemleridir.

II. YÖNTEM

Güneş radyasyon verileri genellikle yatay bir düzlem üzerine düşen küresel radyasyon biçimindedir. Buradan yola çıkılarak güneş panelleri de yatay düzleme belirli bir açı yapacak şekilde konumlandırılır. Güneş, gün boyunca gökyüzünde hareket etmektedir. Şekil 1’de görülen sabit durumdaki bir güneş toplayıcısı ve/veya paneli için, ilgili alıcı bölgenin düzlem üzerindeki izdüşümü, gelen ışığın kosinüsü olarak belirlenmektedir. Güneş ışığının geliş açısı, “ θ ”, büyüdükçe panelden alınan güç düşmektedir.

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

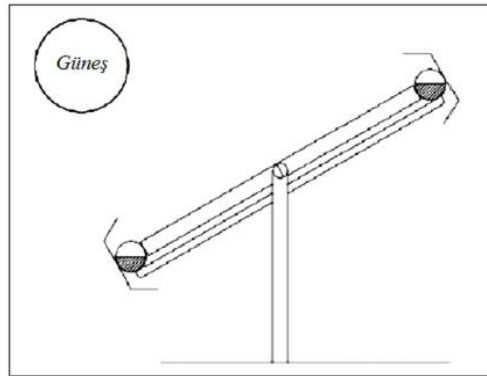
Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN



Şekil 1 Güneş ışığının geliş açısı, θ

A. Pasif Takip

Pasif güneş takip sistemlerinin çalışma prensibi, bir maddenin (genellikle Freon) termal genişmesi ya da şekilsel bellek taşıyan alaşımlara dayanmaktadır. Çoğunlukla bu tür takip sistemleri, eşit aydınlanmada dengede olan ve birbirinin zıt hareketini yapan bir çift eyleyiciden oluşmaktadır. Eyleyicilerin aydınlanma farkları sayesinde dengesi bozulan kuvvetler aygıtın yönelimini sağlamak için kullanılırlar. Böylelikle eşit aydınlanma seviyeleri yakalanarak eyleyici kuvvetler denge konumuna tekrar ulaşmış olur.



Şekil 2 Pasif Güneş Takipçisi

Pasif güneş takip sistemleri, aktif sistemler ile karşılaştırıldığında, daha az karmaşık bir yapıya sahiptir ve daha düşük verimde çalışırlar. Bununla birlikte,

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

düşük sıcaklıklarda çalışmama / durma gibi bir riskleri de mevcuttur. Yapılan deneysel çalışmalar pasif mekanik sistemlerin performans açısından elektriksel kontrollü aktif sistemler düzeyinde olduğunu göstermiştir. Maliyet açısından çoğunlukla daha düşük olmalarına karşın pasif takip sistemleri henüz tüketicilerin çokça rağbet etmediği bir konumdadır.

Bilgisayar teknikleri kullanılarak modellenmiş bir pasif güneş takip düzeneği Şekil 2'de görülebilmektedir. Genleşen metallerin eğilmeleri küçük olmasına rağmen, bunlara karşılık gelen kuvvetlerin büyük olduğu göz önüne alınan bu pasif güneş takip sisteminde alüminyum ve çelikten oluşan iki adet çift alaşımlı metal çubuk kullanılmıştır. Bu çift alaşımlı metal çubuklar, ahşap çerçeve üzerine, yatay eksenin merkezine simetrik olarak her iki tarafa bir tanesi gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Buna ek olarak salınımı ve/veya harekette ağırlaşmayı önlemek için ise güneş takip sistemine bir de sönümleme düzeneği eklenmiştir. Sonuç olarak belirtilen pasif güneş takip sistemli panel ile verimin %23 oranında yükselebileceği ortaya konmuştur.

B. Aktif Takip

Temel olarak aktif güneş takip sistemleri, mikroişlemci ve elektriksel/optik algılayıcı tabanlı, bilgisayar kontrolünde tarih ve zamana dayalı ve ek bir çift taraflı güneş pili kullanan üç kategoride ve/veya bunların çeşitli şekillerde kombinasyonlarının oluşturulduğu karma sistemler şeklinde sınıflandırılabilir. Elektriksel/optik algılayıcı tabanlı güneş takip sistemleri çoğunlukla en az bir çift ters paralel bağlı fotodirenç ya da fotovoltaiik güneş hücresi içermektedir.

Her iki elemanın eşit aydınlanma şiddeti altında elektriksel olarak dengeye ulaşması prensibine bağlı olarak çalışmasını gerçekleştirir. Dolayısıyla sürücü motoru hareket ettirmek için gerekecek kontrol işareti ya hiç kullanılmaz ya da ihmal edilebilir düzeyde kullanılır. Ek bir çift taraflı güneş pili kullanan sistemlerde ise çift taraflı güneş pili sistemin arzu edilen konuma gelmesi için

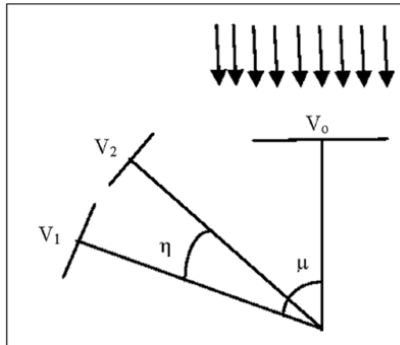
GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

algılama ve sürme işlevini gerçekleştirir. Bilgisayar kontrollü - tarih ve zamana dayalı güneş takip sistemlerinde ise, güneş konumları tarih ve zamana göre yıllık ve günlük olarak bilgisayar algoritmaları tarafından hesaplanır ve sistem için kontrol işaretleri üretir.

Genel olarak mikro denetleyici tabanlı bir güneş takip sisteminde eyleyici olarak iki adet motora ve iki adet güneş paneline ihtiyaç vardır. Bu tür bir güneş takip sisteminde üç ayrı takip algoritması ele alınacak olursa;

- İlk algoritma güneş panelini küresel koordinatlarda dairesel olarak hareket ettirmektedir. Kullanıcı tarafından seçilen herhangi bir yarıçapa bağlı olarak ilgili çember üzerinde optimum gerilimi verecek noktayı bulmak hedeflenmektedir.
- İkinci algoritmada ise güneş paneli karesel bir örüntü dahilinde hareket ettirilmekte ve bu sayede optimal gerilimi bulmaya çalışılmaktadır.
- Üçüncü ve son algoritma ise, ikinci algoritmadaki mantık yürütülerek yıl içerisinde gün ve gün içerisinde saat parametreleri belirlenmektedir. Bu belirlemenin ardından, güneşin bir sonraki konumu tahmin edilmektedir.



Şekil 3 Güneş takip sistemi çalışma ilkesi

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

Güneş panellerinden ölçülen iki adet gerilim değeri, V_1 ve V_2 mevcuttur ve bu gerilimler ve/veya güneş panelleri η açısı kadar birbirlerinden ayrı bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, V_0 ve V_1 gerilimleri de μ açısı kadar birbirlerinden ayrı konumlarda bulunmaktadır. Buradaki V_0 gerilimi, güneş panelinin güneşe ve/veya ışık kaynağına dik bir konumda bulunması halinde ölçülebilecek gerilim seviyesini belirtmektedir ve V_1 , V_2 gerilimleri ile η açısı biliniyor ise, μ açısı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$\mu = \arctan\left(\frac{V_2 - V_1 \cos \eta}{V_1 \sin \eta}\right) \quad (1)$$

Bu denklemin ortaya konusu Şekil 3'ten de görülebilmektedir. Neticede yapılmış olan uygulama çalışmasında, oluşturulan algoritma programlanarak mikro denetleyiciye yüklenmiş ve mikro denetleyici aracılığıyla da tahrik sistemine bağlantı oluşturulmuştur. Algılanabilen ve ölçümlenebilen en yüksek çözünürlük 6° olarak saptanmıştır. Elde edilen bulguların ışığı altında, dik açıdan 1° sapılması halinde maksimum gerilim seviyesinin % 99,98'inin ölçülebildiği, 10° sapılması halinde ise maksimum gerilim seviyesinin % 98,5'inin elde edildiği sonucuna varılmıştır.

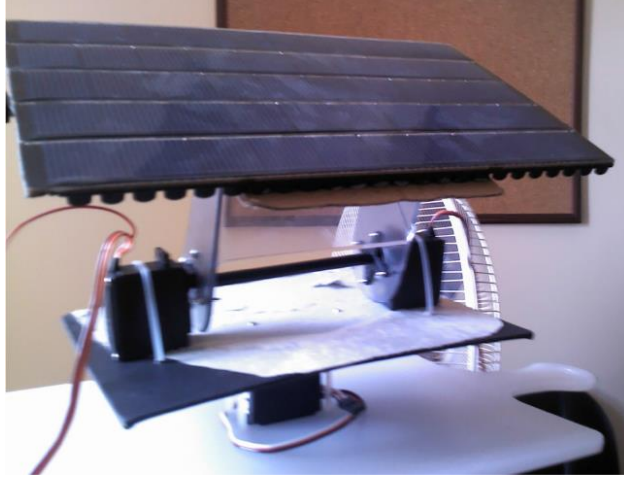
I. UYGULAMA

Geliştirilen güneş takip sisteminin son hali Şekil 4'te görülmektedir. Alt düzlemdeki tek servo motorun bağlantı uçları mekanik olarak döner harekette bir problem yaratmamaktadır. Üst düzlemde ise daha önce de değinildiği gibi yalnızca bir servo motor kontrol edilmekte, dolayısı ile üst düzlemde de bağlantı uçları gelmektedir. Bu bağlantı uçlarının döner harekete engel teşkil etmemesi için farklı açı kombinasyonlarında tekrar eden konumlar elenerek, alt ve üst düzlem için tüm konumları kapsayacak bir şekilde alt düzlemin döner hareketi kısıtlanmıştır. Buna göre alt düzlemin yalnızca 90° dönmesi tüm olası konumların elde edilebilmesine olanak tanıdığı için yeterli görülmüş ve bu şekilde bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra üst düzlemin de 180° dönüşü, güneş konumu

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTIP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

göze alındığında bir anlam ifade etmeyeceğinden bu düzlemde de döner hareket maksimum -30° ile $+30^{\circ}$ arasında tutulmuştur.



Şekil 4 Güneş Panelinin Tüm Sistem Olarak Entegrasyonu

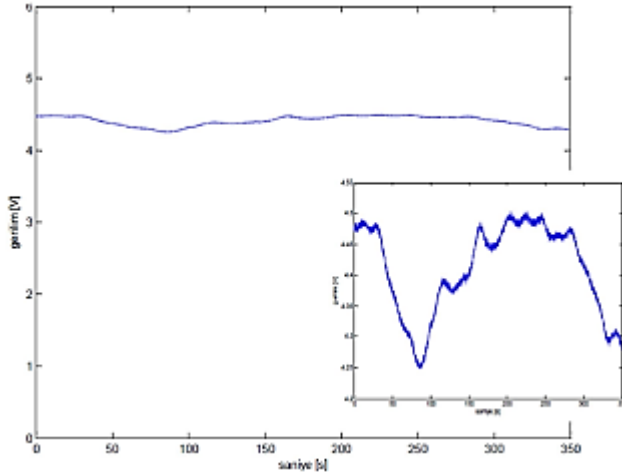
Bu çalışmada gerçekleştirilen aktif güneş takip sisteminde, geri besleme ölçütü olarak güneş panelinin ürettiği gerilim değeri kullanılmıştır. Dolayısı ile optimum voltaj seviyesinin elde edilmesi kapalı çevrim sistemin hedefidir. Voltaj bilgisi verici kartının analog dijital çevirici girişine uygulanarak sayısal veri haline getirilmekte ve 2.4 GHz radyo frekansı ile alıcı karta aktarılmaktadır. Alıcı kart mini USB portu üzerinden bilgisayara bağlanmış ve sanal COM portu oluşturulmuştur. Bu şekilde seri port üzerinden veri alınmasına benzer bir şekilde veriler alınmış ve Matlab ortamında çalışan sistem koduna beslenmiştir.

Alınan gerilim bilgisi, 0-1023 arasında sayısal değerlerden oluşmaktadır. Bu değerler 0-5 V aralığındaki gerilim seviyelerine karşılık gelmektedir. Örnek ölçüm olarak kaydedilen gerilim değişimi Şekil 5'te görülmektedir. Burada, sayısal olarak kayda alınan veriler tekrar 0-5V arasındaki voltaj seviyelerine dönüştürülmüş değerlerdir. Yatay eksen zamanı temsil etmekte ve yaklaşık 6 dakikalık (350 saniye) bir kayıt yapılmıştır. Genel anlamda 4.5 V seviyesinde

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTIP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

seyreden bir gerilim görülmüş, detaylı incelendiğinde ise dalgalanma daha net olarak şeklin sağ alt köşede verildiği gibi gözlenmiştir. Kısa süreli çalışmalarda, bu dalgalanmalar bulut veya kuş benzeri gürültülerden kaynaklanmaktadır. Ancak ihmal edilebilir bir düzeyde seyretmekte olduğundan (örneğinizde 0.25 V dolayında) müdahale gereği duyulmamıştır.



Şekil 5 Gerilim Seviyesinde Dalgalanma

Sistemde anlık ve/veya kısa süreli dalgalanmalar ihmal edilmiş, dolayısı ile sürekli bir kontrol yerine adım hareketler ile kontrol gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen kapalı çevrim aktif takip sisteminde, öğleden önce, öğle ve öğleden sonra devreye girmek üzere üç hareket eylemi belirlenmiş ve gün içerisinde bu eylemler için belirlenen zaman ve/veya zaman aralıklarında ölçümler yapılarak en uygun konum seçilmiştir. Adım hareketli olan tasarımımızda, dokuz adet farklı konum kullanılmak üzere tespit edilmiştir. Bu konumlar, panele x ve y eksenlerinde $\mp 15^\circ$ er derecelik eğimler kazandırılarak elde edilmiştir. Buna göre bir hareket eyleminin gerçekleşmesi bu dokuz konumdan geri besleme alınması ve maksimumunun belirlenmesi ile tamamlanmaktadır.

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

SONUÇ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, literatürde yer alan çalışmaların ayrıntılı olarak gözden geçirilmesinin ardından özgün bir güneş takip sistemi geliştirilmiştir. İki eksenli ve mikro denetleyici kontrollü olan güneş takip sistemi, adımsal olarak hareket etmekte ve sürekli geri besleme ve kontrol eylemi gerçekleştirmediğinden dolayı algılama, sürüş ve kontrol devreleri oldukça düşük miktarda bir güç tüketmektedir.

Tablo 1’de bir gün içerisinde (Ağustos ayında güneşli ve açık bir günde) alınmış veriler görülmektedir. (a) tablosunda öğleden önce 11:00 dolayında yapılan ölçümler kaydedilmiştir. Burada optimum konumu, düşeyde 15^0 ve yatayda -15^0 açıları sağlamaktadır. (b)’deki çizelgede ise, düşeyde 15^0 , yatayda 0^0 açılarının meydana getirdiği konum en iyi değeri verdiği için seçilmiştir. Son olarak (c) tablosunda ise, öğleden sonra ölçümleri alınmış ve burada da düşeyde 15^0 ve yatayda 15^0 açıları ile maksimum voltaj seviyesi elde edilmiştir.

Güneş takip sistemi, elde edilen maksimum voltaj seviyesinin bulunduğu konumda sabit tutularak bir sonraki hareket eylemine kadar konumlarda değişiklik yapılmamış, mevcut konumlarda ise gerilim seviyelerinde önemli dalgalanmalara rastlanmamıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Fletcher J. C., “*Sun Tracking Solar Energy Collector*”, US Patent Office, 4111184, 2006
- [2] Stojadinovic N., “*Build a Sun Tracker for Solar Panels*”, Silicon Chip, 1995
- [3] Wright J., “*Build a Sun-Tracking Circuit*”, Popular Electronics, 1995
- [4] Kreider J. F., “*Medium and High Temperature Solar Processes*”, Academic Press, 1979
- [5] Monash University Faculty, “*Students Create Energy Saving Solar Tracker*”, What’s New in Electronics, Westwick, Malaysia, 2005
- [6] Altın, V., “*Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi*”, Mimar ve Mühendis Dergisi, 33, 28-31, 2004
- [7] Ay, S., “*Elektrik Enerjisi Ekonomisi*” Birsen Yayın Evi, İstanbul, 2008

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTIP GERÇEKLEŞTİRME
Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

<i>Öğleden Önce 11:00</i>		<i>Yatay Açıt</i>		
		-15°	0°	15°
<i>Düştay Açıt</i>	15°	5,85	5,81	5,73
	0°	5,78	5,70	5,59
	-15°	5,66	5,61	5,47

(a)

<i>Öğle 14:00</i>		<i>Yatay Açıt</i>		
		-15°	0°	15°
<i>Düştay Açıt</i>	15°	5,90	5,93	5,89
	0°	5,82	5,89	5,84
	-15°	5,79	5,81	5,78

(b)

<i>Öğleden Sonra 17:00</i>		<i>Yatay Açıt</i>		
		-15°	0°	15°
<i>Düştay Açıt</i>	15°	5,70	5,79	5,83
	0°	5,59	5,68	5,74
	-15°	5,48	5,57	5,62

(c)

Tablo 1 Bir günlük gerilim ölçüm değerleri (a) Öğleden önce 11:00 dolayında yapılan ölçümler (b) Öğle 14:00 dolayında yapılan ölçümler (c) Öğleden sonra 17:00 dolayında yapılan ölçümler

[8] Akkaya, R., Kulaksız, A.A. ve Aydoğdu, Ö., “Yüksek Verimli Fotovoltaik Sistemle Çalıştırılan Klima Sisteminin DSP Tabanlı Kontrolü”, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2002

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

- [9] Altın, V., “Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması”, Bilim ve Teknik Dergisi, 464-41, 2006
- [10] Markvart T. ve Castaner L., “Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications”, Elsevier, 2003
- [11] Günkaya E., Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2001
- [12] Markvart T. “Solar electricity”, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons Inc.;1996.
- [13] Khlaichom P, Sonthipermpon K. “Optimization of solar tracking system based on genetic algorithms”, 2006.
- [14] Poulek V, Libra M., “New bifacial solar trackers and tracking concentrators”, 2007.
- [15] Tracstar., “Should you install a solar tracker?”; 2007
- [16] Bione J, Vilela OC, Fraidenraich N., “Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators”, Solar Energy,76:703–11, 2004
- [17] Tomson T., “Discrete two-positional tracking of solar collectors”, Renewable Energy, 33:400–5, 2008
- [18] Ai B, Shen H, Ban Q, Ji B, Liao X., “Calculation of the hourly and daily radiation incident on three step tracking planes”, Energy Conversion and Management, 44:1999–2011, 2003
- [19] Lorenzo E, Perez M, Ezpeleta A, Acedo J. “Design of tracking photovoltaic systems with a single vertical axis”, Progress in PV Research and Applications, 10:533–43, 2002
- [20] Mumba J., “Development of a photovoltaic powered forced circulation grain dryer for use in the tropics”, Renewable Energy, 6(7):855–62, 2003
- [21] Pavel Y.V., Gonzalez H.J., Vorobiev Y.V., “Optimization of the solar energy collection in tracking and non-tracking PV solar system”, In: Proceedings of the 1st

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

international conference on electrical and electronics engineering, ICEEE, p. 310–4, 2004

[22] Chicco G, Schlabach J, Spertino F., “Performance of grid-connected photovoltaic systems in fixed and sun-tracking configurations”, 2007

[23] Baltas P., Tortoreli M., Russell P. E., “Evaluation of power output for fixed and step tracking PV arrays”, *Solar Energy* 37(20):147–63, 2006

[24] Nann S., “Potential for tracking PV systems and V-troughs in moderate climates”, *Solar Energy*, 45(6):385–93, 1998

[25] Stolfi F, Bersohn D, McIver B, Shaw S, Vance N, Wang X. “Solar concentrating and tracking apparatus”. Final report. Columbia University, Department of Mechanical Engineering; May 2, 2007.

[26] Gay CF, Yerkes JW, Wilson JH. “Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy systems”. In: Proceedings of the 16th photovoltaic specialists conference, San Diego, September 27–30,; p. 1368–71. 1982

[27] Kvasznicza Z, Elmer G. “Optimizing solar tracking systems for solar cells”. In: The 4th Serbian–Hungarian joint symposium on intelligent systems; 2006.

[28] Clifford M.J., Eastwood D., “Design of a novel passive solar tracker”, *Solar Energy*, 77:269–80, 2004

[29] Mwithiga G, Kigo SN. “Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability”. *Journal of Food Engineering*;74:247–52, 2006

[30] Poulek V. “Testing the new solar tracker with shape memory alloy actors”. Conference Record of the Twenty Fourth; IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1:1131–3, 1994

[31] Heredia I.L., Moreno J.M., Magalhaes P.H., Cervantes R., Que´me´re´ G., Laurent O.. “Inspira’s CPV sun tracking (concentrator photovoltaics)” Springer; p. 221–51, 2007

[32] Abdallah S., Nijmeh S., “Two axes sun tracking system with PLC control”. *Energy Conversion and Management*, 45:1931–9., 2004

GÜNEŞ TAKIP SİSTEMLERİ VE PROTOTİP GERÇEKLEŞTİRME

Gökhan ORAL, Osman NURI UÇAN

- [33] Mamlook R., Nijmeh S., Abdallah S.M., “A programmable logic controller to control two axis sun tracking system”. *Information Technology Journal*, 5(6):1083–7., 2006
- [34] Al-Mohamad A., “Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a suntracking system”. *Applied Energy*,79:345–54., 2004
- [35] Bingol O, Altıntaş, A, Öner Y. “Microcontroller based solar-tracking system and its implementation”. *Journal of Engineering Sciences* 12(2):243–8, 2006
- [36] Koyuncu B, Balasubramanian K. “A microprocessor controlled automatic suntracker”. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*;37(4):913–7, 1991
- [37] Peterson T, Rice J, Valane J. “Solar tracker”; 2005.
- [38] Kalogirou S.A., “Design and construction of a one-axis sun-tracking”, *Solar Energy*,57(6):465–9, 2006
- [39] Lynch W.A., Salameh Z. M., “Simple electro-optically controlled dual-axis sun Tracker”. *Solar Energy*, 45(2):65–9., 1990
- [40] Karimov K. S., Saqib M. A., Akhter P., Ahmed M. M., Chatthad J. A. , Yousafzai S. A., “A simple photo-voltaic tracking system”,. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2005
- [41] Poulek V., Libra M., “New solar tracker”. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 51:113–20, 1998
- [42] Alata M, Al-Nimr MA, Qaroush Y. “Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control”. *Energy Conversion and Management* 2005