

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BALIKESİR İLİNDE ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT
EKSENLİ PV SİSTEMİN VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih BEYOĞLU

Balıkesir, Haziran – 2011

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BALIKESİR İLİNDE ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT
EKSENLİ PV SİSTEMİN VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih BEYOĞLU

Balıkesir, Haziran - 2011

“Bu alışma Balıkesir Üniversitesi Rektrlė Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2010/09 Kodlu Proje ile desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.”

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKESİR İLİNDE ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT
EKSENLİ PV SİSTEMİN VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih BEYOĞLU

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Metin DEMİRTAŞ

Sınav Tarihi : 27.06.2011

Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. Metin DEMİRTAŞ (Danışman-BAÜ)

Yrd.Doç.Dr. M. Erhan BALCI (BAÜ)

Yrd.Doç.Dr. Ayhan İSTANBULLU (BAÜ)

Enstitü Yönetim Kurulunun tarih sayılı
oturumunun nolu kararı ile mezun olmuştur.

Balıkesir, Haziran – 2011

ÖZET

BALIKESİR İLİNDE ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ İLE SABİT EKSENLİ PV SİSTEMİN VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mehmet Fatih BEYOĞLU

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Metin DEMİRTAŞ)

Balıkesir, 2011

Günümüzde enerji ihtiyacı nüfus artışı, hızlı teknolojik gelişmeler, ekonomik büyüme ve küreselleşme gibi nedenlerle hızla artmaktadır. Güneş enerjisi, artan enerji tüketimine cevap verebilmek amacıyla kullanılan alternatif enerji kaynaklarından birisidir. Türkiye, güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri bakımından bu enerjinin kullanılabileceği ülkelerden birisidir. Bu çalışmada Balıkesir İlimizde yapılacak uygulamaları teşvik etmesi ve çalışmalara referans olması düşünülerek, güneş enerjisi potansiyelinin incelenmesi, maksimum güç takip sistemli sabit ve 2-eksenli olmak üzere iki fotovoltaik güneş enerji sisteminin kurulumu ve eşzamanlı olarak çalışma ve verimlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Alınan ölçümler sonucunda çift eksenli güneş takip sisteminin, sabit panelli sisteme göre %39 daha yüksek verim sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Balıkesir / Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi / PV Sistem / Güneş Enerjisi

ABSTRACT

COMPARISON OF EFFICIENCIES OF DUAL AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM AND FIXED AXIS PV SYSTEM IN BALIKESIR CITY

Mehmet Fatih BEYOĞLU

**Balıkesir University, Enstitute of Science and Technology
Department of Electrical and Electronic Engineering**

(M.Sc.Thesis / Supervisor : Assist. Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ)

Balıkesir-Turkey, 2011

Nowadays energy demand, for reasons such as population growth rapid technological developments, economic growth and globalization are increasing rapidly. Solar energy, alternative energy sources increasing energy consumption is used in order to be able to respond. Turkey is one of the countries uses solar energy in terms of solar radiation and sunshine duration. In this study, Balıkesir in our city and work to promote the application so referencing mind, examination of the potential of solar energy, fixed, and 2-axis and simultaneous installation of two photovoltaic solar energy system as a work and comparison of productivity were made. As a result of measurements, dual-axis solar tracking system has 39% higher than the yield than a fixed-panel system.

Key Words : Balıkesir / Dual Axis Solar Tracking System / PV System / Solar Energy

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
SİMGE LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. DÜNYADAKİ ENERJİ DURUMU	4
2.1 Türkiye'nin Genel Enerji Durumu	9
2.1.1 Rezerv, Üretim, Tüketim Durumu	9
2.1.2 Güneş Enerjisi	12
2.1.3 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli	14
2.1.4 Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli	19
3. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ	23
3.1 Güneş Pilleri	25
3.2 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması	26
3.2.1 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler	29
3.2.2 Güneş Takip Sistemleri	33
3.2.3 Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)	36
3.2.4 Aküler	38
4. KULLANILAN DENEY DÜZENEĞİNİN YAPISI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	40
4.1 Güneş Paneli	42
4.2 MPPT Şarj Regülatörü	44
4.3 Güneş Takip Sistemi	45
4.4 Datalogger	48
4.5 Aküler	49
5. DENEYSEL VERİLER VE ANALİZİ	51
6. SONUÇ	65
KAYNAKLAR	67

KISALTMA LİSTESİ

GSMH	Gayri safi milli hasıla
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
TEP	Ton eşdeğer petrol
GSYİH	Gayri safi yurtiçi hasıla
AB	Avrupa Birliği
OECD	İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
MPPT	Maksimum güç noktası takibi
MPP	Maksimum güç noktası
UART	Evrensel
DEK-TMK	Dünya Enerji Komitesi Türk Milli Konseyi
PV	Fotovoltaik
ADC	Analog dijital dönüştürücü

SİMGE LİSTESİ

Simge	Adı	Birimi
E_d	Verilen sistemin günlük ortalama elektrik enerjisi üretimi	kWh
E_m	Verilen sistemin aylık ortalama elektrik enerjisi üretimi	kWh
H_d	Verilen sistem modülleri tarafından alınan metre kare başına ortalama günlük toplam radyasyon	kWh / m ²
H_m	Verilen sistem modülleri tarafından alınan metre kare başına ortalama aylık toplam radyasyon	kWh / m ²

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 2.1	Dünya fosil yakıt rezervleri (Haziran,2005)	5
Şekil 2.2	2030 yılına kadar öngörülen dünya enerji tüketimi	8
Şekil 2.3	Güneşten gelen ışınımın dağılımı	12
Şekil 2.4	Dünyanın güneş etrafındaki devinimi	13
Şekil 2.5	Farklı atmosfer olayları	13
Şekil 2.6	Dünya ışınım haritası	14
Şekil 2.7	Türkiye güneş ışınım haritası	16
Şekil 2.8	Türkiye global aylık ortalama radyasyon değerleri	17
Şekil 2.9	Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri	17
Şekil 2.10	Türkiye’de farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları.....	18
Şekil 2.11	Balıkesir ili toplam güneş enerjisi potansiyeli haritası	19
Şekil 2.12	Balıkesir ili global aylık ortalama radyasyon değerleri	20
Şekil 2.13	Balıkesir aylık ortalama güneşlenme süreleri	20
Şekil 2.14	Balıkesir ilinde farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları	21
Şekil 3.1	Güneş pili enerji sisteminin blok şeması	24
Şekil 3.2	Güneş pili enerji sisteminin küçük ölçekli uygulamaları	25
Şekil 3.3	Güneş pili enerji sisteminin büyük ölçekli uygulamaları	25
Şekil 3.4	Güneş pili ve modülü	26
Şekil 3.5	PN eklem oluşması	27
Şekil 3.6	Enerji bandı	28
Şekil 3.7	Güneş yapımında kullanılan malzemeler	29
Şekil 3.8	PV hücresi	30
Şekil 3.9	Güneşin mevsimlere göre izlediği yol	33
Şekil 3.10	Güneş ışınlarının yüzeye yaptığı açı	34
Şekil 3.11	Güneş takip sistemi	34
Şekil 3.12	Tek eksenli (a) ve çift eksenli (b) güneş takip sistemi	35
Şekil 3.13	Tek sabit, tek eksen ve çift eksenli güneş takip sistemi verileri	35
Şekil 3.14	Çift eksenli güneş takip sisteminin farklı konumları	36

Şekil 3.15	Maksimum güç eğrisi	36
Şekil 3.16	MPPT'nin verime etkisi	37
Şekil 4.1	Güneş takip sistemi deney düzeneği	40
Şekil 4.2	Güneş takip sistemi deney bağlantısı	41
Şekil 4.3	Güneş takip sistemi bağlantı şeması	41
Şekil 4.4	Kullanılan güneş panelinin görüntüsü	42
Şekil 4.5	Güneş panelinin ürettiği enerjinin güneş enerjisi ile değişimi ..	43
Şekil 4.6	Güneş panelinin ürettiği enerjinin sıcaklık ile değişimi	43
Şekil 4.7	MPPT şarj regülatörü	44
Şekil 4.8	Güneş takip sisteminin mekanik yapısı	45
Şekil 4.9	Kullanılan cihazın kurulum yönü	46
Şekil 4.10	Güneş takip sistemi ile ilgili ayarların yapıldığı arayüz	46
Şekil 4.11	Datalogger devresi	48
Şekil 4.12	Datalogger gerilim bölücü devresi	49
Şekil 4.13	Akü karakteristik eğrileri	50
Şekil 5.1	Balıkesir İli 2010 yılı gün uzunluğu	52
Şekil 5.2	Balıkesir ilinde 21.Haziran ve 21.Aralık tarihlerinde Güneşin durumu	52
Şekil 5.3	Güneş enerji sistemleri kayıpları	53
Şekil 5.4	11 Kasım 2010 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar	54
Şekil 5.5	8 Şubat 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar	55
Şekil 5.6	13 Mayıs 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar (yüksüz).....	56
Şekil 5.7	20 Mayıs 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar (yük 10W).....	57
Şekil 5.8	24 Mayıs 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar (yük 20W).....	58
Şekil 5.9	Veri alınan dönem güç değerlerinin saatlik ortalamaları	59
Şekil 5.10	PVGIS analiz sayfası	60
Şekil 5.11	PVGIS aylara göre aylık enerji üretim karşılatırması	63
Şekil 5.12	PVGIS aylara göre m ² de aylık enerji üretim karşılatırması	63
Şekil 5.13	PVGIS 21 Aralık ve 21 Haziranda güneş yükselme açıları	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No	Çizelge Adı	Sayfa No
Çizelge 2.1	Kıtaların ve bazı ülkelerin elektriksel kurulu güçleri	5
Çizelge 2.2	Çeşitli ülkelerde enerji göstergeleri.....	7
Çizelge 2.3	Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli	9
Çizelge 2.4	2009 yılı genel enerji dengesi	10
Çizelge 2.5	2008 yılı genel enerji tüketiminin kaynaklara yüzde olarak dağılımı	11
Çizelge 2.6	Türkiye'de faydalanılan güneş enerjisi ve toplam enerji tüketimindeki payı	11
Çizelge 2.7	Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	15
Çizelge 2.8	Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	16
Çizelge 2.9	Bazı illerin aylık güneş ışınımı değerleri ve güneşlenme süreleri	22
Çizelge 4.1	Güneş paneli verileri	42
Çizelge 4.2	MPPT şarj regülatörü teknik özellikleri	44
Çizelge 4.3	Güneş takip sisteminin mekanik yapısının özellikleri	47
Çizelge 4.4	Kullanılan akü bilgileri.....	49
Çizelge 5.1	Balıkesir İlinin en uzun gündüz ve gece için güneş açıları	51
Çizelge 5.2	11 Kasım 2010 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi ..	54
Çizelge 5.3	8 Şubat 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi	55
Çizelge 5.4	13 Mayıs 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi ..	56
Çizelge 5.5	20 Mayıs 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi ..	57
Çizelge 5.6	24 Mayıs 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi	58
Çizelge 5.7	PVGIS sabit panel enerji üretim tahmini	61
Çizelge 5.8	PVGIS çift eksenli güneş takip paneli enerji üretim tahmini ...	62

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresinde yardımlarını ve desteğinin esirgemeyen, değerli fikirleriyle bana yol gösteren tez yöneticim Yrd.Doç.Dr. Metin DEMİRTAŞ hocama en içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmaya BAP2010/09 sayılı proje ile maddi destek sağlayan Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Balıkesir, 2011

Mehmet Fatih BEYOĞLU

1. GİRİŞ

Enerji iş yapma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır ve ısı enerjisi, ışık enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi değişik formlarda karşımıza çıkmaktadır. Enerji kaynakları genelde yenilenebilir ve tükenbilir (veya yenilenemeyen) olmak üzere iki grup altında toplanırlar. Yenilenebilir enerji, pratik olarak sınırsız olduğu varsayılan, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, yerküreden gelen jeotermal enerji, bitkilerden üretilen biyokütle ve sudan elde edilen hidrogüç de yenilenebilir enerji grubunda değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji, kısa sürede yerine konulan enerjidir. Tükenbilir enerji ise, kullanılan ve fakat kısa zaman aralığında yeniden oluşmayan enerji olarak tanımlanır. Bunlar genelde, petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların yerkürenin içinden gelen ısı ve bu kalıntıların üzerinde bulunan kayaçların basıncı ile oluşmaktadır. Tükenbilir enerji kaynakları yer altında sınırlı miktarda rezerve sahiptir ve hızla tükenmektedir. Fosil yakıtlar yakıldıklarında CO₂, NO₂, SO₂ gazları çıkmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır [1,2].

İş yapma kapasitesi olarak tanımlanan enerjiye gelişmiş ülkelerle birlikte gelişmek isteyen tüm ülkelerin gereksinimi vardır. Kişi başına enerji tüketimi dünya ortalamasının altında olan Türkiye, hem daha fazla enerji tüketerek gelişimini hızlandırmak, hem de gelişmiş ülkelerde çağdaş bir parametre olarak gündemde olan enerji yoğunluğu (birim Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) başına tüketilen enerji miktarı) değerini yakalamak için enerjiyi verimli şekilde kullanmak durumundadır [1].

Dünyada endüstri devriminin başlangıcından itibaren geçen süre içinde gelişen dünya enerji talebinin 21. yüzyılda çok daha büyük hızla artması beklenmektedir. Teknolojik ve endüstriyel gelişmelere paralel olarak, kişi başına enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde dünya nüfusundaki artış ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacındaki yükseliş, alternatif

yakıtlara daha fazla önem verilmesine ve buna bağılı olarak daha fazla zaman ve para harcanmasına neden olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız oluşu, çevre kirliliğine neden olmaması, v.b. gibi avantajlarının yanında, özellikle ticari bir mal gibi, fosil yakıtlarda olduğu gibi, piyasada taşınımaya hazır ve kullanılabilir şekilde bulunmaması, dünya üzerindeki her yerde bu kaynakların kullanımının mümkün olmaması, verimlerinin düşük olması gibi önemli kullanım sorunları da vardır. Yenilenebilir enerji üretiminde verimliliği arttırmaya ve maliyetleri düşürmeye yönelik ciddi teknolojik araştırmalar yapılmaktadır. Asya, Avusturalya, Afrika ve Türkiye'nin de yer aldığı Akdeniz ülkelerinde konut enerjilerinin güneşten sağlamak, Fas gibi bazı ülkelerde rüzgâr enerjisinden yararlanmak mümkündür.

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. Endüstride, yerleşim alanlarında, termal ve fotovoltaik uygulamaları bulunmaktadır. Ayrıca uydu ve uzay istasyonlarında güneşten elektrik elde etmek için kullanılan güneş pili teknolojilerindeki gelişim, bunların verimlerindeki artış sayesinde daha ekonomik hale gelmektedirler [1].

Türkiye güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yeterli düzeylerde değildir.

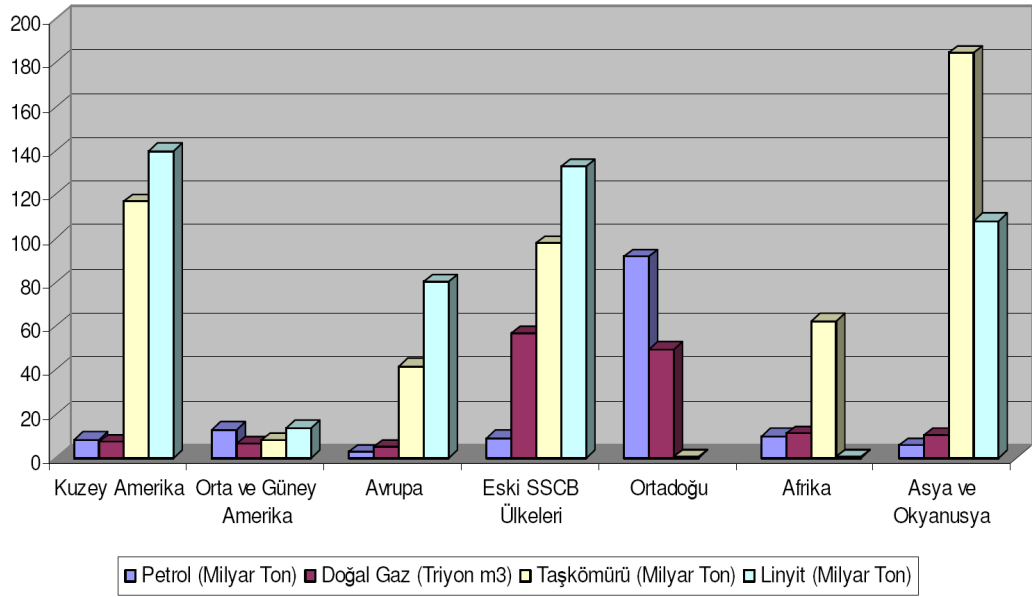
Literatüre bakıldığında güneş takip sistemi ve MPPT ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bazılarını kısaca şöyle özetleyebiliriz; F.R. Rubio ve arkadaşları yüksek doğruluk ile güneşi takip edebilen bir güneş takip kontrol uygulaması üzerinde çalışmışlardır [3]. G.C. Bakos yeni bir çift eksenli güneş takip sistemi tasarlamıştır. Tasarladığı sistem ile sabit panele

göre %46 daha yüksek verim elde etmiştir [4]. M. Alata ve arkadaşları çift eksenli güneş takip sistemi için bulanık mantık kontrol algoritması kullanarak çok amaçlı güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Sonuçlar her tip kontrol için simülasyon ve sanal gerçeklik ile gösterilmiştir [5]. M. Verachary ve arkadaşları güneş enerji sistemleri için bulanık mantık kullanarak maksimum güç noktası takibi yapan sistem geliştirmişlerdir. Bulanık mantık kontrollü MPPT sisteminin simülasyon ve deneysel sonuçları gösterilerek, geleneksel oransal (PI) denetleyici tabanlı sistem ile karşılaştırılmıştır [6]. T. Efram ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada geçmişten günümüze maksimum güç noktası takibi için kullanılan algoritmaları araştırmıştır. 19 farklı algoritma ve bu algoritmaların farklı varyasyonları incelenmiştir [7]. J. Jiang ve arkadaşları genellikle maksimum güç noktası izlemek için kullanılan pertürbasyon ve gözlem algoritmalarının salınım sorunlarını önleyen yeni bir üç nokta ağırlık karşılaştırma yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem ile çalışan tek yongalı sistem tasarlanmış ve sistemin etkinliği deney sonuçları ile gösterilmiştir [8]. M. Socolov ve arkadaşı maksimum güç noktası takibi ve kısmen geleneksel MPPT yöntemlerine benzer bir iteratif süreç ile yüke göre hassas kontrol sağlayan doğrusal bir kontrol döngüsü gerçekleştirmiştir. Bu sayede kararlı ve geçici durum için mükemmel MPPT sağlanmıştır [9]. M. Azab geleneksel tekniklerden farklı olarak doğrudan PV panelden çekilen gücü kontrol eden yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma basit yapısı, yüksek yakınsama hızı ve PV özelliklerine bağımsız oluşu ile avantaj sağlamaktadır. Yapılan testlerde sistemin ani değişimlere hızla cevap verebildiği görülmüştür [10].

Bu çalışmamızda Balıkesir İlimizde yapılacak uygulamaları teşvik etmesi ve çalışmalara referans olması düşünülerek, maksimum güç takip sistemli sabit ve 2-eksenli olmak üzere iki fotovoltaik güneş enerji sisteminin kurulumu ve eşzamanlı olarak çalışma ve verimlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Bu nedenle ikinci bölümde enerji üretimi ve tüketimi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise fotovoltaik sistemlerle ilgili gelişmeler anlatılmıştır. Kullanılan çift eksenli güneş takip sisteminin yapısı ve çalışması dördüncü bölümde açıklanmıştır. Elde edilen verilerin analizi beşinci bölümde yapılmıştır. Sonuçlar ise son bölümde verilmiştir.

2. DÜNYADAKİ ENERJİ DURUMU

Enerji ve tercih edilen enerji kaynağı değerlendirilirken kaynağın fiyatı, kaynağın elde edilme kolaylığı, başka ülkelere bağımlılık ve ayrıca çevre ve sağlık etkileri göz önüne alınır. Yaklaşık 6.5 milyarlık dünya nüfusunun 4.5 milyarının dünya ortalamasından daha düşük enerji tükettiği; 2.4 milyarının hala ticari olmayan enerji kaynaklarına (odun, bitki-hayvan artıkları) bağlı olduğu; 1.6 milyara elektriğin ulaşmamış olduğu ve gelişmiş ülkelerde kişi başına enerji tüketiminin gelişmekte olan ülkelere göre 7 katı yüksek olduğu bilinmektedir. Dünyada en hızlı gelişme gösteren enerji formu, elektriktir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplumların gelişmeleri ve hayat standartları elektrik sistemlerinin gelişmesiyle, kişi başına elektrik tüketimleriyle, enerji yoğunluklarıyla ölçülmektedir. 2006 yılı itibariyle kıtaların ve bazı ülkelerin elektrik kurulu gücü Çizelge 2.1' de verilmektedir. 2007 yılı itibariyle kişi başına yıllık elektrik tüketimi dünya ortalaması 2.752kWh, ABD'de 13.616kWh, Türkiye için 2.210 kWh' dir. Elektrik, yenilenebilir ve tükenebilir kaynaklardan elde edilebilen genelde pahalı bir enerji türüdür. Düşük enerji fiyatının ekonomik gelişmeyi tetiklediği ve hidroelektrik dışındaki yenilenebilir kaynakların fosil kaynaklara göre tüketici için genelde daha yüksek maliyetli olduğu bilinen gerçeklerdir. Diğer taraftan, enerji kaynakları tüm ülkelere eşit olarak dağılmış durumda değildir. Dünyada bazı ülkeler enerji rezervlerine sahip üretici konumundayken, diğerleri bu enerji kaynaklarını elde etmeye çalışan tüketici konumundadırlar. 2005 yılına ait dünyadaki fosil yakıt rezervleri Şekil 2.1' de gösterilmiştir [1,11].



Şekil 2.1 Dünya fosil yakıt rezervleri (Haziran,2005)

Bu arada nüfus artarken ve ülkeler daha fazla enerji kullanarak gelişirken, enerji kullanımından kaynaklanan çevre ve sağlık sorunları da dünya gündeminde yer almaktadır. Atmosferdeki hava kirliliği nedeniyle insan ölümleri ve iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuzluklar da sürekli tartışılmaktadır. Kıtaların ve bazı ülkelerin 2006 yılına ait elektriksel kurulu güçleri Çizelge 2.1' de verilmiştir [1].

Çizelge 2.1 Kıtaların ve bazı ülkelerin elektriksel kurulu güçleri [12]

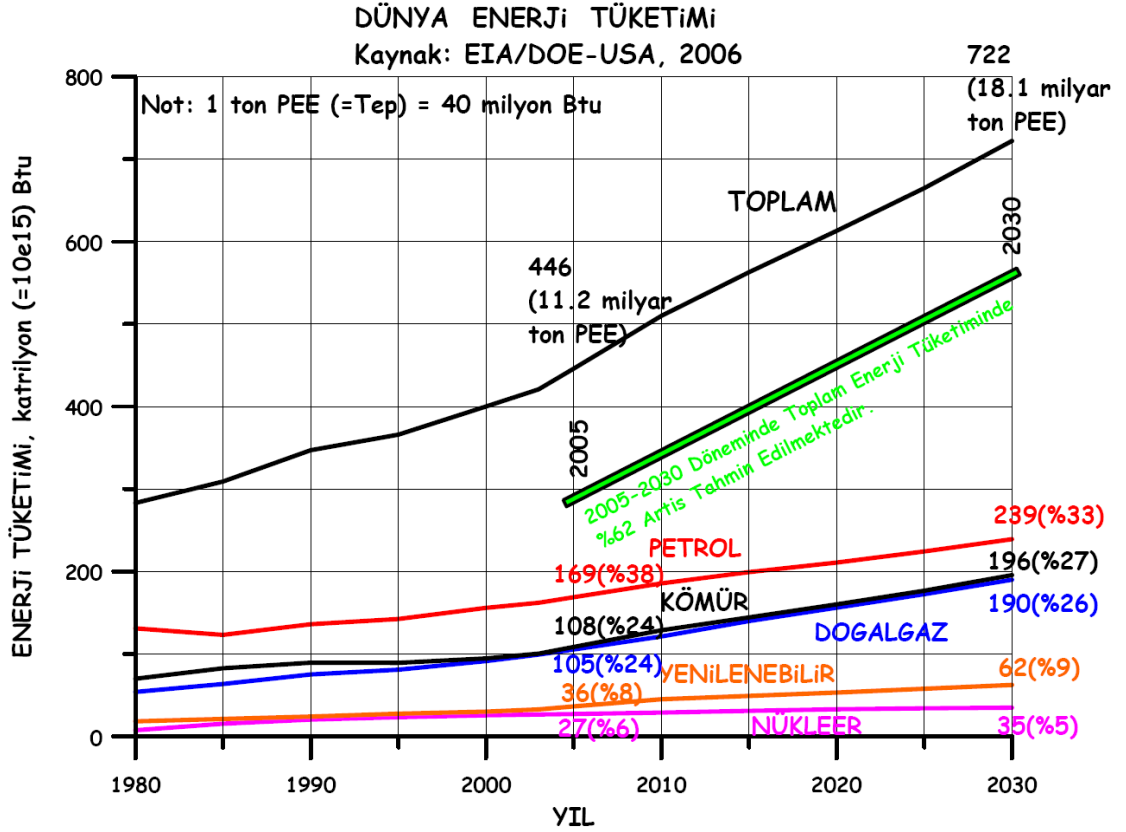
Ülke / Kıta	Termik (GW)	Hidroelektrik (GW)	Nükleer (GW)	Diğer (GW)	Toplam (GW)
A.B.D.	761,6	77,8	100,3	25,0	964,8
Fransa	26,4	20,8	63,4	1,5	112,0
Almanya	74,5	4,1	20,4	21,8	120,8
Türkiye	25,9	12,9	0,0	0,1	38,8
İtalya	60,9	13,9	0,0	3,3	78,2
İngiltere	62,2	1,5	11,9	3,2	78,7
Rusya	149,2	45,8	23,2	0,1	218,4
Çin	391,4	117,4	6,9	1,9	517,6
Japonya	173,7	22,1	49,6	5,9	251,3
Kuzey Amerika	835,6	160,2	115,0	28,0	1.138,8
Orta ve Güney Amerika	81,9	128,5	3,0	6,7	220,1
Avrupa	457,6	164,6	135,7	52,2	810,2
Avrasya	237,7	67,9	38,6	0,2	344,5
Orta Asya	135,9	8,7	0,0	0,0	144,7
Afrika	86,0	22,0	1,8	0,4	110,3
Asya ve Okyanus Adaları	917,4	224,7	82,6	19,2	1.243,9
Dünya Toplamı	2.752,2	776,8	376,8	106,7	4.012,4

Uluslararası Enerji Ajansının çeşitli ülkelerde enerji göstergelerinin yer aldığı 2007 yılı verileri Çizelge 2.2' de belirtilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere 2007 yılı itibariyle dünya ve Türkiye kişi başına enerji tüketimi sırasıyla 1,82 Ton Eşdeğer Petrol (TEP) ve 1,35 TEP' dir. Türkiye dünya ortalamasından daha az enerji tüketmektedir. ABD 7,75 TEP, Rusya 4,75 TEP, Japonya 4,02 TEP, Almanya 4,03 TEP kişi başına enerji tüketmektedir [11].

Çizelge 2.2 Çeşitli Ülkelerde Enerji Göstergeleri (2007) [11]

	Nüfus (milyon)	GSYİH (*) (Milyar Dolar)	Kişi Başına GSYİH (Milyon Dolar)	Enerji Üretimi (MTEP)	Toplam Birincil Enerji Arzı (MTEP)	Elektrik Tüketimi (TWh)	CO2 Emisyonu (milyon ton)	Kişi Başına Enerji Tüketimi (TEP)	Kişi Başına Elektrik Tüketim (kWh)	Kişi Başına CO2 (ton)
Dünya	6.609,00	39.493,00	5.976	11.940,00	12.029,00	18.187,00	28.962,00	1,82	2.752	4,38
ABD	302,09	11.468,00	37.962	1.665,18	2.339,94	4.113,07	5.769,31	7,75	13.616	19,10
Kanada	32,98	869,28	26.357	413,19	269,37	560,43	572,94	8,17	16.995	17,37
Meksika	105,68	755,11	7.145	251,05	184,26	214,34	437,92	1,74	2.028	4,14
Arjantin	39,50	369,62	9.357	81,91	73,07	104,99	162,57	1,85	2.658	4,12
Brezilya	191,60	808,95	4.222	215,58	235,56	412,69	347,09	1,23	2.154	1,81
Şili	16,60	101,34	6.104	8,54	30,79	55,20	71,04	1,86	3.326	4,28
Almanya	82,26	2.065,35	25.107	137,03	331,26	591,03	798,44	4,03	7.185	9,71
Belçika	10,62	265,96	25.043	14,36	57,02	91,54	105,95	5,37	8.617	9,97
Danimarka	5,46	178,98	32.780	27,04	19,65	36,43	50,46	3,60	6.671	9,24
Fransa	63,57	1.505,62	23.684	135,45	263,72	481,41	369,31	4,15	7.573	5,81
İngiltere	60,78	1.765,77	29.051	176,23	211,31	373,36	523,01	3,48	6.142	8,60
İspanya	44,87	734,34	16.365	30,33	143,95	282,54	344,70	3,21	6.296	7,68
İsviçre	7,51	284,50	37.882	12,62	25,72	61,64	42,18	3,42	8.209	5,62
İtalya	59,32	1.183,77	19.955	26,38	178,16	339,20	437,56	3,00	5.718	7,38
Lüksemburg	0,48	27,05	56.354	0,08	4,22	7,83	10,73	8,79	16.315	22,35
Norveç	4,71	198,09	42.057	213,91	26,86	117,64	36,93	5,71	24.997	7,85
TURKİYE	73,90	371,84	5.031	27,27	100,01	163,35	265,00	1,35	2.210	3,59
Yunanistan	11,19	169,74	14.168	12,15	32,18	62,99	97,84	2,88	5.628	8,74
Bulgaristan	7,64	18,39	2.407	9,97	20,23	34,13	50,24	2,65	4.466	6,57
Macaristan	10,06	62,13	6.175	10,22	26,73	39,99	53,93	2,66	3.976	5,36
Rusya	141,64	406,18	2.867	1.230,63	672,14	897,68	1.587,36	4,75	6.338	11,21
Ukrayna	46,38	52,22	1.125	81,60	137,34	164,13	313,96	2,96	3.539	6,77
Azerbaycan	8,57	16,69	1.947	52,09	11,91	20,54	27,58	1,39	2.397	3,22
Kazakistan	15,48	36,11	2.332	135,99	66,46	68,88	190,45	4,29	4.449	12,30
B.A.Emirlikleri	4,37	115,24	26.370	178,35	51,64	70,54	130,58	11,83	16.161	29,91
İran	71,02	151,80	2.137	323,07	184,94	165,12	465,90	2,60	2.325	6,56
Mısır	75,47	135,87	1.800	82,27	67,25	110,82	168,70	0,89	1.468	2,24
Suriye	19,89	26,62	1.338	24,36	19,64	29,49	53,73	0,99	1.483	2,70
Etyopya	79,09	13,76	173	20,86	22,81	3,17	5,96	0,29	40	0,08
Kenya	37,53	17,25	459	14,72	18,30	5,71	11,43	0,49	152	0,30
Vietnam	85,14	52,56	617	73,93	55,79	61,97	93,59	0,66	728	1,10
Japonya	127,76	5.205,20	40.742	90,47	513,52	1.082,72	1.236,34	4,02	8.475	9,68
Hindistan	1.123,32	771,09	686	450,92	594,91	609,74	1.324,05	0,53	543	1,18
Avustralya	21,14	507,75	24.018	289,21	124,07	237,05	396,26	5,87	11.216	18,75
Çin	1.327,00	2.623,00	1.977	1.814,00	1.970,00	3.114,00	6.071,00	1,48	2.346	4,58

2030 yılına kadar öngörülen dünya enerji tüketimi Şekil 2.2'de verilmiştir [1].



Şekil 2.2 2030 yılına kadar öngörülen dünya enerji tüketimi

2005-2030 döneminde toplam enerji tüketiminde %62' lik bir artış beklendiği Şekil 2.2' den görülmektedir. Bu ise dünya enerji tüketiminde ortalama yıllık artış olarak %2' ye, elektrik üretiminde ortalama yıllık artış olarak %2.7 'ye ve GSMH'da ortalama yıllık artış olarak %3.8' e karşı gelmektedir. Dünyada elektrik tüketiminde en hızlı artışın beklendiği Çin için %4.7' lik ve Hindistan için %4.8' lik ortalama yıllık artış beklenmektedir. Eğer düşük ekonomik büyüme gerçekleşirse ortalama yıllık artış dünya enerji tüketiminde %1.5 ve dünya elektrik tüketiminde %2.0 olarak tahmin edilmekte iken yüksek ekonomik büyüme gerçekleşirse ortalama yıllık artış dünya enerji tüketiminde %2.6 ve dünya elektrik üretiminde %3.3 olarak öngörülmektedir.

2.1 Türkiye'nin Genel Enerji Durumu

Türkiye'nin temel enerji kaynakları taş kömürü, linyit, asfalt, petrol, doğalgaz, hidroelektrik enerjisi ve jeotermal enerjidir. Türkiye'nin doğal enerji kaynakları; taşkömürü, linyit, asfalt, petrol, doğalgaz, hidrolik, jeotermal, odun, hayvan ve bitki artıkları, güneş ve ikinci dereceden enerji kaynakları kok ve briket gibi pek çok farklı türe sahiptir [13].

2.1.1 Rezerv, Üretim, Tüketim Durumu

Kömür ve yenilenebilir birincil kaynaklarımızın rezerv ve potansiyelleri, girmeyi hedeflediğimiz Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla iyi düzeyde olmasına rağmen, toplam enerji tüketimimizin %60' ını oluşturan petrolde ve doğal gazda "görünür" rezervlerimiz yok denecek düzeydedir. Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli Çizelge 2.3' te sunulmuştur [1].

Çizelge 2.3 Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli [14]

Kaynak	Potansiyel
Linyit	10,4 milyar ton
Taskömürü	1,3 milyar ton
Asfaltit	82 milyon ton
Petrol	6,7 milyar varil
Hidrolik	130 milyarkWh/yıl
Doğalgaz	21,9 milyar m ³
Rüzgar	Çok Verimli: 8.000 MW Orta Verimli: 40.000 MW
Jeotermal	31500 MWt
Biyokütle	16,9 Mtep
Güneş Enerjisi	80 Mtep

Türkiye'nin kaynaklara göre 2009 yılı enerji üretim, ithalat ve tüketimi Çizelge 2.4' te belirtilmiştir. Çizelgede ayrıca kullanılan enerjinin sektörlere göre dağılımı da yer almaktadır. 2009 yılında, üretilen 106.138.000 TEP enerjinin, %92 sini kömür, doğalgaz ve petrol oluşturmaktadır. Bu yakıtların büyük kısmı ithal edilmiştir.

Çizelge 2.4 2009 Yılı Genel Enerji Dengesi [15]

(Bin Tep)

	Taş Kömürü	Linyit	Asfaltit	Kök	Petrokok	Briket	Odu	Hay.ve Bit.Art.	Toplam K.Yak.	Petrol	D.Gaz	Hidrolik	Jeotermal	Biyoyakıt	Rüzgar	Elektrik	Jeo.İsı Diğer İsı	Güneş	Toplam
Yerli Üretim (+)	1 294	15 632	476	-	-	-	3 530	1 136	22 088	2 349	627	3 062	375	9	129	-	1 250	429	30 328
İthalat (+)	13 119	-	183	183	2 039	-	-	-	15 341	33 887	32 827	-	-	-	-	70	-	-	82 124
İhracat (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	6 048	649	-	-	-	-	-	133	-	-	6 829
İrakiye (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	657
Stok Değişimi (+/-)	355	40	- 26	- 174	- 24	-	-	-	170	- 441	- 30	-	-	-	-	-	-	-	- 301
İstatistik Hata (+/-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 473	-	-	-	-	-	-	-	-	1 473
Birincil Enerji Arzı	14 768	15 672	450	6	2 015	-	3 530	1 136	37 579	30 565	32 775	3 062	375	9	129	- 63	1 250	429	106 138
Çevrim ve Enerji Sektörü	- 6 917	- 10 355	- 104	2 292	-	-	- 7	- 77	- 15 169	- 1 225	- 20 089	- 3 062	- 375	-	- 129	- 13 458	1 056	-	- 25 565
Elektrik Santralleri	- 3 409	- 10 336	- 104	-	-	-	- 7	- 77	- 13 933	- 1 169	- 18 752	- 3 062	- 375	-	- 129	- 16 754	1 056	-	- 19 640
Hava Gazı Fab (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kök Fabrikaları	- 3 393	-	-	2 292	-	-	-	-	- 1 091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 1 091
Bilet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrol Rafinerileri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 1 344	- 917	-	-	-	-	- 98	-	-	- 2 360
İ Tüketim ve Kayıp	- 126	- 19	-	-	-	-	-	-	- 145	1 288	- 420	-	-	-	-	- 3 198	-	-	- 2 474
Toplam Nihai Enerji Tüketimi	7 851	5 317	345	2 300	2 015	-	3 523	1 059	22 410	29 340	12 685	-	-	9	-	- 13 395	2 306	429	80 574
Sektörler Toplamı	7 851	5 317	345	2 300	2 015	-	3 523	1 059	22 410	29 340	12 685	-	-	9	-	- 13 395	2 306	429	80 574
Sanayi Tüketimi	2 816	2 506	137	2 300	2 015	-	3 523	1 059	9 773	3 539	5 507	-	-	-	-	5 962	1 056	129	25 966
Demir Çelik	597	84	-	2 231	-	-	-	-	2 828	9	710	-	-	-	-	1 376	232	-	5 155
Kinye-Petrolkinye	48	-	-	-	-	-	-	-	132	58	296	-	-	-	-	385	-	-	872
Petrolkinye-Fosfatçok	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 796	-	-	-	-	-	-	-	-	1 706
Gübre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	26	-	-	-	-	20	-	-	50
Çimento	1 474	674	-	-	1 748	-	-	-	3 896	31	20	-	-	-	-	478	-	-	4 426
Şeker	4	40	-	32	-	-	-	-	76	15	16	-	-	-	-	42	-	-	149
Demirdışı Metaller	-	19	-	-	14	-	-	-	33	3	429	-	-	-	-	185	-	-	630
Diğer Sanayi	693	1 688	137	37	253	-	-	-	2 808	1 623	4 009	-	-	-	-	3 495	824	129	12 888
Ulaştırma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15 642	208	-	-	9	-	57	-	-	15 916
Demiryolları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	141	-	-	-	-	-	21	-	-	162
Denizyolları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	525	-	-	-	-	-	525	-	-	525
Havayolları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 721	-	-	-	-	-	-	-	-	1 721
Boru Hatları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	172	-	-	-	-	27	-	-	199
Karayolları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13 254	37	-	-	9	-	9	-	-	13 309
Diğer Sektörler	5 036	2 811	208	0,6	-	-	3 523	1 059	12 638	6 006	6 970	-	-	-	-	7 376	1 250	300	34 540
Konut ve Hizmetler	5 035	2 811	208	0,6	-	-	3 523	1 059	12 637	1 640	6 970	-	-	-	-	6 966	964	300	29 466
Tarım	1	-	-	-	-	-	-	-	1	4 368	07	-	-	-	-	420	286	-	5 073
Enerji Dışı	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 153	-	-	-	-	-	-	-	-	4 153
Elektrik Enerjisi Üretimi (GWh)	16 148	39 089	448	-	-	-	-	340	-	4 803	96 095	-	436	-	1 495	-	-	-	194 813
Kurulu Güç Kapasitesi (MW)	2 256	8 110	135	-	-	-	-	82	-	2 140	16 617	-	77	-	792	-	-	-	44 761
									Fert Başına Elk. Tüketimi kw/h.k.										GSMH Büyüme Hızı: 2 162
									Fert Başına Enerji Tüketimi kwh/kişi : 1 463										GSMH Büyüme Hızı: 2 685

Genel enerji tüketiminde kaynakların payı incelendiğinde, Türkiye ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerindeki petrol ve doğal gaz tüketim oranlarının aynı olduğu, Türkiye'nin kömür ve yenilenebilir kaynakların payındaki fazlalığın İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) ülkelerinde nükleer enerji ile ikame edildiği görülmektedir. Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin 1980-2004 dönemindeki yıllık ortalama artışı %4.3 iken üretim artışı %1.4'de kalmıştır. Aynı dönemde Avrupa Birliği ülkelerindeki ortalama tüketim artışı ise %0.8 olmuştur. Kaynakların toplam enerji tüketimindeki payına bakıldığında yenilenebilir kaynak payı azalırken 1985 sonrası doğal gaz payının hızla arttığı görülmektedir. 2008 yılında genel enerji tüketimimizin %92'i fosil yakıtlardan, %8'i yenilenebilir kaynaklardan sağlanmıştır. 2008 yılı genel enerji tüketiminin kaynaklara yüzde olarak dağılımı Çizelge 2.5' te verilmiştir [1].

Çizelge 2. 5 2008 yılı genel enerji tüketiminin kaynaklara yüzde olarak dağılımı [11,15]

	Petrol	Doğalgaz	Kömür	Nükleer	Hidroelektrik	Yenilenebilir
Türkiye	31	32	29	0	8	4
OECD	37	24	21	11	2	4
Dünya	33	21	27	6	2	10

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli 80.000.000 TEP olmasına rağmen 2009 yılında üretilen 106.138.000 TEP toplam enerjinin, sadece 429.000 TEP' i güneş enerjisinden üretilmiştir. Türkiye'de faydalanılan güneş enerjisi ve toplam enerji tüketimindeki payı Çizelge 2.6 ' da verilmiştir.

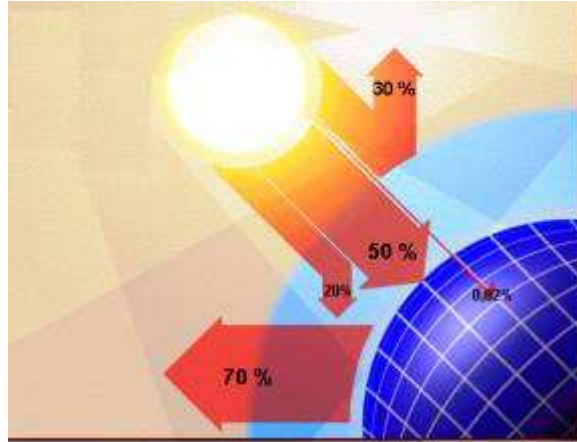
Çizelge 2.6 Türkiye'de faydalanılan güneş enerjisi ve toplam enerji tüketimindeki payı [11,16]

YILLAR	GÜNEŞ (BİN TEP)	TOPLAM (BİN TEP)	Güneş/Toplam (%)
1986	5	42.472	0,01
1990	28	52.987	0,05
1995	143	63.679	0,22
2000	262	80.500	0,33
2005	385	91.576	0,42
2009	429	106.138	0,40

2.1.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [17].

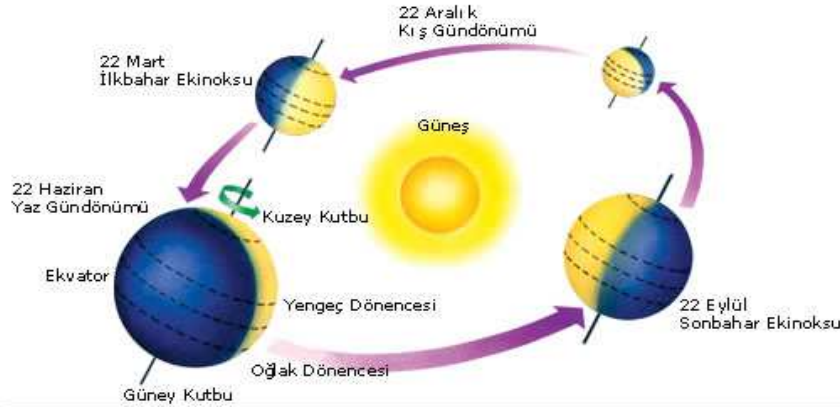
Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km olmasına rağmen, Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneşin, 5 milyar yıl sonra tükeneyeceği hesaplanmakta ve bu nedenle sonsuz bile enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneşten gelen ışınım dağılımı Şekil 2.3'te gösterilmiştir [17].



Şekil 2.3 Güneşten gelen ışınımın dağılımı

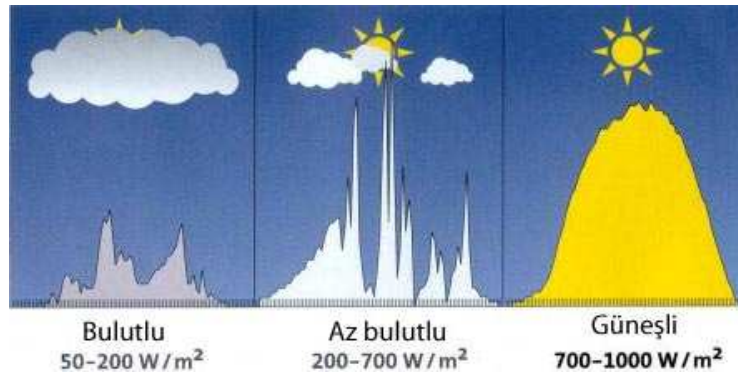
Güneş ışınımının %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur, kalan %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgar hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından bitkisel yaşamın kaynağı olan fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla

birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Dünya'yı yaşanabilir kılarlar. Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir. Dünya üzerine dağılan güneş ışınımı, güneşe olan uzaklık ve ışınların geliş açısı Şekil 2.4' te gösterilmiştir [17].

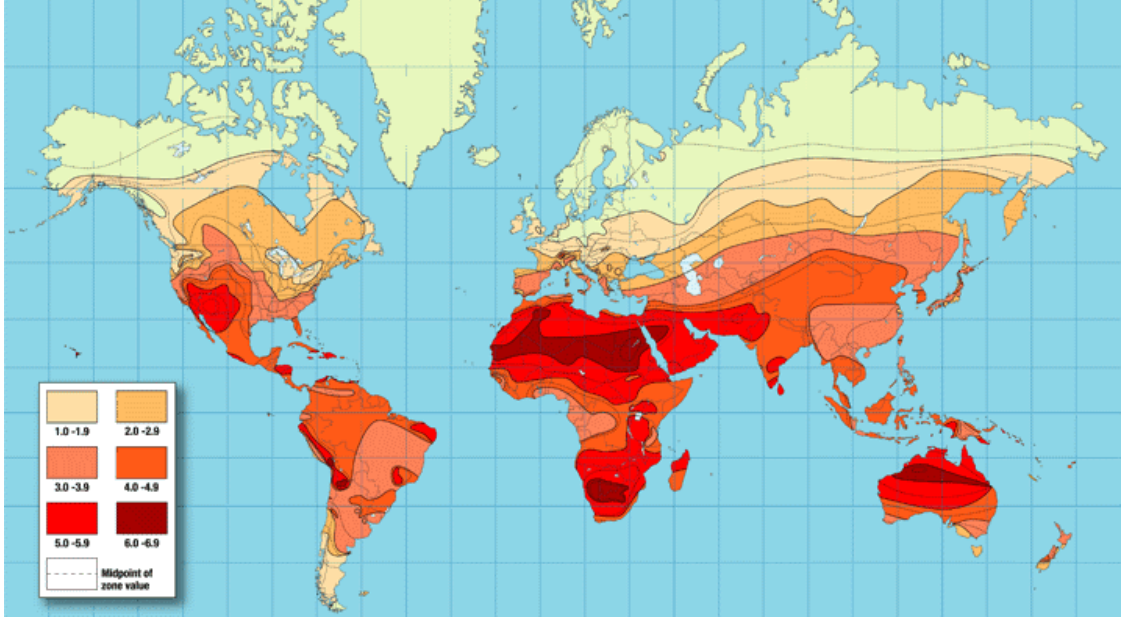


Şekil 2.4 Dünyanın güneş etrafındaki devinimi

Dünya üzerine dağılan güneş ışınımı, güneşe olan uzaklık ve ışınların geliş açısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bir noktadaki güneş ışınımı, yerin coğrafi konumuna, dünyanın yıllık devinimi esnasında güneş ile arasındaki açının ve mesafenin değişimine ve günlük atmosfer olaylarına göre değişim göstermektedir. Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınımına etkisi Şekil 2.5' te verilmiştir.



Şekil 2.5 Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınımına etkisi



Şekil 2.6 Dünya ışınlm haritası

Dünya üzerinde güneş ışığı dağılımını gösteren Güneş enerjisi ışınlm haritası Şekil 2.6' da verilmiştir. Haritada koyu renkte işaretlenen bölgelerde, güneş enerjisi potansiyeli yüksek, açık renkle işaretlenen bölgelerde daha düşüktür.

2.1.3 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlm şiddeti verilerinden yararlanarak, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınlm şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 2.7' de verilmiştir [17].

Çizelge 2.7 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [17]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -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 ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

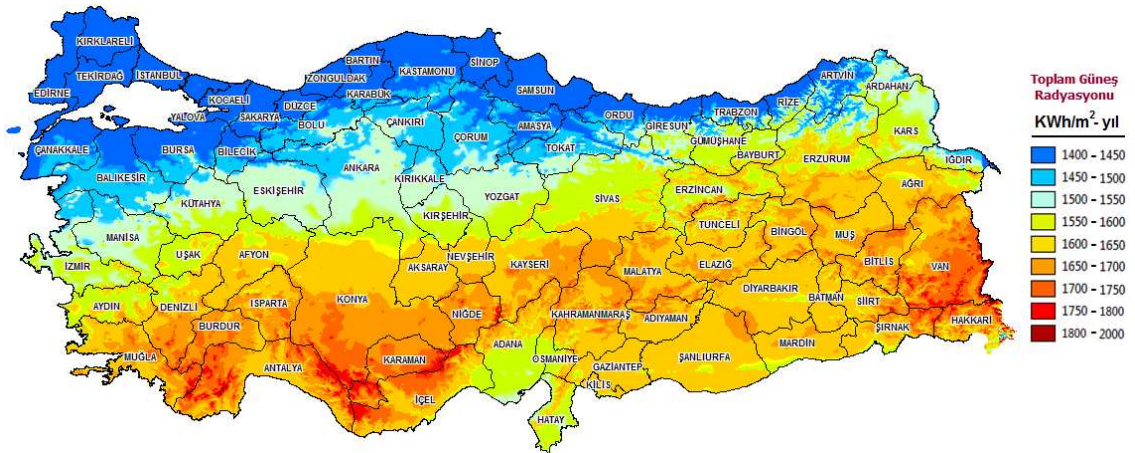
Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 2 8'de verilmiştir [17].

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir [17].

Çizelge 2.8 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [17]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1.460	2.993
AKDENİZ	1.390	2.956
DOĞU ANADOLU	1.365	2.664
İÇ ANADOLU	1.314	2.628
EGE	1.304	2.738
MARMARA	1.168	2.409
KARADENİZ	1.120	1.971

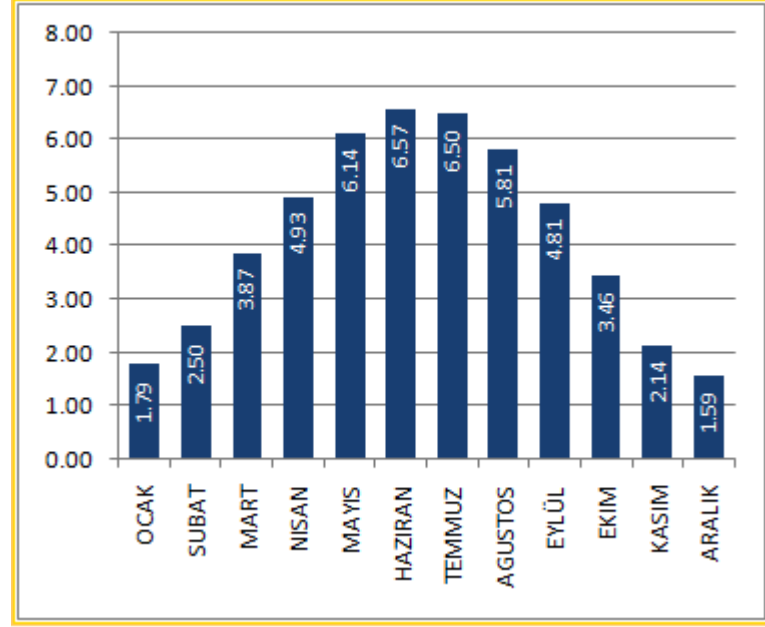
Türkiye güneş ışınım haritası Şekil 2.7 de verilmiştir. Haritada ışınım miktarının yüksek olduğu yerler koyu kırmızı tonlarda, ışınım miktarının az olduğu bölgeler ise koyu mavi tonlarda gösterilmiştir. Türkiye için güney bölgelerinin daha çok güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu burada da görülmektedir [17].



Şekil 2.7 Türkiye güneş ışınım haritası

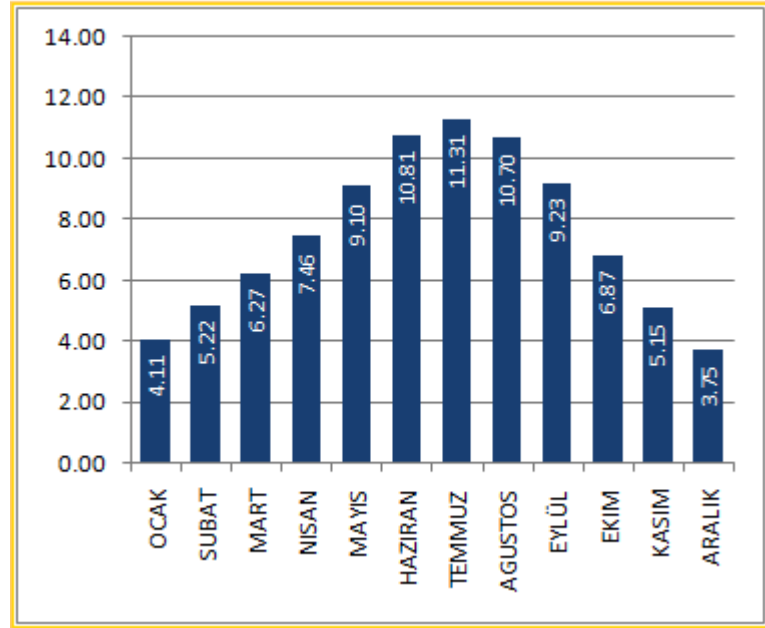
Türkiye'nin aylık global radyasyon değerleri incelendiğinde, en düşük değer Aralık ayında $1.59 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$, en yüksek değer ise Haziran ayında $6.57 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ olduğu görülmektedir.

TÜRKİYE Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



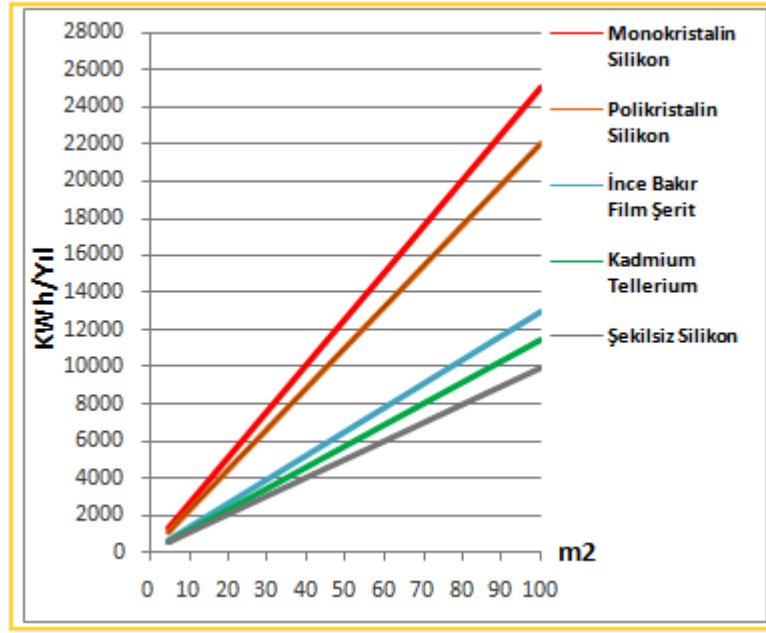
Şekil 2.8 Türkiye global aylık ortalama radyasyon değerleri

TÜRKİYE Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 2.9 Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri

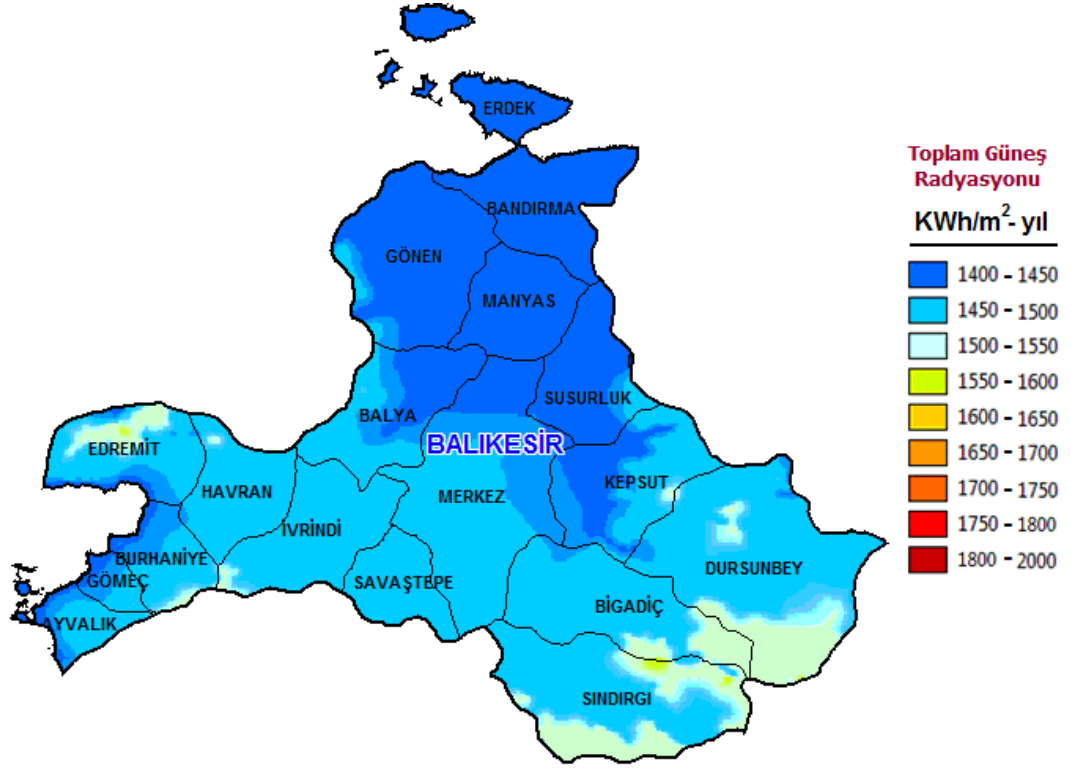
TÜRKİYE PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)



Şekil 2.10 Türkiye’de farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları

2.1.4 Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

Balıkesir iline ait güneş ışınım haritası Şekil 2.10' da verilmiştir. Haritadan da görüldüğü gibi ilimiz geneli yıllık ortalama 1.400-1.500 kWh/m²-yıl güneş ışınım potansiyeline sahiptir.

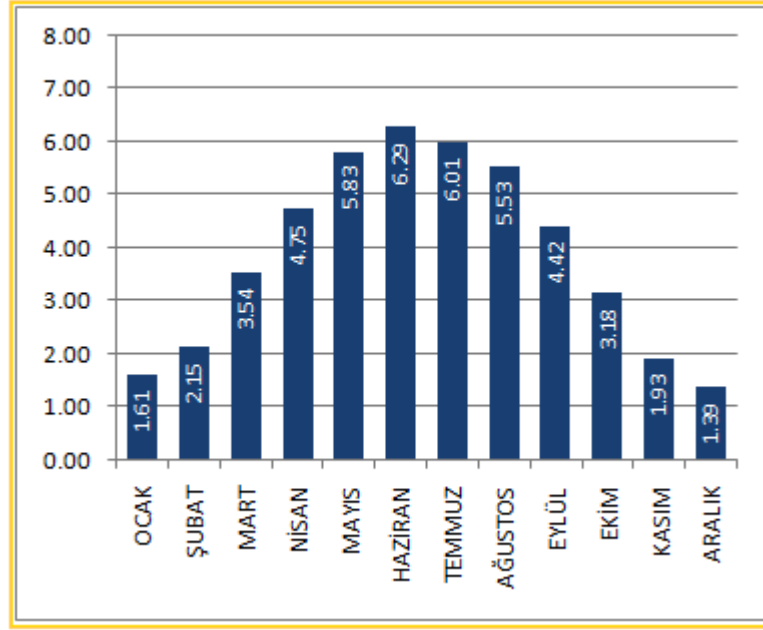


Şekil 2.11 Balıkesir ili toplam güneş enerjisi potansiyeli haritası

Balıkesir ilinin aylık ortalama radyasyon değerleri, en düşük Aralık ayında 1.39 kWh/m²-gün ve en yüksek Haziran ayında 6.29 kWh/m²-gün olmak üzere değişim göstermektedir. Balıkesir ili aylık ortalama radyasyon değerleri Şekil 2.12' de verilmiştir.

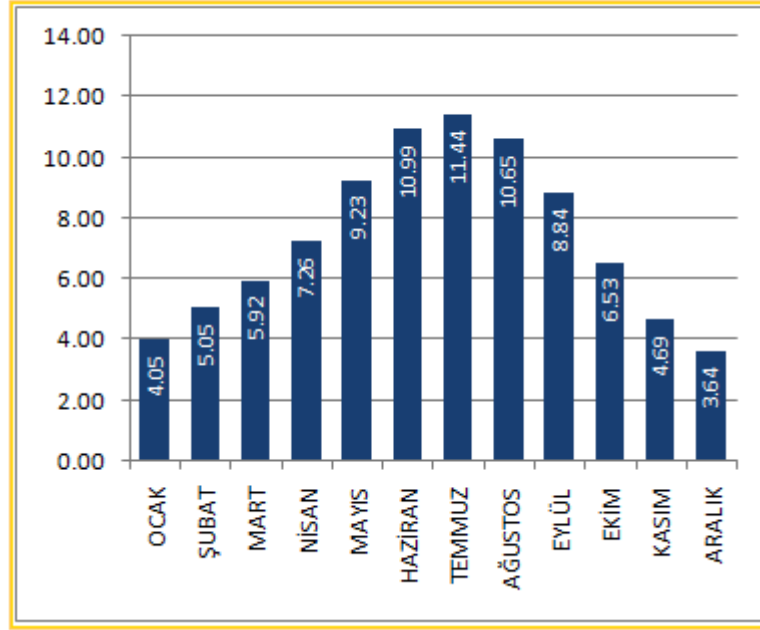
Balıkesir ilimiz aylık ortalama güneşlenme süreleri, en düşük Aralık ayında 3.64 saat ve en yüksek Haziran ayında 11.44 saat olmak üzere değişim göstermektedir. Balıkesir ilimiz aylık ortalama güneşlenme süreleri Şekil 2.13' te verilmiştir.

BALIKESİR Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



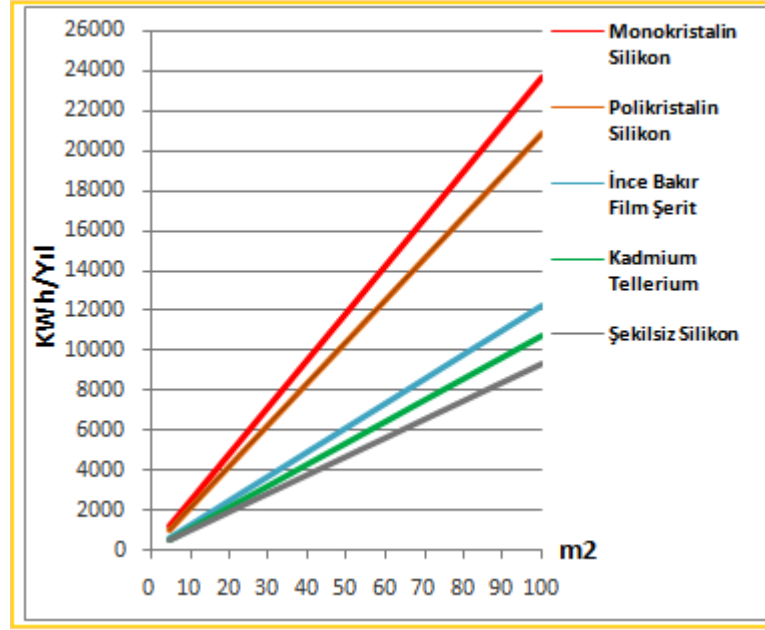
Şekil 2.12 Balıkesir ili global aylık ortalama radyasyon değerleri

BALIKESİR Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 2.13 Balıkesir aylık ortalama güneşlenme süreleri

BALIKESİR PV Tipi-Alan-Üretililecek Enerji (KWh-Yıl)



Şekil 2.14 Balıkesir ilinde farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları

Balıkesir ilinde farklı yapıda hazırlanmış PV paneller için yıllık enerji üretim miktarları Şekil 2.14' de verilmiştir.

Balıkesir ili güneşlenme haritalarından da görüleceği üzere, radyasyon değerlerinin düşüklüğü ve güneşlenme süresinin azlığı nedeni ile diğer illerimize göre daha az güneş enerji potansiyeline sahiptir. Bu da elde edilebilecek enerji miktarını doğrudan etkilemektedir. Örnek olarak en güneyde yer alan illerimizden Antalya ilimiz ile bir karşılaştırma yaparsak, Balıkesir ilinde yeryüzüne gelen yıllık ortalama güneş ışınımı değerleri %20, yıllık ortalama güneşlenme süresi de %27 daha az olduğu görülmektedir. Yıllık olarak incelendiğinde Balıkesir ilimizde Antalya ilimize göre % 41 daha az güneş enerjisi üretililecektir. Bazı illerimizin aylık güneş ışınımı değerleri ve güneşlenme süreleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Güneş pili ve kullanılan sistemlerle ilgili bilgiler bir sonraki bölümde verilmiştir.

Çizelge 2.9 Bazı illerin aylık güneş ışınımı değerleri ve güneşlenme süreleri [17, 18]

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Tüm Yıl	Yaz Ort. (6.7.8.ay)
ADANA	10,9	13,6	18,3	22,9	26,6	27,7	27,9	26	21,4	16,2	11,7	11,1	19,3	27,2
e=36,6°	17,1	22,2	28,7	35,1	39,5	41,2	40,3	36,7	30,9	24,1	18,3	15,7	29,2	
z=20m	5,1	5	5,9	7,1	8,7	9,9	9,9	10,3	8,5	7,2	5,6	4,8	7,2	10
ANKARA	4,6	7,7	11,1	15,1	19,2	21,8	22	20,3	16,3	10,8	6,3	4,9	15,5	21,3
e=39,6°	15,3	20,6	27,4	34,4	39,3	41,3	40,3	36,2	29,9	22,5	16,5	13,9	28,1	
z=894m	2,6	4	5,4	6,4	8,5	10,4	11	10,7	9,3	6,8	4	2,4	6,7	10,7
ANTALYA	10,1	13,1	16,6	22,3	25,8	28,6	28,1	25,9	21,5	15,6	9,5	8,8	19,2	27,5
e=36,5°	17,2	22,3	28,7	35,1	39,5	41,2	40,3	36,8	31	24,1	18,3	15,7	29,2	
z=42m	5,7	6,4	7,2	8,4	9,8	11,9	11,8	11,6	10	7,9	5,3	4,9	8,5	11,7
BALIKESİR	6,6	8,8	13,2	17,2	21,5	25,2	24,6	23,3	18	13,2	7,9	5,8	15,3	24,3
e=39,4°	15,4	20,7	27,4	34,4	39,3	41,3	40,3	36,3	29,9	22,6	16,6	14	28,2	
z=147m	3,5	3,5	4,9	5,9	7,8	9,9	10,1	9,8	8,3	5,7	4	2,1	6,2	9,9
BURSA	6,7	8,6	12,3	16,6	21,1	24,7	24,8	22,8	17,4	11,5	6,4	5,6	14,8	24,1
e=40,1°	15	20,3	27,1	34,2	39,3	41,3	40,2	36,1	29,6	22,2	16,2	13,5	27,9	
z=100m	3,2	3,8	4,8	6,2	8,2	10	10,4	9,6	7,6	5,4	3	3,1	6,2	10
ERZURUM	6,3	8,8	13,1	17,1	21,4	24,7	25,5	23,5	18,4	12,6	7,5	5,9	15,2	24,5
e=39,6°	15,3	20,6	27,4	34,4	39,3	41,3	40,3	36,2	29,9	22,5	16,5	13,9	28,1	
z=1869m	2,8	3,6	4,9	5,9	7,8	9,9	10,8	10,7	8,8	6,6	3,7	2,4	6,4	10,4

Q : yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ortalama tüm güneş ışınımı

Q0 : atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımı

t : aylık ortalama güneşlenme süreleri

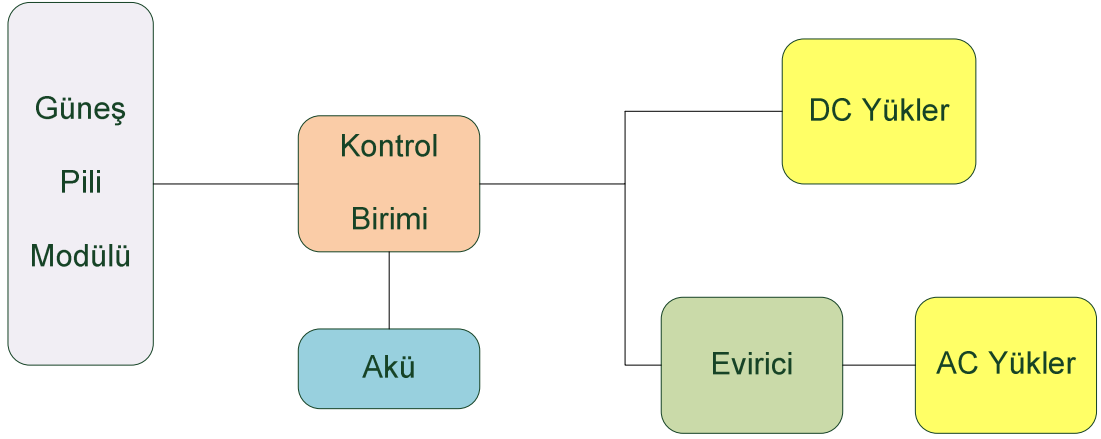
e : enlemleri

z : deniz seviyesinden yükseklikleri

3. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİ

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220V, 50Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur. Şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin blok şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Güneş pili enerji sisteminin blok şeması

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağevleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma



Şekil 3.2 Güneş pili enerji sisteminin küçük ölçekli uygulamaları



Şekil 3.3 Güneş pili enerji sisteminin büyük ölçekli uygulamaları

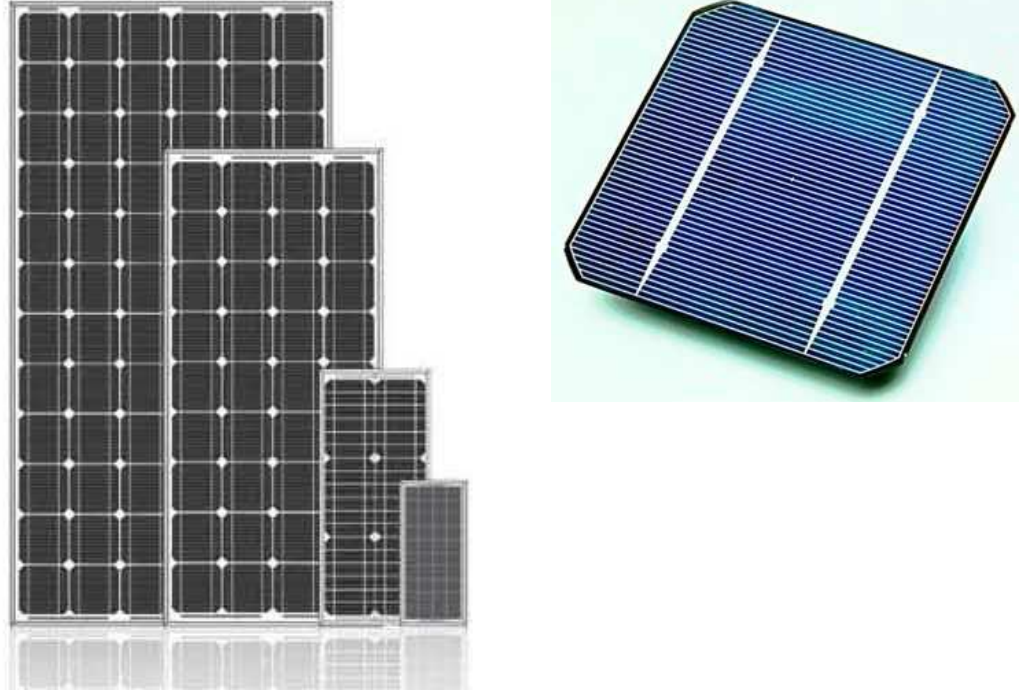
3.1 Güneş Pilleri

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır.

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller

birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur.



Şekil 3.4 Güneş pili ve modülü

3.2 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması

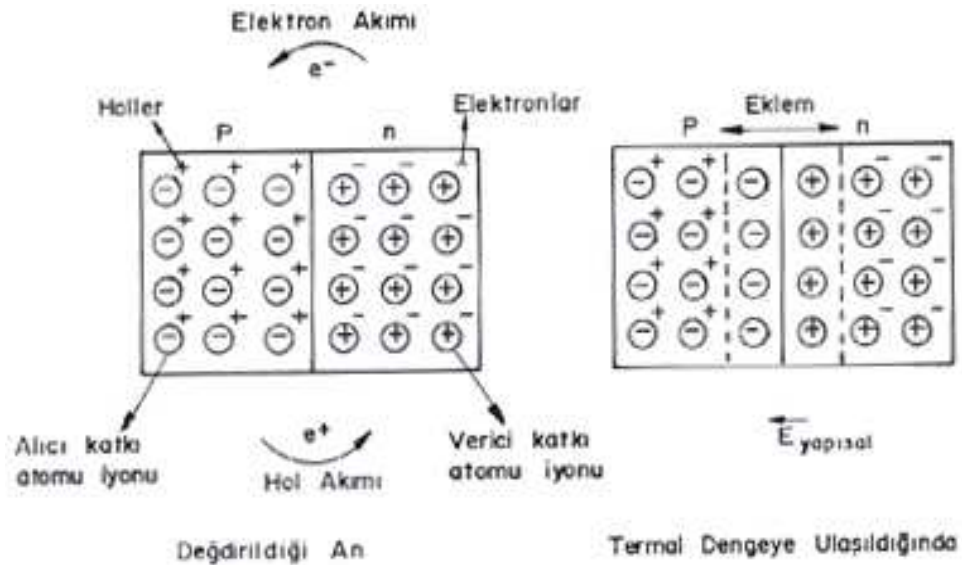
Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir [17].

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir

elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir [17].

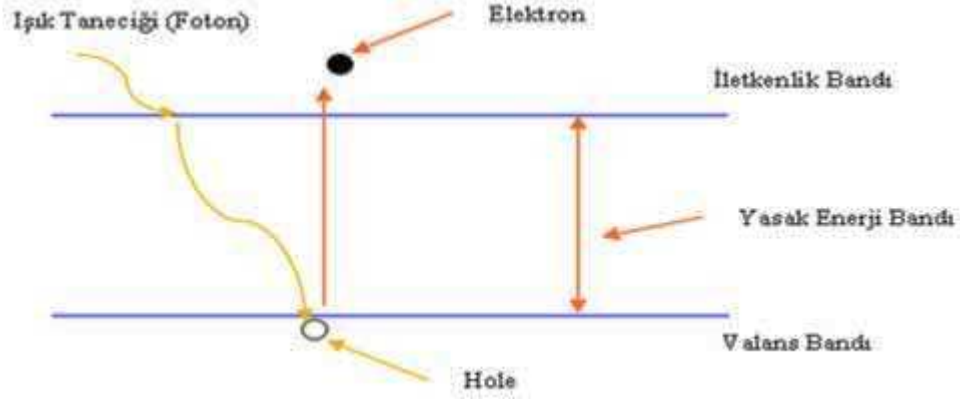
P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir [17].

P ve N tipi katkılandırılmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarıiletken eklemler oluşturulur. N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarıiletkenler biraraya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani P tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. PN eklem oluşması Şekil 3.5'te verilmiştir [17].



Şekil 3.5 PN eklem oluşması

Yarıiletken eklemın güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır [17].



Şekil 3.6 Enerji bandı

Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, pn eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar. Bu durumun oluşumu Şekil 3.6'da gösterilmiştir [17].

3.2.1 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

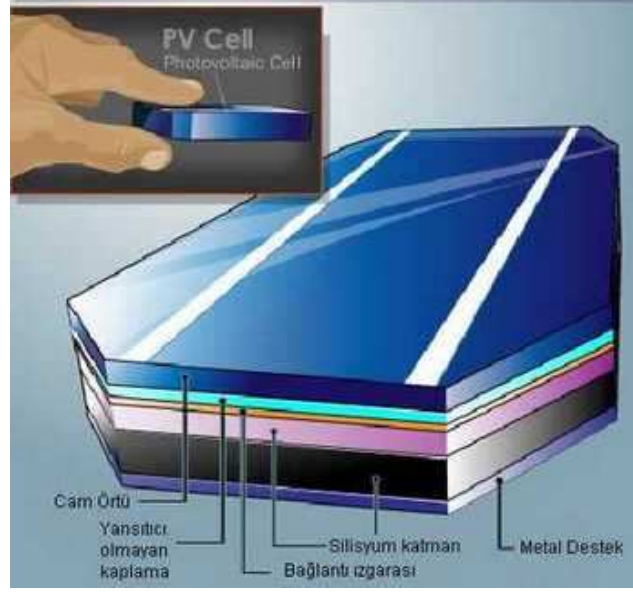
Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilir. Panel verimliliğini arttırmaya yönelik AR-GE çalışmaları sürmekte olup, mevcut ürünlerin tercihleri sistem maliyeti, ömür beklentisi, verim beklentisi, v.b. kriterlerin değerlendirilmesi sonucu yapılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır [19]:

- 1) Birinci Nesil: Kristal silisyum güneş hücreleri (c-Si ve mc-Si)
- 2) İkinci Nesil: İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)
- 3) Üçüncü Nesil: Nano teknolojiye dayalı güneş hücreleri (Tandem, Supertandem, Intermediate Band Solar Cells vs.)

Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler Şekil 3.7'de gösterilmiştir. PV hücresi ise Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Güneş yapımında kullanılan malzemeler



Şekil 3.8 PV hücresi

PV hücresi aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır [19].

1) Kristal silisyum güneş hücreleri

Güneş ışınlarını yutma oranı düşük olmasına karşın verimlerinin %12-16 arasında olması üreticiler için caziptir. Üretici firmaların tercih ettiği seçenektir, pazar payının %93'nü oluştururlar, genel olarak 25 yıllık garanti ömrü sunulmaktadır, Wafer denen ince silikon dilimlerin kalınlıkları 0,17 mm'ye kadar düşülmüştür. Monokristal (c-Si veya SIN) ve Polikristal (mc-Si) olarak ikiye ayrılabilirler.

	<p>Monokristal (c-Si, SIN)</p> <ul style="list-style-type: none">Verimleri %15-18 arasındadır, verimlerinin yüksek oluşundan dolayı uzun vadeli yatırımlar için idealdir.Laboratuvar ortamında %20'lik bir verime ulaşılmıştır.Maliyetini geri ödeme süresi 4-6 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %7 verim kaybı meydana gelir.Saf kristal gereksinimi yüzünden pahalıdır, 4,5 \$/W
	<p>Polikristal (Ayrıca: poly-Si)</p> <ul style="list-style-type: none">Verimleri %12-15 arasındadır, kristal yapıları tam homojen olmadığından ucuzdurlar.Laboratuvar ortamında %16,2'lik bir verime ulaşılmıştır.İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2-4,5 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %14 verim kaybı meydana gelir.Üretim süreci monokristale göre daha ucuz olduğundan fiyatları 3,5 \$/W

2) İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının sadece %7'ni oluşturur. Oldukça ince yapıda ki (1-4 μm arasında) bu paneller %7-14 arasında verimlilik sunmaktadırlar. Fiyatları düşüktür, 1 \$/W .

	<p>Amorphous (a-Si)</p> <ul style="list-style-type: none">Verimleri %8-10 arasındadır, teorik olarak a-Si'nin %27'lik bir verimi vardır.Maliyetini geri ödeme süresi 1,5-3,5 yıl arasındadır,Zaman içerisinde %21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır.Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmektedir fakat üretim süreci ucuz olduğu için firmalar bu hücre tipine de yönelmektedir.
	<p>Cadmiumtelluride (CdTe)</p> <ul style="list-style-type: none">1 cm^2'de %17'lik, 8390 cm^2'de %11'lik bir verime ulaşmıştır.Üretim maliyeti düşüktür.California'da elektroliz yardımı ile hidrojen üretimi için 25 kW'lık iki panel kurulmuştur.Sadece rijit cam ile kullanılabilir.
	<p>CIGS (Copperindiumgallium (di)selenide, Bakır indiyum galyum diselenyum)</p> <ul style="list-style-type: none">Verimleri %11-14 arasındadır.Cam veya esnek yüzey ile kullanılabilir.Artmakta olan bir pazar payına sahiptir.Pahalı üretim süreci ile birlikte geniş alan gereksinimi bulunmaktadır.

3) ARGE aşamasında olan diğer hücre teknolojileri (üçüncü nesil); Araştırmaları devam eden bu teknolojiye henüz sonuca tam olarak ulaşılmış değildir. Sunacakları yüksek verimden dolayı üretime başlanması halinde enerji konusunda büyük bir atılım yapacaklardır. Ön görülen maliyetleri 0,4 \$/W'tır .

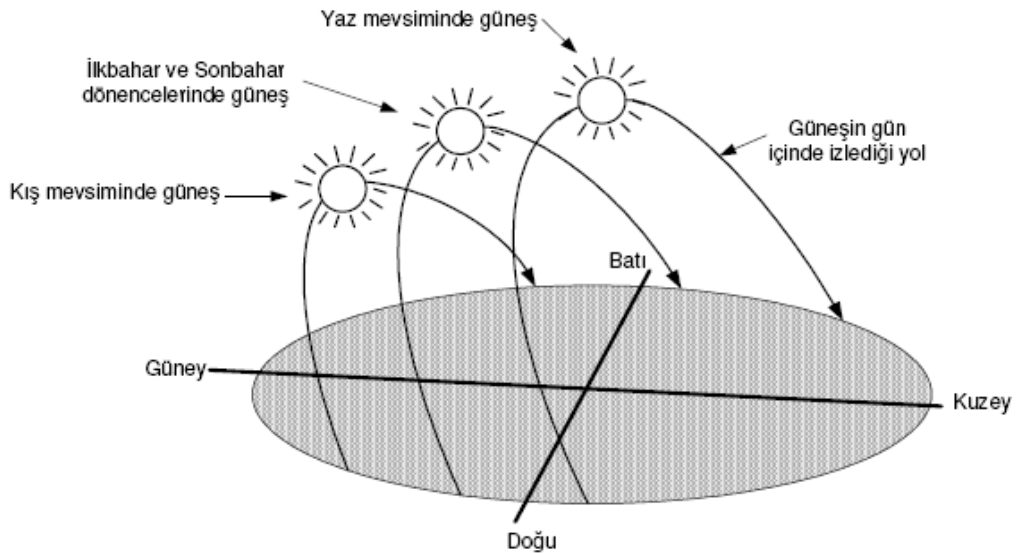
SupertandemCells: Teorik olarak %86,8 verime sahip olan bu hücre tipi için 1 cm²'de ulaşılmış olan değer %35,4'tür.

IntermediateBand Solar Cells: Teoride %63,2'lik verimleri vardır ama ulaşılmış bir değer henüz yoktur.

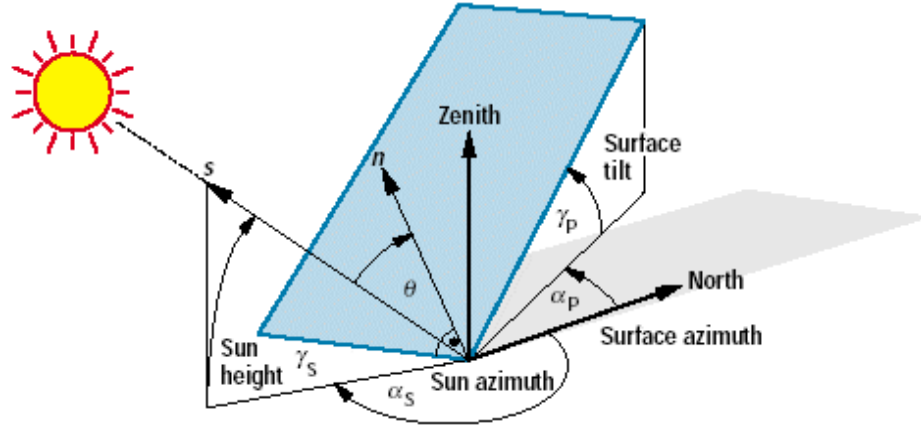
Hot Carrier Cells: Üretimi sorunları çözülememiş olan bu hücrede, üretilebildiği taktirdesupertandem hücresine yakın bir verim elde edilecektir .

3.2.2 Güneş Takip Sistemleri

Güneş panellerinin tek eksen ve çift eksen olmak üzere güneşin hareketini takip etmesi esasına dayalı sistemlerdir. Panelin güneş ışınlarını dik olarak almasını sağlayarak verimin artırılması sağlanır.



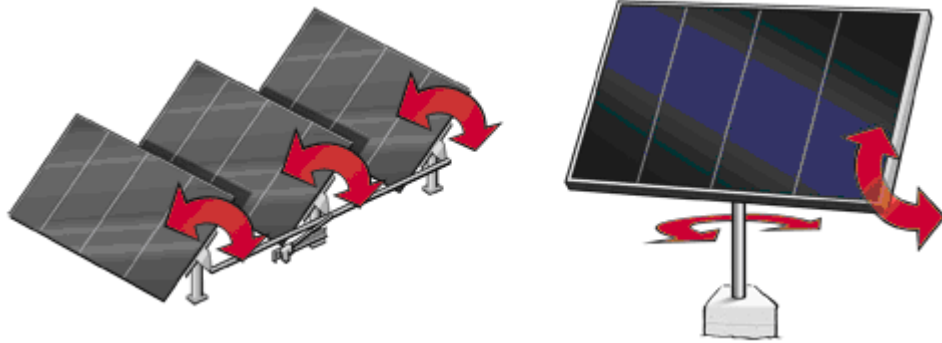
Şekil 3.9 Güneşin mevsimlere göre izlediği yol



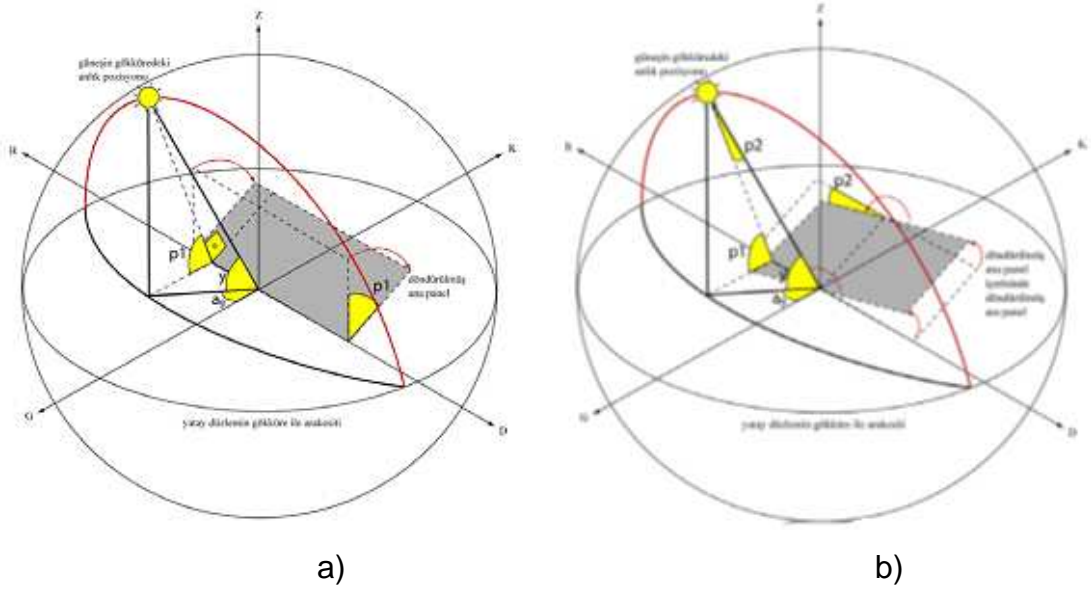
Şekil 3.10 Güneş ışınlarının yüzeye yaptığı açı

Tek eksenli sistemler güneşin sadece düşeydeki hareketini takip etmektedir. Bu sayede sabit sistemlere göre daha yüksek verim elde edilir. Bu değer sabit eksenli sistemin veriminin yaklaşık %20-25 fazlasıdır.

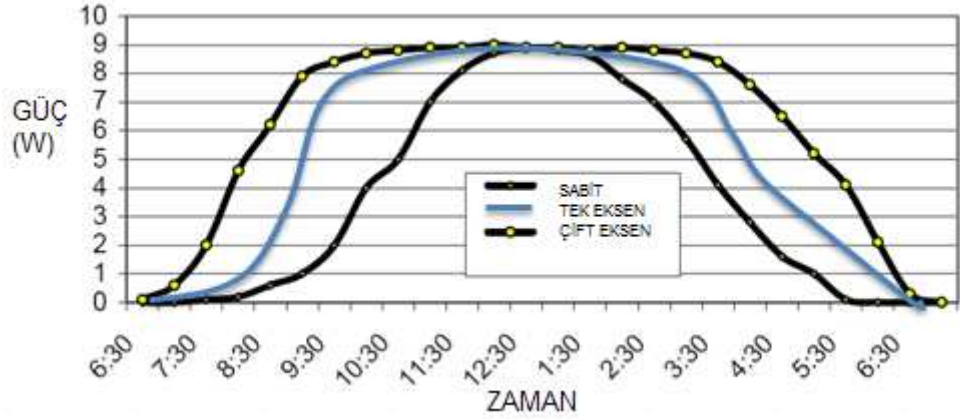
Çift eksenli sistemler yatayda ve düşeyde hareket ederek ise güneşin doğuşundan batışına tüm hareketini takip ederek en yüksek verimi elde eder. Bu değer sabit eksenli sistemin veriminin yaklaşık %35-40 fazlasıdır.



Şekil 3.11 Güneş takip sistemi

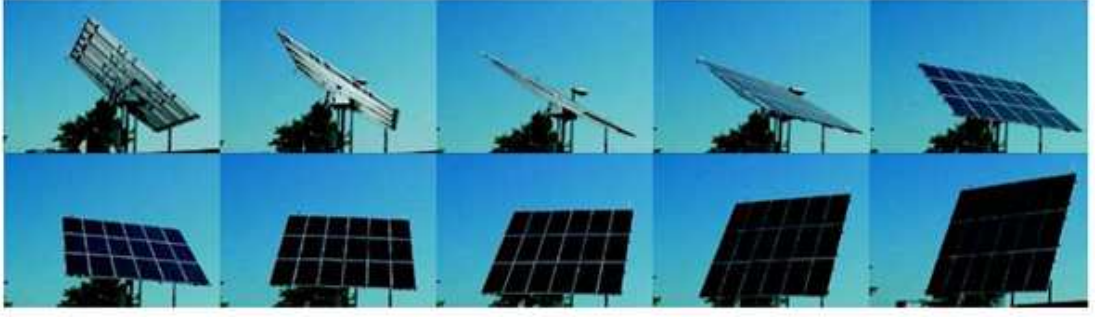


Şekil 3.12 Tek eksenli (a) ve çift eksenli (b) güneş takip sistemi



Şekil 3.13 Tek sabit, tek eksen ve çift eksenli güneş takip sistemi verileri

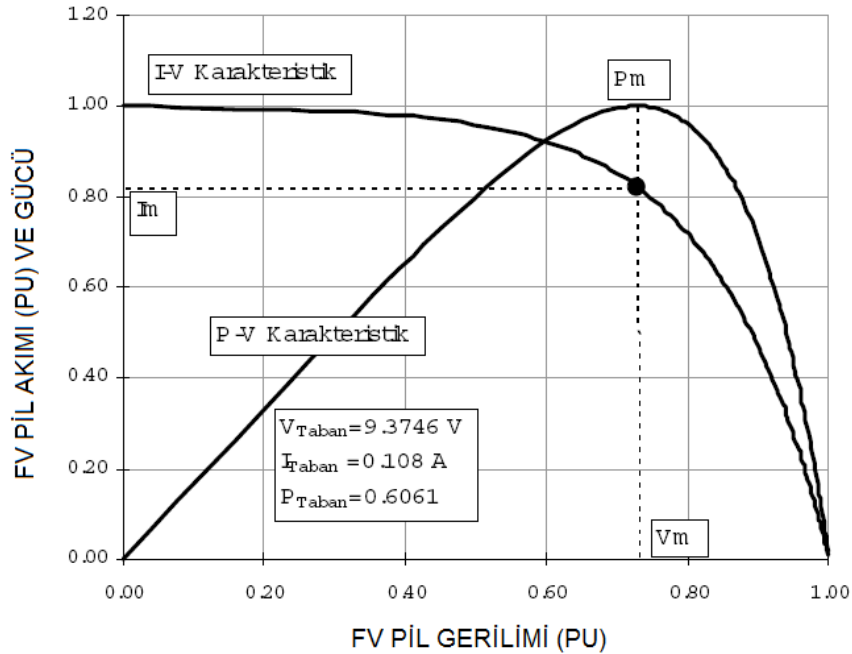
Şekil 3.13 deki grafikten de görüldüğü gibi sistem güneş ışınlarının panele en fazla geleceği şekilde konumlanmış olduğu sabit durum ile, tek eksenli hareket ile güneşi takip ettiği durum arasında büyük bir verim farkı vardır. Öğle saatlerinde aynı gücü üretirken, sabit sistemin veriminin düştüğü noktalarda hareketli sistem hala yüksek güç üretmeye devam etmektedir.



Şekil 3.14 Çift eksenli güneş takip sisteminin farklı konumları

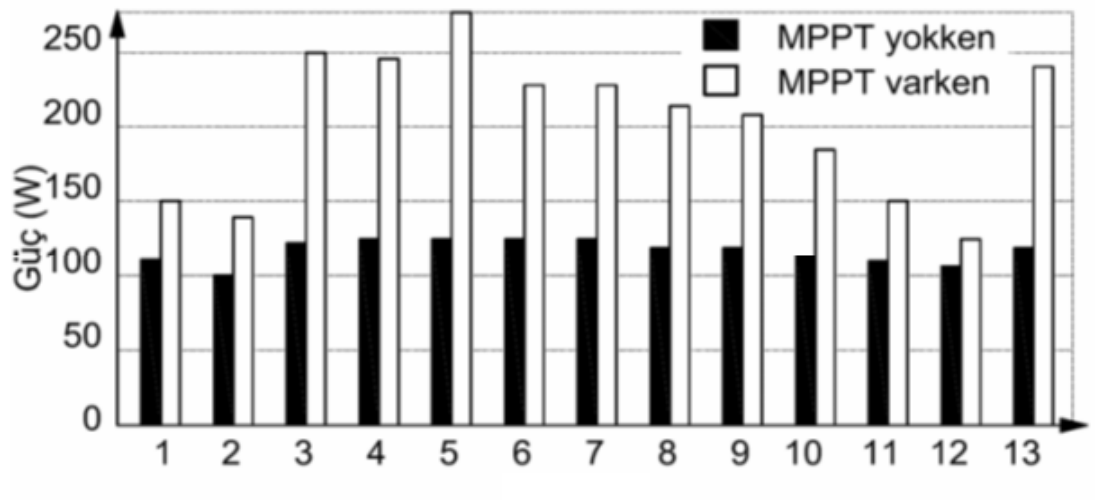
3.2.3 Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)

Maksimum güç noktası takibi, güneş paneli çıkışındaki güç dönüştürücüsünün denetim yapısıdır. Güneş paneli verimleri güneşin verebileceği enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürülebilme oranları ile ifade edilirler. Bu değer pil kalitesine ve yapısına bağlı olarak %16-21 arasındadır. Fakat pillerin karakteristik özelliğinden dolayı akım gerilim oranı dengelenmediğinde bu verim oranı düşmektedir. Dolayısı ile kısıtlı enerjiyi etkili bir şekilde aktarmak günümüz araştırmacılarının ilgi odağı olmuştur. PV sisteme ait maksimum güç eğrisi Şekil 3.15'te gösterilmiştir [20].



Şekil 3.15 Maksimum güç eğrisi

Maksimum güç noktası takibi denetim tekniği güneş panelleri verimlerinde kullanılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem pilin verdiği enerjinin en yüksek olduğu noktayı yakalayan bir denetim yapısıdır. Bu nokta ışımaya, sıcaklık, güneş paneli eğimi, güneş paneli yaşlanması gibi değişkenlerle değişir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için denetim mekanizması denetim tekniğine bağlı olarak güneş paneli değişkenlerini değerlendirip güç dönüştürücüsünün referansını gücün en yüksek olduğu noktaya ulaşmayı sağlayacak şekilde değiştirir. Maksimum güç noktası takibi sayesinde elde edilen enerji kontrolsüz olarak alınan enerjiye oranla %45'ler civarında artırılabilir. MPPT ile ilgili verim değişimi Şekil 3.16'da verilmiştir [20].



Şekil 3.16 MPPT'nin verime etkisi

Güneş paneli çıkış gücü noktası (MPP) sürekli olarak değişecektir. Enerji dönüşüm işleminin verimli ve etkili olabilmesi amacı ile güneş paneli çıkışında denetimli güç dönüştürücüleri kullanılmış ve bu dönüştürücüler değişik teknikler ile denetlenmiştir. Günümüzde birçok Maksimum güç noktası takibi denetim tekniği kullanılmaktadır. Bu denetim teknikleri "dolaylı denetim" ve "doğrudan denetim" olarak iki ana grupta ele alınabilir. Dolaylı denetim tekniğinde güneş paneli çıkış gerçek gücü sürekli olarak hesaplanmaz. Burada referans denetim sinyalinin oluşturulması işlemi güneş paneli hücre özelliğine bağlı olarak belirli aralıklarla yada örnekleme güneş

paneli hücreyi yardımcı ile modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışınım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerlerinin okunması ile yapılır. Doğrudan denetim tekniği ile oluşturulan sistemler sürekli olarak güneş paneli çıkış gücünü okuyarak önceki çıkış gücü ile karşılaştırıp maksimum güç noktası takibi noktasına ulaşmayı sağlayacak dönüştürücü referans sinyali oluşturur [20].

Dolaylı denetim tekniği güneş paneli karakteristiğine dayalı olarak deneysel sonuçlarla oluşturulmuş tabloları, modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışınım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerleri direkt yada matematiksel eşitlikler yardımcı ile kullanarak maksimum güç noktası takibi noktasını tahmin etmeye dayalı bir yöntemdir. Bu yöntemle yaklaşık Maksimum güç noktası bulunur [20].

Doğrudan (online) denetim metodu güneş paneli gerilim ve/veya akım değerlerini kullanır. Çalışma noktalarının değiştirilmesi ile en uygun nokta yakalanmaya çalışılır. Bu yöntemin en önemli avantajı güneş paneli üretici karakteristiği, sıcaklık, ışınım şiddeti gibi değişkenlerden uygun noktanın yakalanması açısından etkilenmemesidir [20].

3.2.4 Aküler

Güneş enerji sistemlerinde aküler güneş panellerinden gelen doğru gerilimin depolanmasında kullanılırlar. Coğrafi şartların ağır olduğu yerlerde kurulan güneş enerjili sistemlerde akülerin bu şartlara dayanıklı olarak seçilmesi gerekmektedir. Sıcaklıklardaki aşırı artış veya düşüşler akünün depolama kapasitesini ve derin deşarj durumları özelliklerini hızla yitirmelerine neden olur. Genellikle uygulamalarda 12 V'luk tam bakımsız aküler kullanılmaktadır. Akülerden beklenen özellikler; uzun ömürlü olmaları, gaz çıkışının olmaması veya minimum seviyede tutulması, derin deşarj özelliği ve bunu yaklaşık olarak 300–1500 defa tekrarlayabilme kabiliyeti, su ekleme ihtiyacının çok geniş zaman aralıkları (minimum 1 yıl) içinde ortaya çıkması olarak özetlenebilir [2].

Akü bankasının büyüklüğü güneşsiz arka arkaya gelen günlerde sistemin kesintiye uğramayacağı şekilde tasarılır. Genelde 3 ile 6 gün arasında verilen otonomi süresi sayesinde muhtemel bir arıza anında, bakım ve servis çalışmaları sürecinde de bir kesinti yaşanmaz. Güneş panelleri ile aküler arasında bulunan kontrol üniteleri sayesinde aküler en uygun akım ve gerilim kombinasyonu ile şarj edilirler [2].

Bundan sonraki bölümde deneyde kullanılan sistemin teknik özellikler ve çalışması anlatılmıştır.

4. KULLANILAN DENEY DÜZENEĞİNİN YAPISI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Proje çalışmasında aynı marka ve model ürünler kullanılarak, aynı özelliklere sahip biri hareketli biri sabit olmak üzere iki eş güneş enerji sistemi kurulmuştur. Sistemin kurulumu için çevrede bulunan ağaç, bina v.b. engeller tarafından önünün kapanmayacağı açıklık bir bölge seçilmiştir. Her iki sistem de yan yana, aynı şartlarda çalıştırılmakta ve eş zamanlı olarak voltaj değerleri kaydedilmektedir. Yapılan uygulama Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Sistemin yapısı Şekil 4.1'de verilmiştir.



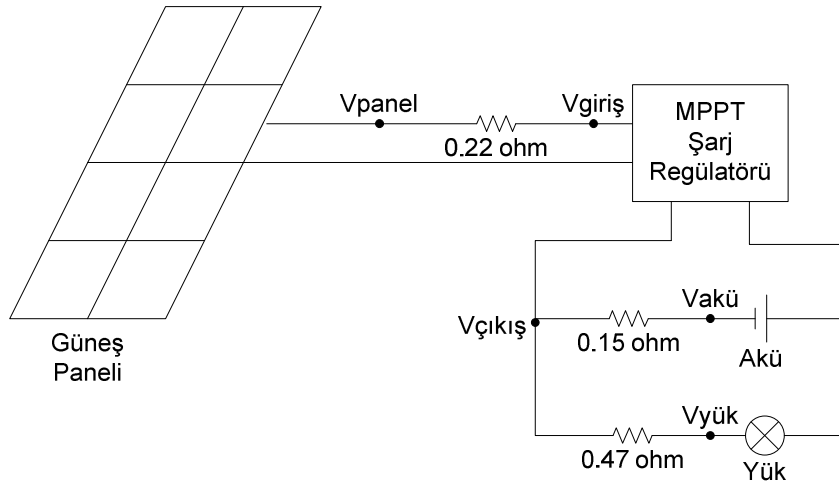
Şekil 4.1 Güneş takip sistemi deney düzeneği



Şekil 4.2 Güneş takip sistemi deney bağlantısı

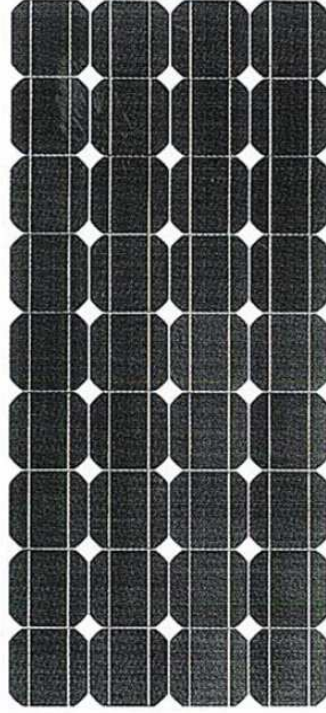
Güneş paneli ile ilgili kullanılan malzemeler ve bağlantıları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Sistem temel olarak; güneş paneli, 2 eksenli güneş takip sistemi/sabit montaj ayağı, MPPT şarj regülatörü, akü, yükler ve dataloggerdan oluşmaktadır. Kullanılan 85W gücünde TS 085M5-18 modeli güneş paneli verileri Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Panel görüntüsü ise Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.3 Güneş takip sistemi bağlantı şeması

4.1 Güneş Paneli



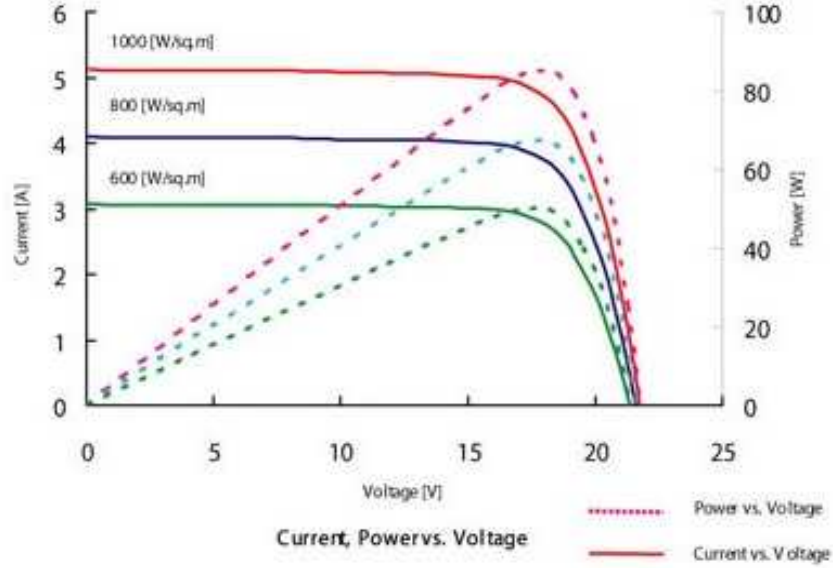
Şekil 4.4 Kullanılan güneş panelinin görüntüsü

Çizelge 4.1 Güneş paneli verileri [21]

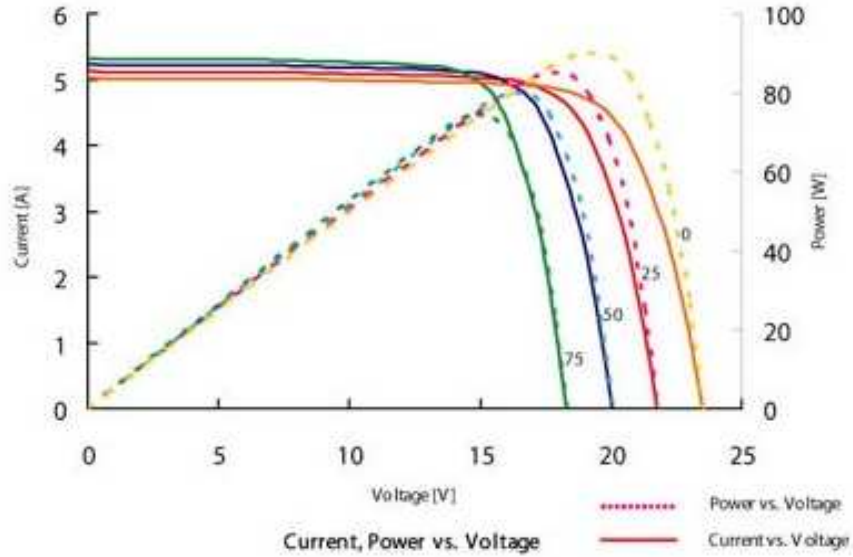
Maksimum Çıkış Gücü (Pmax)	85W
Maksimum Çıkış Gerilimi (Vpm)	17.90V
Maksimum Çıkış Akımı (Ipm)	4.74A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	22.30V
Kısa Devre Akımı (Isc)	5.12A
Güç Toleransı	±5%
Kısa Devre Akımının Sıcaklık Katsayısı	+0.04%/°C
Maksimum Gücün Sıcaklık Katsayısı	-0.38%/°C
Sıcaklık Sınırları	-40°C +80°C
Ağırlık	8 kg.
Ölçüler	1210mm x 554mm x 45mm
Maksimum Yüzey Yük Kapasitesi	2400 Pa
Müsaade Edilebilir Rüzgar Yükü	23m/s, 7.53g

Kullanılan güneş panelinin ürettiği enerjinin panele gelen güneş enerjisi miktarı ile değişimi Şekil 4.5' te belirtilmiştir.

Kullanılan güneş panelinin ürettiği enerjinin sıcaklık ile değişimi Şekil 4.6' da belirtilmiştir. Panelin düşük sıcaklıklarda daha verimli çalıştığı görülmektedir.



Şekil 4.5 Güneş panelinin ürettiği enerjinin güneş enerjisi ile değişimi

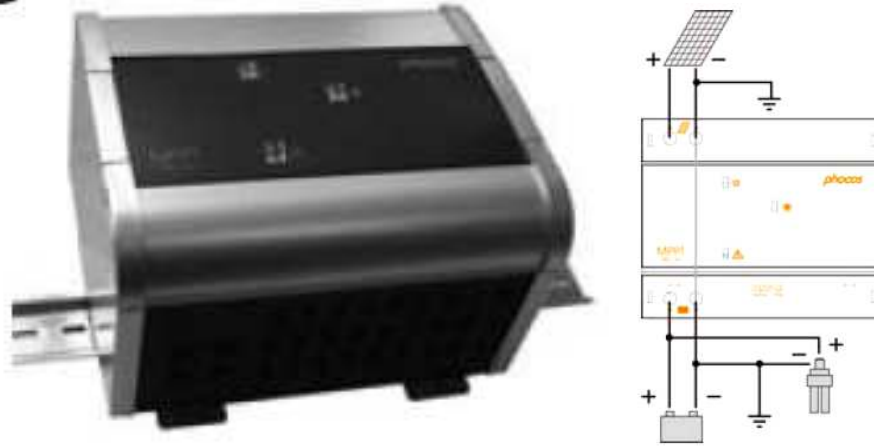


Şekil 4.6 Güneş panelinin ürettiği enerjinin sıcaklık ile değişimi

Grafiklerden de görüldüğü gibi güneş panelinin üreteceği enerji ve panel verimi, kaynağa ve dış faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir.

4.2 MPPT Şarj Regülatörü

300W gücünde MPTT 100/20 modeli maksimum güç noktası takipli şarj regülatörü kullanılmıştır. Regülatör 12 ve 24 volt ile çalışabilmekte, çalışma voltajını otomatik tespit etmekte ve her iki saatte bir maksimum güç çıkışı için en uygun noktayı bulmaktadır. Her zaman ve her türlü hava koşulunda enerji elde edebilmekte, 3 bölgeli Akım-Voltaj eğrili şarj regüle algoritması ile akü ömrünü uzatmaktadır. Sistem aşırı akım, kısa devre, aşırı sıcaklık ve bağlantı hatalarına karşı elektronik korumaya sahiptir. MPPT Şarj Regülatörü Şekil 4.7’de sunulmuştur. Teknik özellikleri ise Çizelge 4.2’de verilmiştir [22].



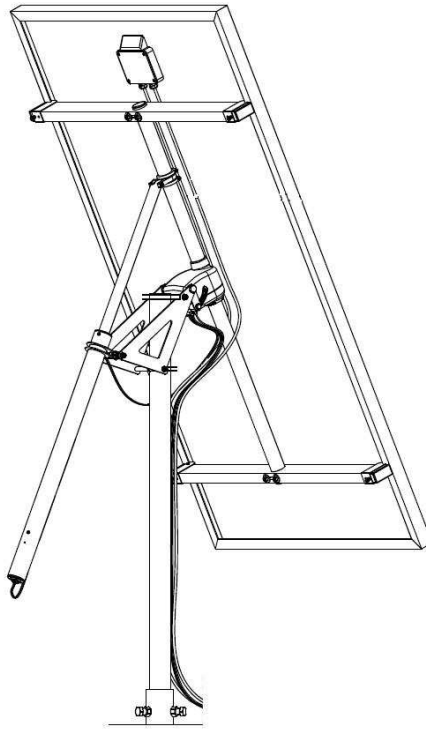
Şekil 4.7 MPPT Şarj Regülatörü

Çizelge 4.2 MPPT şarj regülatörü teknik özellikleri [22]

Teknik Özellikler	
Model	MPPT 100/20
Nominal gerilim	12/24 V, otomatik tanıma
Max. Güneş paneli giriş gerilimi (Voc)	95 V
Max. PV giriş gücü	300 W @ 12 V, 600 W @ 24 V
Max. akü şarj akımı	20 A
Güç dönüşüm verimi	97 kadar%
Bekleme durumunda güç tüketimi	<30 mW, 12 V sistem gerilimi (<2 mA) <80 mW 24 V sistem gerilimi (<3 mA)
Sıcaklık kompanzasyonu	-4 mV / hücre * k
Max. tel kesiti	35 mm 2
Boyutları (G x Y x D)	185 x 150 x 115 mm
Ağırlık	1,6 kg
Sıcaklık aralığı	-40 ile +50 °C
Koruma türü	IP22

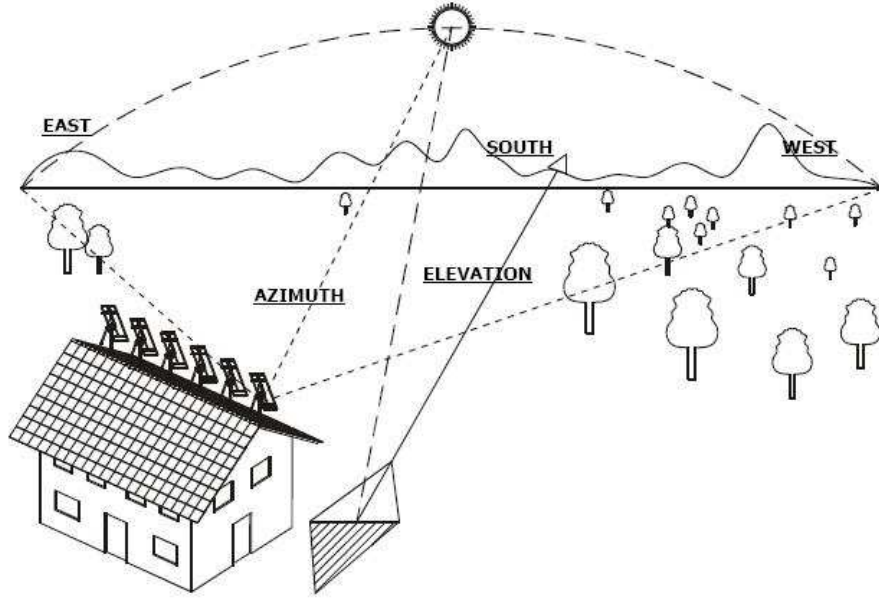
4.3 Güneş Takip Sistemi

2 eksenli astronomik güneş takip sistemi kullanılmıştır. Bu ürün her zaman ve her türlü hava şartında güneşin pozisyonunu hesaplayarak, güneş ışınlarından maksimum şekilde faydalanmak için paneli doğru pozisyona getirmektedir. Güneş takip sistemi RS-232 ara yüzünden erişilerek, bulunulan koordinatlar ve güncel saat bilgisi girilerek programlanır ve otomatik olarak çalışmaya başlar. Güneş takip sisteminin mekanik yapısı Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 Güneş takip sisteminin mekanik yapısı

Güneş takip sistemi yatay hareketi sağlayan ana mil ile bu mile bağlanan ve düşey hareketi sağlayan yükseklik milinden oluşmaktadır. Sistem yatayda 100° , düşeyde 125° hareket edebilmektedir. Sistemin kurulum yönü ve dönüş aralığı Şekil 4.9'de gösterilmiştir [23].



Şekil 4.9 Kullanılan cihazın kurulum yönü

Sistemin ara yüzünden erişilerek çalışma değerleri incelenebilmekte ve ayarları yapılabilmektedir. Cihazın bulunduğu yerin enlemi 39,4 Kuzey olarak girilmiştir. Güneş takip sisteminin astronomik saat ayarları ile ilgili bilgilerin girildiği ara yüz Şekil 4.10'da verilmiştir.

Solar tracking system monitor

SAT CONTROL
Want to get more? *

Web page properly works only in Internet Explorer (or with ActiveX plug-ins) !

Connect Your SunTracer to the COM port, select COM Port, and press "Connect" button !

SunTracer Type: COM Port:

SunTracer Version:

SunTracer OG, SunTracer DUO

Usupply: V

Time: h m s

Day/Month/Year: Synchronisation

Hour Angle: °

H Position: i

H Destination: i

Users's latitude: ° N

Moving interval:

Elevation: °

V Position: i

V Destination: i

SunTracer Mirror

Tracking mode:

H target angle: °

V target angle: °

Şekil 4.10 Güneş takip sistemi ile ilgili ayarların yapıldığı arayüz

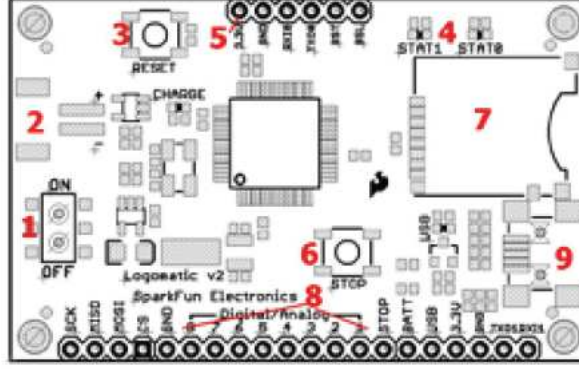
Güneş takip sisteminin mekanik yapısı ile ilgili bilgiler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Güneş takip sisteminin mekanik yapısının özellikleri [23]

Eksen Sayısı	2-eksen
Saat açısı	96° tipik / 100° max., Yazılım ve donanım limit
Yükseklik açısı	125 °, yazılım ve donanım limit
Izleme doğruluğu	<0.5° (<0.1°****)
Çalışma Protokolü	TdAPS (Time derived Astronomical Positioning System)
Pozisyoner türü	TdAPS ark mantık fonksiyonları hesabı ile pozisyoner Servo sürücü
Zamanlayıcı türü	GMT saati (EOT ve takvim)
Haberleşme arayüzü	RS232
Denetim ve ayar için program türü	İnternet sayfası
Motor güç kaynağı	24 VDC (12 ile 69 VDC), (2,5A akım kapasitesi)
Dönüş süresi	1 dakika (0.25°)
Çalışma sıcaklığı	-20°C ile +70°C
Maksimum güvenli rüzgar hızı	<130km/h (180km/h hıza kadar sorunsuz test edildi)
Tahmini ömür	5.000 dönüş 200° (100°E+100°W), 10 yıl
Çalışabilir nem	0% ile 100% bağıl nem
Yedekleme batarya	Zamanlayıcı, konum ve veri yedekleme
Saat açısı motor tipi	Dişli üzerinde pozisyon encoderliservo
Saat açılı mil çapı ve uzunluğu	Ø40 mm, L=1150mm (çelik)
Saat açısı milinin dönüş hızı	0,5°/s ±25% @ 24V yüksüz
Saat açısı milinin maksimum dinamik torku	65Nm
Saat açısı milinin çalışırken maksimum tüketimi	500mA @ 65Nm
Saat açısı çıkış milinin yıkıcı torku	>200Nm
Yükseklik mil dönüş hızı	0.19°/s ortalama ±25% @ 24V @ yüksüz
Yükseklik milinin maksimum torku	127.4Nm
Yükseklik milinin maksimum akımı	500mA @ 127.4Nm
Yükseklik milinin yıkıcı torku	>1000Nm
Bekleme tüketimi (hareketsizken)	50mA ±25% @ 24V
Güç kaynağı bağlantısı	2x1.0mm ² bakır kablo
Kol genişliği	1000 mm
Maksimum güneş panel boyutları	2m x 1m
Maksimum güneş panel ağırlığı	25 kg
Ürün ağırlığı	15kg

4.4 Datalogger

Dataların kaydedilmesi için 8 kanal ile gelen analog veya dijital veriyi microSD kart üzerine kayıt yapabilen çok fonksiyonlu bir datalogger kullanılmıştır. Datalogger devresi Şekil 4.11' de verilmiştir.



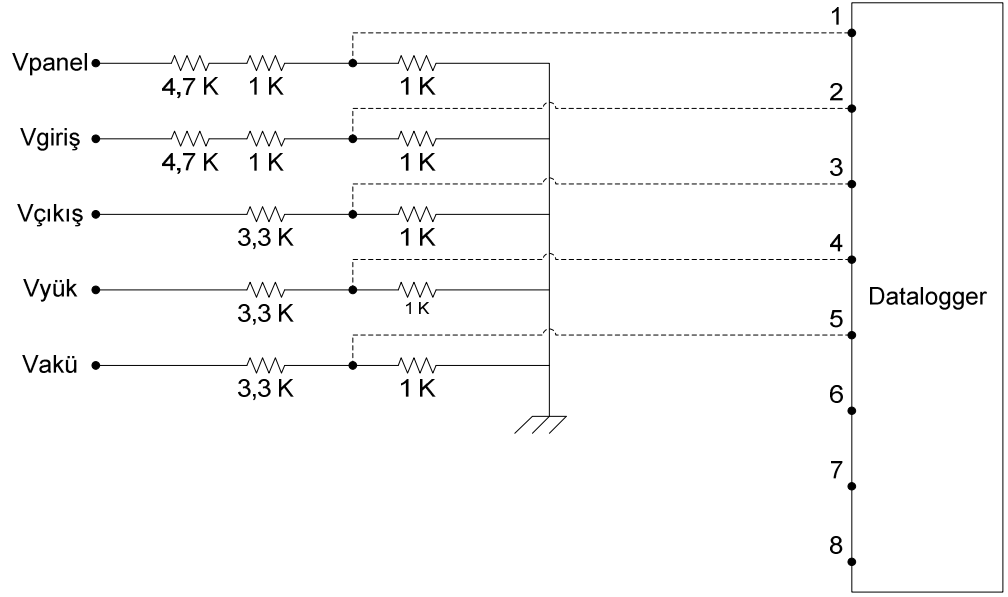
1. Güç anahtarı
2. Enerji girişi
3. Reset butonu
4. Durum ledleri
5. UART0/Programlama portu
6. Durdurma butonu
7. MicroSD kart socketi
8. ADC portları
9. USB Mini-Bjack

Şekil 4.11 Datalogger devresi

LogomaticV2 3.6 ile 7.3V aralığında çalışmakta, 450mW güç tüketmektedir. Cihaz USB üzerinden bağlanarak ayarları yapılabilmekte ve SD kart üzerindeki bilgiler okunabilmektedir. Otomatik UART, tetiklemeli UART ve Analog Dijital Dönüştürücü (ADC) olmak üzere 3 modda çalışabilmektedir [24].

Sistemimizin panel voltajı, MPPT çıkış voltajı, akım okuma dirençleri üzerinde oluşan gerilim ile de, giriş akımı, akü akımı ve yük akımı değerleri okunarak kaydedilmiştir. Veri alma çözünürlüğü her port için 61 veri/dakikadır. Sistemin değişkenliğinin çok yavaş olduğu düşünüldüğünde, çok yüksek çözünürlükte veri elde edilmiştir.

Datalogger öncesi bağlanan gerilim bölücü devre şeması Şekil 4.12' de verilmiştir.



Şekil 4.12 Datalogger gerilim bölücü devresi

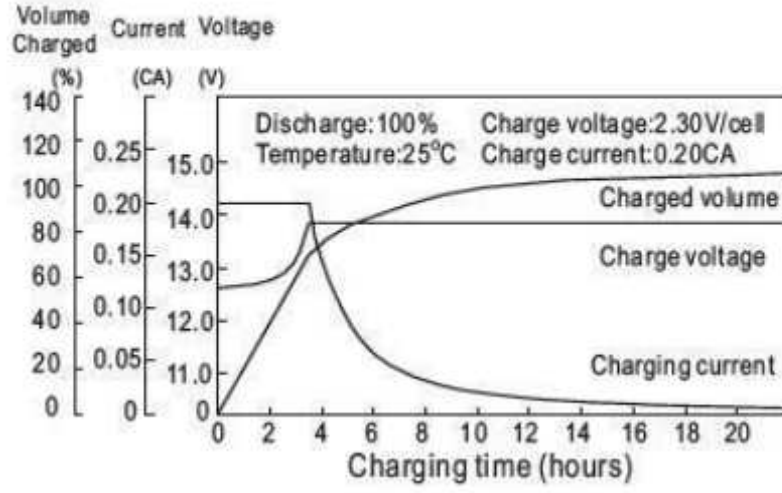
4.5 Aküler

Sistem yükünün sürekli beslenebilmesi ve datalogger cihazının enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için 12V 40Ah akü kullanılmıştır. Kullanılan akü %100 deşarjda 220, %50 deşarjda 440, %30 deşarjda 1200 çevrim ömürlüdür. Şarj deşarj ve çevrim ömrü karakteristikleri Çizelge 4.4'te belirtilmiştir. Akünün şarj karakteristikleri 4.13'de verilmiştir [25].

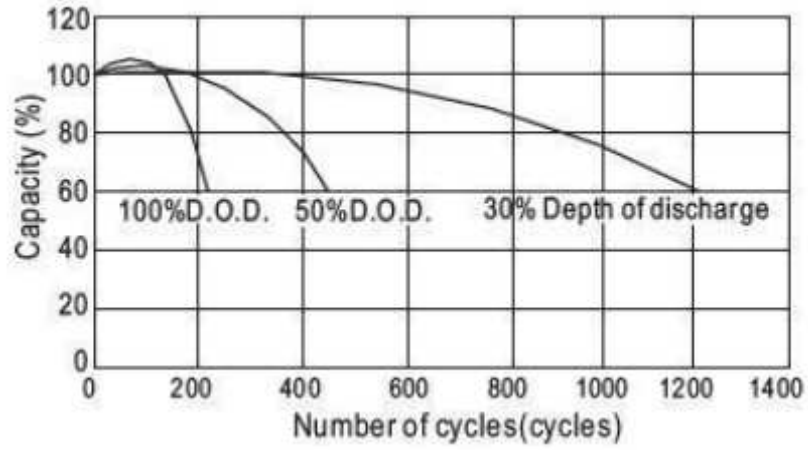
Çizelge 4.4 Kullanılan akü bilgileri[25]

12V 40Ah Legend Akü	
Normal Gerilim	12 V
Kapasite	40 Ah
İç Direnç	9,5
Uzunluk	197 mm
Genişlik	165 mm
Yükseklik	170 mm
Terminal	T4/T9 D
Ağırlık	13,8 kg

Charging Characteristics(25°C)



Cycle Life(25°C)



Şekil 4.13 Akü karakteristik eğrileri

5. DENEYSEL VERİLER VE ANALİZİ

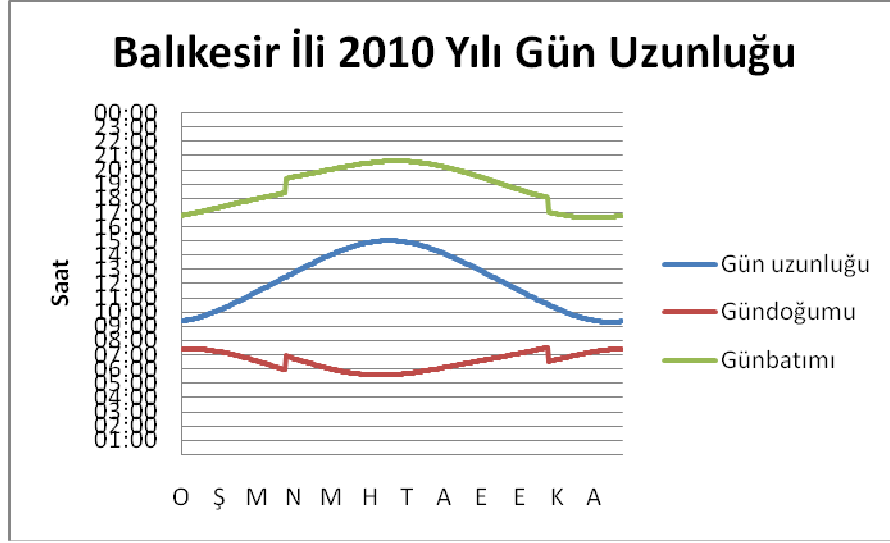
Balıkesir İlimizde kurulan sistemin, 2010 yılı Kasım ayından 2011 Mayıs ayı sonuna kadar farklı yük değerleri için verileri toplanmıştır. Bu dönemde, güneşlenme süresinde, güneş doğuş, yükseliş ve batış açılarında değişim gözlenmiştir. Kış aylarında gökyüzünün genel olarak kapalı, bahar aylarında ise zaman zaman kapalı zaman zaman zaman açık olduğu görülmektedir. Bu nedenle havanın açık olduğu dönemlerde daha düz ve kararlı, değişim gösterdiği parçalı bulutlu dönemlerde ise daha zigzaglı bir grafik ortaya çıkmaktadır.

Güneş takip sisteminin, güneşin doğuşundan batışına sürekli güneşi takibi nedeniyle daha yüksek verim sağladığı, sabit panelin güç üretmediği anlarda bile hala enerji üretmeye devam ettiği görülmüştür.

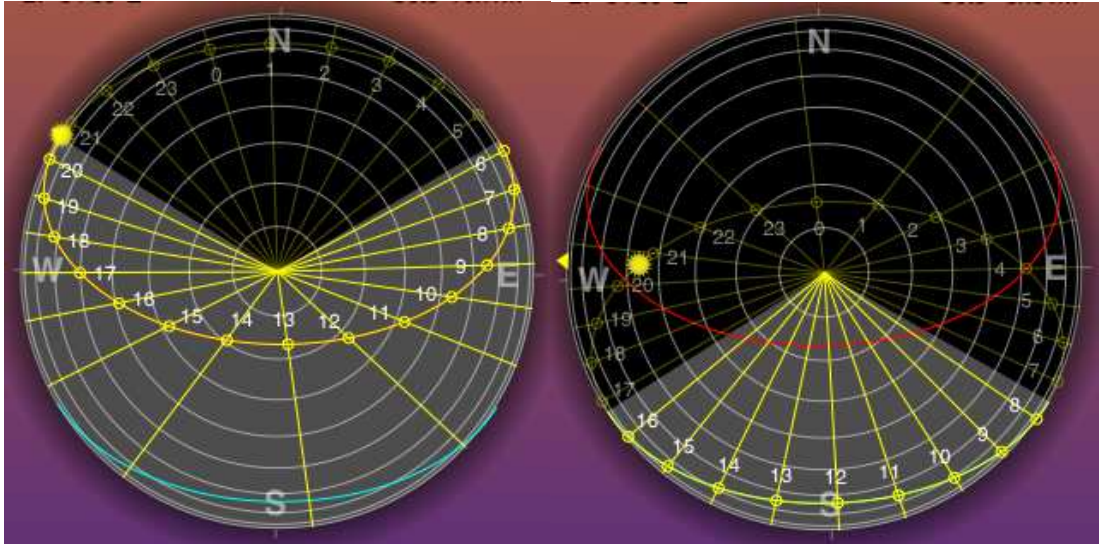
Balıkesir ili için, en uzun gündüz olan 21 Haziran tarihinde güneşlenme süresi 15 saat 2 dakika, güneşin doğuşu ve batışı arasındaki açı 244° , güneş yükseklik açısı ise $73,77^{\circ}$ dir. En uzun gece olan 21 Aralık tarihinde güneşlenme süresi 9 saat 18 dakika, güneşin doğuşu ve batışı arasındaki açı 118° , güneş yükseklik açısı ise $26,89^{\circ}$ dir. Balıkesir ilinin en uzun gündüz ve gece için güneş açılarına ilişkin bilgiler Çizelge 5.1’de, grafikler ise Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Balıkesir İlinin en uzun gündüz ve gece için güneş açıları [26,27]

Durum	Tarih	Gün Doğumu	Gün Batımı	Gün Doğumu	Gün Batımı	Güneşlenme Süresi	Güneş En Yüksek Açısı
En Uzun Gün	21 Haziran 2010	05:34	20:37	58°	302°	15 saat 02 dakika	73,77
En Uzun Gece	21 Aralık 2010	07:23	16:41	121°	239°	9 saat 18 dakika	26,89



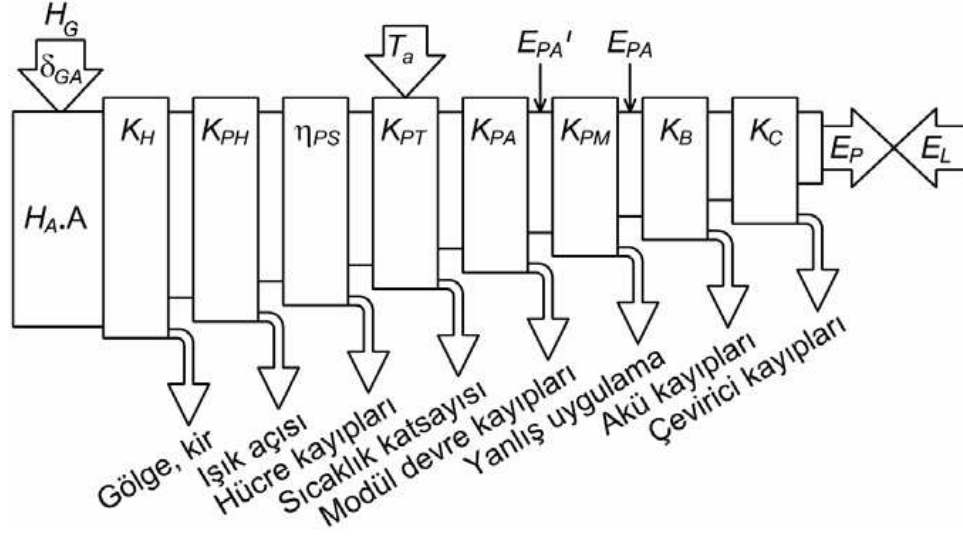
Şekil 5.1 Balıkesir ili 2010 yılı gün uzunluğu



Şekil 5.2 Balıkesir ilinde 21.Haziran ve 21.Aralık tarihlerinde güneşin durumu

Sistemin düzenli kontrol ve bakımları yapılarak her iki sistem için verimin en yüksek değerde tutulması amaçlanmıştır. Panellerin kirlenmesi, verimin düşmesine neden olan en temel faktörlerden biridir, bu nedenle panellerin temiz olmasına özen gösterilmiştir.

Güneş enerji sistemlerinin kayıplarını gösteren şema Şekil 5.3 de verilmiştir.



Şekil 5.3 Güneş enerji sistemleri kayıpları

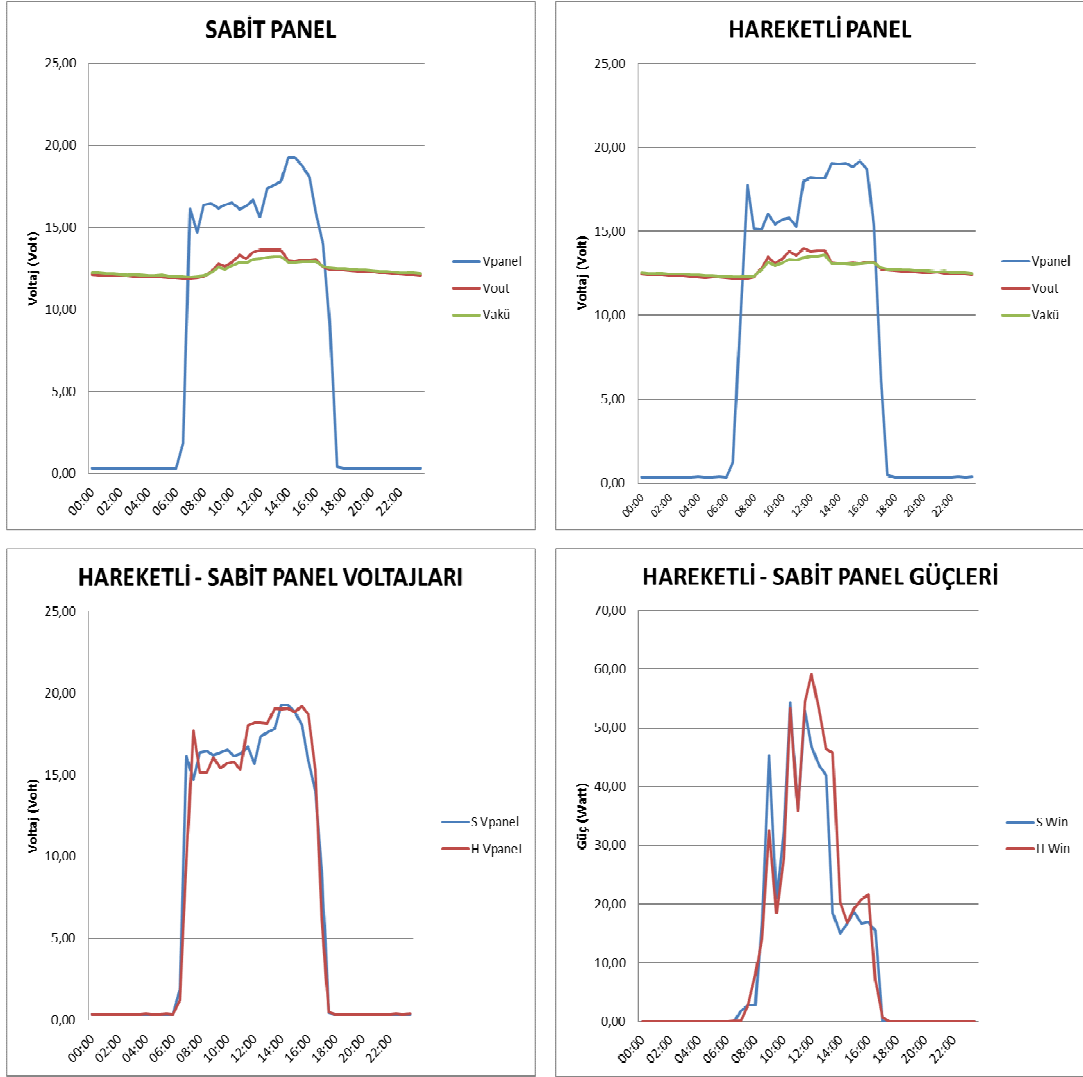
Sistemde 40 Ah akü kullanılmış olup, sürekli havanın kapalı olduğu dönemlerde 10 W yükü 48 saat, 20 W yükü 24 saat besleyebilecek kapasitededir. Havanın çok daha uzun süre kapalı olduğu dönemlerde aküler bitmektedir.

Sonbahar döneminde 11 Kasım 2010 tarihinde sabit panel ve güneşi takip eden deneysel sonuçlardan elde edilen grafikler Şekil 5.4' de gösterilmiştir.

Kış döneminde 8 Şubat 2011 tarihinde sabit panel ve güneşi takip eden deneysel sonuçlardan elde edilen grafikler Şekil 5. 5'de gösterilmiştir.

İlkbahar döneminde 13-20-27 Mayıs 2011 tarihlerinde farklı yük değerleri için sabit panel ve güneşi takip eden deneysel sonuçlardan elde edilen grafikler Şekil 5. 6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 de gösterilmiştir.

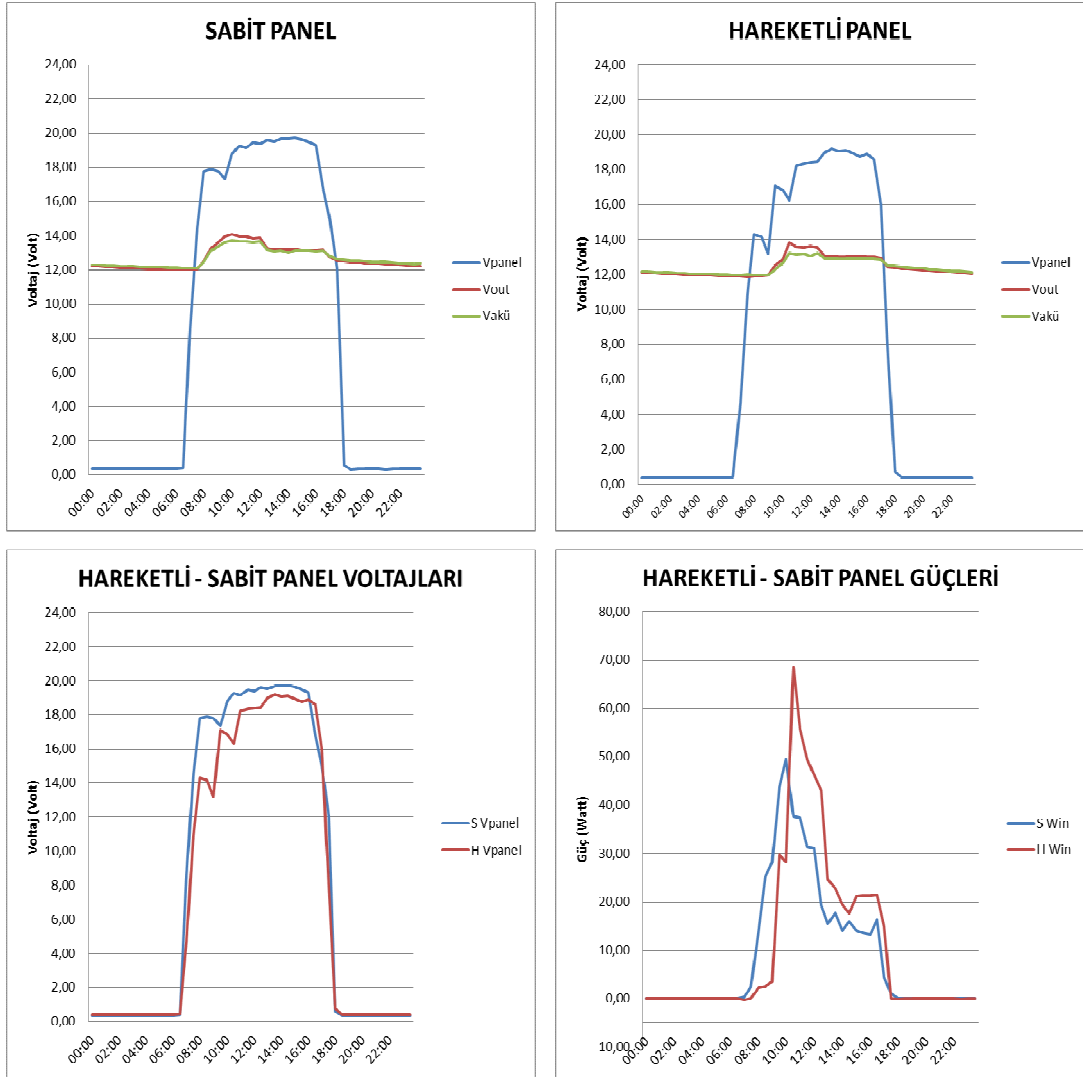
Deney sonuçlarının verildiği şekillerde deney gününe ait hava durumu da belirtilmiştir.



Şekil 5.4 11 Kasım 2010 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar

Çizelge 5.2 11 Kasım 2010 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi [26,27]

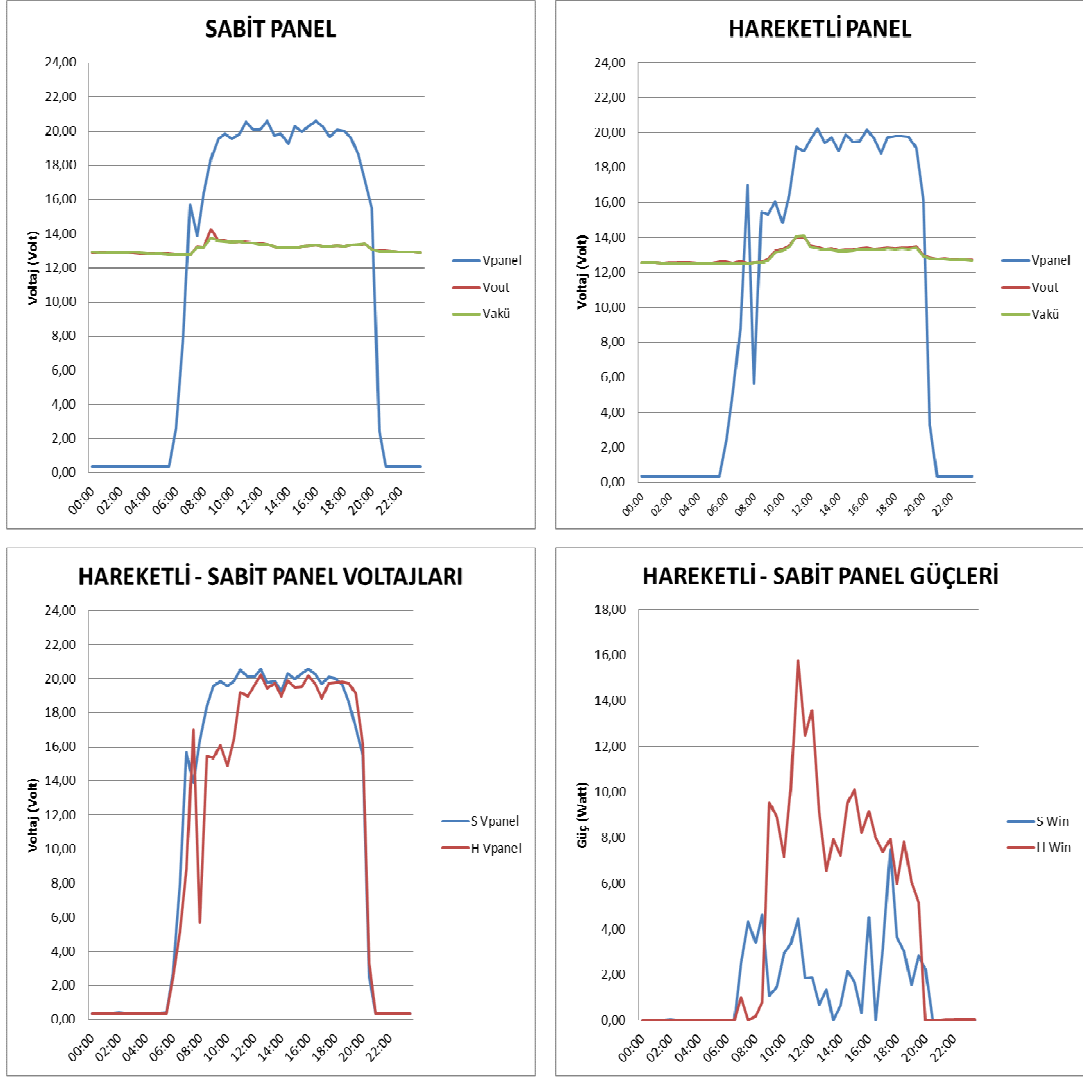
Tarih	Gün Doğumu	Gün Batımı	Gün Doğumu	Gün Batımı	Güneşlenme Süresi	Güneş En Yüksek Açısı
11 Kasım 2010	06:44	16:51	↗ 112°	↖ 248°	10 saat 06 dakika	32,87°



Şekil 5.5 8 Şubat 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar

Çizelge 5.3 8 Şubat 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi [26,27]

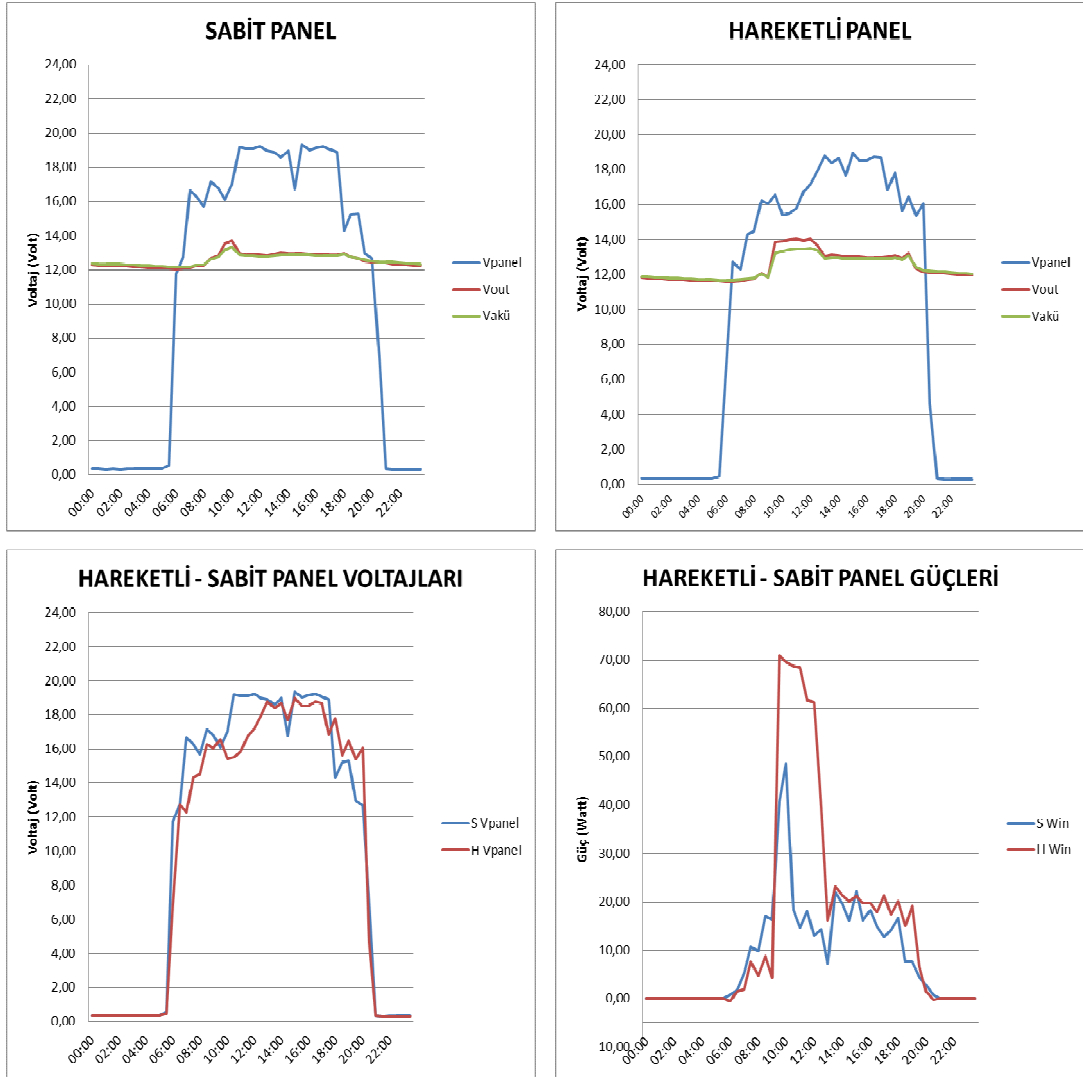
Tarih	Gün Doğumu	Gün Batımı	Gün Doğumu	Gün Batımı	Güneşlenme Süresi	Güneş En Yüksek Açısı
8 Şubat 2011	07:06	17:31	↖ 119°	↙ 251°	10 saat 24 dakika	35,32°



Şekil 5.6 13 Mayıs 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar (yüksüz)

Çizelge 5.4 13 Mayıs 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi [26,27]

Tarih	Gün Doğumu	Gün Batımı	Gün Doğumu	Gün Batımı	Güneşlenme Süresi	Güneş En Yüksek Açısı
13 Mayıs 2011	05:50	20:11	↗ 65°	↖ 295°	14 saat 20 dakika	68,69°



Şekil 5.7 20 Mayıs 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar (yük 10W)

Çizelge 5.5 20 Mayıs 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi [26,27]

Tarih	Gün Doğumu	Gün Batımı	Gün Doğumu	Gün Batımı	Güneşlenme Süresi	Güneş En Yüksek Açısı
20 Mayıs 2011	05:44	20:17	↗ 63°	↘ 297°	14 saat 33 dakika	70,29°

06:00
İzmirliye,
Salı
24.05.2011



En Yüksek: 27°C
En Düşük: 10°C



Şekil 5.8 24 Mayıs 2011 tarihinde elde edilen deneysel sonuçlar (yük 20W)

Çizelge 5.6 24 Mayıs 2011 tarihinde güneş açıları ve güneşlenme süresi [26,27]

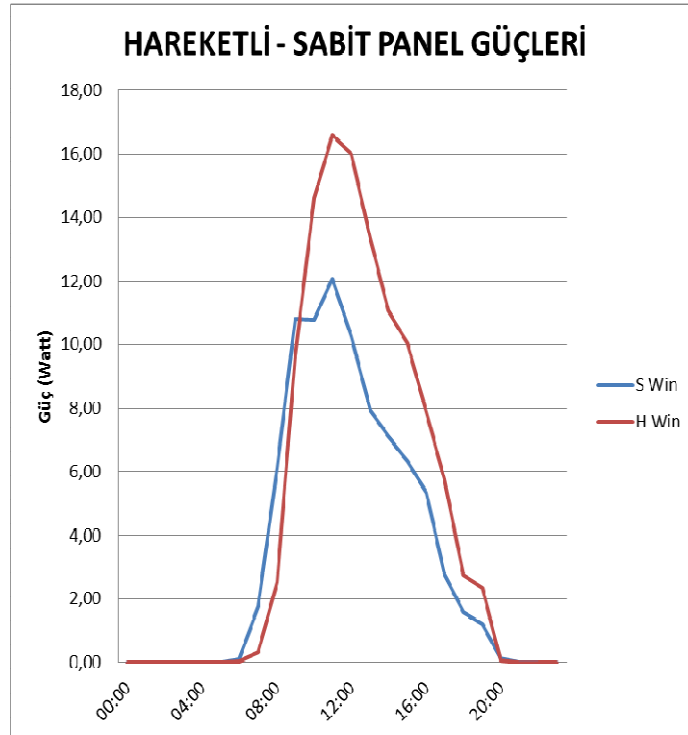
Tarih	Gün Doğumu	Gün Batımı	Gün Doğumu	Gün Batımı	Güneşlenme Süresi	Güneş En Yüksek Açısı
24 Mayıs 2011	05:41	20:21	62°	299°	14 saat 41 dakika	71,08°

Farklı dönemlerdeki veriler incelendiğinde, kış aylarında güneş açılarındaki değişimin azlığı nedeni ile iki sistem verimlerinin birbirine yakın olduğu, bahar ve yaz aylarında ise açı farkı ile birlikte sistem verimleri arasındaki farkında arttığı görülmektedir.

Güneş panellerinin veri alınan aralıkta elde etmiş oldukları güç değerlerinin saatlik ortalaması alındığında Şekil 5.9 daki grafik ortaya çıkmaktadır. 2010 yılı Kasım ayı ile 2011 yılı Mayıs ayı sonuna kadar çeşitli dönemlerde alınan değerler incelendiğinde, sabit sistemde 20.030 Wh, çift eksenli güneş takip sisteminde 27.976 Wh elektrik enerjisi üretildiği görülmüştür.

$$(27.976 - 20.030) / 20.030 = \%39$$

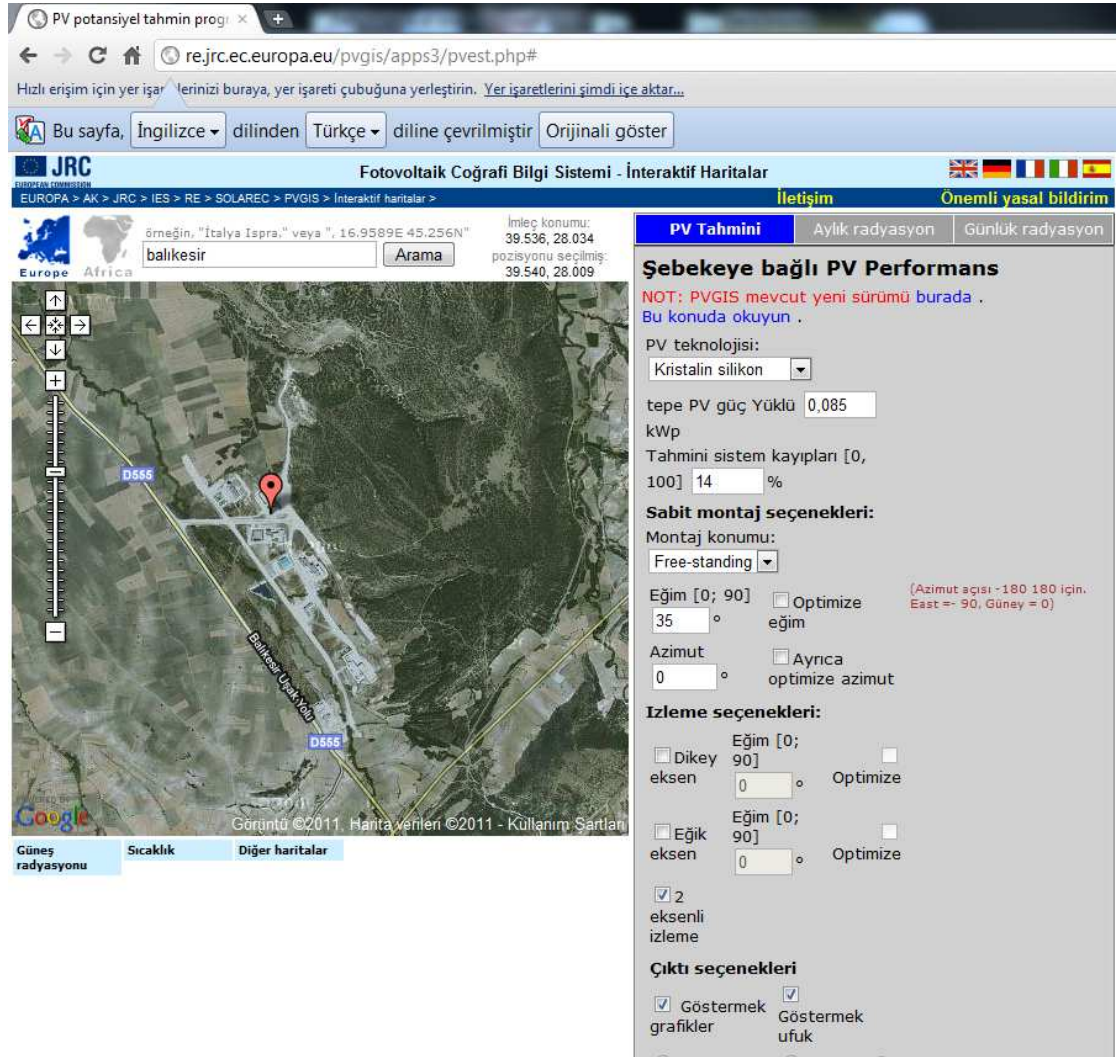
Üretilen toplam enerji değerleri ile verim farkı hesaplandığında, çift eksenli güneş takip sisteminde sabit eksenli PV sisteme göre %39 daha yüksek verim sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.9 Veri alınan dönem güç değerlerinin saatlik ortalamaları

Karşılaştırma amacıyla güneş enerji sistemimizin bulunduğu koordinatlar için, Avrupa Komisyonunun sitesinde yer alan Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi - İnteraktif Haritalar bölümünden sabit ve çift eksenli güneş takip sistemi için analiz yapılmıştır.

Güneş Enerjisi Elektrik Üretimi PVGIS Tahminleri



The screenshot displays the PVGIS web application interface. The browser address bar shows the URL: re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#. The page title is "Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi - İnteraktif Haritalar". The interface includes a search bar with the text "örneğin, 'İtalya İspira,' veya ", 16.9589E 45.256N" and "balikesir". The map shows a satellite view of a location in Italy, with a red pin indicating the selected site. The right-hand panel contains configuration options for PV system analysis, including "PV Tahmini", "Aylık radyasyon", and "Günlük radyasyon". The "Şebekeye bağlı PV Performans" section shows a warning: "NOT: PVGIS mevcut yeni sürümü burada . Bu konuda okuyun .". The "PV teknolojisi" is set to "Kristalin silikon". The "tepe PV güç Yüklü" is 0,085 kWp. The "Tahmini sistem kayıpları" is 14%. The "Sabit montaj seçenekleri" section shows "Montaj konumu" as "Free-standing", "Eğim" as 35°, and "Azimut" as 0°. The "İzleme seçenekleri" section shows "Eğim [0; 90]" as 0° and "Azimut" as 0°. The "Çıktı seçenekleri" section shows "Göstermek grafikler" and "Göstermek ufuk" as checked.

Şekil 5.10 PVGIS analiz sayfası [28]

Analiz başlangıç değerleri;

PV sistem Nominal güç: 0.1 kW (kristal silikon)

Tahmini kayıpları sıcaklıktan dolayı:%9.7 (yerel ortam sıcaklığı kullanarak)

Tahmin edilen kayıp açısal yansımaya etkisi nedeniyle:%2.6

Diğer kayıplar (kablolar, invertör vb):%14.0

Kombine PV sistem kayıpları:%24.4

E_d : Verilen sistemin günlük ortalama elektrik enerjisi üretimi (kWh)

E_m : Verilen sistemin aylık ortalama elektrik enerjisi üretimi (kWh)

H_d : Verilen sistem modülleri tarafından alınan metre kare başına ortalama günlük toplam radyasyon (kWh / m²)

H_m : Verilen sistem modülleri tarafından alınan metre kare başına ortalama aylık toplam radyasyon (kWh / m²)

Sistemimizin değerleri girildiğinde sabit ve çift eksenli güneş enerji sistemleri için elde edilen sonuç tablosu Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8 de verilmiştir.

Çizelge 5.7 PVGIS sabit panel enerji üretim tahmini [28]

Sabit sistem: eğim = 35 ° oryantasyon = 0 °				
Ay	E_d	E_m	H_d	H_m
Ocak	0.18	5.53	2.57	79.8
Şubat	0.22	6.11	3.20	89.6
Mart	0.29	8.90	4.30	133
Nisan	0.33	9.85	5.05	152
Mayıs	0.35	10.8	5.54	172
Haziran	0.36	10.9	5.90	177
Temmuz	0.36	11.2	5.94	184
Ağustos	0.35	11.0	5.80	180
Eylül	0.34	10.2	5.40	162
Ekim	0.28	8.67	4.32	134
Kasım	0.20	6.01	2.98	89.5
Aralık	0.15	4.80	2.25	69.7
Yıllık ortalama	0.285	8.66	4.44	135
Yıllık Toplam		104		1.620

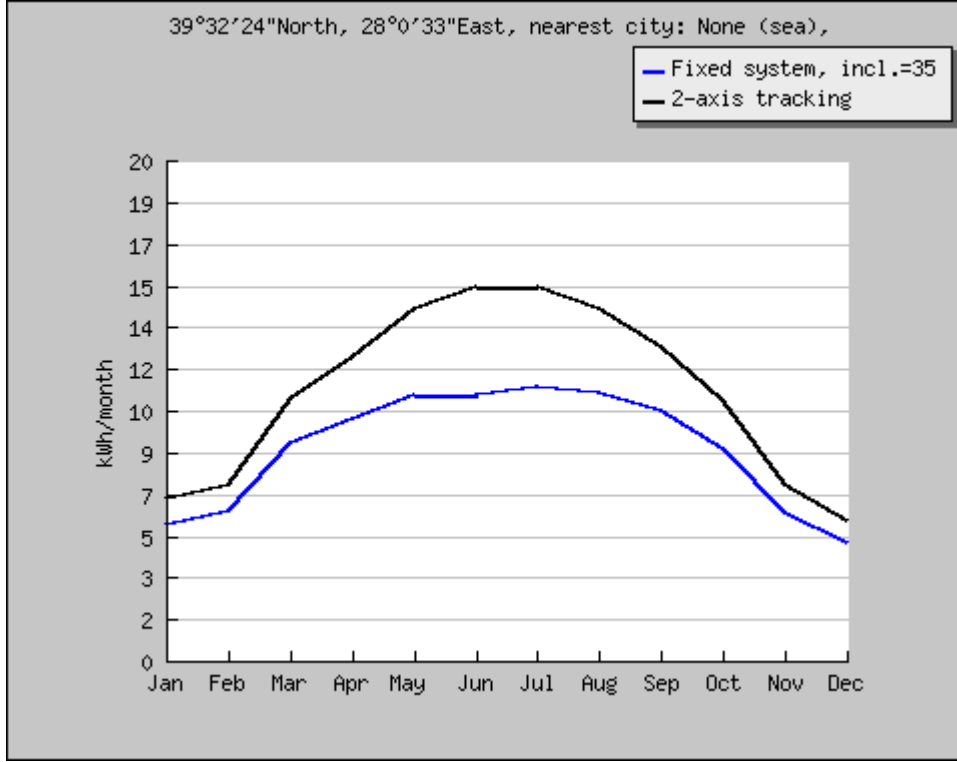
Çizelge 5.8 PVGIS çift eksenli güneş takip paneli enerji üretim tahmini [28]

Çift eksenli güneş takip sistemi				
Ay	<i>E d</i>	<i>E m</i>	<i>H d</i>	<i>H m</i>
Ocak	0.21	6.62	3.09	95.9
Şubat	0.26	7.21	3.79	106
Mart	0.34	10.7	5.13	159
Nisan	0.41	12.4	6.32	189
Mayıs	0.46	14.4	7.30	226
Haziran	0.51	15.2	8.18	246
Temmuz	0.49	15.2	7.99	248
Ağustos	0.46	14.4	7.54	234
Eylül	0.43	12.8	6.75	202
Ekim	0.34	10.6	5.28	164
Kasım	0.24	7.22	3.59	108
Aralık	0.18	5.69	2.67	82.9
Yıllık ortalama	0.363	11.0	5.64	172
Yıllık Toplam		132		2.060

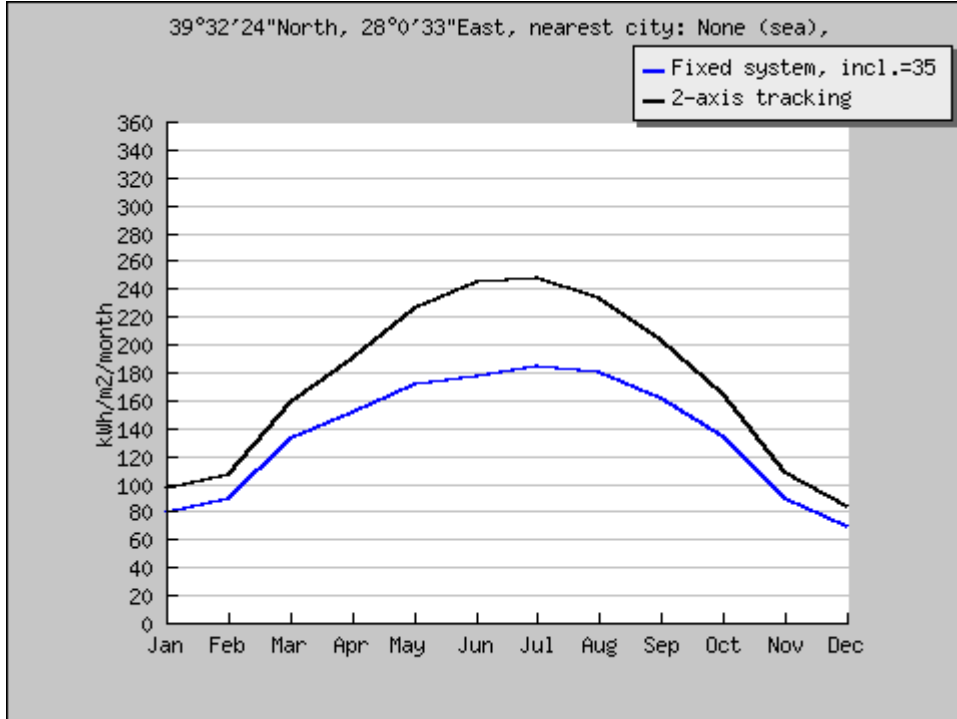
Tahmin sonuçları incelendiğinde sabit güneş panelinin yıllık 104 kWh, çift eksenli güneş takip sistemli panelin yıllık 132 kWh enerji üreteceği hesaplanmıştır. Burada çift eksenli güneş takip sistemli panelin sabit eksenli panele göre %27 daha verimli çalışacağı görülmektedir. Uygulamasını yaptığımız sistemde maksimum güç noktası takibi yaptığımızdan, verim PVGIS de hesaplanandan daha yüksek çıkmaktadır.

$$(132 - 104) / 104 = \%27$$

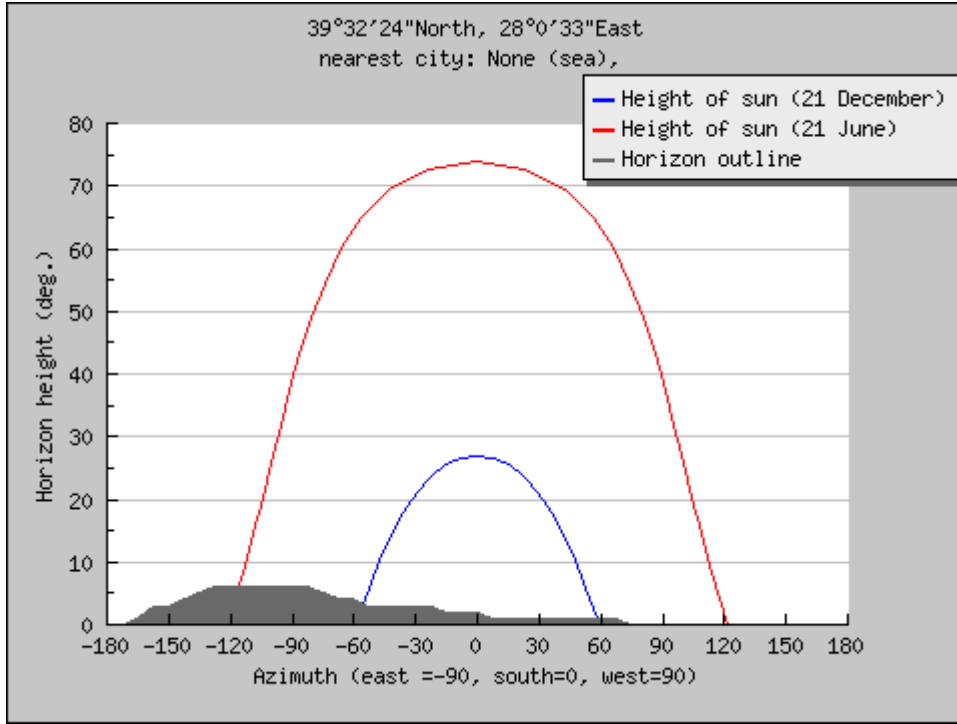
Kullanmış olduğumuz çift eksenli güneş takip sistemli panel ve sabit eksenli panelin, aylara göre aylık enerji üretim karşılaştırması Şekil 5.11 de, aylara göre m² de aylık enerji üretim karşılaştırması Şekil 5.12 de verilmiştir. Sistemlerin kurulmuş olduğu koordinat için 21 Aralık ve 21 Haziranda güneş yükselme açıları Şekil 5.13 de verilmiştir.



Şekil 5.11 PVGIS Aylara göre aylık enerji üretim karşılaştırması



Şekil 5.12 PVGIS Aylara göre m² de aylık enerji üretim karşılaştırması



Şekil 5.13 PVGIS 21 Aralık ve 21 Haziranda güneş yükselme açıları

6. SONUÇ

Enerji ihtiyacımız ile birlikte enerjinin hayatımızdaki yeri ve önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında genellikle kömür, petrol ve doğalgaz kullanılmakla birlikte, bu kaynakların rezervlerinin tükenmesi ve kullanımın çevre kirliliğine yol açması gibi ciddi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunlardan dolayı alternatif enerji kaynakları arayışı başlamıştır. Alternatif enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi potansiyelinin yüksek ve kaynağının ömrünün sonsuz oluşu nedeni ön plana çıkmaktadır.

Türkiye Güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkeler arasındadır. Balıkesir ilimizde ülkemiz içinde güney bölgelerimiz kadar zengin olmamakla birlikte, kuzeyimizdeki ülkelere göre daha yüksek potansiyele sahiptir.

Güneş enerji sistemlerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu, verimin ortam ve dış faktörler ile değişken oluşu nedeni ile, sistemin sürekli en yüksek verim ile çalışması için bazı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri de çift eksenli güneş takip sistemi kullanarak güneş ışınlarının panele dik gelmesinin sağlanması ve sistem veriminin yükseltilmesidir. Bir diğer çalışma da sistemlerde panelin maksimum güç noktasını takip eden şarj modülü kullanımınıdır.

Bu çalışmada biri sabit biri çift eksenli güneş takip sistemli olmak üzere, birbirini aynı maksimum güç noktası takip modüllü iki PV sistem kurulmuştur. Alınan ölçümler sonucunda çift eksenli güneş takip sisteminin, sabit panelli sisteme göre %39 daha yüksek verim sağladığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada sistem boyutlandırılırken, mali kaynaklar el verdiği ölçüde, kayıplarının düşük olması da düşünülerek, 85W güneş paneli ve 40Ah akü tercih edilmiştir. Bu durumda birkaç gün hava durumunun bulutlu veya yağışlı olması durumunda sistemin yeterince şarj olamadığı ve buna bağlı olarak da akünün bittiği görülmüştür. Yeni sistem kurulumlarında uzun

süre hava durumunun bulutlu olduğu bölgeler için, kayıpların bir miktar artacağı da göz önünde bulundurularak, panel gücünün ve akü kapasitesinin daha yüksek seçilmesi önerilir.

Güneş takip sistemleri daha yüksek verim sağlamakla birlikte, kurulum maliyetlerini de yükseltmektedir. Yapılan uygulamalarda, yükün kritikliği, kaynak potansiyeli ve ortam şartları değerlendirilerek kullanımı faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye’de enerji ve geleceği, İstanbul, (2007)
- [2] Demirtaş, M., Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008)
- [3] Rubio, F.R., Ortega, M.G., Gordillo, F., Lo’pez-Martinez, M. “Application of new control strategy for sun tracking”, Energy Conversion and Management, 48, (2007), 2174
- [4] Bakos, G.C. “Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement”, Renewable Energy, 31, (2006), 2411
- [5] Alata, M., Al-Nimr, M.A., Qaroush, Y., “Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control”, Energy Conversion and Management, 46, (2005), 1229
- [6] Veerachary, M. , Senjyu, T., Uezato, K. “Feedforward Maximum Power Point Tracking Of PV Systems Using Fuzzy Controller”, IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems, 38, (2002), 969
- [7] Efram, T., Chapman, P.L., “Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques”, IEEE Transactions On Energy Conversion, 22, (2007), 439
- [8] Jiang, J., Huang, T.L., Hsiao, Y., Chen, C., “Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power Systems”, Tamkang Journal of Science and Engineering, , 8, (2005), 147

- [9] Sokolov, M., Shmilovitz, D., "Photovoltaic Maximum Power Point Tracking based on an Adjustable Matched Virtual Load", Applied Power Electronics Conference, APEC 2007 - Twenty Second Annual IEEE, (2007), 1480
- [10] Azab, M., "A New Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems", World Academy of Science, Engineering and Technology, 44, (2008), 571
- [11] IEA, Key World Energy Statistic 2009, (2009)
- [12] International Energy Annual 2006, (2006)
- [13] Keçel, S., Türkiye'nin değişik bölgelerinde evsel elektrik ihtiyacının Güneş paneller ile karşılanmasına yönelik model geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007)
- [14] EÜAŞ, Elektrik Üretim Sektör Raporu, (2008)
- [15] Dünya Enerji Komitesi Türk Milli Konseyi (DEK-TMK), 2009 Denge Tablosu
- [16] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı internet sitesi www.enerji.gov.tr (Son erişim tarihi: 13.06.2011)
- [17] Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü İnternet Sitesi <http://www.eie.gov.tr> (Son erişim tarihi: 13.06.2011)
- [18] Dünya Enerji Komitesi Türk Milli Konseyi (DEK-TMK), Hidrolik Ve Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu Güneş Enerjisi Alt Çalışma Grubu Raporu, Ankara, (2007)

- [19] <http://www.guinessistemleri.com/> İnternet Sitesi
(Son erişim tarihi: 13.06.2011)
- [20] Özdemir, Ş., Fotovoltaik sistemler için mikrodenetleyicili en yüksek güç noktasını izleyen bir konvertörün gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007)
- [21] Turksun, TS080 Datasheet (2010)
- [22] Phocos, MPPT 100-20 Datasheet (2010)
- [23] Satcontrol, SunTracerSM34SPM+ Datasheet (2010)
- [24] Sparkfun, LogomaticV2 Datasheet (2010)
- [25] Legend, 12V 40Ah akü kataloğu (2010)
- [26] Sunrise and sunset calculator internet sitesi
www.timeanddate.com (Son erişim tarihi: 13.06.2011)
- [27] Ajnaware Pty Ltd.
Iphone Sun Seeker V2.0 uygulaması (2011)
- [28] Avrupa Komisyonu İnternet Sitesi (Son erişim tarihi: 13.06.2011)
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#>
- [29] Kangal, H., Fotovoltaik sistem analizi ve Labview tabanlı MPPT simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008)
- [30] Dünya Enerji Komitesi Türk Milli Konseyi (DEK-TMK), 2010 Enerji Raporu, Ankara, (2010)

- [31] Bilgin.Z., Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2006)
- [32] Uzunok, S., Fotovoltaik Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, (2007)
- [33] Ceylan Demir, D., Mikrodenetleyici Tabanlı İzleme Sistemi İle Güneş Paneli Verim Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2007)
- [34] Nakir, İ., Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS Ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2007)
- [35] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile bağlı ve ilgili Kuruluşlarının amaç ve faaliyetleri (Mavi Kitap), (2010)
- [36] Altaş, İ.H. "Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri" Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 47, (1998), 66
- [37] Altaş, İ.H. "Fotovoltaik Güneş Pilleri: Maksimum Çıkış Gücünde İşletilmeleri", Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 54, (1998), 76
- [38] Bostancı, C.S., Tong, T., "Akıllı kinetik güneş kontrol sistemi önerisi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, (2007)
- [39] Linak Group internet sitesi
<http://www.solar-tracking.com> (Son erişim tarihi: 13.06.2011)
- [40] Mustafa Kemal KAYMAK internet sitesi
<http://web.itu.edu.tr/~kaymak/index.html> (Son erişim tarihi: 13.06.2011)