

Fotovoltaj Güneş Pilleri : Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri

Doc. Dr. İsmail H. ALTAŞ
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
61080 Trabzon

FAX: (462) 325 7405
E-POSTA : altas@eedec.ktu.edu.tr
WWW : <http://eedec.ktu.edu.tr/~altas>

Özet

Fotovoltaj (FV) güneş pillerinin yapısal özellikleri ve karakteristikleri burada incelenmektedir. Bir FV güneş panelini oluşturan FV güneş pillerinin hangi malzemelerden nasıl üretildikleri, yük altında sıcaklık ve ışık şiddetine göre çıkış gerilim ve akımlarının nasıl değiştiği açık açık anlatılmaktadır. Bir FV güneş pilinin çalışma karakteristiği olarak da ele alınabilen ve Akım-Gerilim karakteristiği olarak isimlendirilen I-V karakteristiklerinin yanı sıra çıkış gücünü de temsil eden Güç-Gerilim (P-V) karakteristikleri de tanıtılmaktadır.

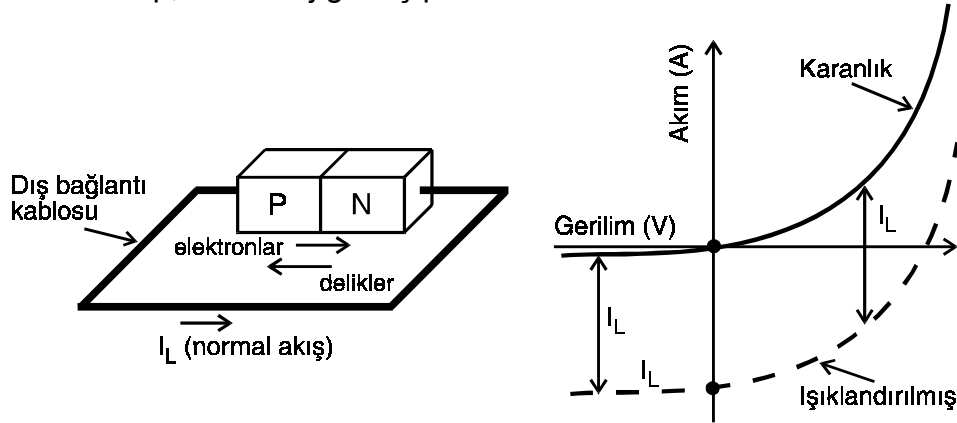
1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebildikleri için FV güneş pilleri alternatif bir üretim aracı olarak gittikçe önem kazanmaktadır. Dolayısıyla bu konu ile ilgili araştırmalar bütün hızı ile devam ederken[1-7], her gün yeni projeler uygulamaya konmaktadır. FV pillerini yakından tanımak karakteristik özelliklerine bir göz atmak, ve bu konu ile ilgilenen araştırmacı ve uygulayıcılara bazı fikirler vermek amacıyla bu yazı hazırlanmıştır. Burada FV pillerin yapısal özellikleri anlatılırken üretimine yönelik değil de kullanımına yönelik bir bakış açısı ile olaya bakılmıştır. Dolayısı ile FV pillerin fiziksel özellikleri ve üretimi ile ilgilenenler için burada anlatılanlar çok genel olabilir. Ancak yine de yapılan açıklamalar, FV pilleri uygulayan ve uygulamaya yönelik çalışmalar yapanlar için tatminkar olabilir.

FV güneş pillerinin karakteristik özellikleri ile ilgili olarak literatürde bir çok yayın yer almıştır. Uygulama amaçlı çalışmalar yapan okuyucular için özellikle [8,9] nolu kaynaklar tavsiye edilebilir.

2. FV Güneş Pilinin Yapısı

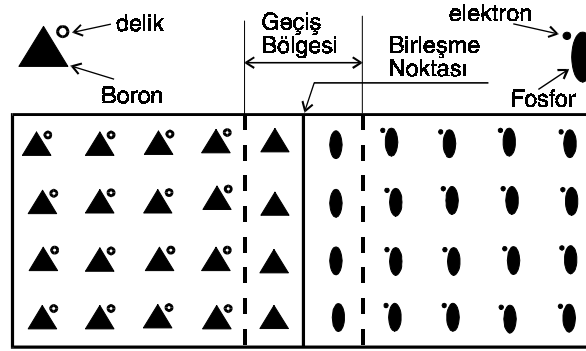
Fotovoltaaj (FV) güneş pilleri algıladıkları foton enerjisinden eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak güneş enerjisini doğrudan kullanılabilir yararlı elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Oluşturulan pozitif ve negatif yükler fotovoltaj ve fotoakım meydana getirmek üzere ayrıştırılırlar. Negatif (elektronlar) ve pozitif (delikler) yükleri ayrıştırmak için en uygun malzemeler Silikon, Bakır-Kadmium Sülfat ve Galyum-Arsenit gibi yarıiletkenler olup, fotovoltaj güneş pillerinin üretiminde en fazla bunlar kullanılırlar.



Şekil 1. P-N birleşimli bir diyodun simetrik özellikleri ve diyodun karanlık ışık altındaki akım-gerilim karakteristikleri.

FV güneş pillerinin çalışması pozitif-negatif (P-N) birleşimli bir diyodun çalışmasına benzer. Yani elektronlar N katmanından çıkıp bir dış devre üzerinden P katmanına geri dönerler ve deliklerle yeniden birleşirler. Şekil 1 de bu P-N birleşimi basitçe gösterilmiştir. Yarıiletken bir diyot oluşturulurken, pozitif (P) tipi ve negatif (N) tipi iki yarıiletken malzeme birleştirilir. Örneğin bir Silikon P-N diyotta, P tipi bir malzeme elde etmek için genellikle saf Silikon malzemeye bir miktar (1:1,000,000 oranında) Boron eklenir. Benzer şekilde N tipi bir malzeme elde etmek için de saf Silikona bir miktar Fosfor eklenir. Fosfor eklenen Silikon parçasında serbest elektronlar oluşurken, Boron eklenen parçada da boşluklar (delikler) oluşur.

Biri Boron, diğeri Fosfor karışımına sahip iki Silikon parçası birleştirilmeden önce, N ve P malzemeler doğal yüklerine sahiptirler. Yani proton ve elektronları birbirine eşittir. Hatta, malzemelerden birinde kullanılabilir elektronlar, diğesinde ise kullanılabilir delikler mevcuttur. Ayrıca her iki parça da kendi doğal atomları ve normal elektron sayılarına sahiptirler. P ve N tipi malzemelerin birleştirilmesiyle N tipi malzemedeki elektronlar P tipi malzemeye akmaya başlarken, P tipi malzemedeki delikler de N tipi malzemeye akmaya başlar. Bu akış, aniden bir dengesizlik meydana getirir. N tipi malzeme bazı valans elektronlarını kaybetmeye başlar ve böylece net bir pozitif yüke sahip olur. P tipi malzeme de bazı ek elektronlar kazandığı için net bir negatif yüke sahip olur. Böylece *sınır potansiyeli* olarak isimlendirilen küçük bir gerilim, birleşme noktası kenarlarında oluşarak daha fazla elektronun N tipi malzemedeki P tipi malzemeye akması önlenir ve geçiş bölgesindeki bütün serbest elektron ve delikler bu bölgenin dışına itilirler. P-N birleşimi ve prensip yapısı Şekil 2 de verilmektedir. Aslında burada, bir malzeme bloğu içerisinde faaliyete sokulan sürekli bir elektromagnetik kuvvet oluşturulmaktadır.



Şekil 2. Boron içeren P tipi ve Fosfor içeren N tipi iki Silikon parçasının birleşimi ile oluşan P-N birleşme bölgesi.

Daha önce de belirtildiği gibi, P tipi malzeme de bol miktarda delikler bulunur. Bunun nedeni de Silikona karıştırılan Borondur. Benzer şekilde Silikona karıştırılan Fosfor nedeniyle N tipi malzemede de bol miktarda elektron bulunur. Boron karışımı nedeniyle P tipi malzemede yoğunluk kazanan deliklere *P çoğunluk taşıyıcılar*, Fosfor karışımı nedeniyle N tipi malzemede yoğunluk kazanan elektronlara da *N çoğunluk taşıyıcılar* adı verilebilir. Ancak bu çoğunluk taşıyıcıların yanı sıra, hem P hem de N tipi malzeme de azınlık taşıyıcılar mevcuttur. Yani çoğunlukla deliklerin bulunduğu P tipi malzeme de bir miktar da elektron bulunur. Ancak bunlar az miktarda olduğundan, *P azınlık taşıyıcılar* olarak isimlendirilirler. Benzer şekilde N tipi malzemede çoğunluğu oluşturan elektronların yanı sıra bir miktar da delik bulunur ve bunlar *N azınlık taşıyıcılar* olarak isimlendirilirler. P ve N tipi malzemelerdeki çoğunluk taşıyıcılar Silikonla birleştirilen Boron ve Fosfor tarafından belirlendiği için ışık ya da termik uyarmalardan etkilenmezler. Ancak, azınlık taşıyıcıların sayısı, doğrudan doğruya PN birleşimini etkileyen ışık ve ısıya bağlıdır. İşte bu azınlık taşıyıcılar, bir FV güneş pilinde elektriğe dönüştürülecek güneş gücünün temel taşlarını teşkil ederler.

Eğer bir P-N birleşimi oda sıcaklığında karanlıkta bırakılırsa, sadece P-N birleşim noktası etrafında değil, pilin çevresel alanında belirli miktarda serbest elektron ve delik meydana gelir. Bu serbest elektron ve delikler, kristal kafesine geri dönüp yeniden birleşmeden önce etrafta rastgele dolanırlar. Fakat, geçiş bölgesinde birleşim noktası yakınındaki serbest elektron ve delikler farklı bir amaçla birleşirler. Bu elektron ve delikler, geçiş bölgesi potansiyelinin etkisiyle bu bölgenin dışına itilirler. P tipi malzeme zaten fazlalık elektronlara sahip olduğundan, geçiş bölgesinden itilerek gelenleri geri çevirir ve bunlar da N tipi malzemeye geçerler. Geçiş bölgesinden N tipi malzemeye doğru itilen delikler ise benzer sebeplerle P tipi malzemeye geçerler. Buradan anlaşılacağı gibi, termik olarak üretilen bu elektronların yönü, P tipi malzemedeki delikleri doldurması gereken elektron akış yönüne terstir. Işıklılandırılmamış bir P-N birleşiminde çoğunluk ve azınlık akımlar eşittir ve birbirlerini dengeleyerek yok olurlar. Böyle bir birleşime kablo bağlayıp ondan dışarı akım alınması düşünülemez. Çünkü bu durumdaki bir P-N birleşimi çevresi ile bir termik dengeye sahiptir.

Bir P-N birleşimi kendiliğinden elektrik üretmez. Elektrik hem akım, hem de gerilim gerektirir. Oysa küçük P-N bloğu içinde rastgele dolaşan elektronlar birbirlerini iptal edecek bir yol izlerler. Eğer kristalin uçlarına iletken teller bağlanırsa hiç bir güç üretilmez. Ancak eğer elektron akışı, oluşturulan gerilimin öteleme yapacak bir kaç elektrona sahip olmasına neden olacak kadar dengesizse, P-N birleşiminden elektrik

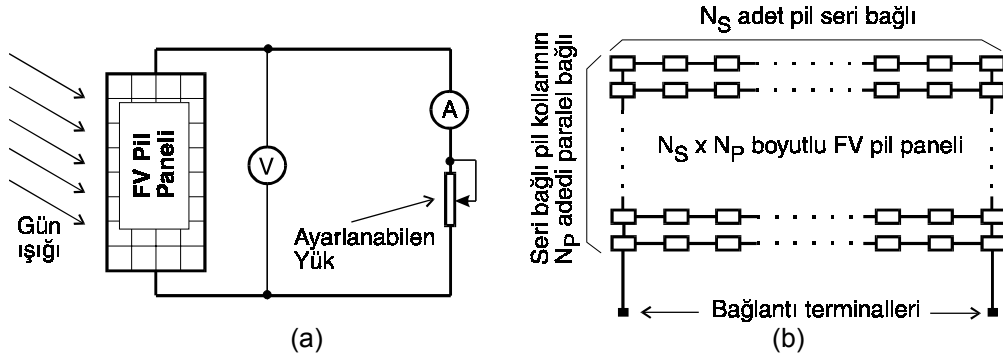
almak mümkün olabilir. Dolayısıyla etkisi altındaki malzemede doğal olarak serbest elektronlar oluşturabilen bir ışığın bu P-N birleşimine eklenmesi elektrik gücünün üretilmesi için gerekli itiş sağlar.

Eğer bir miktar ışık, bir foton, bir Silikon güneş pili üzerine düşerse, bu enerji pilin valans bandında bir elektron oluşmasına neden olur. Böyle bir elektron termik enerji harcar ve kendisini yukarı doğru hareket ettirir. Aynı sonuç ışık enerjisi ile de elde edilir. Eğer enerjisi enerji boşluğundan daha büyük olan bir foton bir valans elektronuna çarparsa bu elektron fotonu yutar ve iletim bandına sıçrar. N ya da P tipi malzemelerin içinde böyle bir olay meydana gelirse, yeni oluşturulan serbest elektron ve delik, diğer elektron ve delikler tarafından hızlıca yutulur ve yeni bir birleşme meydana getirirler. Fakat, eğer bir foton geçiş bölgesindeki bir atomu çevreleyen bir valans elektronuna çarparsa, elektron ve delik elektrik alanı tarafından ayrılmaya zorlanacak ve ilgili P ve N tipi malzemelere doğru itileceklerdir. Böylece bir elektron ve bir delik daha önceki dengeli birleşime eklenecek ve bir akım oluşacaktır. Pilin dış devre uçları bir ampermetre üzerinden birleştirilirse, bir elektronun meydana getireceği akım okunur. Benzer şekilde pilin dış devre uçları arasına bağlanacak bir voltmeter de bir elektronun oluşturacağı gerilimi verir. Ancak unutulmamalı ki bulutlu bir günde dahi trilyonlarca foton ışını yeryüzüne düşer. Bu fotonların büyük bir bölümü de P-N birleşimli FV güneş pilinin üzerine gelir ve trilyonlarca elektronu valans bantlarının dışına iterek trilyonlarca elektron-delik çifti oluştururlar. Bu çiftlerin bir çoğu hiç bir ışık yapmadan kristali ısıtarak çabucak yeniden birleşirler. Fakat geçiş bölgesinde oluşan çiftler çabucak birbirlerinden ayrılarak P ve N tipi malzemeleri dış devreye birleştiren metal tutuculara veya bağlantı iletkenlerine doğru itilirler. Böyle bir durumda pil uçları bir ampermetre üzerinden kısadevre edilirse, ampermetreden bir kaç amper okunabilir.

Bir güneş pili, P-N katmanlarına ait terminalleri arasına bir yük bağlı bulunduğu sürece güneş enerjisini çıkışında bir elektrik gücüne dönüştürür. Herhangi bir yük ya da P-N terminallerini dışardan birbirine bağlayan bir yol yoksa elektron akışı gerçekleşemez ve dolayısıyla fotoakımı üretilemez. Ayrıca eğer yük çok küçük bir güce sahipse, ya da P-N çıkış terminalleri kısadevre edilmişse fotovoltaj pilin çıkışından elektrik gücü alınamaz. P-N çıkışları kısadevre edildiğinde bu çıkışlar arasındaki potansiyel farkı (fotovoltaj) sıfır, akan akım (fotoakım) ise maksimum değerinde olur. Klasik doğru akım (DA) güç kaynaklarının tersine bir FV güneş pilin akım-gerilim ilişkisi doğrusal değildir. Bu nedenle güneş pili güç kaynakları klasik doğru akım ya da gerilim kaynakları ile temsil edilemezler.

3. FV Güneş Pili Karakteristikleri

Bir Fotovoltaj güneş pilinin elektriksel özelliklerini belirlemek için bu pilin akım ve geriliminin yükten nasıl etkilendiğini gözlemek gerekir. Bu amaçla Şekil 3 (a) da verilen bağlantı kullanılabilir. Bu şekilde, FV pil paneli seri bağlı bir ampermetre üzerinden ayarlanabilen bir yüke doğrudan bağlanmıştır. Günün belirli bir saatinde, gün ışığı ve ortam sıcaklığındaki değişmelerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilerek, yük açık konumdan uçlarının kısadevre olduğu konuma kadar ayarlanırken, ampermetre ve voltmeterdeki değerler her yük kademesi için kaydedilip grafik olarak çizilirse, Şekil 4 de verilen Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği elde edilebilir.



Şekil 3. (a). FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması. (b). FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan FV güneş pili paneli.

FV güneş pili paneli oluşturulurken, gerekli çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda (mesela N_s adet) pil seri bağlanırken, gerekli akımı elde edebilmek için de pillerin seri bağlanmasıyla meydana gelen yeterli sayıda (mesela N_p adet) kol paralel bağlanır. Bu durum Şekil 3 (b) de daha açık olarak verilmektedir. Dolayısıyla, Şekil 3 (a) da verilen FV pil paneli ve bağlantı devresi kullanılarak yapılan ölçümler, bu FV pil panelinin akım ve gerilimini verir. Eğer panelin akımı I_{PANEL} , gerilimi de V_{PANEL} ile gösterilirse, paneli oluşturan her bir pilin akım ve gerilimi sırasıyla,

$$I_{PiL} = \frac{I_{PANEL}}{N_p} \quad (2.4)$$

$$V_{PiL} = \frac{V_{PANEL}}{N_s} \quad (2.5)$$

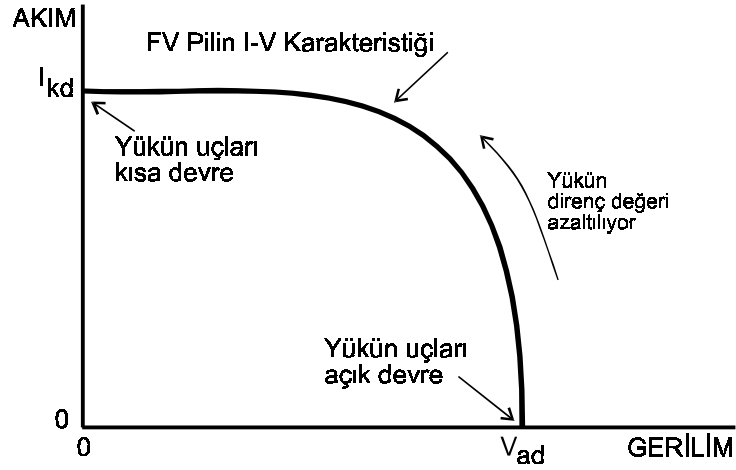
bağıntıları kullanılarak belirlenebilir. Panelin çıkış gücü;

$$P_{PANEL} = V_{PANEL} \times I_{PANEL} \quad (2.6)$$

olarak elde edilirken, bir tek pilin gücü de;

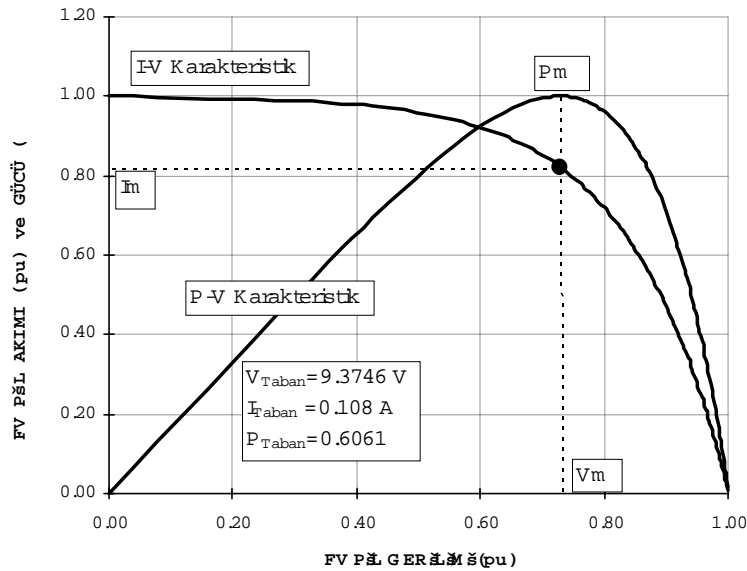
$$P_{Pi} = V_{Pi} \times I_{Pi} = \frac{V_{PANEL}}{N_s} \times \frac{I_{PANEL}}{N_p} = \frac{P_{PANEL}}{N_s \times N_p} \quad (2.7)$$

bağıntısı kullanılarak belirlenebilir.



Şekil 4. FV pil panelin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiğinin yükde değişimi.

Gerek yukarıda verilen denklemlerden, gerekse Şekil 4 den anlaşılacağı gibi, bir FV pilin ya da panelin akım ve gerilimden herhangi biri ya da her ikisi birden sıfırken, çıkış gücü de sıfırdır. Dolayısıyla çıkış gücünün değişimi Şekil 5 de görüldüğü gibi olur.

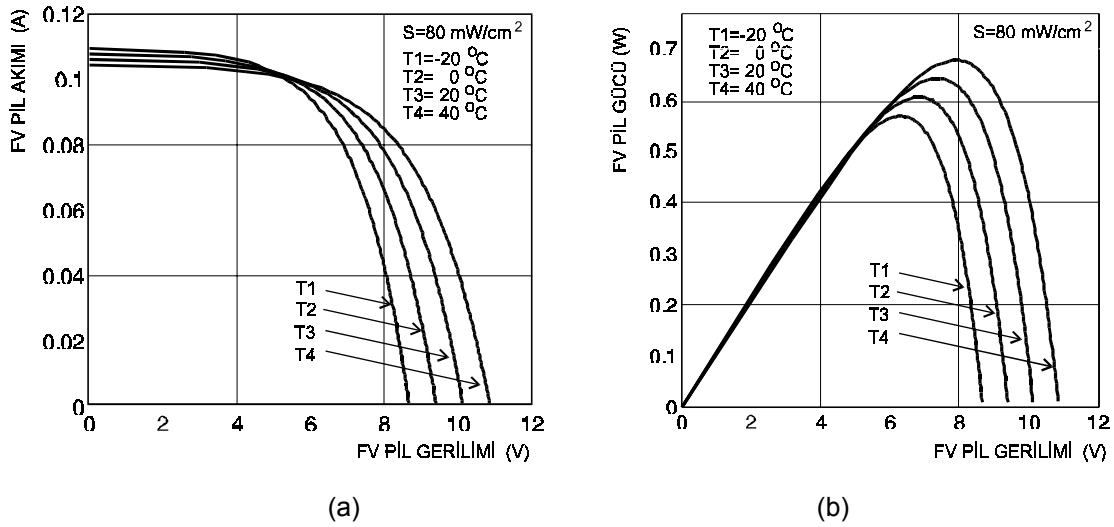


Şekil 5. FV pilin I-V ve P-V karakteristikleri.

Şekil 5 den anlaşılacağı gibi çıkış gücü, akım ve gerilimin belirli değerlerinde maksimum olmaktadır. Birazdan açıklanacağı gibi bir FV pili ya da panelinin maksimum çıkış gücü, üzerine gelen güneş ışığı seviyesi ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir. Dolayısıyla kurulan ve işletilen bir FV pil panelinden daha verimli bir şekilde faydalanmak için, o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum değerinde tutmak gerekir.

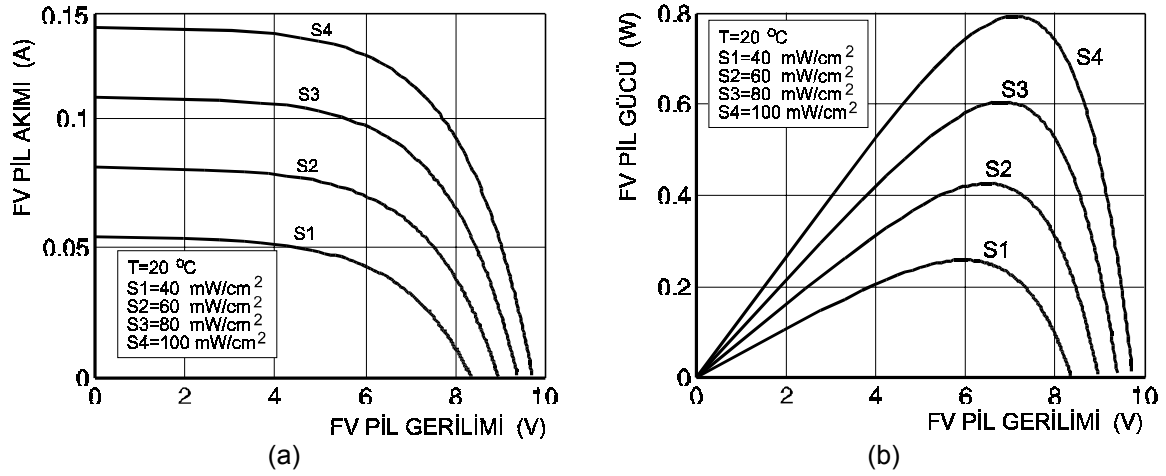
FV pilin Şekil 5 de verilen I-V ve P-V karakteristikleri 20 °C lik çalışma sıcaklığı ve 80 mW/cm² lik güneş ışığı şiddeti (güneş radyasyonu seviyesi) varken elde edilen karakteristiklerdir. Çalışma sıcaklığı ya da güneş ışığı şiddeti değiştikçe bu karakteristiklerin biçimleri aynı kalacak şekilde akım, gerilim ve dolayısıyla güç değerleri de değişir.

Çalışma sıcaklığındaki değişimlerin I-V ve P-V katakteristikleri nasıl etkiledikleri Şekil 6 (a) ve (b) de, güneş ışığı şiddetindeki değişimlerin I-V ve P-V katakteristikleri nasıl etkiledikleri ise Şekil 7 (a) ve (b) de verilmiştir. Şekil 6 (a) dan görüleceği gibi, çalışma sıcaklığının artması FV pilin çıkış gerilimini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklığın artmasından akım da etkilenmektedir. Ancak sıcaklıkdaki değişimin asıl etkisi pilin çıkış gerilimi üzerinde görülmektedir. Ortam sıcaklığının yüksek olması, pilin çalışma sıcaklığını da yükselteceğinden, güneş enerjisinin termik uygulamalarının aksine, FV piller için soğuk ortamlar daha uygundur. Benzer etki, Şekil 6 (b) de, FV pilin çıkış gücünde de görülmektedir. Gerilimdeki azalma doğrudan doğruya güce yansıdığından, çalışma sıcaklığındaki artış çıkış gücünü de olumsuz yönde etkiler.



Şekil 6.FV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün sıcaklıkla değişimi.

Güneş ışığı şiddetinde meydana gelen artışlar, Şekil 7 (a) da verildiği gibi FV pilin çıkış akımını olumlu yönde etkilemektedir. Işık şiddetinin akımda meydana getirdiği bu artış, sıcaklığın meydana getirdiği artışa göre oldukça yüksektir. Işık şiddetindeki artış hem pil çıkış akımında hem de pil çıkış geriliminde bir artışa neden olmaktadır. Ancak gerilimdeki artış, akımdaki artışa göre daha küçüktür. Şekil 7 (b) den de görüleceği gibi, ışık şiddeti arttıkça FV pilin çıkış gücü de artmaktadır. Güçteki bu artışın kaynağı, anlaşılacağı gibi hem akımdaki hem de gerilimdeki artıştan kaynaklanmaktadır.

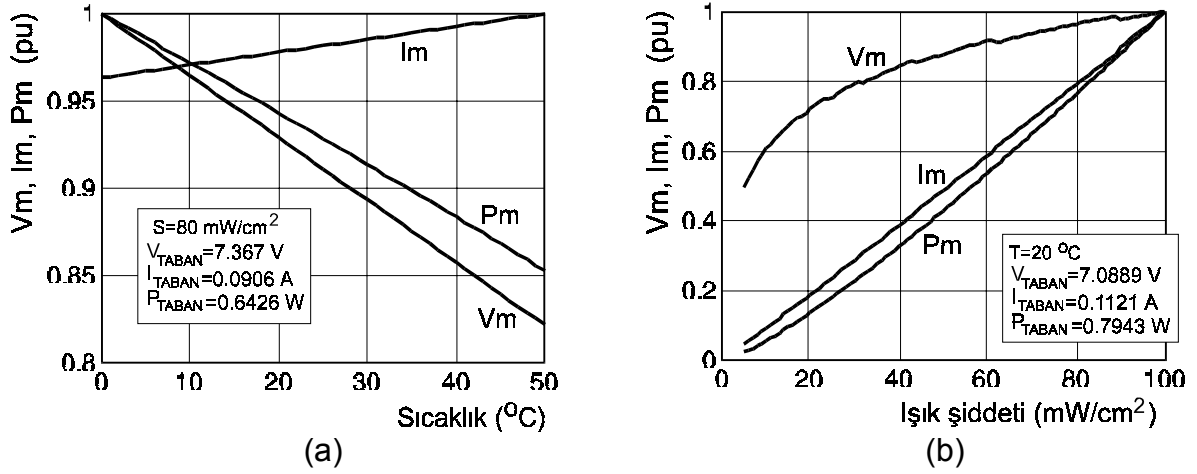


Şekil 7.FV güneş pilinin akım, gerilim ve gücünün ışık şiddetiyle değişimi.

Verilen bu karakteristikler incelendiğinde şu sonuca varmak mümkündür: *FV güneş pillerinin performansı, ışık şiddeti yüksek sıcaklığı düşük ortamlarda daha iyidir.* Bu sonuç Şekil 8 de verilen grafiklerden açıkça anlaşılmaktadır. Bu şekilde verilen grafikler, FV pil çıkış gücünün farklı çalışma sıcaklığı ve güneşiği şiddetleri için elde edilen maksimum değerleri ile bu maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerini temsil etmektedirler. Görüleceği gibi çalışma sıcaklığı arttıkça FV pilin maksimum çıkış gücü ve P-V karakteristiğinde bu güce karşılık düşen gerilimi azaltmaktadır. Benzer şekilde, ışık şiddeti, ya da güneş radyasyonu seviyesi arttıkça FV pilin maksimum çıkış gücü de artmaktadır. Ancak ışık şiddeti arttıkça, maksimum çıkış gücünün yanısıra, hem bu güce karşılık gelen pil akımı hem de pil gerilimi artar. Şekil 8 (a) ve (b) de FV pilin maksimum gücüne karşılık gelen akım değerlerinin sıcaklık ve ışık şiddetiyle arttığı görülmektedir. Sıcaklığın akımda meydana getirdiği bu artış oldukça az iken, ışık şiddetinin meydana getirdiği artış daha belirgindir. Maksimum çıkış gücü P_m ve bu güce karşılık gelen gerilim V_m ile akım I_m , Şekil 8 de *birim degerler (per units - pu)* türünden verilmiştir. Gerçek gerilim, akım ve güç degerleri, ilgili taban degerlere bölünerek bu pu degerler elde edilmişlerdir. Sözkonusu taban degerler şekil üzerinde her bir büyüklük için ayrı ayrı verilmektedir. Bu pu degerleri gerçek degerlerine dönüştürmek için verilen ilgili taban deger ile çarpmak gerekir.

Verilen bu eğriler FV pilin imalatında kullanılan yarıiletken malzemenin türüne, sıcaklık ve ışık şiddetindeki değişimlerin miktarına göre biraz değişebilirler. Ancak genel anlamda I-V ve P-V karakteristikler Şekil 6, 7 ve 8 de verilen özelliklere sahiptirler.

FV pil karakteristiklerinde, pil çıkış geriliminin artan sıcaklıklarda daha az olduğu görüldü. Bunun nedeni, sıcaklığın pil kayıplarını artırmasıdır. Sıcaklık arttıkça P-N birleşim noktası kayıpları da artar. Bu kayıplar pilde ısıya dönüştürülerek harcanır. Bu nedenle FV piller modellenirken, eşdeğer devrelerine seri-paralel dirençler eklenir. Eğer pil modelindeki seri direnç değeri yüksekse bu dirençte meydana gelen gerilim düşümü de yüksek olur ve pil çıkış gerilimi azalır. Pilin soğuk bir ortamda bulunması, ısınmasını azaltacağından, gerilimdeki düşüşü de azaltır. Pil çıkış akımındaki azalma ise, pil modelinde paralel bir dirençle temsil edilir.



Şekil 8. FV pilin maksimum çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim ve akımının; (a). Sıcaklıkla, (b). Işık şiddetiyle değişimi.

4. Sonuç ve Yorumlar

FV güneş pillerinin karakteristikleri incelendiğinde, akım-gerilim ya da güç-gerilim ilişkilerinin klasik doğru akım kaynaklarınıninkilere benzemediği görülür. FV pillerin bu karakteristikleri doğrusallıktan oldukça uzaktır. Öyle ki, maksimum çıkış güçleri maksimum akım ve gerilim değerlerinde değil, akım-gerilim karakteristiğinin diz bölümü civarındadır. Ayrıca FV güneş pilleri sıcaklıktan olumsuz yönde etkilenmektedir. Sıcaklık arttıkça FV pilin çıkış gerilimi ve gücü azalmaktadır. Karakteristiklerin gösterdiği sonuçlara göre ışık şiddeti FV pillerin temel enerji kaynağını oluşturmaktadır. Dolayısıyla soğuk ve güneşli ortamlar FV güneş pilleri için en uygun ortamlardır.

Kaynaklar

- [1]. B.K. Bose et al, "Microcomputer Control of a Residential Photovoltaic Power Conditioning System", *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol. IA-21, No. 5, September/ October 1985, pp.1182-1191.
- [2]. Z.M.Salameh and W.A.Lynch, "Multi-Stage Dual Priority Regulator for Photovoltaic Systems", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. EC-4,. No. 3, September 1989, pp.308-313.
- [3]. İ. H. Altaş and A.M.Sharaf, "A Solar Powered Permanent Magnet DC Motor Drive Scheme", The Proceedings of 17th Annual Conference of the Solar Energy Society of Canada, June 21- 26, 1991, Toronto, Ontario, pp.65-70.
- [4]. Y. Yao, R.S. Ramshaw, and E. Bustamante, "A Review of Photovoltaic Models", Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, September 25-27, 1991, Quebec City, Quebec, Canada, pp. 56.3.1-56.3.4.
- [5]. İ. H. Altaş and A. M. Sharaf, "A Chopper Controlled DC-Series Motor Drive System Powered From A Solar Cell Array", The proceedings of The Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, September 13-15, 1992, Toronto, Ontario, Canada, pp.WA8.30.1-WA8.30.4.
- [6]. İ. H. Altaş and A. M. Sharaf, "A Fuzzy Logic Power Tracking Controller For A Photovoltaic Energy Conversion Scheme", *Electric Power Systems Research Journal*, Vol.25, No.3, 1992, pp.227-238.

- [7]. İ.H. Altasş and A.M. Sharaf, "A Novel On-Line MPP Search Algorithm For PV Arrays", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 11, No. 4, December 1996, pp. 748-754.
- [8]. M. Buresch, "Photovoltaic Energy Systems Design and Installation", McGraw-Hill, Inc., 1983.
- [9]. H.S. Rauschenbach, "Solar Cell Array Design Handbook - The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion", Van Nostrand Reinhold Company, 1980.