

FOTOVOLTAİK VE YAKIT HÜCRELİ KARMA TEMİZ ENERJİ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

Onur Ö. MENGİ¹ , İsmail H. ALTAŞ²

¹Giresun Üniversitesi
Giresun Meslek Yüksekokulu
28200 GİRESUN

²Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
61080 TRABZON

onurmengi@yahoo.com ; ihaltas@ktu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, bir Fotovoltaik (FV) Güç Kaynağı ve Yakıt Pili (YP) sisteminden beslenen yüklerin simülasyonu yapılmıştır. Gün ışığı şiddeti ve ortam sıcaklığındaki değişimlerin yanı sıra yük değişimlerinin etkileri de dikkate alınmıştır. Devrede DC/AC çeviriciler kullanılmış ve güç denkleştirme ile enerjinin verimli kullanılması sağlanmıştır. Ev tipi klimalar, su pompaları, buzdolabı, ısıtıcı ve havalandırma gibi küçük ölçekli yükleri besleyen bir FV/YP temiz enerji sisteminin simülasyonu bu çalışmada geliştirilmiştir. FV ve YP sistemi, elektriksel yükler, DC/DC ve DC/AC çeviriciler, denetleyicileri ve sistemdeki diğer dinamik elemanlar MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş ve simülasyonları yapılmıştır. Bu modellemelerde güneş radyasyon seviyesindeki ve sıcaklıktaki değişimler altında yüklerin normal çalışmalarını sürdürmesini sağlayacak şekilde gerekli arayüz elemanları sisteme dahil edilmiştir. Ayrıca yükler üzerindeki gerilimin dalga şeklini düzeltmek ve harmonikleri azaltmak için filtreler kullanılarak, bunların etkinlikleri simülasyonlarla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yakıt Pili, Fotovoltaik, Yenilenebilir Enerji, Sürdürülebilir Enerji

Abstract

In this study, a green energy system consisting of a photovoltaic (PV) power supply, a fuel cell (FC) module, DC/AC converters, and DC/AC loads is simulated. The variations in the sunlight level and ambient temperature are considered in the modeling of the PV components. Besides, the switching effects of the load variations are also included in the system modeling and simulation. By using controlled DC/AC converters a good load matching connection is provided between the PV/FC sources and switched AC loads. The PV/FC green energy system has been modeled to supply power to household appliances such as air-conditioners, water pumps, refrigerators, heaters and ventilators. All of the system components have been modeled and simulated in MATLAB/ Simulink environment. A good load matching, solar irradiation level tracking and load variation compensation have been established by using the proper interfacing converters.

Keywords: Fuel Cell, Photovoltaic, Renewable Energy, Sustainable Energy.

1. GİRİŞ

Petrol fiyatlarının yükselmesi, doğal kaynaklarının sınırlı olması ve çevre problemleri nedeniyle, petrol ve kömüre dayalı klasik yöntemler ile elektrik enerjisi üretimine alternatif olarak yenilenebilir kaynakların kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, su gücü, biyolojik yakıt enerjisi, jeotermik enerji ve benzeri biçimlerde karşımıza çıkar. Ancak yıllarca süren çalışmalar göstermiştir ki, bunlar arasından rüzgar ve güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi daha pratik ve kolaydır.

Bu kaynakların en yenilerinden ve üzerinde çok sayıda çalışmanın yapıldığı yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi Yakıt Pili (YP) sistemleridir. Enerjisini kimyasal reaksiyonlardan elde eden üreteçlerdir. Farklı kimyasal maddelerden meydana gelmektedirler. Yakıt pilleri, temiz, çevreye zarar vermeyen ve yüksek verime sahip enerji dönüşüm teknolojileridir. Bir buhar kazanı veya türbin kullanılmadan, sadece kimyasal reaksiyon ile elektrik enerjisi üretilir. Hidrojen (H_2) ve oksijen (O_2) arasındaki elektrokimyasal reaksiyon ile elde edilen ve toplam verimlilikleri % 80'lere kadar ulaşabilen yakıt pilleri, sürekli çalışan piller veya elektrokimyasal makineler olarak da bilinir [1].

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimine yönelik uygulamaları kapsayan araştırmalar bütün hızıyla devam etmektedir. Bu araştırmaların en önemli bölümü, uygulamada karşılaşılan maksimum güç üretimi ve DA-AA, DA-DA dönüşümlerinin yapıldığı kıyıcı ve evirici gibi ara yüz elemanlarının tasarımı ve denetimidir.

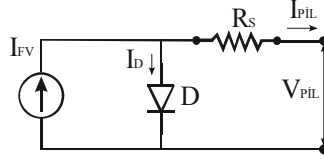
Bu çalışmada FV panellerden evdeki yüke aktarılacak gücü FV ile YP arasında, o anki ortam şartlarındaki değişime göre nasıl kontrol edildiği ve yüklerdeki enerjinin kalitesini arttırmak için kullanılan filtrelerin etkinliği anlatılmaktadır. Tasarlanan sistem bütün alt elemanlarıyla birlikte Matlab/Simulink ortamında modellenip simülasyonu yapılmıştır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

2.1. FV GÜNEŞ PİLİNİN EŞDEĞER DEVRE MODELİ

Literatürde kullanılan en yaygın FV güneş pili eşdeğer devre modeli Şekil 1'de verilen ve bir akım kaynağı ile temsil edilen modeldir. Bu modelde günışığı ile gelen fotonların etkisi ile üretilen elektrik akımı bir akım kaynağı tarafından temsil edilmektedir. Üretilen bu fotoakımın bir kısmı, Şekil 1'de gösterildiği gibi, tıpkı bir diyotun P-N birleşme noktasına

sahip FV pilde diyot ters doyma akımı I_D olarak ayrılmaktadır. Şekil 1'de verilen eşdeğer devredeki R_s direnci P-N birleşme noktasındaki ısı kayıpları temsil etmektedir.



Şekil 1. FV güneş pilinin eşdeğer devresi.

Matlab/Simulink ortamı için geliştirilen modelin temel başlangıç noktası Şekil 1'de gösterilen devrenin çıkış gerilimini ifade eden (1) denklemdir.

$$V_{pil} = \frac{A \times k \times T_{pil}}{e} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_{pil}}{I_0} \right) - R_s \times I_{pil} \quad (1)$$

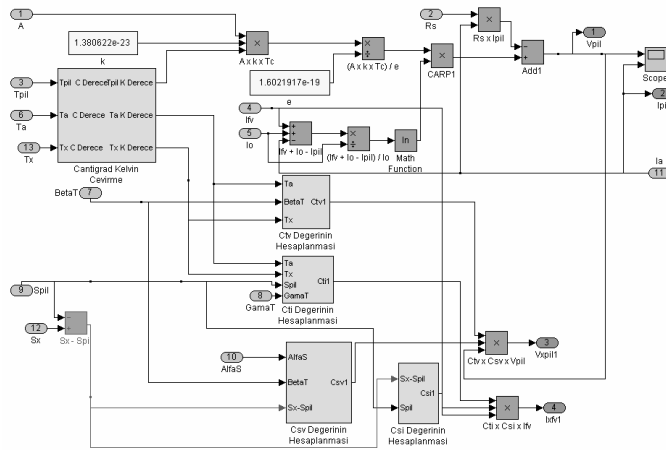
Burada; I_{pil} : FV pilin çıkış akımı (A), V_{pil} : FV pilin çıkış gerilimi (V), I_{ph} : Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası, sıcaklığının fonksiyonu, Fotoakım (5A), I_0 : diyot ters doyma akımı (0.0002A), R_s : Eşdeğer devrenin seri direnci (0.0001 Ω), e : Elektron yükü (1.6021917x10⁻¹⁹C), k : Boltzmann sabiti (1.380622x10⁻²³ J^oK), T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı (25^oC), A : Eğri uydurma faktörü (100).

Denklem (1) de verilen FV güneş pili çıkış gerilimi bazı sabit değerlerin yanı sıra pil çalışma sıcaklığı (T_{pil}), güneşiği tarafından belirlenen fotoakım (I_{FV}), ve yük tarafından belirlenen pil akımına (I_{pil}) bağlıdır. Bu üç değişkenden pil akımı rahatlıkla ölçülebilir. Fakat çalışma sıcaklığı ve güneşiği seviyesinin ölçümü modele ek bir yük getirmektedir. Boltzman sabiti k ve referans çalışma sıcaklığı T_{pil} aynı sıcaklık birimine sahip olmalıdır. Denklem (1) de verilen A katsayısı bir eğri uydurma faktörü olup bu denklemden elde edilecek olan I-V karakteristiğinin deneysel olarak elde edilen gerçek I-V karakteristiğine uyumunu sağlamak için kullanılmaktadır. Denklem (1) ile verilen ifade bir tek FV pilin çıkış gerilimini temsil etmektedir. Bu modeli FV panel modeline dönüştürmek için pil gerilimi seri bağlı pil sayısı ile, pil akımının da paralel bağlı kol sayısı ile çarpılması gerekir. Güneş panelinin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve güneş radyasyonu seviyesi değişince, paneldeki FV pillerin çalışma sıcaklığı T_{pil} de değişerek yeni bir fotoakımı ve yeni bir çıkış gerilimi oluşturur. FV pillerin çalışma sıcaklığı, güneş radyasyonu seviyesi ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Değişken ortam sıcaklığı T_x pilin çıkış gerilimi ve fotoakımını etkiler. Bu etkiler

kaynak [2] de açıklanan yöntemlerle belirlenen sıcaklık akımı katsayısı C_{Ti} , sıcaklık gerilimi katsayısı C_{TV} , ışık akımı katsayısı C_{SI} , ve ışık gerilimi katsayısı C_{SV} kullanılarak modele dahil edilmiştir.

$$V_{Xpil} = C_{TV} \times C_{SV} \times V_{pil} \quad \text{ve} \quad I_{Xph} = C_{Ti} \times C_{SI} \times I_{ph} \quad (2)$$

Burada, V_{Xpil} , ve I_{Xph} değişen sıcaklık ve güneşli etkilerini içeren FV pil çıkış gerilim ve foto akımıdır. (2) ifadesindeki V_{pil} ve I_{ph} ise referans alınan pil çalışma sıcaklığı ve güneşli seviyelerindeki pil çıkış gerilimi ve fotoakımının değerleridir [3]. FV'nin Matlab/Simulink modeli şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. FV Güneş pilinin Simulink modeli.

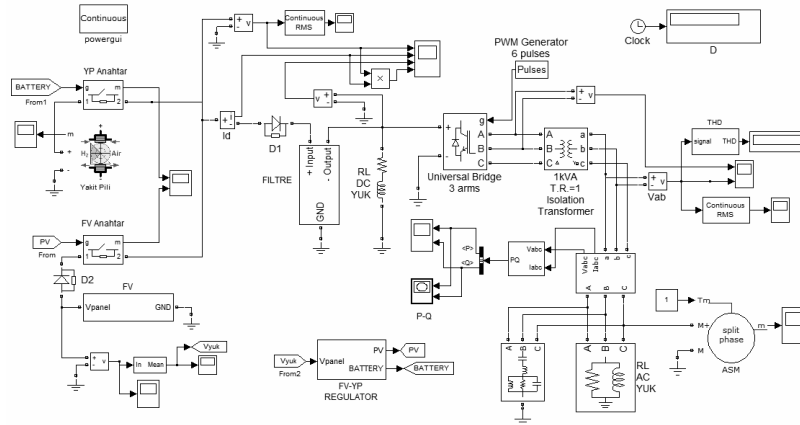
2.2. YAKIT PİLİ

Bir yakıt pilinin temel yapısı; bir elektrolit gibi görev yapan katı bir zar (membran) tarafından ayrılmış iki elektrot (anot ve katot) olarak tanımlanabilir. Hidrojen yakıtı anoda protonlara ayrıştığı yer olan bir kanal içinden geçer. Ayrışan protonlar katoda membran içinden ulaşır. Bir dış devre tarafından elektriksel akım olarak toplanan elektronlar iki elektrotu birbirine bağlar. Benzer bir kanal ağı içinden hava, bir dış devrede elektronlarla birlikte oksijenin toplandığı yer olan katoda, protonlarda membran içine doğru akar ve böylece su oluşur. Polimer membran iki elektrot arasına sıkıştırılmıştır. Her bir elektrot bir gaz difüzyon tabakası ve bir ince katalizör tabakadan oluşmaktadır. Membran-elektrot bileşkesi reaktant akışına izin veren kanallarını kapsayan iki iletken tabaka tarafından

sıkıştırılmıştır. Anottan gelen hidrojen ile katottan gelen oksijen ısı ve su üretmek için birleşir. Yakıt pilleri ile ilgili ayrıntılı bilgi [1] 'de verildiği için burada tekrar edilmeyecektir.

2.3. SİSTEM

Ana sistem Şekil 3'de görülmektedir ve FV paneller, YP, iki anahtar, bir düzenleyici, bir DC yük, filtreler, bir evirici, bir izolasyon transformatörü, bir RL yük ve bir adet tek fazlı asenkron motordan oluşmaktadır. Güneş seviyesinin sürekli aynı olmaması ve farklı ortam sıcaklıkları nedeniyle güneş panellerinin ürettikleri güçte sürekli olarak değişmektedir. Bu nedenle güneş panelinin yeterli güç üretmediği durumda yükün enerjisiz kalmasının engellenmesi için sisteme bir YP'de ilave edilmiştir. Fotovoltaik panel ve YP kombine çalışarak farklı doğal şartlardan etkilenmeden yükün talep ettiği gücü sağlamaktadır. YP'nin devreye girip çıkması düzenleyici cihazın kontrolünde gerçekleşmektedir.



Şekil 3. Üç fazlı ve tek fazlı yüklerden oluşan sistem.

Yapılan simülasyonda kullanılan fotovoltaik panel güneş seviyesindeki ve sıcaklıktaki değişimleri de içeren bir modeldir. Sıcaklık ve güneş seviyesindeki değişimlerde panel gücü değiştiği için kullanılacak modelin bu değişimi içermesi gerekmektedir. Kullanılan FV'ler, 8 adet seri ve 2 paralel koldan oluşmaktadır. Sistemde kullanılan aküler 160 V nominal değere sahip ve 10 Ah'lidir. Burada aküler seri ve paralele bağlanarak da istenen akım ve gerilim değerine getirilebilirler.

Fotovoltaik panel ve YP arasındaki gerekli ayarlama düzenleyici sayesinde gerçekleşmektedir. YP sistem ilk çalışma anında devreye girerek sistemin iyi bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Eğer fotovoltaik panel istenen gücü sisteme temin edebiliyorsa devreye girmekte ve bu esnada YP'ler devreden çıkmaktadır. Ortam koşullarının yetersiz

olduğu durumda sistemin talep ettiği güç fotovoltaik panellerden sağlanamıyorsa YP'ler tekrar devreye girmektedir. Fotovoltaik panel ile YP'ler arasındaki devreye girme ve devreden çıkma durumu düzenleyicinin görevidir.

Sistemde sadece AC yükler değil aynı zamanda DC yüklerde beslenebilmektedir. Bu nedenle elde edilen DC gerilim AC'ye çevrilmeden önce sisteme bir RL yükü bağlanmıştır. Giriş kısmında ayrıca DC gerilim elde edildikten sonra filtre edilmektedir. Buradaki filtre pasif devre elemanlarından oluşan bir ön filtredir. Fotovoltaik panel ve YP'den doğru akım elde edildikten sonra alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. Bu işlem sistemdeki evirici tarafından gerçekleştirilmektedir. Alternatif akım elde edildikten sonra yükler bu gerilim ile beslenmektedir. Sistem frekansı 60 Hz'dir. Yük olarak bir adet üç fazlı ve bir adet tek fazlı yük kullanılmıştır. Üç fazlı yük bir RL yüküdür. Bu yük 500 W'lık bir omik yük ve 200 VAR'lık endüktif yük içermektedir. Buna ilaveten bir adet asenkron motorda evdeki buzdolabı benzeri yükleri modellemek için kullanılmıştır. Sistemde yük üzerindeki gerilimin dalga şeklini düzeltmek için yüklerle paralel bağlı bir filtre grubu da bulunmaktadır. Bu sayede yük geriliminin dalga şeklide düzeltilmeye çalışılmıştır. Bu esnada toplam harmonik bozulması da ölçülmüştür.

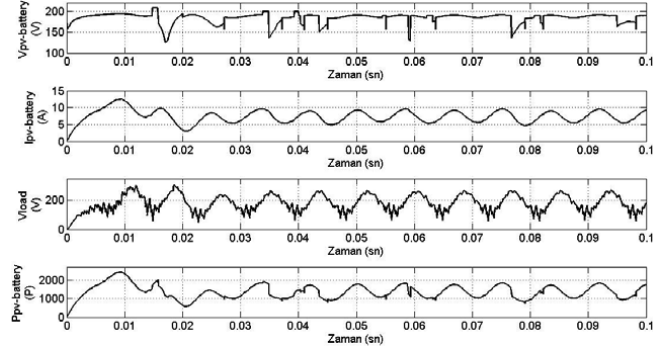
3. SİMÜLASYONU YAPILAN SİSTEM

Ortam koşullarındaki değişiklikler sistemin çalışmasını etkilemektedir. Bu nedenle ortam sıcaklığı ve güneş radyasyon seviyesi değiştirilerek farklı ortam koşulları oluşturulmaya çalışılmıştır. Anlatılan denklemlerden güneş panelleri için özellikle güneş radyasyon seviyesindeki değişimlerin panel gücünü fazla miktarda etkilediğini görmekteyiz. Bu nedenle yapılan simülasyonda sıcaklık 25 C° de sabit tutulurken güneş radyasyon seviyesi t=0-0.02 sn aralığında 100 mW/cm² değerinden t=0.02-0.04 sn aralığında %30 azaltılarak 70 mW/cm² değerine getirilmiştir. Daha sonra t= 0.04-0.1 sn aralığında bu değer tekrar azaltılarak 40 mW/cm² değerine düşürülmüş ve bu esnada sistemin çalışması incelenmiştir. Şekil 4-6'da elde edilen sonuçlar görülmektedir.

4. SONUÇLAR

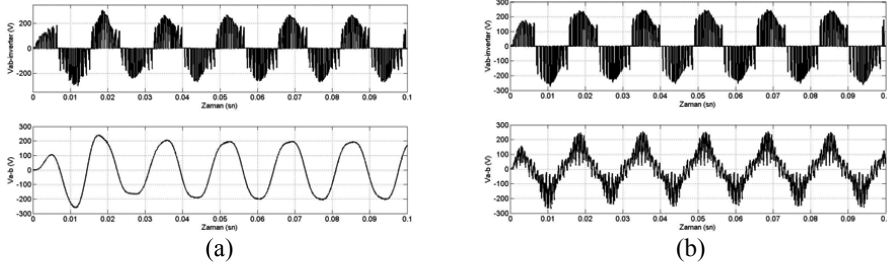
Şekil 4'de FV/YP enerji üretim sisteminden elde edilen gerilim, akım, güç değerleri görülmektedir. Bunun yanında DC yük üzerindeki gerilim düşümü de görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi sistem YP'ler ile çalışmaya başlamaktadır. Bu esnada panel yeterli güce ulaşamadığı için devre dışıdır. Panel istenen güç değerine ulaştığı anda düzenleyicinin kontrolünde devreye girmekte ve bu esnada YP devreden çıkmaktadır. Bu

çalışma şekli ile YP'nin gücü korunurken ev tamamen güneş enerjisinden aldığı gücü kullanmaktadır.



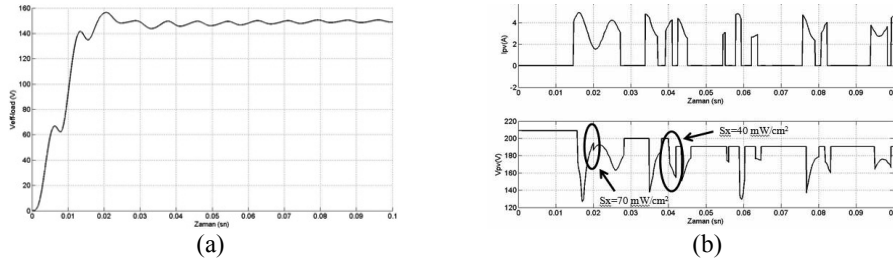
Şekil 4. Üretilen akım, gerilim ve gücün değişimleri ile yük üzerindeki gerilimin zamana göre değişimi.

Eviricide elde edilen AC sinyal bir izolasyon transformatöründen geçirildikten sonra yüklere aktarılmaktadır. Şekil 5a'da A-B fazları arasındaki evirici geriliminin değişimi ve yük üzerindeki A-B fazı arasındaki gerilimin dalga şekilleri görülmektedir. Sistemde var olan 3 fazlı harmonik filtresi bu dalga şeklini düzeltmektedir. Toplam harmonik bozulması (THB) bu durumda 0,09 olarak ölçülmektedir. Filtrenin olmadığı durumda dalga şekli son derece bozuktur ve toplam harmonik bozulması 0,45 değerine yükselmektedir. Bu bozulmalar Şekil 5b'de görülmektedir.



Şekil 5. (a) Filtreli durumda evirici A-B faz gerilimi dalga şekli ve yük üzerindeki gerilimin dalga şekli THB= 0,09. (b) Filtresiz durumda evirici A-B faz gerilimi dalga şekli ve yük üzerindeki gerilimin dalga şekli THB=0,45.

Şekil 6a'da A-B fazları arasındaki gerilimin efektif değerinin değişimi görülmektedir. Şekil 6b'de FV panel akım ve gerilimlerinin zamana göre değişimleri görülmektedir. Özellikle $t=0.02$ ve 0.04 anlarında güneş radyasyon seviyelerindeki azalma nedeniyle FV değerlerindeki azalmalar daha belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 6 (a). Yük üzerindeki gerilimin efektif değerinin zamana göre değişimi. (b) FV panellerin akım ve gerilimlerinin farklı güneş radyasyon seviyesindeki değişimi.

5. DEĞERLENDİRME

Sistemde YP'nin ve FV panellerin düzenleyici kontrolünde aktif bir şekilde devreye girip çıkmaları sonucu yük enerjisiz kalmadan beslenebilmektedir. Ortam koşullarındaki değişimlerden ve sistemin kendisinden kaynaklanan geçici rejimlerden etkilenmeden yani herhangi bir enerji kesintisi meydana gelmeden çalışan bir sistem simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada YP'lerin ihtiyaç duyduğu hidrojenin sürekli olarak temin edildiği varsayılmaktadır. Hidrojenin bitmesi ve güneşin olmaması durumunda ise yükler enerjisiz kalabilir. Bunu engellemek için güneş enerjisinin fazla olduğu durumda sistem fazla gücü hidrojen üreten bir sisteme aktarabilir. Burada depolanan hidrojen daha sonra güneşin olmadığı durumda yükleri beslemek için kullanılabilir. Bu duruma alternatif olarak sistemde dizel jeneratör kullanılabilir yada sisteme bir rüzgar türbini ilave edilebilir.

6. KAYNAKÇA

1. Z. Ural, B. Gümüş ve M. T. Gençoğlu, (2007), "Bir Pem Yakıt Pili Sisteminin MATLAB ile Modellenmesi", YEKSEM'07, Gaziantep, s:106-112.
2. A. Abete, , R. Napoli and F.A. Spertino, (2003) "Simulation Procedure to Predict the Monthly Energy Supplied by Grid Connected PV Systems", Photovoltaic Energy Conversion, 2003, Proceedings of 3rd World Conference on , Vol:3, Pages:2427 - 2430.
3. İ.H. Altaş and A.M. Sharaf, (19-21 February 2007), "A Novel Photovoltaic On-Line Search Algorithm For Maximum Energy Utilization", (ICCCP'07),_Oman.
4. O. Ö. Mengi ve İ. H. Altaş, (2007), "Fotovoltaik Güneş Pilleri için Genel Amaçlı Bir Matlab/Simulink GUI Modeli", UMES'07, Kocaeli, s:216-219.