

# Labview/Matlab Tabanlı Maksimum Güç Noktasını Takip Edebilen Fotovoltaik Sistem Simülatörü

Necmi ALTIN<sup>1</sup>, Tevfik YILDIRIMOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Beşevler ANKARA

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı  
06500, Beşevler ANKARA

Geliş/Received : 26.04.2011, Kabul/Accepted : 11.08.2011

## ÖZET

Bu çalışmada maksimum güç noktasını takip edebilen bir fotovoltaik sistem simülatörü LabVIEW ve MATLAB/Simulink programları kullanılarak tasarlanmıştır. Sistem fotovoltaik panel, DA/DA artıran dönüştürücü ve maksimum güç noktasını izleme algoritmasından oluşmaktadır. Fotovoltaik panel, ticari panel üreticileri tarafından verilen parametrelerin girilmesi yeterli olacak şekilde LabVIEW'de modellenmiştir. DA/DA güç dönüştürücü MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş ve LabVIEW'deki fotovoltaik panel ve yine LabVIEW ortamında tasarlanan maksimum güç noktasını izleme algoritması ile benzetim arayüz aracı kullanılarak haberleştirilmiştir. Katalog verileri girilerek modellenen fotovoltaik panelin farklı ışınım ve sıcaklık koşulları için maksimum güç noktasını izleme yazılımı ile birlikte çalışması test edilmiş, çalışma sırasında panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri çizdirilmiş ve panelin anlık olarak maksimum güç noktası ve o andaki çalışma noktası bu eğriler üzerinde gösterilmiştir. Hazırlanmış olan bu simülatör hem eğitim amaçlı kullanılabilir hem de yatırım yapılması düşünülen herhangi bir coğrafi bölge için üretilebilecek enerji miktarı hakkında bilgi verebilecek yeterliliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik simülatör, MPPT, LabVIEW

# Labview/Matlab Based Photovoltaic System Simulator With Maximum Power Point Tracking Capability

## ABSTRACT

In this study, LabVIEW and MATLAB/Simulink based photovoltaic system simulator with maximum power point tracking capability is designed. The proposed system composes of photovoltaic module, DC/DC boost converter and maximum power point tracking algorithm. Photovoltaic module is modeled with LabVIEW by entering only data that the commercial producers give in datasheets. DC/DC power converter is modeled with MATLAB/Simulink and is communicated with photovoltaic module and maximum power point tracking algorithm, which are modeled with LabVIEW, by using simulation interface toolkit. Photovoltaic module, which is modeled with data given in datasheets, is tested with maximum power point tracking algorithm for different radiation and temperature levels. The current-voltage and power-voltage variations are plotted. The maximum power point and operation point are shown on these graphs. Proposed simulator can be used for both educational purposes and determining the producible energy level for any location that investment is considered.

**Keywords:** Photovoltaic simulator, MPPT, LabVIEW

## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya ülkelerinin gün geçtikçe sanayi yönünden gelişmesi, artan nüfus ve konfor talebi nedeniyle enerjiye olan talep sürekli artmaktadır. Her ne kadar artan enerji talebi bugün için geleneksel enerji üretim yöntemleri ile karşılanabiliyor olsa da, bu yöntemlerde kullanılan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların yakın gelecekte tükeneceğinin öngörülmesi ve meydana gelen atıkların insan hayatı ve doğal çevre üzerinde önemli tehdit unsurları oluşturması nedeniyle bu talebin karşılanabilmesi için alternatif kaynakların bulunmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların neticesinde güneş, rüzgâr, hidrojen, biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları alternatif kaynaklar olarak tespit edil-

miştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi çevre dostu, doğada bol miktarda bulunan, tükenmeyen, güvenilir, gürültüsüz, yakıt masrafı olmayan bir enerji kaynağıdır. Bu avantajlarından dolayı gelecekte enerji üretiminde büyük bir paya sahip olacağı öngörülmektedir. [1-4].

Güneş enerjisi fotovoltaik (FV) modüller kullanılarak DA elektrik enerjisine dönüştürülebilse de bu modüllerin üretim maliyetleri yüksek, enerji dönüşüm verimleri de düşüktür. Üretim aşamasında FV modül yapımında farklı özelliklere sahip yarıiletken malzemeler kullanılarak modül verimi artırılabilir [5]. Ancak bu yolla verim %10-15 seviyelerinden henüz %30-35 seviyelerine getirilebilmektedir. FV modüllerden daha fazla güç elde etmek ve yatırımdan en yüksek faydayı sağlamak amacıyla geliştirilen bir diğer yol ise güneşin pozisyonu takip edilerek güneş ışınlarının FV modül

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: naltin@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.4, 271-280

üzerine dik açı (90°) ile düşmesini sağlamaktır. Böylece gün içinde güneş enerjisinden daha fazla faydalanılabilir ve enerji dönüşüm verimi artırılabilir [1, 6-7].

Ayrıca FV modüllerin ürettiği çıkış gücü, güneş ışınımı seviyesi ve modülün sıcaklığı gibi farklı parametrelere bağlı olarak da değişmektedir. Bu nedenle FV modülleri, sabit ışınım ve sıcaklık koşulları altında doğrusal olmayan Akım-Gerilim (I-V) ve/veya Güç-Gerilim (P-V) karakteristiği göstermektedirler. Belirli atmosferik koşullar altında belirli bir yükü besleyen bir FV modül için tek bir maksimum güç değeri bulunmaktadır. Modülün sürekli bu güç değerinde çalışması sağlanarak güneş enerjisi üretim sisteminin verimi artırılabilir. FV modüllerinin besledikleri sistemlere maksimum güç aktardığı bu çalışma noktasına Maksimum Güç Noktası (MPP) denilmektedir. FV modüller tarafından beslenen sistemlerin MPP'de çalışması, modüller ile beslenen sistem/sistemler arasında ara yüz oluşturan dönüştürücülerin uygun biçimde denetlenmesi ile sağlanabilir. Böylece, modül çalışma noktası değişen ışınım, sıcaklık, yük gibi parametrelere göre sürekli denetlenerek yüke her an üretilebilen maksimum gücün aktarımı sağlanabilir. FV sistemlerde MPP takibi genellikle bir DA/DA dönüştürücü ile yapılırsa da yükün AA olduğu sistemlerde hem DA/AA dönüşümün hem de MPP takibi işleminin aynı evirici devresinde gerçekleştirildiği tek aşamalı sistemler de mevcuttur. Arttıran tip dönüştürücüler tüm anahtarlama periyodu süresince FV kaynaktan akım çektiklerinden MPP işleminde tercih edilmektedir [1, 8-10].

Güneş enerjisi üretim sisteminde her an maksimum verimin elde edilebilmesi için dönüştürücü devresinin modül çıkışını sürekli olarak takip etmesi ve sistemi MPP' de tutması istenmektedir. Dönüştürücünün MPP'yi en iyi şekilde takip edebilmesi kullanılan maksimum güç noktası takip (MPPT) yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Literatürde uygulama zorluğu, maliyet, mikroişlemci kullanımı, karmaşıklık ve MPP'yi yakalayabilme hızı gibi tasarım özellikleri dikkate alınarak pasif ve aktif yöntemler olarak sınıflandırılabilen yöntemler geliştirilmiştir. Pasif yöntemler ışınım seviyesi, panel sıcaklığı, kısa-devre akımı, açık-devre gerilimi ve modül ile ilgili diğer bazı parametrelerin doğrudan veya matematiksel eşitliklerden faydalanılarak tahmin edilmesine dayanmaktadır [6]. Kullanılan parametreler seçilen modül için önceden hesaplanır ve elde edilen parametreler kullanılarak MPP tespit edilmeye çalışılır. Bu yöntemlerin uygulanmaları basit olsa da, modülün yaşlanmasına bağlı olarak zamanla karakteristik özelliklerinin değişebilmesi, önceden belirlenen parametrelerin gerçek sonuçlar vermemesi gibi nedenler ile MPPT işlemi tam olarak yapılamayabilir [11-12].

Aktif yöntemlerde ise FV modüllerin karakteristik özelliklerinin dikkate alınmadığı, modülden bağımsız olarak modül ve/veya dönüştürücü devresinin çıkış akımı, gerilimi veya gücü gibi parametrelerinin sürekli olarak takip edilmesi ile MPPT işlemi gerçekleştirilir. Aktif yöntemler modülden bağımsız olarak MPPT ger-

çekleştirdiği için pasif yöntemlere göre daha çok tercih edilir. [11-13]

Değiştir-gözle (D&G), artan-iletkenlik, bulanık mantık denetim, yapay sinir ağları, tablodan okuma, pilot hücrenin kullanılması, sabit akım metodu, sabit gerilim metodu, sadece akım ve gerilim metodu, parazitik kapasitans, dalgalanma korelasyon kontrol yöntemi gibi bazı MPPT yöntemleri geliştirilmiştir [5]. Bu yöntemler içerisinde maliyetlerinin düşük ve uygulanmasının kolay olması gibi avantajları nedeniyle D&G ve artan-iletkenlik yöntemlerinin kullanımı daha yaygındır [8, 14].

LabVIEW tasarım programı otomasyon, veri toplama ve kontrol, test ve ölçüm gibi birçok uygulamanın gerçekleştirilebildiği grafiksel bir programlama dilidir. LabVIEW kütüphanelerinde tanımlanan görselleştirilmiş simgeler kullanılarak kod yazımına ihtiyaç duyulmadan kolaylıkla tasarım yapılabilir. LabVIEW tasarım programı, kullanıcı tarafından takip edilen veri ve grafiklerin bulunduğu ön panel (Front Panel) ile tasarımı çalıştıran programın veri akışının gerçekleştiği blok diyagram (Block Diagram) olmak üzere iki çalışma sayfasından oluşmaktadır. Ayrıca LabVIEW programı kullanılarak modellenen herhangi bir sistem için benzetim çalışmaları yapılabildiği gibi gerekli donanımların kullanılması ile gerçek zamanlı bir izleme ve kontrol sistemi de tasarlanabilir [15].

Labview programı sistem modelleme işlemine uygun özelliklere sahip olmasından dolayı FV panellerin modellenmesinde kullanılmıştır. Ancak bu çalışmalarda genellikle sadece bir veya bir dizi FV modül modellenmiş ve sıcaklık ve ışınım gibi doğal şartların değişimine göre sistemin tepkisi incelenmiştir. Bu çalışmalarda sunulan modellerde MPPT işlemi ve/veya bu işlemin gerçekleşeceği bir güç elektroniği dönüştürücüsü bulunmamaktadır [16-18].

Bu çalışmada LabVIEW ve MATLAB/Simulink tasarım programları kullanılarak LabVIEW tabanlı, FV modül modeli ve maksimum güç noktasını izleyebilen DA/DA artıran dönüştürücü olmak üzere iki kısımdan oluşan bir FV Simülator tasarlanmıştır. DA/DA dönüştürücü MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş olup diğer kısımlar LabVIEW grafiksel programlama dili kullanılarak tasarlanmış, iki program arasındaki veri akışı LabVIEW ortamında çalışan Benzetim Arayüz Aracı (Simulation Interface Toolkit - SIT) ile sağlanmıştır. Tasarlanan sistemde kullanıcı tarafından simülator ekranında tanımlı alanlar yardımı ile katalog bilgilerinin girilmesi böylece farklı panellerin modellenmesine imkan tanınmıştır. MPPT için diğer yöntemlere göre önemli avantajları bulunan D&G yöntemi kullanılmıştır. Tasarlanan sistem KYOCERA tarafından üretilen 200 Watt'lık panel verileri girilerek test edilmiştir. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar yük miktarı, ışınım seviyesi veya sıcaklık gibi parametrelerin değişmesi durumlarında MPPT işleminin başarı ile gerçekleştirilebildiğini göstermiştir. Tanımlı ışınım ve sıcaklık değerlerinin değişimine bağlı olarak seçilen panelin gösterdiği çıkış karakteristiği, maksimum güç

noktası, sistemin çalışma noktası, DA/DA dönüştürücü giriş ve çıkış akımları Simülasyon ekranında grafikler ve sayısal göstergeler üzerinden gösterilmiş ve böylece sistemin çalışması görselleştirilerek anlaşılması kolaylaştırılmıştır.

## 2. FV HÜCRE VE MATEMATİKSEL MODELİ (PV CELL AND ITS MATHEMATICAL MODEL)

FV hücreleri güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş enerjisi sistemlerinin temel elemanlarıdır. Hücreler seri ve/veya paralel olarak gruplandırılarak panel veya modül yapıları oluşturulabilmektedir. Panellerin seri ve/veya paralel bağlanması ile de büyük güçlerde dizi yapıları elde edilebilmektedir. Dizi veya modüller güneş enerjisi sisteminin beslediği yüklerin talep ettiği güce bağlı olarak seçilebilmektedir. Güneş hücreleri temel olarak güneş ışığına duyarlı p-n birleşimli bir yarı-iletken diyottan oluşmaktadır. Üretim aşamasında yapımında farklı özelliklere sahip p-n birleşimli yarı iletken malzemeler kullanılabilir. Günümüzde ticari olarak tek kristalli ve çok kristalli silikon hücreleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş ışığı hücre yüzeyine düştüğünde akımı meydana getiren yük taşıyıcılarını (serbest elektronları) harekete geçirir. Hücre çıkışına bir yük bağlandığında veya hücre çıkışı kısa devre edildiğinde bu elektronlar sebebi ile akım akışı meydana gelir. Güneş hücresi üreticileri güneş hücrelerini test ederek bazı parametreleri ve doğrusal olmayan akım-gerilim (I-V) karakteristiğini belirlemekte ve kullanıcılara sunmaktadır. Verilen bu parametreler kullanılarak bir güneş hücresinin matematiksel modeli çıkarılabilir. Tasarlanan matematiksel modelden farklı koşullar için elde edilen I-V eğrileri üretici firmanın vermiş olduğu eğriler ile karşılaştırılarak tasarlanan modelin doğruluğu kıyaslanabilir.

İdeal FV hücrenin eşdeğer modeli Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilde verilen ideal FV hücre için çıkış akımı Eş.1-2'deki gibi yazılabilir:

$$I = I_{pv,hücre} - I_{0,hücre} \left[ \exp\left(\frac{qV}{a.k.T}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

$$I = I_{pv,hücre} - I_d \quad (2)$$

burada  $I_{pv,hücre}$ , hücre üzerine düşen güneş ışığının etkisi ile meydana gelen akımı;  $I_d$ , diyot akımını;  $I_{0,hücre}$ , diyot

için doyum akımı (veya ters yönde tutma akımı);  $q$ , birim elektron yük miktarını ( $1.60217646 \times 10^{-19}$  C);  $k$ , Boltzman sabitini ( $1,3806503 \times 10^{-23}$  J/K);  $T$ , p-n birleşim sıcaklığını (K);  $a$  ise diyot ideallik sabitini göstermektedir [19].

Eş. 1, Şekil 1(a)'da gösterilen FV hücrenin ideal olduğu kabul edilerek elde edilmiştir. Ancak gerçek bir uygulamada Eş. 1 kullanılarak hatalı sonuçlar elde edilebilir. Güvenilir bir modelleme güneş enerjisi sistemindeki zamana göre değişen tüm parametrelerin etkilerinin dikkate alınması ile yapılabilir. Gerçeğe yakın sonuçlar veren bir modelleme yapabilmek amacıyla bazı parametreler ideal hücre eşdeğer devresine eklenerek Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Şekil 1(a) dikkate alınarak Eş. 3 yazılabilir [20]:

$$I = I_{pv} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V+R_s I}{a.V.T}\right) - 1 \right] - \frac{V+R_s I}{R_p} \quad (3)$$

$$V_t = N_s k T / q \quad (4)$$

Burada,  $I_{pv}$ , FV akımı;  $I_0$ , diyot doyum akımı;  $V_t$ , FV hücrenin termal gerilimini;  $R_s$ , FV hücrenin seri direnç eşdeğeri;  $R_p$ , FV hücre paralel direnç eşdeğeri;  $N_s$  ise seri bağlı hücre sayısını ifade etmektedir. Ayrıca güneş hücreleri paralel olarak bağlanabilir. Paralel bağlantı durumu için FV hücre akımı ve diyot akımı için Eş. 5 ve Eş. 6 yazılabilir [19-20].

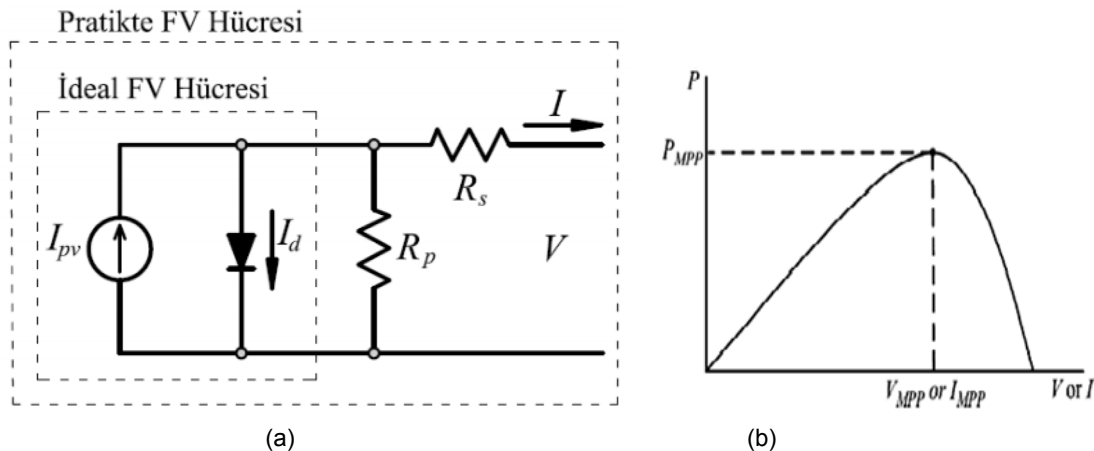
$$I_{pv} = I_{pv,hücre} \cdot N_p \quad (5)$$

$$I_0 = I_{0,hücre} \cdot N_p \quad (6)$$

Eş. 3' de ifade edilen güneş hücresi akımı ( $I_{pv}$ ) ve diyot doyum akımı ( $I_0$ ) üretici firma tarafından yapılan testler sonucu elde edilen ve kataloglarda verilen bazı parametreler kullanılarak hesaplanabilmektedir. FV modülleri üretildikten sonra standart çalışma koşullarında (25 °C sıcaklık ve 1000 W/m<sup>2</sup> ışınım seviyesi) test edilerek Tablo 1'de verilen bazı parametreler belirlenmektedir. Bu parametreler kullanılarak gerçek koşullar için modül akımı Eş. 7 ile hesaplanabilecektir [19]:

$$I = (I_{pv,n} + K_I \cdot \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (7)$$

burada,  $\Delta T$  modülün gerçek sıcaklığı ile standart koşullardaki sıcaklığı arasındaki farkı ( $\Delta T = T - T_n$ ) ifade etmektedir. Gerçek koşullarda diyot doyum akımı Eş. 8



Şekil 1. a) FV hücre eşdeğer modeli, b) FV hücre çıkış eğrisi

ve Eş. 9 ile hesaplanabilir:

$$I_0 = I_{0,n} \left( \frac{T_n}{T} \right)^3 \exp \left[ \frac{q \cdot E_g}{a \cdot k} \left( \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (8)$$

$$I_{0,n} = \frac{I_{sc,n}}{\exp \left( \frac{V_{oc,n}}{a \cdot V_{t,n}} \right) - 1} \quad (9)$$

Tablo 1. FV modüller için standart çalışma koşullarında belirlenen parametreler

Simge	Anlamı
$I_{pv,n}$	Nominal koşullarda tespit edilen güneş modül akımı
$I_{0,n}$	Nominal koşullarda diyot doyum akımı
$V_{oc,n}$	Açık devre gerilimi
$I_{sc,n}$	Kısa devre akımı
$V_{MPP}$	Maksimum güç gerilimi
$I_{MPP}$	Maksimum güç akımı
$P_{MPP}$	Standart çalışma koşullarında maksimum güç
$E_g$	Yarı iletken malzeme için bandgap enerjisi (eV)
$V_{t,n}$	Standart koşullarda tespit edilen termal gerilim
$G$	Modül yüzeyine düşen ışınım miktarı ( $W/m^2$ )
$G_n$	Standart koşullarda kullanılan ışınım miktarı ( $W/m^2$ )
$T$	Gerçek koşullarda modül sıcaklığı (K)
$T_n$	Standart koşullarda modül sıcaklığı (K)
$K_I$	Kısa devre akım (kısa devre akım/sıcaklık) katsayısı
$K_V$	Açık devre gerilimi (açık devre gerilim/sıcaklık) katsayısı

Eş. 9, Eş. 8'de yerine yazılarak FV modelinde kullanılacak eşitlik elde edilebilir [15].

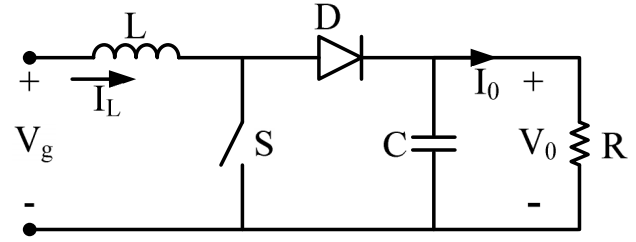
$$I_0 = \frac{I_{sc,n} + K_I \Delta T}{\exp \left( \frac{V_{oc,n} + K_V \Delta T}{a \cdot V_{t,n}} \right) - 1} \quad (10)$$

Eş. 9 kullanılarak herhangi bir güneş hücresinin geniş bir sıcaklık aralığı için I-V ilişkisi hesaplanabilir [19, 21-22].

### 3. DA/DA ARTIRAN DÖNÜŞTÜRÜCÜ (DC/DC BOOST CONVERTER)

Şekil 2'de devre şeması gösterilen DA/DA artıran dönüştürücüler hem anahtarın iletim anında hemde kesim anında kaynaktan akım çekmeleri dolayısıyla FV panellerde üretilen enerjinin her an kullanılabilmesine imkan tanıdıkları için FV sistemlerde yaygın olarak

kullanılmaktadır [5]. DA/DA dönüştürücünün çalışmasını açıklayan eşitlikler aşağıdaki gibi yazılabilir:



Şekil 2. Artıran dönüştürücü temel yapısı

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_s - (1 - d)V_0 \quad (11)$$

$$C \frac{dV_0}{dt} = (1 - d)I_L - \frac{V_0}{R} \quad (12)$$

burada  $d$  kontrol sinylidir ve anahtar iletimde iken "1" kesimde iken "0"dır.  $X_1=I_L$  ve  $X_2=V_0$  için durum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{X}_1 = \frac{V_s}{L} - (1 - d) \frac{X_2}{L} \quad (13)$$

$$\dot{X}_2 = (1 - d) \frac{X_1}{C} - \frac{X_2}{RC} \quad (14)$$

Eşitlik 13 ve 14 durum uzay formunda aşağıda verilmiştir.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -(1-d) \frac{1}{L} \\ (1-d) \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_s \quad (16)$$

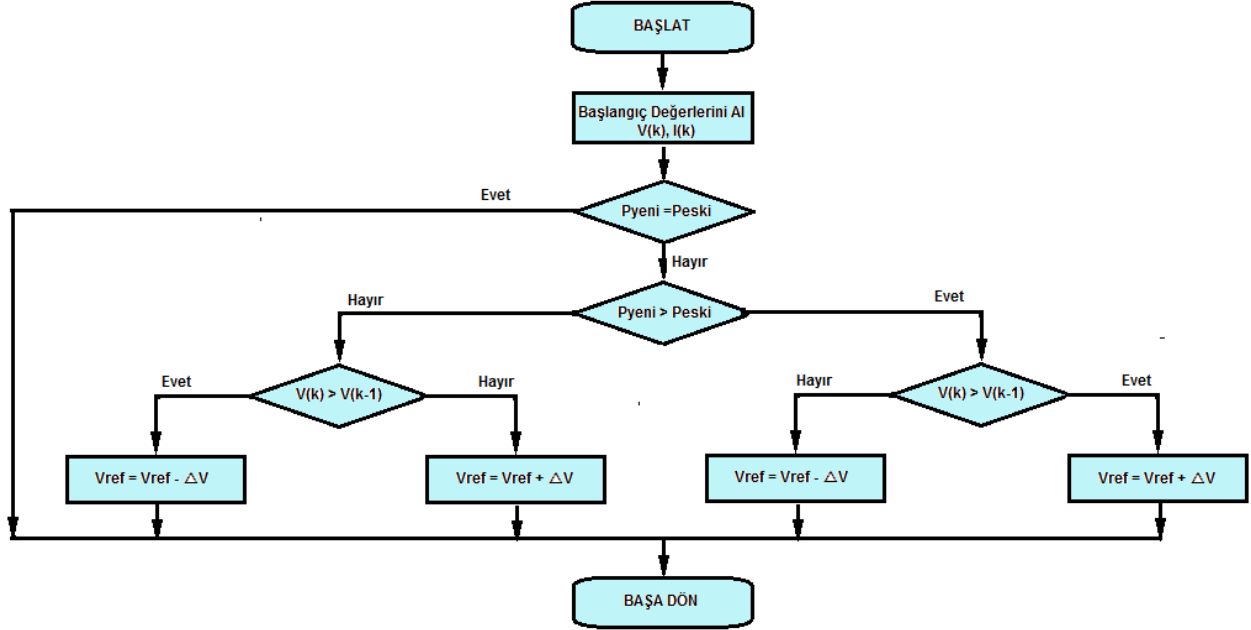
### 4. DEĞİŞTİR & GÖZLE YÖNTEMİ (PERTURB&OBSERVE METHOD)

FV modüller tarafından beslenen yüklere her an üretilebilecek maksimum seviyede güç aktarılabilmesi ancak modül çıkışının sürekli olarak takip edilmesi ile mümkündür. Bu nedenle birçok MPPT yöntemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. D&G yöntemi MPPT amacıyla tasarlanan ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. D&G yönteminde modüle bağlı kalınmaksızın çıkış gücü sürekli olarak takip edilir. Referans sinyalin değişimi ile güçte meydana gelen değişim arasında ilişki kurulur ve bir sonraki değişimin yönü hakkında karar verilir. Şekil 3'de D&G algoritmasının akış diyagramını göstermektedir.

FV modüllerin farklı parametrelerden etkilenen ve doğrusal olmayan I-V karakteristiklerinde her şart için tek bir MPP bulunmaktadır. Tasarlanan MPPT algoritması ile dönüştürücü yük akım ve gerilimini dolayısıyla FV panelden çekilen güç miktarını değiştirmekte ve sistemin MPP'de çalışmasını sağlamaktadır. Şekil 1.(b) FV modülünün güç gerilim/akım grafiğini göstermektedir. Bu eğriye göre, referans sinyalin değişim yönünü çalışma noktasının MPP'ye göre konumu belirler. Çalışma noktası MPP'nin sağında ise referans gerilim artırılarak, solunda ise azaltılarak çalışma noktasının

MPP'ye ulaşması sağlanır. Tablo 2'de referans sinyalin anlık olarak değişimi ile çıkış gücünün anlık değişimi arasındaki ilişki görülmektedir. Görüldüğü gibi bu ilişki 4 durum ile ifade edilebilir. Referans sinyalin anlık olarak artırılması/azaltılması çalışma noktası MPP'ye ulaşmaya kadar periyodik olarak devam eder. Tablo 2'ye göre ifade edilen 4 durumdan 1 ve 4 nolu durumlarda çalışma noktasının MPP'nin sağında, 2 ve 3 nolu durumlar ise MPP'nin solunda olduğu söylenebilir.

rekli ve/veya ayrı zamanlı olarak analiz edilmelerine imkân sağlayan MATLAB/Simulink programının üstün özellikleri birleştirilmiştir. Bu çalışmada tasarlanan simülasyon FV panel modeli ve MPPT algoritması ile dönüştürücü modeli olmak üzere iki kısımda incelenebilir. FV panel ve MPPT işlemi LabVIEW ortamında, DA/DA artıran dönüştürücü ise MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. FV panel çıkış gerilimi ve MPPT algoritması ile hesaplanan referans gerilim



Şekil 3. Değiştir&Gözle algoritmasının akış diyagramı

Tablo 2. Referans sinyalin anlık değişimine bağlı olarak çıkış gücünün değişimi

No	Referans	Güçteki değişim	Değişimin yönü
1	+	+	+
2	+	-	-
3	-	+	-
4	-	-	+

D&G yöntemi uygulanması basit, düşük maliyetli, karmaşık olmayan, az sayıda parametre (modül akımı ve gerilimi) ölçümünün yeterli olduğu bir yöntem olmasına karşın, MPP etrafında salınım yapması gibi bir dezavantaja da sahiptir. Değişken adım aralığı kullanılarak MPP etrafında meydana gelen bu salınım azaltılabilir [8, 23]. Ayrıca bu salınımların azaltılması amacıyla D&G yönteminde bir sonraki adım büyüklüğünün bulanık mantık denetleyici ile tespit edilmesi, çalışmanın sabit gerilim yöntemi ile belirlenen noktadan başlatılması gibi iyileştirici değişikliklerde yapılmıştır [8, 24].

## 5. FV SİSTEM SİMÜLATÖRÜNÜN TASARIMI (DESIGN OF PV SYSTEM SIMULATOR)

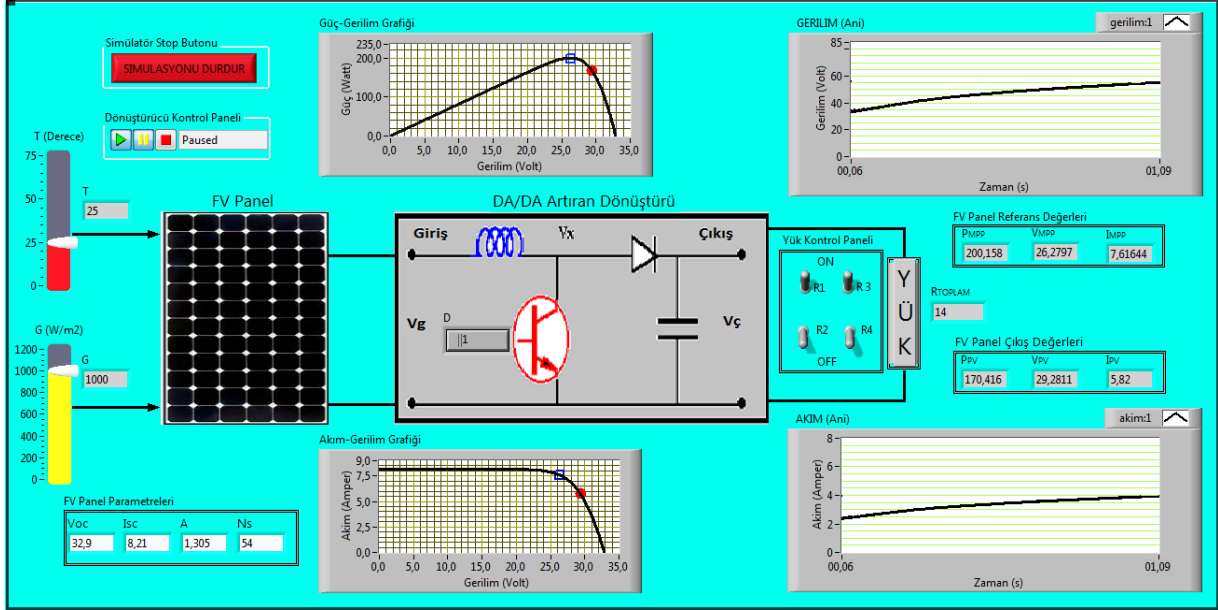
Bu çalışmada LabVIEW ve MATLAB/Simulink programlama dillerinin birlikte kullanıldığı bir FV sistem simülasyonu tasarlanmıştır. Çalışmada LabVIEW ile doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik sistemlerin sü-

LabVIEW ortamından Simulink ortamına, Simulink ortamındaki dönüştürücünün giriş/çıkış akım ve gerilimi bilgileri ise Simulink ortamından LabVIEW ortamına aktarılmaktadır. İki program arasında veri akışı LabVIEW ortamında çalışan SIT ile sağlanmıştır. Şekil 4'de, tasarlanan FV simülasyonun ön paneli gösterilmiştir.

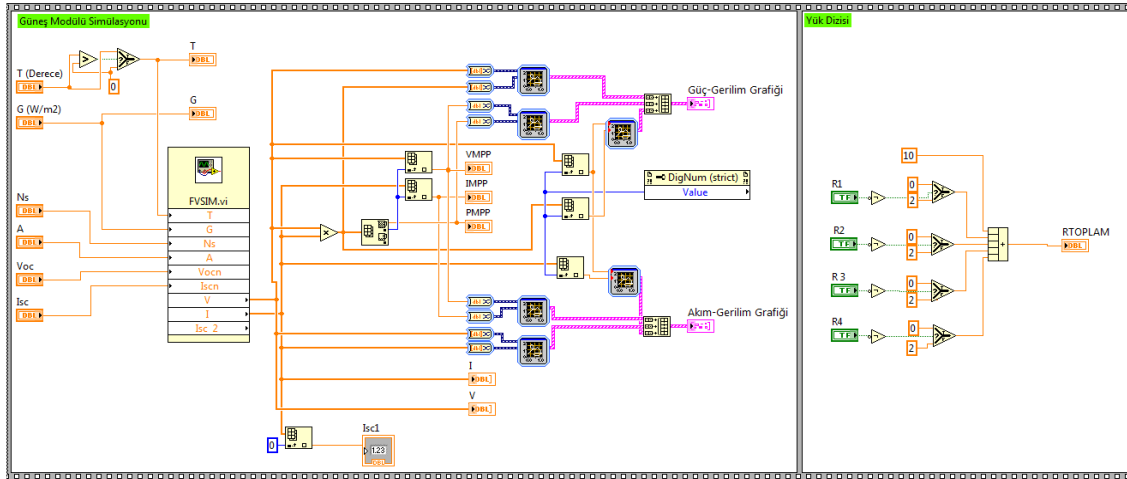
Kullanıcı tarafından simülasyon ekranında "FV Modül Parametreleri" olarak gösterilen alana panel üreticilerin kataloglarında standart çalışma koşulları için verdikleri panelin açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ), kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ), seri hücre sayısı ( $N_s$ ) değerlerinin girilmesi ile FV panel modellenmektedir. Böylece tasarlanan sistemde farklı FV panellerin kullanılmasına imkân tanınmıştır. Burada A, panel modelinde kullanılan uygunlaştırma katsayısıdır. Ayrıca ışınım ve sıcaklık gibi atmosferik koşulların değiştirilebilmesi için kaydırma butonları kullanılmıştır. Işınım ( $G$ ) 0-1200 W/m<sup>2</sup> aralığında, sıcaklık ( $T$ ) ise 0-75°C aralığında tanımlanmıştır. LabVIEW, girilen parametreler ve tasarlanan modeli kullanarak FV panelin akım ve gerilim değerleri Eş. 1-10'u kullanarak hesaplamakta ve elde edilen bu değerleri ile akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrilerini çizmektedir. Şekil 5'de LabVIEW'de tasarlanan FV panelin blok diyagramı gösterilmiştir. Girilen parametrelere bağlı olarak FV panelden elde edilebilecek maksimum güç ( $P_{MPP}$ ), maksimum güç gerilimi ( $V_{MPP}$ ) ve

maksimum güç akımı ( $I_{MPP}$ ) değerleri hesaplanmakta ve simülasyon ekranında "FV Modül Referans Değerleri" kısmında gösterilmektedir. Ayrıca maksimum güç noktası çizdirilen I-V ve P-V grafiklerinde de bir nokta ile işaretlenmektedir.

mülator ekranında panel için çizdirilen I-V ve P-V eğrilerinde MPP ile beraber gösterilmektedir. Böylece eğri üzerinden sistemin MPP'de çalışıp çalışmadığı, MPP'nin sağında mı, solunda mı olduğu ve MPPT hızı görülebilmektedir.



Şekil 4. Tasarlanan FV simülasyon ön paneli



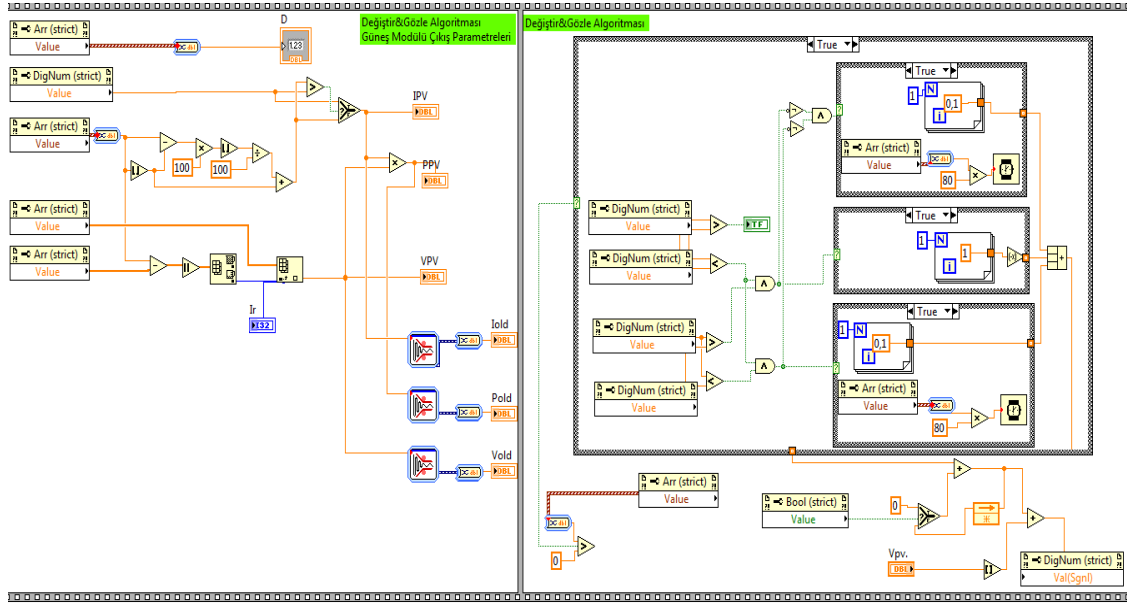
Şekil 5. FV panel ve yük grubu blok diyagramı

Bu çalışmada MPPT yöntemi olarak en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi olan D&G yöntemi kullanılmıştır. Seçilen yöntem ile MPP sürekli olarak takip edilmekte ve bu işlem LabVIEW tarafından yürütülmektedir. Şekil 6'da tasarlanan D&G algoritmasının blok diyagramı verilmiştir. LabVIEW'de tasarlanan D&G algoritması ile belirlenen referans gerilim değeri Simulink'e aktarılmakta ve burada tasarlanan bir PI denetleyici ile arttırıcı DA/DA dönüştürücü, dolayısıyla sistemin çalışma noktası denetlenmekte ve panelden her an mümkün olan en yüksek seviyede güç çekilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca sistemin çalışma noktası da si-

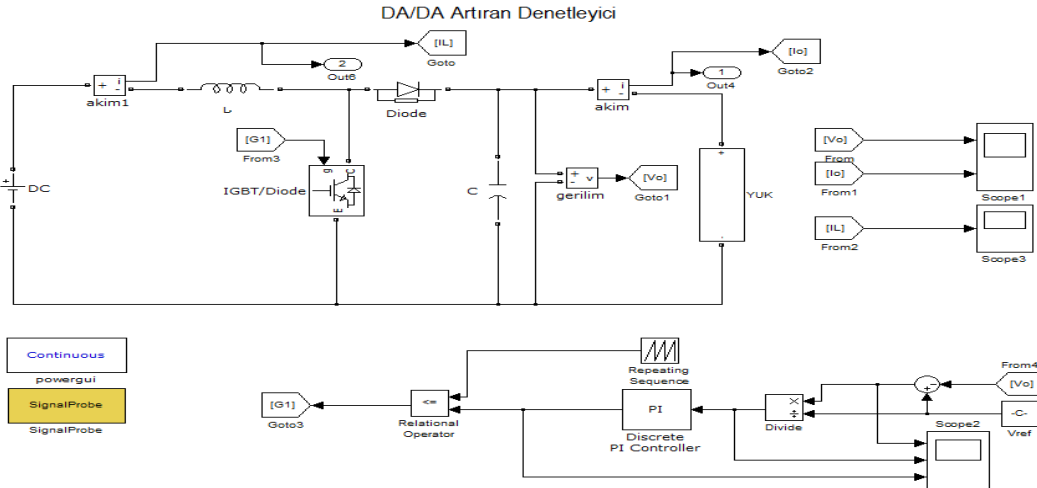
DA/DA arttırıcı dönüştürücünün MATLAB/Simulink modeli Şekil 7'de görülmektedir. Burada gösterilen DA kaynağın gerilim seviyesi FV panel çıkış gerilime eşittir ve LabVIEW tarafından belirlenmektedir. Simulink ortamında modellenen dönüştürücüden çıkış konektörleri kullanılarak alınan veriler "SIGNALPROBE" bloğu ile LabVIEW'e aktarılmaktadır [15]. Ayrıca DA/DA arttırıcı dönüştürücünün çıkışına kademeli bir yük grubu bağlanmış ve sistem farklı yük seviyelerinde test edilmiştir. Bu yük grubu simülasyon ön panelinde "Yük Kontrol Paneli"nde bulunan anahtar ile LabVIEW tarafından denetlenmektedir.

DA/DA arttıran dönüştürücünün çıkış akım ve gerilim grafikleri simülâtör ön panelinde gösterilmektedir.

W panel gücü için panelin I-V ve P-V grafikleri görülmektedir. Görüldüğü gibi sistem MPP'den uzakta çar-



Şekil 6. LabVIEW'de tasarlanan D&G algoritması blok diyagramı



Şekil 7. DA/DA arttıran dönüştürücünün MATLAB/Simulink modeli

FV simülâtörünün ön paneli üzerinde benzetim çalışmalarının denetiminde kullanılan çalıştırma, durdurma (START/STOP) ve dondurma (PAUSE) butonları bulunmaktadır. Ayrıca sistem çalışırken panel çıkış gerilimi, akımı ve gücü " FV Panel Çıkış Değerleri" bölümünde gösterilmektedir.

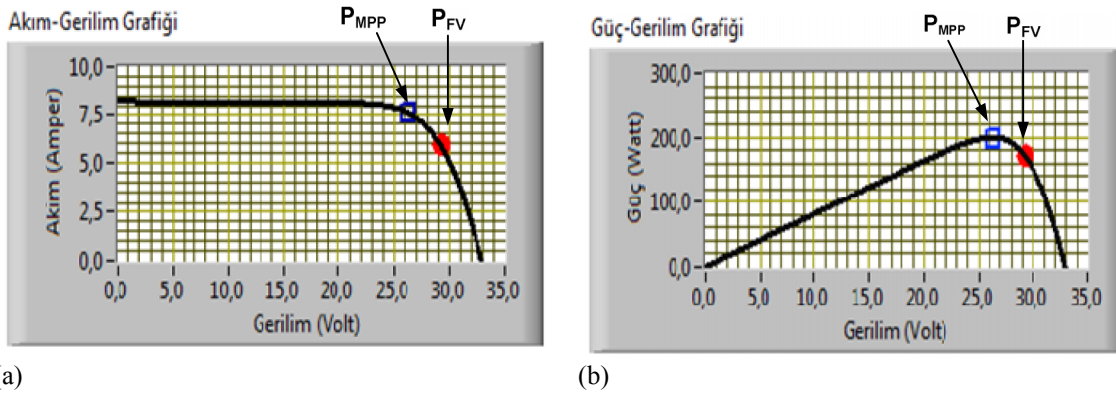
## 6. BENZETİM SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Kullanıcı tarafından farklı FV modüller için istenilen parametreler simülâtör ekranına girilerek elde edilen sonuçları analiz edilebilir. Bu çalışmada KYOCERA firması tarafından üretilen KC200GT model 200 Watt gücünde FV panelin katalog değerleri kullanılarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Farklı yük, ışınım ve sıcaklık seviyeleri için sistemin çalışması ve performansı test edilmiştir. Şekil 8'de 170

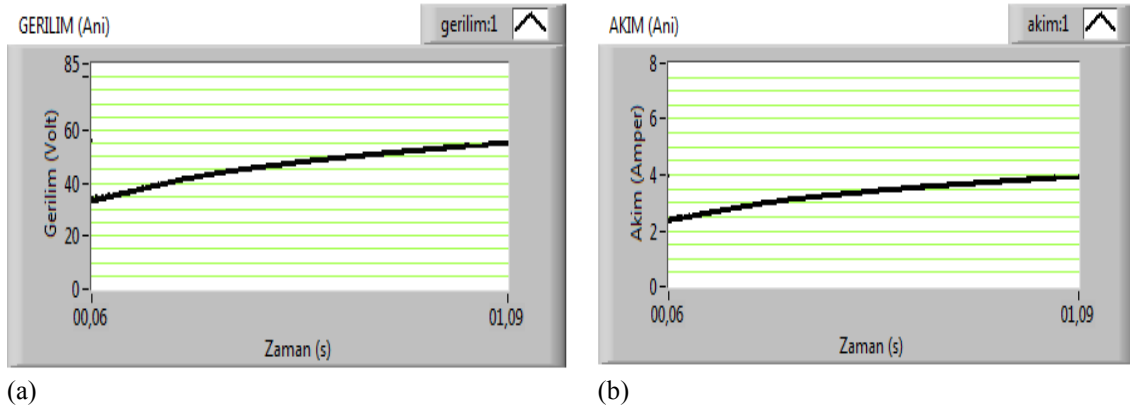
ışmaktadır. Bu durumda DA/DA arttıran dönüştürücü LabVIEW'de çalışmakta olan D&G algoritmasının belirlediği referans gerilim değeri kullanılarak PI denetleyici tarafından kontrol edilmektedir. DA/DA arttıran dönüştürücünün çıkış akım ve gerilimi Şekil 9'da görülmektedir.

Bu durumda D&G algoritması DA/DA arttıran dönüştürücüyü sistemi FV paneli MPP'ye getirecek şekilde denetlemektedir. Sonuç olarak sistemin çalışma noktası değişerek panel MPP'de çalışmaya başlayacaktır. Şekil 10'da MPP noktasında çalışırken FV panelin I-V ve P-V grafikleri görülmektedir. Bu durumda DA/DA arttıran dönüştürücünün çıkış akım ve gerilimi Şekil 11'de verilmiştir. Görüldüğü gibi sistemin MPP'de çalışıp çalışmadığı, MPP'nin sağında mı, solunda mı olduğu ve MPPT hızı görselleştirilmiştir.

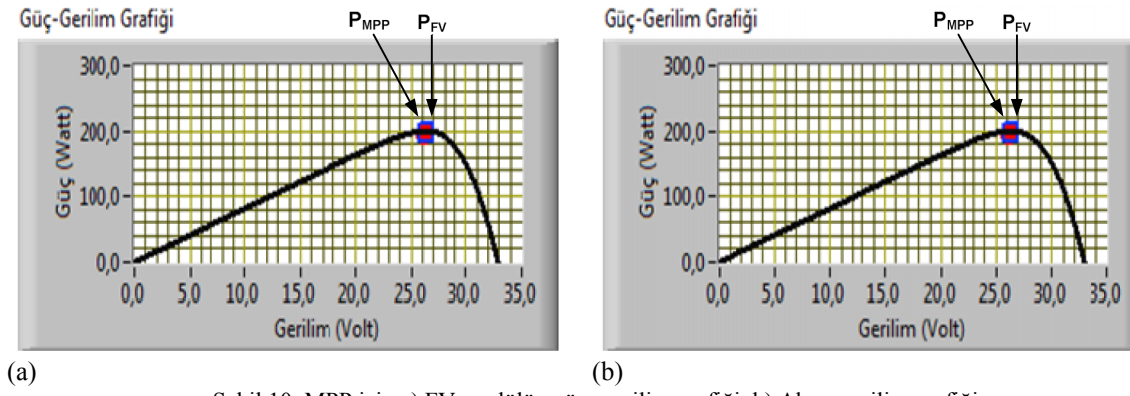




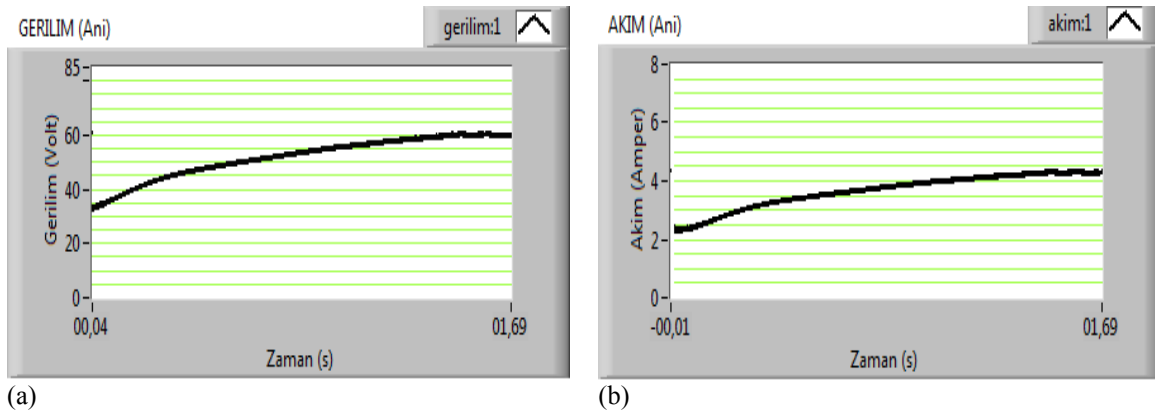
Şekil 8. 170 W güç değerinde FV panel a) Akım-gerilim grafiği, b) Güç-gerilim grafiği



Şekil 9. 170 W güç değerinde DA/DA dönüştürücü a) Çıkış gerilimi grafiği b) Çıkış akımı grafiği



Şekil 10. MPP için a) FV modülün güç -gerilim grafiği, b) Akım gerilim grafiği



Şekil 11. MPP için DA/DA dönüştürücü a) Çıkış gerilimi, b) Çıkış akımı



## 7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada MATLAB/Simulink ve LabVIEW programlarının birlikte kullanıldığı maksimum güç noktasını takip edebilen bir FV sistem simülatorü tasarlanmıştır. LabVIEW'de tasarlanan FV panel ve maksimum güç noktasının takip edilmesi için tasarlanan D&G algoritması ile Simulink'de tasarlanan DA/DA artıran dönüştürücü arasında veri akışı LabVIEW ortamında çalışan SIT kullanılarak sağlanmıştır. Tasarlanan simülatorü üreticilerin kataloglarında verdikleri verileri kullanarak üreticiler tarafından girilmesi ile modelleme işlemini gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan simülatorde, FV panel modelleme işlemi üretici katalog verilerinin kullanıcı tarafından sisteme girilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Böylece farklı modüllerin çeşitli ışınım, sıcaklık ve yük koşullarına ilişkin bilgisayar ortamında analiz sonuçları elde edilebilmektedir.

Tasarlanan FV simülatorü KYOCERA tarafından üretilen 200 Watt gücündeki KC200GT panelin parametreleri kullanılarak test edilmiş ve seçilen panel için üretici firma tarafından standart koşullarda tespit edilen çıkış değerleri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca maksimum güç noktasını izleyen DA/DA dönüştürücü içeren bir FV sistem tasarlanmış ve çalışması görselleştirilerek anlaşılması kolaylaştırılmıştır. Sunulan simülatorü eğitim amaçlı kullanılabilir gibi enerji yatırımı yapılacak herhangi bir bölge hakkında ön değerlendirme yapmak için de rahatlıkla kullanılabilir özelliktedir.

## 8. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2011-45 proje numarası ile desteklenmektedir.

## 9. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Koutroulis E., Kalaitzakis K., Voulgaris N. C., Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System, IEEE Transaction on Power Electronics, 16, 46-54, 2001.
2. Gules R., De Pellegrin Pacheco J., Hey H. L., Imhoff J., A Maximum Power Point Tracking System with Parallel Connection for PV Stand-Alone Applications, IEEE Transaction on Industrial Electronics, 55, 2674-2683, 2008.
3. Shicheng Z., Wei L., Research and Implementation of Photovoltaic Charging System with Maximum Power Point Tracking, 3rd IEEE Conference on the Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 619-624, 2008.
4. Kwon J. M., Kwon B. H., Nam K. H., Three-Phase Photovoltaic System with Three-Level Boosting MPPT Control, IEEE Transactions on Power Electronics, 23, 2319-2327, 2008.
5. Ş. Özdemir, "Fotovoltaik Sistemler için Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2007.
6. Masoum M. A. S., Dehbonei H., Fuchs E. F., Theoretical and Experimental Analysis of Photovoltaic Systems with Voltage-and Current-Based Maximum Power-Point Tracking, IEEE Engineering Review, 22, 172-1274, 2002.

7. Hu J., Zhang J., Wu H., A Novel MPPT Control Algorithm Based on Numerical Calculation for PV Generation Systems, IEEE 6th International on the Power Electronics and Motion Control Conference, 2103-2107, 2009.
8. Femia N., Petrone G., Spagnuolo G., Vitelli N., Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method, IEEE Transaction on Power Electronics, 20, 963-973, 2005.
9. Kottas T. L., Boutalis Y. S., Karlis A. D., New Maximum Power Point Tracker for PV Arrays Using Fuzzy Controller in Close Cooperation with Fuzzy Cognitive Networks, IEEE Transactions on Energy Conversion, 21, 793-803, 2006.
10. Desai H. P., Patel H. K., Maximum Power Point Algorithm in PV Generation: An Overview, 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 624-630, 2007.
11. D'Souza N. S., Lopes L. A. C., Liu X., An Intelligent Maximum Power Point Tracker Using Peak Current Control, IEEE 36th Power Electronics and Specialists Conference, 172, 2005.
12. Diab A. A., Sourkounis C., Variable Step Size P&O MPPT Algorithm for PV Systems, 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 1097-1102, 2010
13. Ahmed E. M., Shoyama M., Single Variable Based Variable Step Size Maximum Power Point Tracker for Stand-Alone Battery Storage PV Systems, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 210-216, 2011.
14. Saad N. H., Sattar A. A., Mansoor A. M., Artificial Neural Controller for Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System, Eleventh International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 562-567, 2006.
15. National Instruments, LabVIEW Simulation Interface Toolkit User Guide, pp.1-37, 2003.
16. A. See Kok Bin, S. Weixiang, O. Kok Seng, S. Ramanathan, "Low I-Wern; Development of a LabVIEW-based test facility for standalone PV systems", Third IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications, DELTA 2006, 2006.
17. S.Vergura, E. Natangelo, "Labview Interface For Data Analysis Of PV", International Conference on Clean Electrical Power, 236 - 241, 2009.
18. Y. Gang, C. Ming, "LabVIEW Based Simulation System for the Output Characteristics of PV Cells and the Influence of Internal Resistance on It", WASE International Conference on Information Engineering, ICIE '09 Vol.1, 391 - 394, 2009.
19. Villalva M. G., Gazoli J. R., Filho E. R., Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, IEEE Transactions on Power Electronics, 24, 1198-1208, 2009.
20. Otieno C. A., Nyakoe G. N., Wekesa C. W., A Neural Fuzzy Based Maximum Power Point Tracker for a Photovoltaic System, AFRICON, 1-6, 2009.
21. Li J., Wang, H., Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation Based on the Optimal Gradient Method, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 1-4, 2009.
22. Dio D. V., Cascia D. L., Miceli R., Rando C., A Mathematical Model to Determine the Electrical Energy Production in Photovoltaic Fields Under Mismatch Effect, International Conference on Clean Electrical Power, 46-51, 2009.

23. Elgendy M. A., Zahawi B., Atkinson D. J., Giaouris D., Dynamic Behaviour of DC Motor-Based Photovoltaic Pumping Systems Under Searching MPPT Algorithm, International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), 413-418, 2009.
24. Neil S. D'Souza, Luiz A. C. Lopes and XueJun Liu, "An Intelligent Maximum Power Point Tracker Using Peak Current Control", Proceedings of the 36th IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC-05), Recife, Brazil, pp. 172-177, 12- 16 Jun. 2005