
Araştırma Makalesi / Research Article

PV Panellerin Farklı Koşullar Altında I-V Eğrisini Çıkartan ve Maksimum Güç Noktası Takibi Yapan Deneysel Sisteminin Tasarımı

Ali DURUSU^{1*}, Ali ERDUMAN²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

²Hakkari Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari
(ORCID: 0000-0002-8749-4570) (ORCID: 0000-0003-4116-3159)

Öz

Yakın tarihte artan sanayileşmeyle beraber enerjiye olan ihtiyaç artmıştır. Konvansiyonel enerji ham maddelerinin azalması ve çevreye olan kötü etkilerinin artmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır. Günümüzde güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok bilinen ve tercih edilenlerden biridir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için fotovoltaik (PV) güneş panelleri kullanılmaktadır. Bir PV hücrenin elektriksel karakteristiği genellikle akım-gerilim (I-V) eğrisi ile temsil edilir. Bu eğri ışınım, sıcaklık vb. dış ortam değişkenlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dış ortam değişkenlerine bağlı olarak PV güç-gerilim (P-V) eğrisi üzerinde maksimum güç noktası takibi (MPPT) yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, PV panellerin I-V ve P-V eğrilerinin çıkartılıp bir ekranda gösterilmesi ve maksimum güç takibi yapan devre tasarlanmıştır. MPPT için Sars&Gözlemle (P&O) algoritması kullanılmıştır. MPPT devresinde yükseltici dc-dc dönüştürücü tercih edilmiştir. Sensörler yardımıyla panelden elde edilen akım ve gerilim değerleri, kontrol kartına aktararak değerlendirilmiş ve yükseltici tip dönüştürücüdeki anahtarlama elemanı için anahtarlama sinyallerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece PV panelin o anki verebileceği maksimum güç elde edilmiştir. Ayrıca farklı durumlar altında elde edilen akım gerilim değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Anahtar kelimeler: I-V Eğrisi, MPPT, Deneysel seti.

Design of an Experimental Test Bench to Obtain I-V Curve and to Track Maximum Power Point of PV Modules under Different Conditions

Abstract

With the increasing industrialization in recent history, the need for energy has increased. The importance of renewable energy sources has increased due to the reduction of conventional energy raw materials and the increasing environmental impact. Nowadays, solar energy is one of the most known and preferred renewable energy sources. Photovoltaic (PV) solar panels are used to convert solar energy into electrical energy. The electrical characteristic of a PV cell is generally represented by the current-voltage (I-V) curve. This curve depends on radiation, temperature and other external environment variables. Maximum power point tracking (MPPT) methods are used to obtain maximum power under variable external environment conditions. In this study, circuit is designed to monitor I-V and P-V curves and to obtain maximum power of PV modules. Perturbation&Observation (P&O) algorithm was used for MPPT control. The boost type dc-dc converter is preferred in the MPPT circuit. With the help of sensors, the current and voltage values are obtained from the PV modules and transferred to the control board to evaluate and produce of switching signals of converter. Thus, PV module can give maximum power at the different conditions. In addition, current and voltage values which are obtained under different conditions are transferred to personal computer.

Keywords: I-V Curve, MPPT, Experimental test bench.

*Sorumlu yazar: adurusu@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi: 11.09.2019, Kabul Tarihi: 06.04.2020

1. Giriş

Son yıllarda fosil yakıtların tükenmeye yüz tutması ve çevreye verdikleri etkilerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumu hızla artmıştır [1]. Özellikle fotovoltaik (PV) sistem kullanımı enerji talebindeki artışı karşılamak amacı ile artmıştır [2]. PV sistemler güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren en temel teknoloji olarak şebekeyle bağlantısı olmayan noktaların elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için şebekeden bağımsız veya şebekeye satış yapmak amacı ile şebeke bağlantılı olarak kurulmaktadır [3].

Çevresel değişkenler; sıcaklık, nem, ışınım miktarı, gölgelenme, bulutluluk etkisi, yağmur, kar ve kirlilik olarak sınıflandırılabilir [4-7]. Bu etkileri kısaca tanımlamak gerekirse; Hava sıcaklığının artması sonucunun da PV hücre sıcaklığı artmakta ve üretilecek çıkış gücü de azalmaktadır. Gölgelenme etkisi sonucunda ise panelin gölgelenmeyen kısmı gölgelenen kısma göre daha fazla üretim yapacaktır. Gölge düşmüş bir güneş paneli muhtemelen beklenenin sadece %15'i kadar elektrik üretecektir. Işınım şiddetindeki değişim ise doğrudan panelin üzerine düşen radyasyon miktarını değiştireceği için üretimi etkileyecektir. Bu değişim radyasyon miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Yağmurlu, bulutlu ya da sisli bir gün, elektrik üretimi varsayılanın %15'ine kadar düşebilir. Çoğunlukla daha büyük bulut katmanlarının görüldüğü günler, güneş enerjisi sisteminin üretimi varsayılanın %40'na kadar düşebilir. Panellerin üzerinin karla kaplı olması durumunda ise güneş panellerinin hiç üretim yapmadığı günler olabilmektedir.

PV sistemlerin verimleri düşük ve direkt bir kullanıcıya bağlandıklarında her zaman maksimum güç aktarımı yapamamaktadırlar[8]. Bu istenmeyen durumu ortadan kaldırmak için kullanıcı ile PV arasına bir ara kontrol düzeneği yerleştirilmektedir. Bu düzenek Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MPPT) olarak isimlendirilmektedir[9,10-11]. MPPT'ler güneş enerji sistemlerindeki en önemli bileşenlerden bir tanesidir. MPPT temel olarak bir dc-dc dönüştürücüdür. Bu dönüştürücü farklı kullanım yerine göre düşürücü, yükseltici veya düşürücü-yükseltici tip olabilmektedir. Bu düzenekler temel olarak PV'yi güç-gerilim(P-V) karakteristiğindeki maksimum çalışma noktasına ayarlamaya çalışır [12].

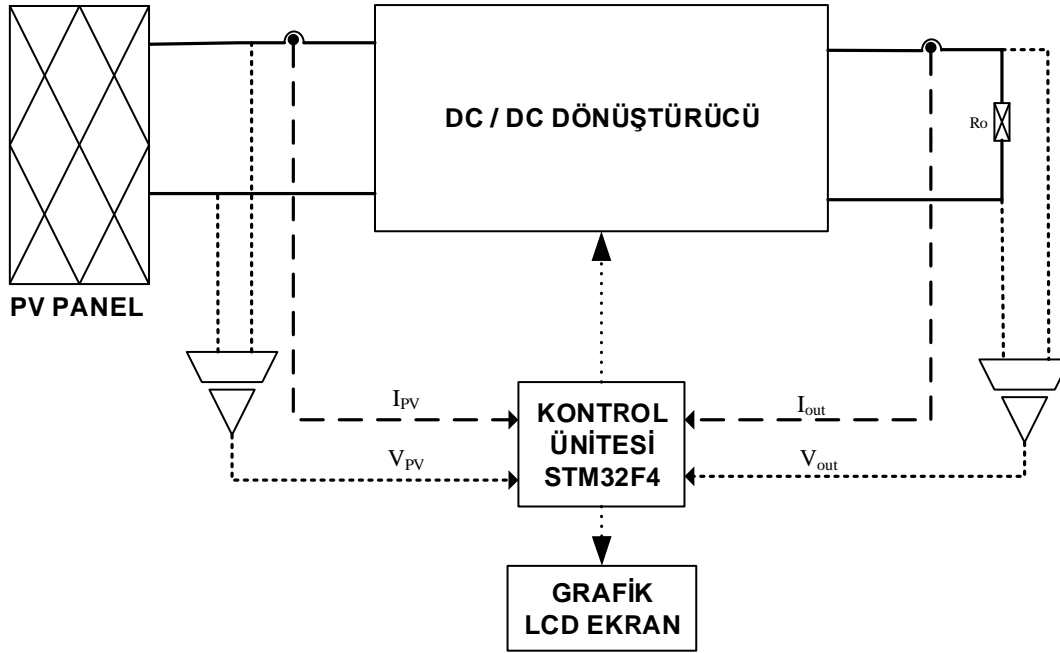
MPPT algoritmaları dolaylı ve direkt olmak üzere ikiye ayrılır. Direkt denetim algoritmalarında PV gücü sürekli olarak takip edilerek çıkış gücünü maksimum yapacak şekilde referans sinyaller gönderilirken dolaylı algoritmalar PV çıkış gücünü sürekli olarak hesaplamaz ve panellere bağlı olarak verilen bir referans denetim bölgesinde çalıştırılır. Direkt denetim algoritmaları panel tipine bağlı değildir. Direkt denetim algoritmaların maksimum güç noktasını yakalama başarılı olsalar da dolaylı denetim yöntemlerine oranla yavaş kalmaktadırlar. Dolaylı denetim yöntemleri panel tipine bağlı olmaması ve sürekli çıkış gücünü kontrol etmemesi gibi dezavantajlara sahiptirler [13]. Dolaylı ve direkt denetim yöntemlerinin birlikte kullanılması ile gerçek maksimum güç noktasını izleyen ve hızlı bir algoritma elde edilmektedir [14].

Güneş enerji panellerinin üretimlerinin ve yatırımlarının pahalı olması sebebiyle panellerin kurulumunun yapılmadan önce kurulacağı bölgenin özelliklerin doğru değerlendirilmesi yatırımın geri dönüşümü açısından büyük önem arz etmektedir. Kurulacak bölgenin ortam şartlarının kullanılacak panel teknolojisine nasıl etki yapacağı simülasyon programları ile değerlendirilebilmektedir. Bu olumsuz durumun etkilerini azaltmak için ortam şartlarında çalışabilen deney düzenekleri ile ortadan kaldırılabilir. Bu çalışma kapsamında güneş enerji panellerinin toz ve kirlenmeye bağlı olarak çıkış güçlerindeki üretimin tespit edildiği ve sistemin en yüksek güç değerlerinde tutulmasını sağlayan yeni bir deney düzeneği tanıtılmıştır. Kurulan bu deney düzeneği panelin akım gerilim değerlerini anlık olarak okuyarak belleğine yüklenen maksimum güç takip noktası algoritmasına göre sistemin maksimum güçte tutulmasını sağlamaktadır. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde sırasıyla kullanılan materyal ve metot, deney düzeneği, sonuç ve öneriler kısımları verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Gerçekleştirilmeye çalışılan devrenin prensip şeması Şekil 1'de verilmektedir. Burada devrenin giriş kısmında yükseltici türü bir dc-dc dönüştürücü devre kullanılmış olup P&O MPPT algoritmasına göre kontrol edilmektedir. Yükseltici dönüştürücü girişinde 22.1 V açık devre gerilimine sahip 40 Wp gücünde 1 adet PV panel kullanılmıştır. Yükseltici dönüştürücünün çıkışında, yük olarak direnç

kullanılmasıyla o anki doluluk oranı değeri ve yükseltici dönüştürücü verimine göre çıkış gerilimi değişmektedir.



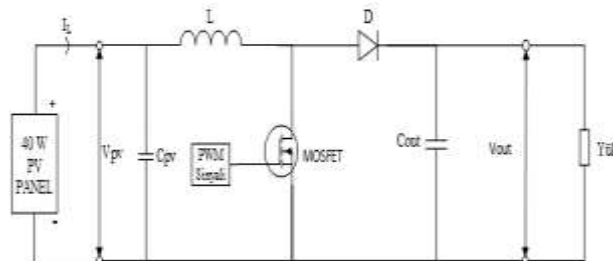
Şekil 1. Tasarlanan devreye ait genel şema

Burada tasarım devresine ait genel şemaya baktığımızda STM32F4 kontrol kartı girişteki akım ve gerilim bilgisini alarak kendi içinde kurulan algoritma ile birlikte değerlendirerek MOSFET elemanına PWM sinyalleri göndermektedir. Ayrıca bu kontrol kartına 1 adet TFT ekran bağlanarak alınan gerilim ve akım bilgisine bağlı olarak bir PV'ye ait gerilim-akım grafiği çizdirilecektir. Ayrıca bu devrede beslemeleri yapmak amacıyla güç kaynağı devresi bulunmaktadır. Anahtarlamalı güç kaynağı kullanılarak gerekli olan simetrik beslemeler sağlanmış, ayrıca kontrol kartının beslenmesi 5V değerinde bir adaptör üzerinden yapılmaktadır. Burada kullanılan ARM tabanlı STM32F4 kontrol kartı için yazılan program kodları Keil MDK ile derlenmiştir. Bundan sonraki kısımlarda bu genel prensip şemasındaki kısımlar donanım ve yazılım olarak incelenecektir.

2.1. Donanım Tasarımı

Burada 40 W'lık bir PV panel, yükseltici tipi bir dönüştürücü kullanılacak bu yükseltici dönüştürücünün bobin tasarımı yapıp aynı zamanda bu dönüştürücü için genel hesaplar çerçevesinde giriş kondansatörü, akım ve gerilim sensörleri, anahtarlama elemanı olan mosfetin türü, kullanılacak diyot tipi ve yine çıkış kondansatörünün ve çıkış yükünün seçimi yapılacaktır.

Maksimum güç takibi amacıyla kurulan devre için yükseltici tip dönüştürücü seçilmiştir ve buna ait oluşturulan devre şekli Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kullanılan yükseltici tipi dc-dc devresinin genel yapısı

Işınım ve sıcaklığa bağlı olarak panel uçlarında açığa çıkan gerilim, bir kondansatör kullanılarak gerilimdeki dalgalanma miktarı azaltılır. Ardından MOSFET anahtarlama elemanına PWM sinyali

geldiği anda eleman anahtarlama yaparak, bobin üzerinde enerji depolamaya başlar. Gelen PWM sinyalleri kesildiği anda bobin üzerinde depolanan enerji ile birlikte giriş gerilimi çıkışa uygulanarak C_{out} kondansatörü şarj edilir ve çıkış yükü beslenir. Burada kullanılan elemanlar için verilen hesap yöntemleri kullanılarak, gerekli değerlerde devre elemanlarının seçimi yapılmaktadır.

Güç devremiz endüktans, yarı iletken anahtar (MOSFET), diyot ve kondansatörden oluşmaktadır. Burada devremizin karakteristiğini belirleyen en önemli eleman endüktanstır. Burada asıl olan yarı iletken anahtarın çalışma oranını panelden maksimum gücü alacak şekilde belirlemektir. Diyot kullanılarak giriş gerilimi ile çıkışta elde edilen yükseltilmiş gerilim arasında ters kutuplanması sayesinde kaynak yönünde akım akıtılması engellenmiş olur. Hazır bulunan malzemelerin değerini belirlemekle birlikte onları değerlerine göre seçerken, endüktans için sarım yapılıp, test ederek ihtiyacımız olan değeri kendimiz yapacağımız ölçümlerle elde edeceğiz.

Endüktans seçimi aşamasında öncelikle nüve seçimi yapılmıştır. Bu aşamada toroit tipi ferit nüve seçilmiştir. Ardından sarımın yapılacağı tel seçimi konusunda 0.5mm kalınlığında bakır emaye tel kullanılmış ve sarımı yapılmıştır. Burada giriş gerilimi maksimum güç noktasındaki gerilim olan 17.8 V seçilmiştir. Bu durumda ise çıkış gerilimini ise 25 V'ta sabit tutulduğu kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak duty(D) ve giriş akımı(I_{in}) hesaplaması 1 ve 2 no'lu denklemlerle verilmektedir.

$$D = 1 - \frac{17.8}{25} = 0.288 \quad (1)$$

$$I_{in} = \frac{P_{in}}{V_{in}} = \frac{40}{17.8} = 2.24A \quad (2)$$

Anahtarlama frekansı ise $f_p=20$ kHz olarak seçilmiş olup giriş akımındaki dalgalanmanın %10'dan küçük olduğu yani $\Delta I_{in}=2.24 \times 0.1=0.224$ A olduğu kabul edilerek buna bağlı gereken endüktans miktarı için yapılan hesap 3 no'lu denklemden verilmektedir.

$$L = \frac{D \times V_{in}}{f_p \times \Delta I_{in}} = \frac{0.288 \times 17.8}{20 \times 10^3 \times 0.224} = 1.14mH \quad (3)$$

Seçimi yapılan ferrit nüve için bakır emaye telden sarım yapılarak hesaplanan değerin 2 katı olarak yaklaşık 2.28 mH değeri tercih edilmiştir. Elde edilen bu değeri ölçmek amacıyla CHY-24C markasında LCR metre kullanılmıştır.

Yarı iletken anahtar seçimi için dikkat edilecek hususlar yapılan anahtarlama hızı ve iletim direncidir. Anahtarlama frekansı 20 kHz olarak seçilmiştir. Bu frekansta anahtarlama yapabilmek için MOSFET ve IGBT tipi anahtarlama elemanları mevcuttur. Burada bizim tercihimiz MOSFET türü bir elemanın seçiminin daha uygun olacağı yönündedir. Bu durumlar doğrultusunda IRF540 28A 500 V değerinde TO220 kılıf türüne sahip MOSFET seçimi yapılmıştır.

Devamında gelen elemanlardan biri olan diyot için seçiminde iletim ve kesime girme hızı, kuyruk akımı miktarları önemlidir. Diyotun iletime ve kesime girme zamanları anahtarlama kayıpları ile doğrudan alakalıdır. Diyot'un yavaş bir şekilde iletim ve kesime girmesi güç kayıpları oluşmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında diyot seçiminde 6A10 – 1000 V 6 A aksiyel tipli Diyot - P600M tipinde diyot seçimi yapılmıştır.

Yükseltici dönüştürücü devresinin girişinde ve çıkışında olmak üzere 2 adet kutuplu kondansatör kullanılmıştır. Bunlardan PV panel çıkışına bağlanan kondansatör panel çıkışındaki gerilim dalgalanmalarını azaltmak üzere 100 μ F 100 V elektrolitik kondansatör seçilmiştir. Yükseltici dönüştürücü çıkışındaki kondansatörün seçilmesi için gerekli bağıntılar kullanılarak çıkış için de 100 μ F 100 V değerinde elektrolitik kondansatör kullanılmıştır. Bunun için maksimum güç noktasındaki çıkış akımı 4 ve seçilecek kondansatör değerine ait bağıntılar 5 no'lu denklemden hesaplanmıştır.

$$I_{out} = \frac{P_{panel}}{V_{out}} = \frac{40}{25} = 1.6A \quad (4)$$

$$C = \frac{D \times I_{out}}{f_p \times \Delta I_{in}} = \frac{0.288 \times 1.6}{20 \times 10^3 \times 0.224} = 102.8 \cong 100 \mu F \quad (5)$$

En son olarak çıkış gerilimini belirli bir değerde sabit tutmak amacıyla çıkışa yük bağlamak zorundayız. Çıkışa yaklaşık 40 W değerinde bir güç aktarılacağı için 50 W'lık güçlü direnç seçmemiz yeterli olacaktır. Gerekli olan direnç değeri için hesaplama 6 no'lu bağıntı ile verilmiştir.

$$R_{out} = \frac{P_{out}}{I_{out}^2} = \frac{40}{1.6^2} = 15.625 \Omega \quad (6)$$

Bunun için 56R 25 W değerinde 2 adet yüksek güçlü JDC-RX24 kodlu direnç seri bağlanarak 112 ohm değeri elde edilmiş ve çıkış gerilimi yük olarak akü grubu bağlanmadığı için sabit kalamayacağından hesaplanan değerden büyük olması problem oluşturmaz.

Yükseltici dönüştürücüde anahtarın çalışabilmesi için MOSFET güç anahtarına sürmek amacıyla sinyal gönderilmelidir. Bu sinyaller kullanmış olduğumuz STM32F4 kontrol kartı içinde üretilmektedir. Genellikle kontrol kartları tarafından üretilen sinyallerin genlikleri düşük olduğundan MOSFET elemanını sürebilmek için yeterli olamamaktadır. Bu amaçla sürme devrelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu devre için Toshiba firmasına ait TLP250 kodlu MOSFET kapı sürme entegresi kullanılmıştır. Entegrenin 2 no'lu bacağına 1 kΩ seri direnç ile birlikte PWM üreten kontrol kartının çıkışı ve 3 no'lu ucu ise GND1 ucuna bağlanır. Aynı zamanda bu entegrenin besleme ucu olan 8 no'lu Vcc ucu +15 V ile beslenmiş ve bu uç 0.1 μF kondansatör ile entegrenin GND ucuna bağlanmıştır. Bu entegrenin 6 ve 7 no'lu uçlarından herhangi biri çıkış olarak kullanılabilirdiği gibi iki ucu birleştirilerek tek bir çıkış ucu olarak kullanılabilir. Çıkış ucuna seri olarak 50 Ω ve buna paralel olarak 10 kΩ değerinde dirençler bağlanır. Bu dirence ve aynı zamanda anahtarın kapısına paralel olarak 2 adet ters seri 15 V zener diyot bağlanarak kapı geriliminin 15V değerini aşması önlenmiş olur.

Aynı zamanda bu yükseltici dönüştürücünün kontrolü için akım ve gerilim değerinin okunmasına ihtiyaç vardır. Sistemin maksimum güç noktasını yakalayabilmesi için akım ve gerilim bilgisine ihtiyaç duymaktadır.

Gerilim değerini okumak amacıyla Farnell firmasına ait LEM-LV25-P kodlu hall effect prensibine dayalı olarak gerilim endükleme sonucu ölçüm yapan sensör kullanılmıştır. Asıl maksimum güç takibi girişte ölçülen gerilim değerine göre yapılmaktadır. Çıkış gerilimi ise kontrol amacıyla ölçülmektedir.

Akım değerini okumak amacıyla ise Allegro firmasına ait ACS712ELCT20A kodlu yine hall effect prensibine dayalı 5A değerine kadar ölçüm yapabilen akım sensörü kullanılmıştır.

2.2. Yazılım Tasarımı

Maksimum güç takibi amacıyla yapılan yükseltici güç devresi, bu takibi gerçekleştirmek için bir mantık algoritmasına ihtiyaç duyar. Bu algoritmanın çıkarılması sonucu genel olarak işlemlerin belirlenerek bir işlemci veya mikrodenetleyiciye aktarılarak istenilen işlemlerin sırayla yapılması sağlanır. İşlemci veya mikrodenetleyiciye güç devresi içinden ölçülen akım ve gerilime ait değerler aktarılır ve kendi içinde yapacağı işlemler sonucunda istenilen çıkış sinyallerinin alınması sağlanır.

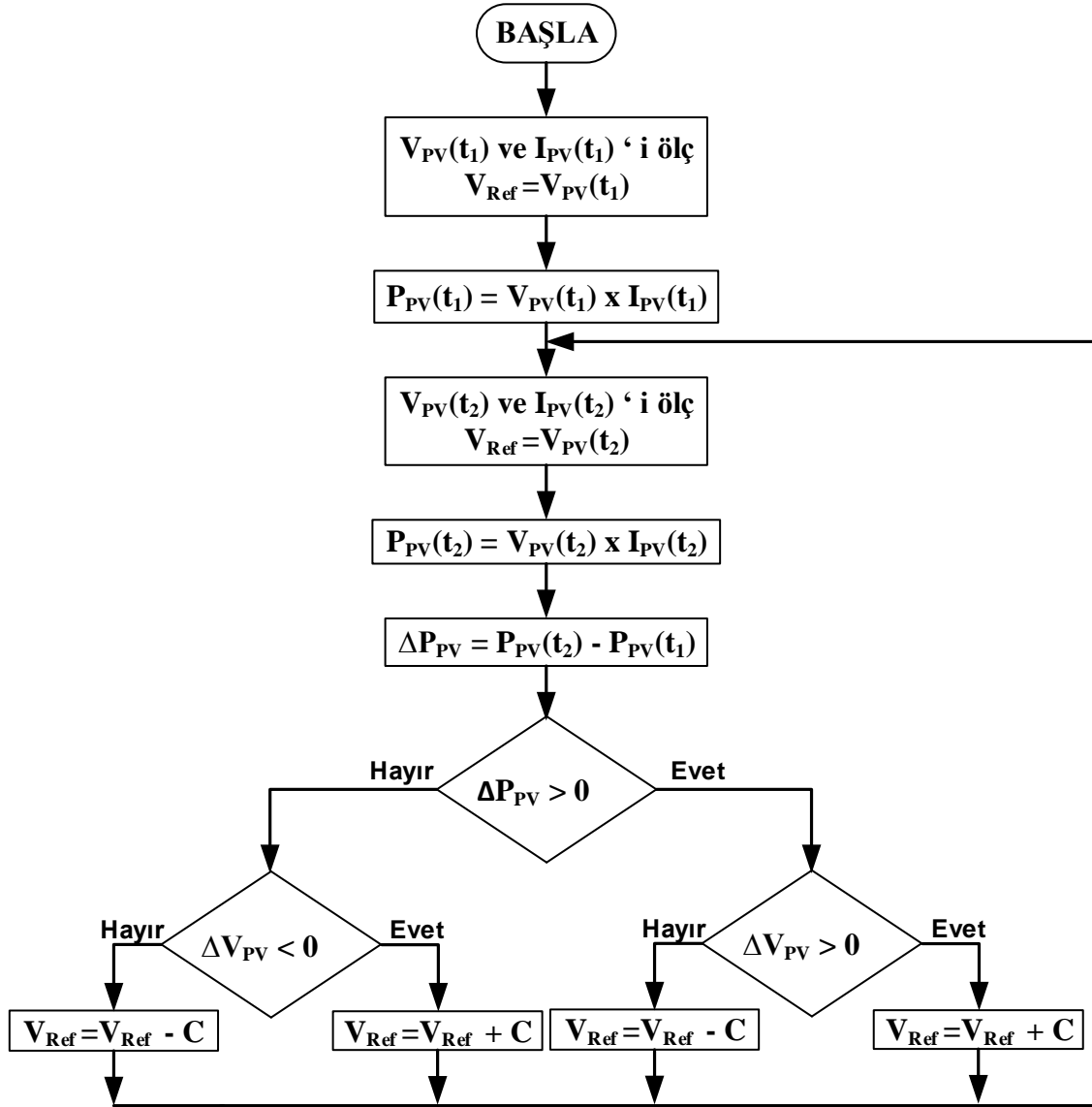
Yükseltici olan güç devresinde, güç devresinde ölçülen akım ve gerilim bilgisinin aktarıldığı, yazılan uygun algoritmayı gerçekleştirmek ve bunun sonucunda gerekli anahtarlama sinyallerini üretmek üzere üzerinde ARM tabanlı işlemci bulunduran STM firmasına ait STM32F4 Discovery kit kullanılmıştır.

ARM firmasının ARM Cortex-M4 32-bit işlemcisi 168 MHz hıza kadar çalışabildiği gibi 1 megabyte flash memory'e sahip ve buna ek üzerinde 192 kilobyte'lik bir RAM bulunmakta ve 12 bit ADC okuyabilmektedir. İşlemci kartı bir usb girişi üzerinden 5V ile beslenebildiği gibi, harici bir 3 V veya 5 V bir kaynak ile de beslenebilir. Bu besleme girişleri ve bazı giriş çıkışların olduğunu göstermek üzere üzerinde 8 adet led bulunmaktadır. Kartın istenen durumlarda resetlenebilmesi için üzerinde siyah renkte bir reset push butonu bulunmaktadır aynı zamanda kullanıcı girişi amacıyla user butonu bulunmaktadır. Son olarak komutların çalışması sonucu pin çıkışlarından elde edilecek sinyallerin ST-

LINK V2A portu sayesinde ve bu firmaya ait bir program vasıtasıyla bilgisayar ile haberleşmesiyle çıkış sinyalleri görüntülenebilmektedir.

Bu kart için farklı geliştirme platformlarında kodlar yazılabilmek mümkündür. IAR EWARM, Keil MDK ARM, ARM mbed online ve GCC-based IDEs gibi platformlar bunlardan bazılarıdır. Maksimum güç takibini sağlamak amacıyla kodlar Keil MDK ARM platformunda yazılmıştır. Keil, Cortex-M ve Cortex-R tabanlı mikro işlemci cihazlar için bir yazılı geliştirme ortamıdır. MDK μ VISION IDE/Debugger, ARM C/C++ derleyicisi ve temel katman bileşenlerini içermektedir.

İşlemciye komutlarını vermek üzere yazılacak koda ilişkin algoritmanın akış diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.



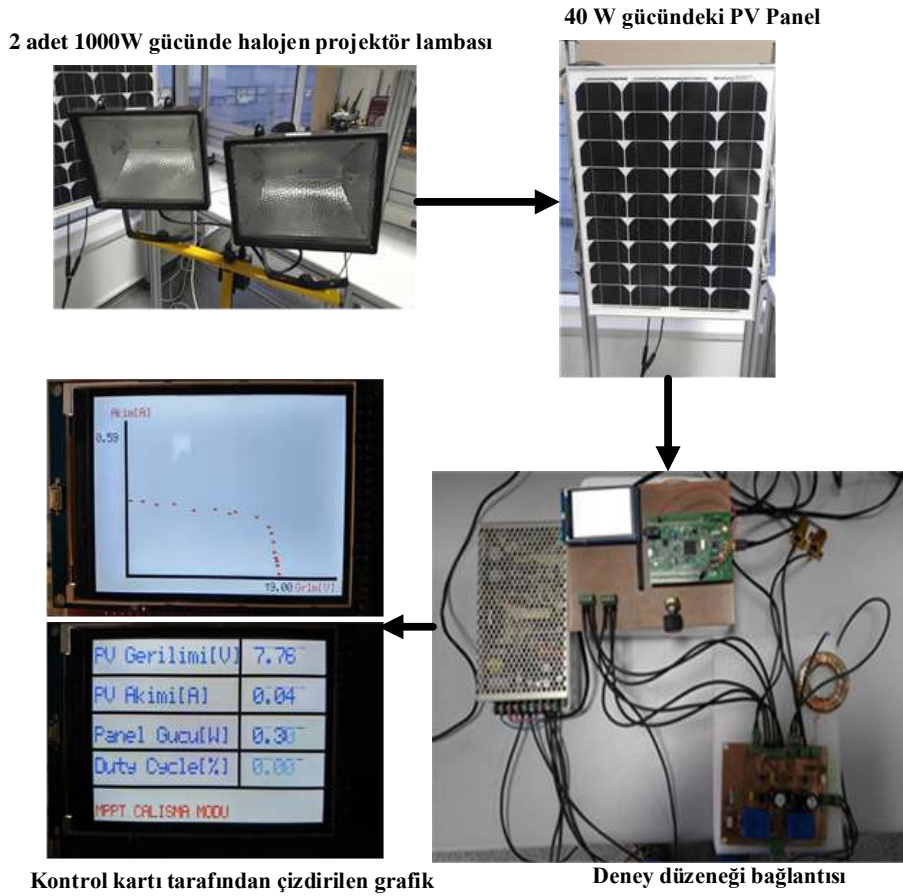
Şekil 3. Sars ve gözlemlenme (P&O) algoritması [15]

Bu algoritmada Başla kısmından itibaren kullanılacak olan değişkenler ve bu değişkenlerin başlangıç değerleri programa tanıtılır. Değişkenler giriş yani panele ait gerilim, akım ve adım boyutu C değeri (step size) değerleridir. Bu gerilim ve akım değerleri güç kartının üzerindeki sensörlerin gerilim ve akım çıkışı portlarından çok kısa sürelerde örnek alınarak işlemci kartına ADC (Analog to Digital Convert) dönüşümü yapılarak aktarılmaktadır. Ardından gerekli olan katsayılarla çarpılarak gerçek panel akım ve gerilim değerleri işlemci tarafından kullanılabilir. İşlemci tarafından dönüşümler sonucu elde edilen ve ilk örnek olarak alınan gerçek akım ve gerilim değerleri çarpılarak bir ilk güç değeri elde edilir. Alınan ikinci örnekte yine bir güç hesaplaması yapılarak ikinci güç değeri elde edilir.

Bu elde edilen iki güç değeri arasındaki fark program tarafından değerlendirilir. Eğer bu iki gücün farkı pozitif ise o anki referans gerilimine adım boyu eklenir. Diğer durumda yani bu iki gücün farkı negatif ise referans değer adım boyundan çıkarılır.

Elde edilen bu değer kontrol döngüsü içine sokulur ve referans gerilim ile o anki PV gerilimi arasındaki fark alınır. Alınan fark sonucu hata ortaya çıkar bu hatayı azaltmak ve minimuma indirmek amacıyla oransal ve integral kontrol yöntemi kullanılarak (PI kontrol) KP ve KI katsayıları belirlenir. Bu değerlerle birlikte PWM sinyali için duty cycle (doluluk oranı) belirlenir. Eğer hatanın değeri azalarak 0 değerinin altına düşerse PWM için duty değeri %0 değerinde sabit tutulurken, artarak %80 duty cycle değerini geçmesi halinde %80 değerinde sabit kalmaktadır.

Elde edilen bu doluluk oranından yararlanılarak işlemci içinde PWM konfigürasyonu yapıldıktan sonra PWM 'in doluluk oranı belirlenir ardından 20 kHz'lik PWM sinyalinin doluluk oranı ayarlanarak güç kartının PWM girişinden uygulanır ve PV panelin maksimum gücü verdiği nokta yakalanmaya çalışılır. Gerçekleştirilen deney düzeneği Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Gerçekleştirilen deney düzeneği görseli

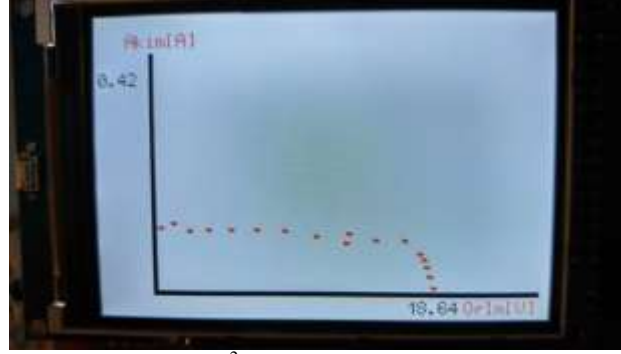
3. Bulgular ve Tartışma

Devre simülasyonu Powersim programında kurulmuş, mikroişlemci kısmı ise P&O algoritmasında kullanılan algoritmaya göre Powersim kütüphanesinde bulunan elemanlar kurularak gerçekleştirilmiştir.

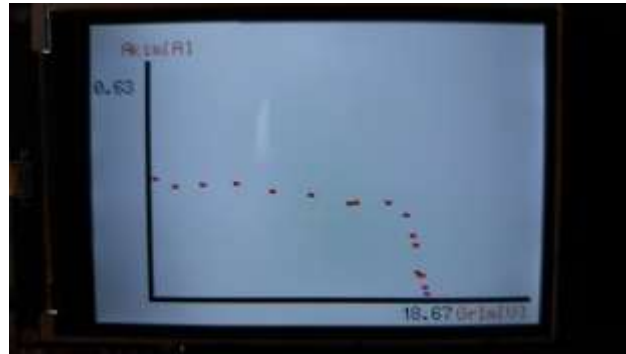
Maksimum gücü 40 Watt olan bir PV panele ait veriler kullanılarak, powersim programında modellenen bir PV panelin 1000 W/m² ışınım ve 25 °C sıcaklık altında P&O algoritmasına göre, MOSFET elemanına anahtarlama sinyallerinin gönderilmesi sonucu elde edilen panel gücünün maksimum olduğu görülmektedir.

Yükseltici dönüştürücü çıkışındaki gerilim, akım ve güç değerleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Yükseltici dönüştürücünün çıkışına ait gerilim, akım ve güç grafiğine bakıldığında ise çıkış kısmında sabit bir akü grubu yerine direnç olduğu için gerilim sabitlenememekte fakat çıkışa aktarılan güç ise kayıplar ihmal edildiğinde aynı olmaktadır.

Yine ek olarak 300 ve 500 W/m² ışınım altında güç-gerilim eğrisine ait elde edilen ekran görüntüleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. 300 W/m² de I-V grafiğinin ekran görüntüsü



Şekil 6. 500 W/m² ışınımında I-V grafiğinin ekran görüntüsü

Bu yöntemde kontrol kartı içerisinde 20 kHz frekansında üretilen PWM sinyalinin bağlanan potansiyometre yardımıyla doluluk oranı değiştirilerek hangi değerde maksimum güç verebileceği tespit edilecektir. Bununla ilgili ortalama 500W/m² ışınım altında doluluk oranının değiştirilmesi ile yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Potansiyometre kontrollü ile değişen gerilim akım değerleri

Gerilim(V)	Akım(A)	Doluluk oranı (%)
20,86	0,24	0
20,3	0,3	10
20	0,38	20
19,4	0,47	30
17	0,5	40
12	0,58	50
7,5	0,59	60
4	0,59	70
1,9	0,59	80

4. Sonuç ve Öneriler

Sonuçlara bakıldığı zaman, P&O algoritmasının eksikliği gereği güç sabit bir noktada durmak yerine salınım yapmaktadır. Bu salınımı en aza indirmek amacıyla yazılımda yapılan geliştirmelerle güç noktası takibi daha istikrarlı bir şekilde sağlanmıştır. Aynı zamanda yapılan hesaplar doğrultusunda ve kurulan devre düzeneğinin başarılı bir şekilde çalışmasıyla, paneli o anda elde edilebilecek maksimum güç noktasında çalıştırarak çıkışa maksimum güç aktarımı yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda bir güneş enerjisi sisteminin kurulması planlanan bölgenin verilerin bu test düzeneğiyle yapılacak olan çalışma yardımıyla panellerin performansının hangi konumda daha iyi olduğu, çevresel değişkenlerin üretim değerini nasıl etkilediği belirlenebilmektedir.

Yazarların Katkısı

A. Durusu; yazılım tasarımı, donanım tasarımı ve sonuçların alınmasında katkı sağlamıştır. A. Erduman; donanım tasarımı, deney sisteminin oluşturulması ve sonuçların alınmasında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Arikan O., Isen E., Durusu A., Kekezoglu B., Bozkurt A., Erduman A. 2013. Introduction to hybrid systems. Yildiz Technical University, IEEE Eurocon 2013 Conference, 1-4 Temmuz, Zagreb, Hırvatistan, 1145-1149.
- [2] Kekezoglu B., Arikan O., Erduman A., Isen E., Durusu A., Bozkurt A. 2013. Reliability analysis of hybrid energy systems: Case study of Davutpasa Campus. IEEE Eurocon 2013 Conference, 1-4 Temmuz, Zagreb, Hırvatistan, 1141-1144.
- [3] Zhou W., Henerica T., Xiaohua X. 2015. Demand side management of photovoltaic-battery hybrid system. Applied Energy, 148: 294-304.
- [4] Kaldellis J.K., Kapsali M. 2011. Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements. Energy, 36 (8): 5154-5161.
- [5] Maghami M.R., Hizam H., Gomes C., Radzi M.A., Rezadad M.I., Hajighorbani S. 2016. Power loss due to soiling on solar panel: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59: 1307-1316.
- [6] Romero-Fiances I., Muñoz-Cerón E., Espinoza-Paredes R., Nofuentes G., De La Casa J. 2019. Analysis of the performance of various pv module technologies in Peru. Energies, 12 (1): 1-19.
- [7] Akdemir H., Durusu A., Erduman A., Nakir I. 2018. Effect of energy management of a grid connected photovoltaic/ battery/load system on the optimal photovoltaic placement on a national scale: The case of Turkey. Journal of Solar Energy Engineering: Transaction of ASME, 140 (2): 1-8.
- [8] Berrera M., Dolara A., Faranda R., Leva S. 2009. Experimental Test of of Seven Widely-Adopted MPTT Algorithms. IEEE Bucharest Power Tech Conference, 28 Haziran-2 Temmuz, Bucharest, 1-8.
- [9] Nakir İ. 2007. Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Martin A.D., Vazquez J. R., Cano J.M. 2018. MPPT in PV systems under partial shading conditions using artificial vision. Electric Power Systems Research, 162: 89-98.
- [11] Reshma Gopi R., Sreejith S. 2018. Converter topologies in photovoltaic applications – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94: 1-14.
- [12] Yilmaz U., Turksoy O., Teke A. 2019. Improved MPPT method to increase accuracy and speed in photovoltaic systems under variable atmospheric conditions. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 113: 634-651.
- [13] Salas V., Ol'as E., Barrado A., La' zaro A. 2006. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. Solar Energy Materials and Solar Cells, 90: 1555-1578.
- [14] Salas V., Ol'as E., La' zaro A. Barrado A. 2005. New algorithm using only one variable measurement applied to a maximum power point tracker. Solar Energy Materials and Solar Cells, 87: 675-684.
- [15] Durusu A. 2011. Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası takip ediciler için farklı algoritmaların karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul