

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 14-04-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 10-10-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.306203	

Değiştir&gözle ve artımsal iletkenlik algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performanslarının değerlendirilmesi

Onur Kırıcıoğlu¹, Murat Ünlü^{1*}, Sabri Çamur¹

ÖZ

Değiştir&gözle (D&G) ve Artımsal iletkenlik algoritmaları maksimum güç noktası izleyici (MGNI) sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bu iki algoritma SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter) DA/DA dönüştürücü devresi üzerinde uygulanmıştır. Algoritmaların gerçekleştirilmesi ve diğer tüm denetim için TMS320F28377 DSP (Digital Signal Processor) işlemcisi kullanılmıştır. MGNI'nin dinamik çevre koşullarındaki (ışınım, kir, sıcaklık gibi) performansı verim bakımından önemlidir. Verim ölçümü için yöntem sağlayan EN 50530 standardı, bu çalışmada her iki MGNI tekniğinin dinamik performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu standardın test profil eğrileri fotovoltaik (FV) simülatörden elde edilmiştir. MGNI verim testi, FV simülatör, SEPIC DA/DA dönüştürücü ve DSP'den oluşan dinamik performans test platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve deneyler esnasında MGNI frekansı 100Hz olarak ayarlanmıştır. EN 50530 standardında belirtildiği üzere, ışınım değişimi 100-1000W/m² arasında, ışınım değişim eğiminin ise 0,5-100W/m²/s arasında değerler almaktadır. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan sistem ile her iki algoritma, yukarıda değinilen ışınım değişimlerine hızlı cevap verebilmiş ve ortalama verimlilikleri % 99'un üzerinde elde edilmiştir. Ayrıca her iki algoritmanın ışınım değişimlerini izleyebilme performansı ve verimlerinin birbirine çok yakın olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: fotovoltaik sistemler, değiştir&gözle (D&G), artımsal iletkenlik, maksimum güç noktası izleyici (MGNI), EN 50530, dinamik verim, SEPIC

Performance evaluation of the perturb & observe and incremental conductance algorithms according to the EN 50530 dynamic efficiency test

ABSTRACT

The perturb & observe (P&O) and incremental conductance algorithms, which are widely used in maximum power point tracker systems. In this study, A SEPIC (single-ended primary inductance converter) DC/DC converter is designed for maximum power point tracker, and both algorithms are implemented on the SEPIC converter by using DSP. The performance of maximum power point tracker (MPPT) in PV system under dynamic environmental conditions (such as irradiation, dirt, temperature) is very important in the point of its efficiency. EN 50530 standard, which is provides a procedure for the measurement of the efficiency, is

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, Kocaeli - onur.kircioglu@kocaeli.edu.tr, muratunlu@kocaeli.edu.tr, scamur@kocaeli.edu.tr

used to evaluate the dynamic performance of the both MPPT algorithms in this paper. The experiments are conducted using the dynamic performance test platform that consists of a PV array simulator, SEPIC DC/DC converter and DSP. The results show that efficiencies and performances of the both MPPT algorithms are very close to each other. The obtained results show that both algorithms have fast dynamic response and the average efficiencies are over 99% with the designed system at 100Hz of MPPT frequencies for over all slopes and irradiance in the range from 0.5 to 100 W/m²/s and 100 W/m²- 1000W/m² as defined by EN 50530 standard.

Keywords: photovoltaic systems, perturb and observe (P&O), incremental conductance, maximum power point tracker (MPPT), EN 50530, dynamic efficiency, SEPIC

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan fotovoltaik (FV) hücre paneller doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptirler. Bu karakteristik atmosferik koşullara göre değişiklik göstermektedir. Bu yüzden FV paneller doğrudan yüke veya bataryaya bağlı olarak çalıştırılmazlar. Aksi halde FV paneller katalog bilgilerinde yer alan verimin çok altında bir verim değerinde çalışırlar.

Fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerinde FV paneller yüke veya bataryaya maksimum güç noktası izleyici (MGNİ) aracılığıyla bağlanmaları gerekmektedir. MGNİ, FV sistemden en iyi şekilde faydalanmak için kullanılır ve bunun için bir MGNİ yöntemine veya algoritmasına ve bu yöntemi gerçekleştirmek için bir dönüştürücü devresine ihtiyacı vardır.

Maksimum güç noktası izleme yöntemleri, panelleri maksimum güç noktasında çalışmaya zorlar. Maksimum güç noktası izleme yöntemleri arasında, değiştir & gözle (D&G) ve artımsal iletkenlik algoritmaları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin avantajı, kolay gerçekleştirilebilmeleri, maliyetlerinin düşük olması ve FV panel karakteristiklerine ihtiyaç duymamalarıdır.

Bir sistemde DA/DA dönüştürücünden beklenen fotovoltaik panellerden elde ettiği gücü düşürücü veya yükseltici olarak çalışarak çıkış aktarmasıdır [1]. Anahtarlamalı DA/DA dönüştürücüler yenilenebilir enerji kaynakları uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu dönüştürücüler farklı devre topolojilerine sahiptir. Bunlar arasında; düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici, Cuk ve SEPIC dönüştürücüler güç dönüşüm gereksinimine göre en çok kullanılanlardır.

Bu çalışmada, MGNİ yöntemi tasarlanan SEPIC DA/DA dönüştürücüde kullanılmıştır. Bu dönüştürücü yükseltici ve düşürücü olarak çalışabilmekte ve çıkış gerilimi giriş gerilimi ile aynı polaritedir. Bununla birlikte SEPIC dönüştürücü, girişinde bulunan bobin sayesinde düşük akım dalgalanmasına sahiptir ve devredeki yarıiletken anahtarın yeri dolayısıyla sürme işlemi kolaydır. Girişindeki akım dalgalanmasının düşük olması daha doğru bir MGNİ işlemi için avantajlı durumdur. Özellikle batarya geriliminin girişteki FV panellerin geriliminin altında ve üstünde olabileceği durumlarda kullanılması uygundur. Bu özellikler sayesinde son yıllarda, batarya şarj devresi olarak [2] ve MGNİ uygulamalarında [3-6] kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca güç faktörü düzeltme devresi olarak [7] ve LED sürücü uygulamalarında kullanılmaktadır [8-9].

FV panellerin farklı ışınım değişim hızları ve farklı ışınım oranlarına maruz kaldığı durumlardaki maksimum güç noktası izleyici yönteminin verim performansını belirlemek için EN 50530 Avrupa Standardı geliştirilmiştir. Bu standart kullanılan MGNİ ile birlikte tüm sistemin dinamik çevre koşulları altındaki performansını tayin eder. Statik ve dinamik olmak üzere iki farklı MGNİ verim ifadesi vardır. Bu çalışmada dinamik MGNİ verimi incelenmiştir. Dinamik verimi test etmek için EN 50530 standardının orta-yüksek ışınım bölgesi ve düşük-orta ışınım bölgesi olmak üzere iki farklı profil bölgesi vardır [10].

Çalışma [10]'da D&G ve artımsal iletkenlik yöntemlerinin dinamik performansını EN 50530 standardına göre değerlendirmiştir. Bu çalışmada düşürücü-yükseltici dönüştürücü kullanılmış ve her ki yöntemle %99'un altında ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada, D&G yöntemindeki kalıcı durum dalgalanmasını azaltmak ve yanlış yöne gitmeyi engellemek için bu yöntemde değişiklik yapmıştır. Önerdiği yeni D&G yöntemiyle geleneksel yöntemi EN 50530

standart testine sokulmuş ve düşük ışı nım de ğişim hızında %1,1 yüksek ışı nım de ğişim hızında %12 daha fazla verim elde etmiştir. Önerdiği yöntemli m ortalama verimini %98,2 olarak hesaplamıştır [11].

Çalışma [12]'de D&G, artımsal iletkenlik ve tepe tırmanma (dP/dt) MGNİ algoritması için düşürücü-yükseltici dönüştürücü üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu üç algoritmanın verimlerini birbirleriyle karşılaştırmıştır. Burada ayrıca, MGNİ frekansı ve adım büyüklü ğünün (ΔD) MGNİ'nin statik ve dinamik verimine olan etkisi incelenmiştir. Yine başka bir çalışmada Artımsal iletkenlik ve D&G algoritmalarını düşürücü-yükseltici ile EN 50530 dinamik verim testi gerçekleştirmiştir. Artımsal iletkenlik yönteminin ortalama performansı %98,5, D&G'nin ise %98,3 olarak elde edilmiştir [13].

D&G ve artımsal iletkenlik algoritmaları ticari MGNİ sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan algoritmalar dır [14]. Bu çalışmada bu iki algoritma SEPIC DA/DA dönüştürücü üzerinde gerçekleştirilmiş ve EN 50530 MGNİ dinamik verim testine göre performansları elde edilmiştir. EN 50530 dinamik testi için FV simülatör kullanılmıştır. Kullanılan FV simülatör EN 50530 dinamik verim testi için gerekli tüm ışı nım seviyelerini ve ışı nım de ğişim profillerini sağlamaktadır. Ayrıca MGNİ'nin gerçekleştirilmesi ve tüm denetim TMS320F28377 DSP (Digital Signal Processor) kartı ile yapılmıştır. Dinamik verim testinde her iki yöntemle de yüksek verimler elde edilmiştir. Tüm profiller için elde edilen verim de ğerleri tablo olarak özetlenmiş ve bazı ışı nım ve ışı nım de ğişim hızı için MGNİ performansları grafik olarak verilmiştir.

2. DE ĞİşTİR-GÖZLE (D&G) VE ARTIMSAL İLETKENLİK MGNİ ALGORİTMALARI (THE PERTURB & OBSERVE AND INCREMENTAL CONDUCTANCE ALGORITHMS)

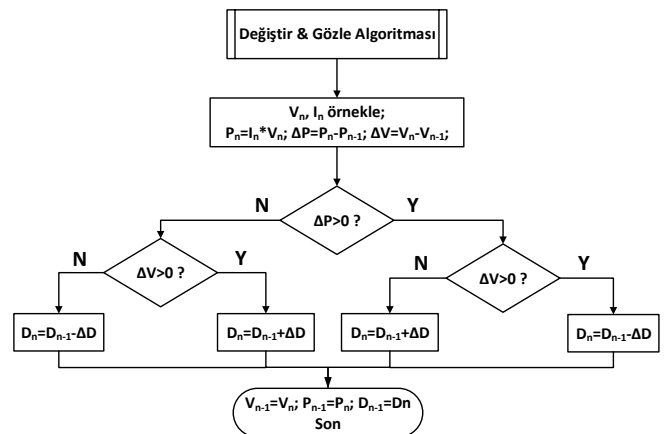
Fotovoltaik paneller lineer olmayan karakteristi ğe sahiptir ve çıkış güçleri hücre sıcaklı ğı ile güneş ışı nımına ba ğlı olarak de ğişmektedir. FV paneller doğrudan yüke ba ğlandı ğında panelin etiketinde yer alan maksimum gücü vermeyebilir. Bu nedenle maksimum güç noktası izleyiciler kullanılmaktadır. Maksimum güç noktası izleyiciler bir maksimum güç noktası izleyici algoritmasının veya yönteminin dönüştürücü

üzerine uygulamasıdır. MGNİ algoritması FV panelleri maksimum güç noktasında çalışmaya zorlar ve böylelikle FV sistemden en iyi şekilde faydalanılmasını sağlar. Bu yüzden tüm FV sistemlerde maksimum güç noktası izleyicilerin kullanılması gereklidir.

Maksimum güç noktası izleme yöntemleri arasında, D&G (de ğiştir & gözle) ve artımsal iletkenlik algoritmaları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çok yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedenleri; kolay gerçekleştirilebilmeleri, maliyetlerinin düşük olması ve FV panel karakteristiklerine ihtiyaç duymamalarıdır [14].

2.1. De ğiştir-Gözle (D&G) algoritması (The perturb & observe (P&O) algorithm)

De ğiştir & gözle algoritmasında, FV panel gerilimi ile akımı ölçülür ve bu iki de ğer kullanılarak anlık güç hesaplanır. Daha sonra FV modül çalışma gerilimi de ğiştirilerek çıkış gücü de ğişimi gözlenir [15]. Çıkış gücü artmışsa, gerilimin de ğişim yönünün doğru oldu ğu anlaşılır ve bu yönde devam edilerek maksimum güç noktasına ulaşılır [14]. şekil 1.'de D&G MGNİ algoritmasının akış şeması verilmektedir. Akış şemasından görüldü ğü üzere algoritmanın yapısı basittir. Bu arada kullanılan denetim durumuna göre MGNİ çıkışı D (ba ğlı iletim süresi), gerilim veya akım olabilir.

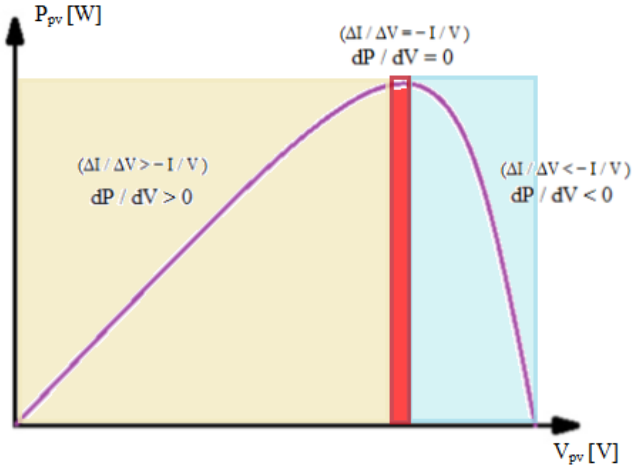


şekil 1. D&G MGNİ algoritması akış şeması (Flow chart of P&O MPPT Algorithm) [14]

2.2. De ğiştir-Gözle (D&G) algoritması (The perturb & observe (P&O) algorithm)

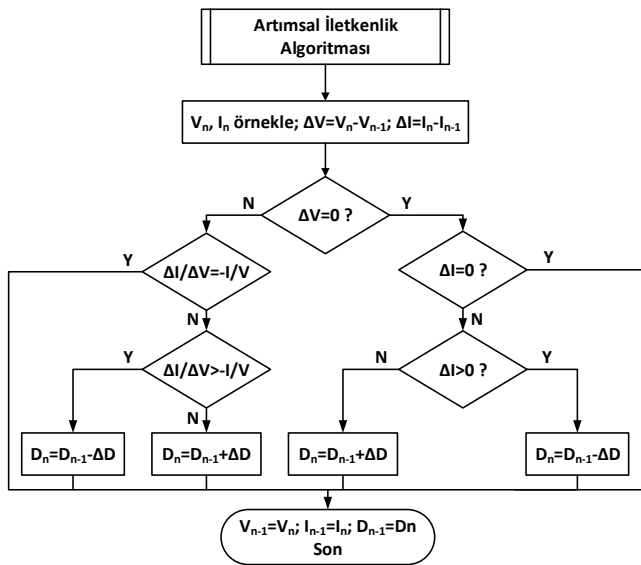
Artan iletkenlik (Incremental Conductance - IC) yönteminin çalışması temel olarak FV panel çıkış gücünün de ğişiminin (dP) panel geriliminin de ğişimine (dV) oranının sıfır oldu ğu yerin maksimum güç noktası (MGN) oldu ğu prensibine dayanmaktadır (dP/dV=0). E ğer bu oran sıfırdan

büyük ise ($dP/dV > 0$), sistemin o anki çalışma noktasının MGN'nin sol tarafında olduğu anlaşılmaktadır. Değişimlerin oranı sıfırdan küçük olduğunda ise ($dP/dV < 0$), çalışma noktasının MGN'nin sağ tarafında olduğu anlaşılmaktadır [16].



Şekil 2. Artan iletkenlik MGNİ algoritması temel prensibi (The basic idea of the incremental conductance MPPT algorithm)

Şekil 2'de verilen eğri artan iletkenlik algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Şekilden anlaşılacağı üzere, bu yöntem ile FV panelin çalışma noktasının, panel çıkış gücünün eğiminin sıfır olduğu yerin maksimum güç noktası, pozitif olduğu yerin MGN'nin sol tarafı, negatif olduğu yerin MGN'nin sağ tarafı olduğu bilinmektedir. Bu yöntemde de değiştir-gözle yönteminde olduğu gibi çıkış akımı ve gerilim gözlemlenir, MGNİ algoritması iletkenliği ve artımsal iletkenliği hesaplar ve buna göre MGN'ye ulaşana kadar referans gerilimi, akımını veya bağıl iletim süresini (D) artırır veya azaltır.



Şekil 3. Artımsal iletkenlik MGNİ algoritması akış şeması (Flow chart of the incremental conductance MPPT Algorithm) [14]

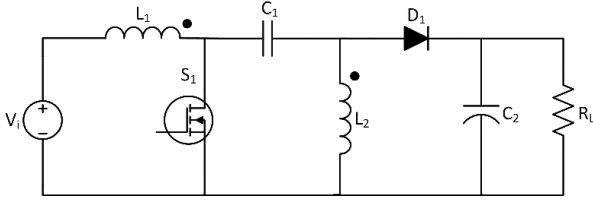
Bu yöntem, hızla değişen ortam koşullarında D&G yönteminin yanlış izleme dezavantajının üstesinden gelmek için izleme doğruluğunu ve dinamik performansı iyileştirmek için önerilmiştir [17]. Şekil 3'de artımsal iletkenlik yönteminin akış şeması verilmektedir. Artan iletkenli yönteminin akış şeması D&G'ye göre biraz daha karmaşıktır.

3. SEPIC DÖNÜŞTÜRÜCÜ (SEPIC CONVERTER)

SEPIC (the single-ended primary-inductance converter) DA/DA dönüştürücü düşürücü-yükseltici olarak çalışabilmektedir. Çıkışta istenen gerilim seviyesine göre hem düşürücü hem de yükseltici olarak çalışabilmektedir. Özellikle FV uygulamalarda, giriş geriliminin ne olduğuna bakmaksızın istenilen çıkış gerilimini üretebilmesi özelliği ile panellerden elde edilen maksimum gücü çıkışa tamamen aktarabilir. SEPIC dönüştürücünün diğer düşürücü-yükseltici DA/DA dönüştürücülere göre en büyük üstünlüğü çıkış geriliminin giriş gerilimi ile aynı polariteye sahip olmasıdır. Ayrıca, Şekil 4.'de gösterilen SEPIC dönüştürücünün devre yapısındaki L_1 giriş bobininden dolayı düşük giriş akım dalgalanmasına sahiptir.

SEPIC dönüştürücü dört adet enerji depolama elemanına sahiptir. Bu elemanlardan iki tanesi kondansatör (C_1, C_2), diğer ikisi ise bobindir (L_1, L_2). Ayrıca SEPIC dönüştürücü, bir aktif güç anahtarı (S_1) ve bir pasif güç anahtarı (D_1) içermektedir. Bu devrede giriş kondansatörü veya kuplaj kondansatörü olarak isimlendirilmekte olan C_1, L_1 ve L_2 bobinleri arasında bulunmakta ve devrenin girişi ve çıkışı arasındaki DA akımını bloke etmektedir [9].

SEPIC dönüştürücünün, sürekli iletim modunda S_1 anahtarının iletimde olduğu ve kesimde olduğu durum için iki devre topolojisi vardır. S_1 anahtarı iletime girdiğinde; L_1 bobini V_i giriş gerilimiyle enerji depolar, L_2 bobini ise V_{C1} kuplaj kondansatörü gerilim ile enerji depolamaktadır. C_1 ve C_2 sırasıyla L_2 bobini ve yük üzerinden deşarj olmaktadır. S_1 anahtarı kesime girdiğinde ise; C_1 kondansatörü giriş gerilimiyle şarj olur. Sürekli halde C_1 kondansatörü yaklaşık olarak V_i gerilimine eşittir. S_1 anahtarı üzerine giriş ve çıkış gerilimlerinin toplamı düşer. S_1 anahtarının iletimde kalma süresine göre veya doluluk boşluk oranına göre devre ya düşürücü ya da yükseltici olarak çalışır.



Şekil 4. SEPIC dönüştürücü devresi (The circuit of SEPIC converter)

SEPIC dönüştürücü devresinde bulunan L_1 ve L_2 bobinleri aynı nüveye sarılabilir veya ayrı olarak bulunabilir. Aynı nüve üzerinde sarıldıklarında ortak endüktans meydana geleceği için daha kullanılan bobinlerin boyutu küçülecek dolayısıyla devrenin boyutu azalacaktır. Bu çalışmada devrenin sürekli iletim modunda çalışacağı düşünülerek devrenin tasarımı yapılmıştır. Ayrıca MGNİ olarak kullanılan SEPIC devresindeki L_1 ve L_2 aynı nüve üzerine sarılmış ve değerleri $L_1 = L_2 = 340 \mu\text{H}$ 'dir. Devreye ait diğer parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanan SEPIC dönüştürücü parametreleri

Parametre	Değer
V_1 (Giriş gerilim aralığı)	10- 40 V
C_1 (kuplaj kondansatörü)	8,8 μF
C_2 (çıkış kondansatörü)	950 μF
L_1 (giriş bobini)	340 μH
L_2 (çıkış bobini)	340 μH
Anahtarlama frekans (f)	100 kHz

4. DENEYSEL TEST DÜZENEGİ VE EN 50530 STANDARDI (EXPERIMENTAL TEST PLATFORM OF THE SYSTEM AND EN 50530 STANDARD)

Bu bölümde maksimum güç noktası izleyici algoritmalarının testini sağlamak için oluşturulmuş olan deneysel düzenden bahsedilmiştir. Ayrıca MGNİ'lerin dinamik performansını ölçmek için kullanılan EN 50530 avrupa standardından bahsedilmiştir.

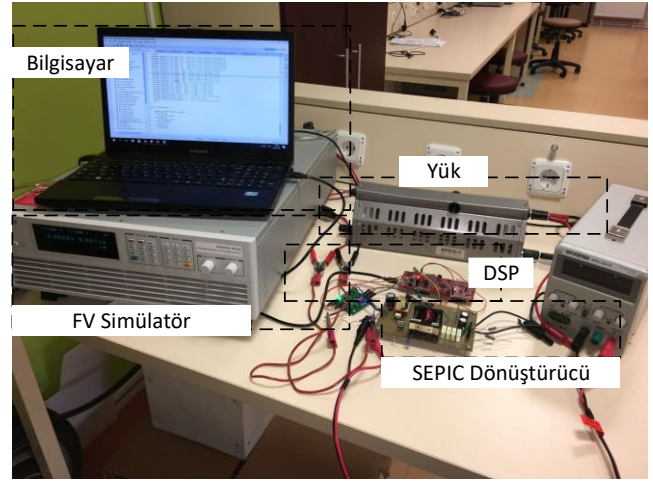
4.1. Deneysel düzenek (Experimental test platform)

Değiştir-gözle ve artımsal iletkenlik MGNİ'lerinin Avrupa Standardına (EN 50530) göre dinamik performans verimliliğini test etmek için oluşturulmuş olan deneysel test düzeneği resmi Şekil 5.'te verilmiştir.

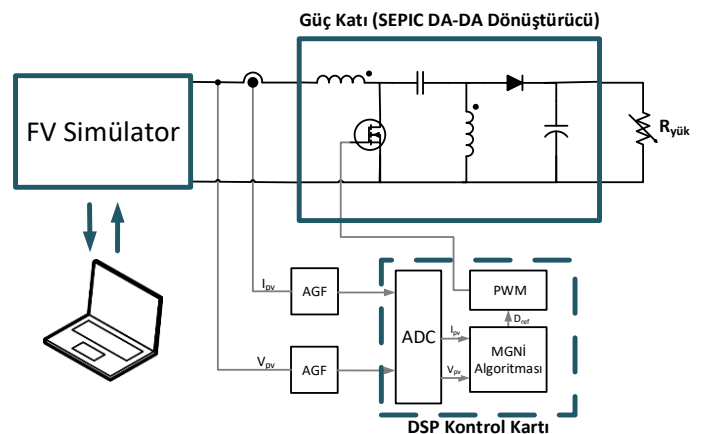
Dinamik performans test platformu temel olarak, SEPIC dönüştürücü, FV simülasyon ve DSP

denetim kartından oluşmaktadır. Ayrıca, Şekil 6'da sistemin uygulanmasını özetleyen basitleştirilmiş blok diyagram verilmiştir. MGNİ algoritması, bu sistem için tasarlanmış olan SEPIC DA/DA dönüştürücüsü ile gerçekleştirilmektedir. Algoritmanın işletilmesi ve tüm denetim DSP denetim kartı tarafından yapılmaktadır. EN 50530 dinamik MGNİ verim standart testi kullanılan MGNİ verimliliğine odaklandığı için SEPIC dönüştürücünün verimliliği bu çalışmada göz önünde bulundurulmamıştır.

Test platformunda bulunan FV simülasyon bize gerçek güneş panelleri kullanmadan, laboratuvar ortamında fotovoltaik I-V çıkışları sağlar. Simülasyon sayesinde farklı çevre koşullarını (ışınlama, sıcaklık, gölgelendirme, kir gibi) çıkış karakteristiğine etkisi görülebilmektedir.



Şekil 5. FV sistem EN 50530 test düzeneği (EN 50530 test platform of the system)



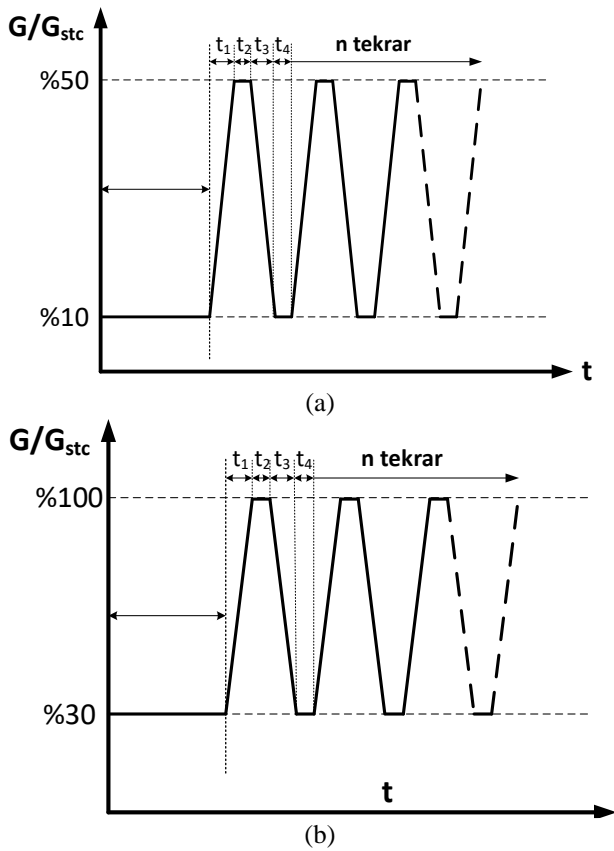
Şekil 6. Test sisteminin blok şeması (The block diagram of the test system)

Test çalışmalarından önce, öncelikle FV simülasyonunda, maksimum güç noktasında gerilimi ($V_{mpp} = 17.3\text{V}$) ve maksimum güç noktası ($P_{mpp} = 80\text{W}$) olan bir FV panel oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan FV panelin I-V (akım-

gerilim) ve P-V (güç-gerilim) eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca simülatörde, gerçekleştirilen MGNİ'nin dinamik ve statik verimlerinin EN 50530 standardına uygun olup olmadığını belirlemek için yine bu standart tarafından belirlenmiş olan ışınım test profilleri mevcuttur. Bu çalışmada FV simülatörün EN 50530 test profilleri MGNİ'ye uygulanmıştır. Testler boyunca MGNİ verimleri FV simülatör yardımıyla hesaplanmaktadır.

4.2. EN 50530 Standardı (EN 50530 standard)

FV çıkış gerilimi ve akımı (PV simülatörünün çıkış gerilimi ve akımı), gerilim ve akım algılayıcı devreleri kullanılarak ölçülmektedir.



Şekil 7. EN 50530 Standardının (a) düşük-orta ışınım bölgesindeki test profili (0.5 – 50 W/ m²/s) (b) orta-yüksek ışınım bölgesindeki test profili (10 - 100 W/m²/s) ((a) Low-medium insolation region (0.5 - 50 W/ m²/s) (b) Medium-high insolation region (10 - 100 W/m²/s) test profiles specified in EN 50530)

Bu ölçülen değerler DSP'ye analog giriş olarak verilmekte ve yine DSP içerisinde yazılmış olan D&G veya Artan iletkenlik MGNİ algoritmalarının girişi olarak kullanılmaktadır. MGNİ algoritması işleminden sonra referans bağıl iletim süresi (D_{ref}) üretilir ve DSP, SEPIC dönüştürücüsü için elde edilen bu D_{ref} 'e göre darbe genişlik ayarı (DGA) sinyali üretir. Böylece,

SEPIC dönüştürücü DSP denetleyicisi ile birlikte FV paneli maksimum güç noktasında çalışmaya zorlar. Bağıl iletim süresi adım büyüklüğü (D_{ref}) ve MGNİ frekansı sırasıyla 0.01 ve 100Hz olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada, DSP kontrol kartı, yüksek analog-dijital dönüştürücü (ADC) hızı ve DGA çözünürlüğüne sahip olduğu için kontrolör olarak tercih etmiştir. Bu işlemci, MGNİ algoritmalarını doğru bir şekilde yerine getirecek kadar hızlıdır.

EN 50530 standardında belirtilen tam dinamik test ışınım profili Şekil 7'de gösterildiği gibidir. Bu test profilinde, düşük-orta ışınım bölgesi (100–500 W/ m²) ve yüksek-orta ışınım bölgesi (300–1000 W/ m²) olmak üzere iki farklı ışınım bölgesi mevcuttur. Ayrıca her iki ışınım bölgesi için Tablo 2 ve Tablo 3'de özetlendiği üzere çok sayıda ışınım profili vardır. Bu ışınım profilleri düşük-orta ışınım bölgesinde 0.5–50 W/m²/s arasında eğimlere sahip rampa fonksiyonlarından oluşmaktadır. Yüksek-orta ışınım bölgesinde ise 10–100 W/ m²/s arasında eğimlere sahip rampa fonksiyonlarından oluşmaktadır. Tablo 2 ve Tablo 3'de sırasıyla düşük-orta ışınım bölgesi ve yüksek-orta ışınım bölgesinin ışınım profilleri detaylı olarak verilmiştir. Bu tablolarda her bir ışınım profilinin eğimi, değişim hızı veya rampa fonksiyonu W/m²/s cinsinden verilmiştir. Ayrıca dönüştürücüye uygulanan ışınımın profilinin kaç defa uygulandığı, tekrarlama sayısı olarak verilmiştir. Her bir ışınım profilinin Şekil 7'de gösterilen yükselme süresi (t_1), yerleşme süresi (t_2), düşme süresi (t_3) ve alt bölgede yerleşme süresi yükselme zamanı (t_4), ayrı ayrı verilmiştir. Her bir ışınım profilinin toplam uygulama süresi, bu dört sürenin ve her biri için 300 s olan oturma süresinin toplamından oluşmaktadır. Bu sürelerin tümü her bir ışınım profili için Tablo 2 ve 3'te detaylı olarak verilmiştir. Bu EN 50530 ışınım test profilleri FV simülatörde üretilmektedir. Üretilen ışınım profilleri doğrudan SEPIC dönüştürücünün girişine uygulanmıştır. Tablo 2 ve 3'den görülebileceği üzere, EN 50530 testi altında tüm ışınım profillerinde yaklaşık %99 ve üzerinde verim elde edilmiştir. Her iki tabloda iki ışınım bölgesi için, her ışınım değişim profili için ayrı ayrı verimler hesaplanmıştır. Bu çalışmada EN 50530 standardını uygulayan simülatörden alınan örnekleme süresi 0,5 saniyedir. Bundan dolayı 0,5 s aralıklarla FV simülatörün verdiği teorik güç ile SEPIC dönüştürücünün girişindeki güçten anlık olarak ölçülmekte ve verim hesaplanmaktadır.

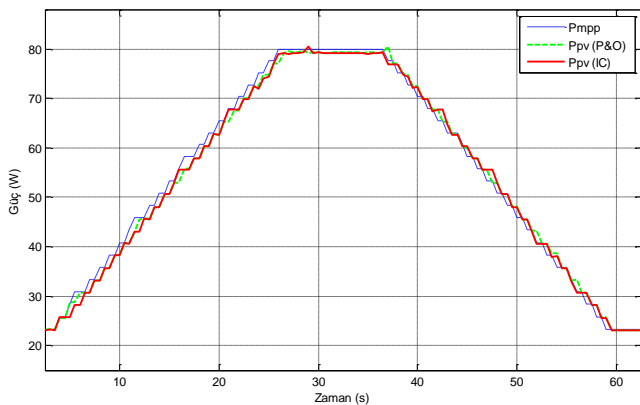
Tablo 2. Düşük ışınım bölgesindeki (100 W/m²- 500 W/m²) D&G ve Artımsal iletkenlik MGNİ yöntemlerinin EN 50530 Dinamik test koşullarındaki performansı (The Performance of P&O and Incremental Conductance methods EN 50530 dynamic test conditions under low to medium insolation region (0.5 – 50 W/m²/s))

Rampa (W/m ² /s)	Tekrarlama (n)	Yükselme Süresi (s) (t ₁)	Yerleşme Süresi (s) (t ₂)	Düşme Süresi(s) (t ₃)	Yerleşme Süresi (s) (t ₄)	Toplam Süre (s)	D&G Verim	Artımsal iletkenlik % Verim
0,5	2	800	10	800	10	3540	99.31	99.33
1	2	400	10	400	10	1940	99.29	99.37
2	3	200	10	200	10	1560	99.27	99.36
3	4	133	10	133	10	1447	99.24	99.33
5	6	80	10	80	10	1380	99.20	99.27
7	8	57	10	57	10	1374	99.19	99.27
10	10	40	10	40	10	1300	99.13	99.18
14	10	29	10	29	10	1071	99.06	99.18
20	10	20	10	20	10	900	99.01	98.31
30	10	13	10	13	10	767	98.98	98.92
50	10	8	10	8	10	660	98.75	98.35
Ortalama Verim:							99.13	99.08

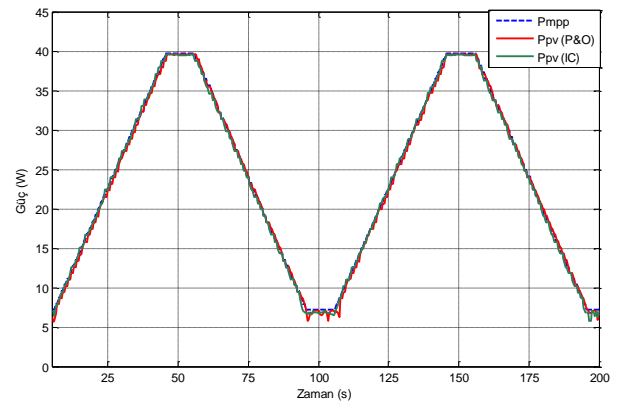
Tablo 3. Yüksek ışınım bölgesindeki (300 W/m²- 1000 W/m²) D&G ve Artımsal iletkenlik MGNİ yöntemlerinin EN 50530 Dinamik test koşullarındaki performansı (The Performance of P&O and Incremental Conductance methods EN 50530 dynamic test conditions under medium to high insolation region (10 – 100 W/m²/s))

Rampa (W/m ² /s)	Tekrarlama (n)	Yükselme Süresi (s) (t ₁)	Yerleşme Süresi (s) (t ₂)	Düşme Süresi(s) (t ₃)	Yerleşme Süresi (s) (t ₄)	Toplam Süre (s)	D&G %Verim	Artımsal iletkenlik % Verim
10	10	70	10	70	10	1900	99.33	99.43
14	10	50	10	50	10	1500	99.41	99.43
20	10	35	10	35	10	1200	99.38	99.45
30	10	23	10	23	10	967	99.32	99.39
50	10	14	10	14	10	780	99.30	99.33
100	10	7	10	7	10	640	99.19	99.22
Ortalama Verim:							99.321	99.375

Buradaki verimler her ışınım profilinde alınan anlık verimlerin ortalamasından oluşmaktadır.



Şekil 8. Değiştir&gözle (D&G, P&O) ve Artımsal iletkenlik (IC) algoritmalarının orta-yüksek ışınım bölgesindeki (300 W/ m²- 1000 W/ m²) ve ışınım değişim eğiminin 30 (W/m²/s) olduğu durumdaki performansları (The Performance of P&O and Incremental Conductance (IC) methods under medium-high insolation region (300 W/ m²- 1000 W/ m²) and ramp profile of 30 (W/m²/s))



Şekil 9. Değiştir&gözle (D&G, P&O) ve Artımsal iletkenlik (IC) algoritmalarının düşük-orta ışınım bölgesindeki (100 W/ m²- 500 W/ m²) ve ışınım değişim eğiminin 10 (W/m²/s) olduğu durumdaki performansları (The Performance of P&O and Incremental Conductance (IC) methods under medium-high insolation region (100 W/ m²- 500 W/ m²) and ramp profile of 10 (W/m²/s))

Tasarlanan SEPIC dönüştürücülü sisteme uygulanan D&G ve Artımsal iletkenlik MGNİ algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performansları orta-yüksek ve düşük-orta

ışınım bölgeleri için Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9’da kesikli çizgi ile verilen, P_{mpp} yani FV simülatörün ışınım profiline göre verdiği maksimum güç değişimini göstermektedir. Her iki algoritmanın ışınımdaki bu güç değişimine verdiği cevap aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere, D&G algoritmasıyla simülatörden çekilen güç ($P_{pv(P\&O)}$) ve artımsal iletkenlik algoritmasıyla çekilen güç ($P_{pv(IC)}$), girişindeki ışınım değişimlerine göre değişen güce (P_{mpp}) hızlı cevap vermektedir. Bu sayede her iki algoritma hem verim olarak hem de ışınım değişimlerine hızlı cevap vermesinden dolayı iyi bir performans sergilemiştir.

5. DENEYSSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Bu çalışmada D&G ve Artımsal iletkenlik yöntemlerinin EN 50530 dinamik verim testine göre ayrıntılı dinamik performansı elde edilmiş ve Tablo 2 ve 3’de verilmiştir. Şekil 8 ve 9’da sırasıyla düşük-orta ve yüksek-orta ışınım bölgelerinde deneysel olarak elde edilen MGNİ performansları verilmiştir. Bu şekiller her iki ışınım bölgesi için, ışınım değişim eğiminin veya rampa profiline 10 ($W/m^2/s$) olduğu durumu göstermektedir. Ayrıca şekillerde, değiştir&gözle (D&G, P&O) ve artımsal iletkenlik (IC) algoritmalarının maksimum güç noktası izleme performansları ayrı ayrı verilmiştir.

MGNİ algoritmaları, tasarlanan SEPIC DA/DA dönüştürücü üzerinde gerçekleştirilmiş ve tüm denetim işlemleri için TMS320F28377 DSP işlemcisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar her iki MGNİ algoritmasının verim değerleri birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. D&G ve Artımsal iletkenlik algoritmalarının ortalama verimlilikleri, düşük orta bölgede ($100-500 W/m^2$) sırasıyla% 99.13 ve% 99.08 olarak elde edilmiştir. Düşük-orta bölgede ($300-1000 W/m^2$) P & O ve IC yöntemlerinin ortalama verimlilikleri sırasıyla% 99,32 ve 99,38'dir.

Düşük-orta ışınım bölgesinde: Her iki MGNİ algoritması da yaklaşık olarak aynı verimlilik performansı gösterir. Yavaş rampa bölgesinde ($0,5 W/m^2/s - 20 W/m^2/s$); artımsal iletkenlik algoritması, MGNİ verimliliği bakımından D&G’den biraz daha iyi sonuç vermekte iken, hızlı rampa bölgesinde ($20 W/m^2/s - 50 W/m^2/s$); D&G algoritmasının verimi artımsal iletkenlikten biraz daha fazla olarak elde edilmiştir.

Orta-yüksek yoğunluklu güneşlenme bölgesinde: Her iki MGNİ algoritması da yaklaşık olarak aynı verimlilik performansı gösterir. Bununla birlikte, tüm rampa profillerinde ($10 W/m^2/s - 100 W/m^2/s$) artımsal iletkenlik algoritması, MGNİ verimliliği açısından D&G’den biraz daha iyi verime sahiptir. Her iki algoritma da girişindeki ışınım değişim profillerine hızlı cevap vermektedir. Bu sayede hem verim hem de hızlı cevap anlamında iyi bir performans sergilemiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] V. Eng and C. Bunlaksanusorn, “Modeling of a SEPIC converter operating in continuous conduction mode,” in *Proc. 6th ECTI-CON*, pp. 136–139, 2009.
- [2] S. J. Chiang and H. J. Shieh, “Modeling and control of PV charger system with SEPIC converter,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 11, pp. 4344–4353, 2009.
- [3] H.S. Chung et al., “Novel Maximum Power Point Tracking Technique for Solar Panels Using a SEPIC or Cuk Converter,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 3, pp. 717–724, 2003.
- [4] A.E. Khateb et al., “Maximum power point tracking of single-ended primary-inductor converter employing a novel optimisation technique for proportional-integral derivative controller,” *IET Power Electron.*, Vol. 6, no. 6, pp. 1111–1121, 2013.
- [5] E.Mamarelis et al., “Design of a Sliding-Mode-Controlled SEPIC for PV MPPT Applications,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 7, pp. 3387–3398, 2014.
- [6] M. Killi and S. Samanta, “An Adaptive Voltage-Sensor-Based MPPT for Photovoltaic Systems With SEPIC Converter Including Steady-State and Drift Analysis,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 12, pp. 7609–7619, 2015.
- [7] M. Mahdavi and H. Farzanehfard, “Bridgless SEPIC PFC Rectifier with Reduced Components and Conduction Losses,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 9, pp. 4153–4160, 2011.
- [8] H. Ma et al., “A Novel Valley-Fill SEPIC-derived Power Supply Without Electrolytic Capacitors for LED Lighting Application,”

- IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 6, pp. 3057–3071, 2012.
- [9] H.J. Chiu et al., “A High Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 2, pp. 735–743, 2010.
- [10] Sera, D., Mathe, L., Kerekes, T., Spataru, S. V., & Teodorescu, R., “On the Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 3, no. 3, 2013.
- [11] Ahmed, J., Ahmed, J., Member, S., & Salam, Z., “A Modified P & O Maximum Power Point Tracking Method with Reduced Steady State Oscillation and Improved Tracking Efficiency,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1506–1515, 2016.
- [12] Andrejasic, T., Jankoves, M., & Topic, M., “Comparison of direct maximum power point tracking algorithms using EN 50530 dynamic test procedure,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 5, no. 4, pp. 281–286, 2011.
- [13] Ishaque, K., & Salam, Z., “Dynamic Efficiency of Direct Control Based Maximum Power Point Trackers,” *In 2014 5th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, pp. 429–434, 2014.
- [14] Bendib, B., Belmili, H., & Krim, F. A., “Survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 637–648, 2015.
- [15] Abdelsalam, A. K., Massoud, A. M., Ahmed, S., & Enjeti, P. N., “High-Performance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-Based Microgrids,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 4, pp. 1010–1021, 2011.
- [16] Ishaque K., Salam Z., “A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 475-488, 2012.
- [17] Saravanan, S., & Ramesh Babu, N., “Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system – A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, no. pp. 192–204., 2016.