

Kısmi Gölgeleme Stokastik Işın Araması, Değişken Komşuluk ve Benzetilmiş Tavlama Algoritmalarının Başarı İncelenmesi

Investigation of Performance of Stochastic Beam Search, Variable Neighborhood and Simulated Annealing Algorithms Under Partial Shaded Conditions

Zehan KESİLMİŞ¹, M. Alpaslan KARABACAK²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

¹zehankesilmis@osmaniye.edu.tr, ²alpaslankarabacak@gmail.com

Özet

Bu çalışma, Stokastik Işın Arama (SIA), Değişken Komşuluk Arama (DKA) ve Benzetilmiş Tavlama gibi MGNİ algoritmalarının kısmi gölgeleme altındaki kıyaslamalarını sunmaktadır. Deney düzeneği seri olarak bağlanmış 4 adet FV panel ve Buck tipi DC/DC dönüştürücüden oluşmaktadır. Bu çalışmada algoritmaların başarı kıyaslaması amacıyla FV dizinin P/V karakteristikleri MATLAB ortamında toplanmış ve analiz edilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki, BT ve SIA algoritmaları, tüm gölgeleme durumları için maksimum güç noktasını yüksek hız ve başarıyla bulabilmektedir.

Abstract

This paper presents a comparison for Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms such as Stochastic Beam Search (SBS), Variable Neighborhood Search (VNS) and Simulated Annealing (SA) under partial shading conditions. Experimental setup consist of 4 series connected PV module and Buck type DC/DC converter. In this work P/V characteristics of the PV array was collected and analyzed in MATLAB environment for algorithm comparison. Results show that, SA and SBS algorithms can find the maximum power point under all shading conditions with high speed and accuracy.

1. Giriş

Artan nüfus ve endüstriyel hacimle birlikte enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Üretimde, taşımacılıkta ve enerji üretiminde fosil yakıtlar bu ihtiyacın büyük kısmını karşılamaktadırlar. Fosil yakıtların kullanımının küresel ısınma ve hava kirliliği gibi olumsuz çevresel etkileri ve bu yakıtların fiyatlarındaki artış, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Güneş enerjisi, ülkemizin sahip olduğu ısıma potansiyeli ve kullanım kolaylığı ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının arasında önemli bir yere sahiptir [1]. Foto Voltaik (FV) sistemler üzerilerine düşen güneş ışınımının %15-25'lik kısmını elektrik enerjisine çevirebilirler [2]. Ayrıca bu verimi elde etmek için FV sistemi zorlayıp maksimum güç transferi sağlayacak bir Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ) sistemine de ihtiyaç vardır [3].

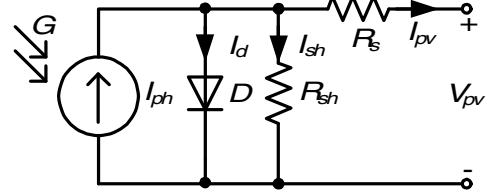
MGNİ sistemleri, FV dizisini rezistif olarak yükleyip sistemin I/V karakteristiğinden maksimum güç noktasını bulup

sistemi o güç değerinde çalışmaya zorlayan elektronik sistemlerdir. MGNİ sistemleri kısaca, üzerinde çeşitli arama algoritmaları çalışan DC/DC dönüştürücü olarak tanımlanabilir. En yaygın algoritmalar: tepe tırmanma, değiştir ve gözle, sabit gerilim, sabit akım, arttırımsal iletkenlik, parazit kapasite gibi basit algoritmalar ve demir tavlama [4, 5], ateş böceği ve karınca kolonisi gibi doğadan esinlenmiş algoritmalar [7].

Bu çalışmada MGNİ için yeni olan Stokastik Işın Arama Algoritmasının (SIA) başarısını incelemek için deneysel veriler üzerinde detaylı inceleme yapılmıştır. Bunun yanında Değişken Komşuluk Arama (DKA) ve Benzetilmiş Tavlama (BT) algoritmalarıyla da çeşitli karşılaştırmalı incelemeler yapılmıştır.

2. FV hücre modeli

Şekil 1'de FV hücrenin tek diyot modeli verilmiştir [6].



Şekil 1. FV güneş hücresi modeli

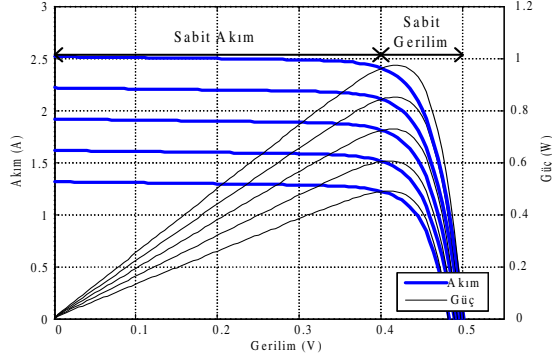
FV hücre modelinin çıkış akımı (I_{pv}) eşitlik 1'deki gibi tanımlanabilir.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I_{pv})}{NKT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + R_s I_{pv})}{R_{sh}} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de; I_{ph} ısımaya bağımlı akım kaynağını, I_s diyot doyum akımını, q elektron yükünü, V_{pv} terminal gerilimini, K Boltzmann sabitini, T Kelvin cinsinden hücre sıcaklığını, N ideallik faktörünü, R_{sh} paralel direnci ve R_s seri direnci temsil etmektedir. Eşitlik 1 kullanılarak farklı ısıma değerleri için yapılan MATLAB benzetim sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere FV hücresi doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptir.

Şekil 2'deki I/V karakteristiği sabit akım ve sabit gerilim olmak üzere iki bölgede incelenebilir. FV hücresinin çıkış gerilimi belli bir gerilimin altında kaldığı sürece çıkış akımı sabit

kabul edilebilir. Bu gerilim aşıldığı zaman yapısal diyot iletme geçmekte ve I_{ph} akımı diyot üzerinden akma eğilimi göstermektedir. Böylece FV hücresi sabit gerilim bölgesinde çalışmaya başlamış olur. Hücresinin I/V karakteristiğinden P/V değerleri türetilir. Şekil 2’de verilen farklı ışıma değerleri için P/V karakteristikleri incelenirse her grafiğin bir adet tepe değeri olduğu görülür. Bu tepe değeri de Maksimum Güç Noktası (MGN) olarak adlandırılır.



Şekil 2. Farklı ışıma değerleri için PV karakteristiği

FV hücrelerinin seri olarak bağlanmasıyla FV paneller elde edilir. İstenilen gerilim ve akım değerine ulaşmak için ise paneller seri ve/veya paralel olarak bağlanıp FV dizileri elde edilir. Bir FV dizisinde panellerin özdeş ışıma alıp almama durumuna göre P/V grafiğindeki tepe sayısı ve yeri değişmekle beraber grafikte bir adet Maximum Güç Noktası (MGN) bulunur. Panellerin çevresel faktörlerle farklı ışıma almasına kısmi gölgeleme adı verilmekte ve bu olay bölüm 4’de detaylı olarak ele alınmaktadır.

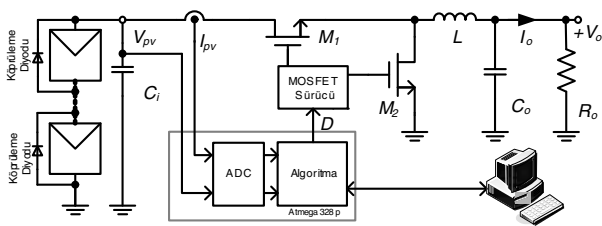
FV sistemlerin kurulum maliyetlerinin yüksek, amortisman süresinin uzun olmasından dolayı FV diziden (ışıma elverdiği ölçüde) en yüksek gücü almak bir zorunluluktur. Bu amaç için MGNİ sistemleri kullanılmaktadır. MGNİ sistemleri, paneli rezistif olarak yükleyecek bir elektronik yük ve bir kontrolcünden oluşurlar.

3. MGNİ Donanım Tasarımı

Bu çalışmada kullanılan MGNİ donanımının blok şeması şekil 3’de verilmiştir. Bu MGNİ donanımı:

- Akım ve gerilim verilerini toplayan bir mikrodnetleyici
- Buck tipi DC/DC dönüştürücü ve
- Seri olarak bağlanmış 4 adet FV panelden

oluşmaktadır.



Şekil 3. Uygulama devresi blok şeması

3.1. Mikrodnetleyici

Bu çalışmada mikrodnetleyici kartı olarak Arduino Uno R3 kullanılmıştır. Bu kartın üzerinde Atmel firmasının RISC mimarisinde tasarlanmış 16MHz frekansta çalışan 8bitlik AT-MEGA328p mikrodnetleyicisi bulunmaktadır. Bu denetleyicinin üzerinde 8 kanallı ve 10bit çözünürlükte SAR tipi ADC ve Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) için özel tasarlanmış bir donanım bulunmaktadır. DGM donanımı 8 veya 10bit çözünürlükte çalıştırılabilir. Bu çalışmada DGM için 8bit (255 adım) çözünürlük yeterli görülmüştür.

3.2. DC/DC Dönüştürücü

Bu çalışmada kullanılan buck tipi DC/DC dönüştürücü 2 adet N kanal MOSFET (IRF540), 100μH toroid bobin ve yarı köprü MOSFET sürücüsünden (IR2104) oluşmaktadır. Akım ve gerilim değerlerini örnekleme, gerekli D değerini üretme ve PC ile haberleşme amacıyla ATMEGA328p kullanılmıştır. FV dizisinin çıkış akımını (I_{pv}) ölçmek için $\pm 2.5A$ ölçüm aralığına sahip ACS712 akım sensörü kullanılmıştır. FV dizi gerilimini (V_{pv}) ADC ölçüm aralığı olan 0–5V’a düşürmek için gerilim bölücü kullanılmıştır.

Buck tipi DC/DC dönüştürücülerin çıkış gerilimleri, uygulanan DGM işaretinin doluluk oranıyla (D) kontrol edilebilmekte ve 0 ile giriş gerilimi arasında değişmektedir. Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ifade eşitlik (2–3)’de verilmiştir.

$$V_o = DV_{in} \quad (2)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = D \quad (3)$$

Eşitlikte V_{in} değeri DC/DC dönüştürücünün giriş gerilimi yani FV dizisinin terminal gerilimini, V_o ise DC/DC dönüştürücünün çıkış gerilimi yani yük direncinin gerilimini göstermektedir. Buck tipi DC/DC dönüştürücüde giriş ve çıkış akımları arası ilişki eşitlik (4)’de verilmiştir.

$$\frac{I_o}{I_{in}} = \frac{1}{D} \quad (4)$$

FV dizi tarafından görünen direncin (R_{in}) ve yük direncinin (R_o) ifadeleri eşitlik (5–6)’de verilmiştir.

$$R_o = \frac{V_o}{I_o} \quad (5)$$

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \quad (6)$$

Eşitlik (7), R_o ’nun sabit olması durumunda R_{in} ’in D ile kontrol edilebileceğini ve DC/DC dönüştürücünün D işareti ile kontrol edilebilen bir ayarlı dirence dönüşmesi anlamına gelmektedir. Bu özellik DC/DC dönüştürücüleri MGNİ donanımı olarak kullanılabilir kılmaktadır.

$$R_{in} = \frac{R_o}{D^2} \quad (7)$$

Bu çalışmada çıkış direncinin büyüklüğü $R_o = 0.5\Omega$ ve gücü $P_L = 30W$ olarak seçilmiştir. Yük direncinin gücü FV dizinin üretebileceği tüm gücü soğurabilecek büyüklüktedir. Mikrodnetleyici 62kHz frekansta 8bit çözünürlüğünde DGM üretecek şekilde programlanmıştır. Bu durumda D’nin değeri $\frac{1}{255}$ ’lik adımlarla ilerler ve D’nin $\frac{1}{255} \leq D \leq 1$ aralığında seçilmesi mümkün olur.

D 'nin değişim aralığı eşitlik (7)'ye uygulanırsa R_{in} ifadesinin aralığı $0.5\Omega \leq R_{in} \leq 32.5k\Omega$ olarak bulunur. Yapılan hesaplamalar ve deneysel sonuçlar göstermiştir ki, R_{in} 'in bu aralığı FV dizisini açık devre gerilimi (V_{oc}) ile kısa devre akımı (I_{sc}) arasında tarayabilmektedir. Darbe genişlik modülasyonunun doluluk oranının sınır değerlerinin belirlenmesi için eşitlik (8-9)'dan faydalanılabilir.

$$D_{\max} = \sqrt{\frac{R_o}{R_{in\min}}} \quad (8)$$

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{R_o}{R_{in\max}}} \quad (9)$$

3.3. FV dizisi

Bu çalışmada kullanılan FV dizisi seri olarak bağlanmış 4 panel içermektedir. Dizinin toplam gücü 26W'dır. Bu çalışmada kısmi gölgelenme altında çalışan bir dizi için MGNİ algoritma başarı inclemesi hedeflenmiştir. Kısmi gölgelenmede toplam güçten bağımsız ve gölge durumuna göre birden fazla tepe elde edilmektedir. Bu çalışmada FV dizisinin farklı gölgelenme durumlarında incelenmesi ve algoritma başarı testleri hedeflendiğinden yüksek güçlü bir dizi oluşturulmasına gerek duyulmamıştır. Tasarlanan sistem, üzerinde küçük değişikliklerle yüksek güçlü bir dizide de çalışabilecek özelliktedir.

4. Kısmi Gölgeleme

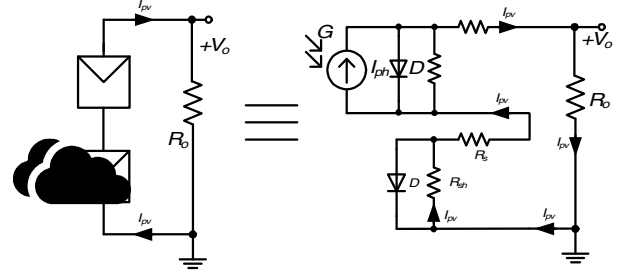
FV paneller seri bağlanarak dizi gerilimi, paralel bağlanarak ise dizi akımı artırılabilir. Böylece istenilen güç seviyesi elde edilir. Dizideki bazı paneller bulut, toz, yaprak veya bina gölgesi gibi çevresel bir etkenle diğerlerinden daha az ışıma maruz kalırlarsa tam ışıma alan panellere göre daha az akım üretecektir. Bu olaya kısmi gölgelenme denilmektedir.

FV paneller klemens kutularında (panele göre) ters kutuplamada bağlanmış köprüleme diyotlarıyla piyasaya sürülmektedir. Kısmi gölgelenme olayı köprüleme diyotlarının durumuna göre elektriksel benzetim devresi üzerinden şekil 4-5'da incelenmiştir.

Şekil 4'de köprüleme diyotları olmayan bir FV dizisi kısmi gölgelenme altında modellenmiştir. Şekilden de görüleceği üzere tam gölgelenen panelin akım üretme kabiliyeti olmayacaktır. Bu durumda gölgelenen panelin R_s ve R_{sh} dirençleri üzerinden ana kol akımı geçmekte ve bu dirençler üzerinde büyük bir güç harcanmaktadır. Ayrıca, akım yönü itibarıyla bu dirençler üzerindeki gerilim düşümü dizinin terminal gerilimini düşürecek yödedir.

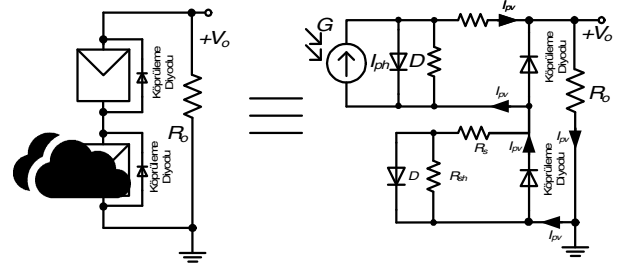
Kısmi gölgelenme olayında köprüleme diyotu kullanılmazsa terminal geriliminde düşüş ve iç dirençler (R_s-R_{sh}) üzerinde güç kaybı olacaktır. Dirençler üzerinde harcanan güç ısı enerjisi olarak açığa çıkacaktır. Bu olay literatürde sıcak nokta etkisi olarak isimlendirilmekte ve hücrelerin ısınarak bozulmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu olayın önüne geçmek için her bir panel üzerine ters yönde yerleştirilecek bir köprüleme diyotu kullanılmaktadır.

Şekil 5'de köprüleme diyotlarıyla donatılmış bir FV dizisi kısmi gölgelenme altında modellenmiştir. Köprüleme diyotunun kullanımı ile gölgelenen panelin iç dirençleri (R_s-R_{sh}) üzerinden akım akmasına ve sıcak nokta oluşumuna engel olunabilir. Fakat, bu durum FV dizinin P/V grafiğinde birden fazla maksimum güç noktası oluşmasına neden olur. Bu güç noktalarından en büyüğü Global Maksimum Güç Noktası (GMGN) diğerleri ise Lokal Maksimum Güç Noktası (LMGN) olarak isimlendirilir. GMGN'sının grafik üzerindeki yeri ve güç



Şekil 4. Kısmi gölgelenme altında FV dizi davranışı

olarak büyüklüğü gölgelenme durumuna göre çeşitlilik göstermektedir. Örneğin şekil 7'de bu çalışmada kullanılan deneysel P/V grafikleri verilmiştir. Grafiklerden Gölgeleme Durumu 1 (GD1) tüm panellerin aynı ışıma maruz kalması durumunu göstermekte ve bir adet tepe içermektedir. Ancak, GD2-GD3 grafikleri farklı ışıma değerleri için alındığından birden fazla tepe noktasına sahiptirler. Farklı ışıma durumları altında bile FV dizisine bağlı MGNİ donanımı bu güçlerden en büyüğünü seçmeli ve diziyi MGN'de çalışacak şekilde empedans eşitlemesi yapmalıdır.



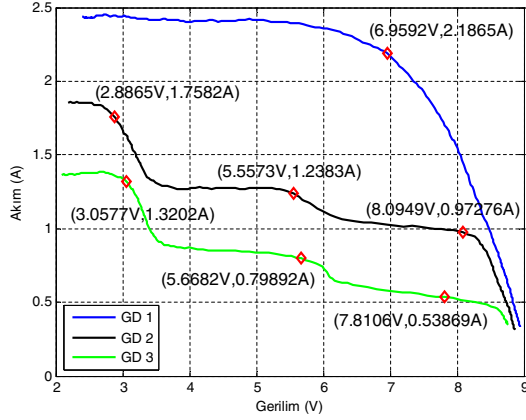
Şekil 5. Kısmi gölgelenme altında köprüleme diyotlu FV dizi davranışı

Bu çalışmada seri bağlı 4 panelli dizi bir FV dizi ile tam ışımalı ve kısmi gölgeli durumlar için deneyler yapılmış ve alınan I/V ve P/V grafikleri sırasıyla şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Grafiklerde her MGN için değerler verilmiş ve grafik üzerinde işaretlenmiştir.

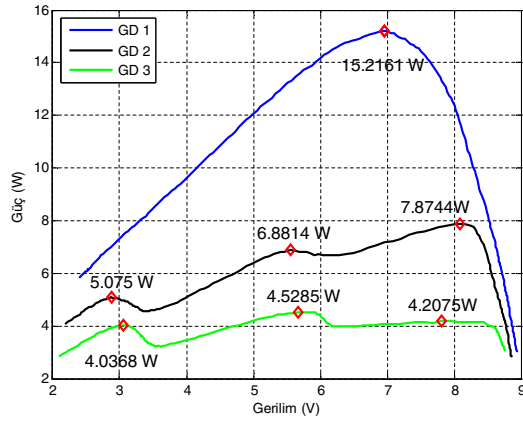
Şekil 7'den görüldüğü üzere kısmi gölgelenme altında alınan P/V grafiklerinde (GD2-GD3) birden fazla MGN değeri oluşmakta ve bunlardan bir tanesi GMGN olmaktadır.

5. MGNİ algoritmaları

Literatürde MGN problemine çözüm olmak üzere geliştirilmiş bir çok algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmalar uygulama kolaylığı, maksimum güce yakınsama, kısmi gölge çalışmaya uygunluk ve hız gibi kriterler açısından incelenebilir. Tümdevre üreticileri tarafından MGNİ pazarı fırsat olarak görülmüş ve küçük güçlü sistemler için ürünler piyasaya sürülmüştür. Bu ürünler kısmi gölgelenme sorununa çözüm önermemektedirler. Örneğin Linear Techonology ve Analog firmalarının açık devre gerilimi yöntemini kullanan ürünleri vardır [8, 9]. Açık devre gerilimi yöntemi maksimum gücün bulunacağı gerilim değerinin açık devre geriliminin bir oranı olduğunu kabul eder. Bu yaklaşımı özetleyen ifade eşitlik (10)'da verilmiştir.



Şekil 6. Tam ışıma ve kısmi gölgelenme durumlarında I/V karakteristikleri



Şekil 7. Tam ışıma ve kısmi gölgelenme durumlarında P/V karakteristikleri

$$V_{MGN} = k \cdot V_{oc} \quad (10)$$

Eşitlikte verilen k değeri 0.7 ile 0.8 arasında seçilen bir sabittir. Açık devre gerilimi yöntemi, kısmi gölgelenme durumlarına çözüm olmaz ayrıca V_{oc} değerini bulmak için FV paneli DC/DC dönüştürücünün bir süreliğine yalıtılması gerekmektedir, bu da çıkış gücünün bir süreliğine kesilmesi anlamına gelmektedir. Literatürde uygulama kolaylığıyla öne çıkan fakat kısmi gölgelenme altında GMGN bulma özelliği bulunmayan diğer algoritmalar şu şekilde sıralanabilir: tepe tırmanma, değişken iletkenlik. Yapılan literatür incelemesi sonucu kısmi gölgelenmede MGNİ amacıyla doğadan esinlenmiş arama algoritmalarının kullanımına yönelik bir eğilim vardır. Bu algoritmalar şu şekilde sıralanabilir: ateş böceği algoritması [10], demir tavlama algoritması [4], karınca kolonisi algoritması.

Bu çalışmada tavlama benzetimi, stokastik ışın arama ve değişken komşuluk arama algoritmalarının başarıları incelenmesi, kısmi gölgelenme altında alınan P/V verilerinin maksimum güç noktasına olan yakınsamaya göre yapılacaktır. Bu sonuçlar 6. bölümde verilmiştir.

5.1. Stokastik Işın Arama Algoritması (SIA)

Işın arama algoritması ilk olarak yerel ışın arama olarak literatüre girmiştir [11]. Bu algoritma tepe tırmanma algoritmasının gelişmiş versiyonu olarak tanımlanabilir. İşlevsel olarak tepe tırmanma görevi yaptığı için başlangıç yerine göre GMGN'yi bulma ihtimali değişmektedir. Stokastik Işın arama algoritması ise, aramaya birden fazla rastgele seçilmiş başlangıç noktası ile başlar. Bu rastgele başlangıç noktalarından en büyük değere sahip olanı esas başlangıç noktası olarak seçilir ve diğerleri yok sayılır. Bu işleme budama denilir. Budama işleminden sonra en yüksek değerli başlangıç noktasından tepe tırmanma algoritması yürütülerek aramaya devam edilir. Başlangıç noktası sayısının artırılması global maksimumu bulma ihtimalini arttırmakla birlikte hafıza gereksinimini de arttırmaktadır. Ayrıca göreceli olarak işlem süresini de uzatmaktadır. Bu çalışmadaki arama uzayı 255 değerden oluşmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda başlangıç noktası sayısının 6'dan büyük tutulması ciddi bir başarı artışına neden olmadığı görülmüştür. Bu nedenle başlangıç noktası sayısı 6 ile sınırlandırılmıştır.

5.2. Değişken Komşuluk Araması Algoritması (DKA)

Değişken Komşuluk Araması (DKA) optimizasyon problemlerinin çözümü için 1997 yılında Mladenović, ve Hansen tarafından önerilmiş sezgisel ve bölgesel arama tekniğini kullanan bir optimizasyon tekniğidir [12]. İteratif bölgesel aramaya (iterative local search) benzerliği vardır [13]. DKA algoritmasının stratejisi, iteratif keşiflerle daha iyi komşuyu bulmak üzerine kuruludur.

5.3. Benzetilmiş Tavlama Algoritması (BT)

Algoritmanın amacı, herhangi bir problem için genel iyileştirme (global optimization) elde etmektir. Algoritmanın çalışması fiziksel olarak sıcak demire şekil verme işlemi olan demir tavlamaya benzemektedir. Demir tavlama yönteminin bir özelliği de aynı problem için birden fazla çözümü olmasıdır. Probleme özgü olarak modelleme yapmak ve problemin karakteristiğinin doğru analiz edilmesi önem taşır. BT algoritması; başlangıç sıcaklığı, sıcaklık azaltma parametresi ve döngü sayısı gibi önemli değişkenler içerir. Algoritmada bir başlangıç değeri belirlenip, bu değer en iyi olarak kabul edilir. Döngü içerisindeki adımlarda ise en iyi çözüm kabul edilen başlangıç değeri ile yeni üretilen değerlerin hangisinin daha iyi olduğu durumu araştırılır. Eğer yeni sonuç daha iyi ise en iyi çözüm olarak yeni çözüm atanır. Sıcaklık parametresi, tavlama yönteminde başlangıçta belirlenen bir değerdir. Bu değer, sıcaklığın düşürülme parametresi kadar azaltılır [14]. Bu çalışmada başlangıç sıcaklığı 100 °C ve sıcaklık düşürme parametresi de 0.2 °C olarak alınmıştır. Bu işlemler algoritmanın çalıştırılması için belirlenen bir döngü sayısı bitene kadar veya sıcaklık parametresi sıfır veya sıfırdan küçük olana kadar sürdürülebilir. Bu çalışmada döngü sayısı çizelge 2'de de verildiği üzere 24 olarak alınmıştır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, mikrodenetleyici üzerinde çalışmaya uygun SIA, BT ve DKA gibi basit ve donanım gereksinimi düşük algoritmalar incelenmiştir. Çalışma sonucunun da gösterdiği gibi bu algoritmaların kısmi gölgelenme altında çalışma başarıları yüksektir. SIA, BT ve DKA algoritmaların detaylı başarı incelemesi aşağıda verilmiştir.

Bu çalışmada, seri bağlı 4 adet panel ve buck tipi DC/DC dönüştürücü ile farklı Gölgeleme Durumları (GD) için deneyler yapılmıştır. Gölgeleme deneylerinde, panellerin üzerine 1.5m yüksekliğinde bir direk gölgesinin 4 saatlik bir zaman dilimi içerisinde güneşin hareketi ile doğal olarak düşmesi sağlanmış ve I/V verileri PC’de toplanmıştır. Elde edilen veriler, SIA, BT ve DKA başarı testleri için kullanılmıştır. Bu algoritmalar, 2.5GHz hızında çift çekirdekli i3 işlemciye sahip Windows 7 PC üzerinde MATLAB 2008 kullanılarak kodlanmıştır ve çalıştırılmıştır.

SIA, BT ve DKA algoritmaları belirtilen gölgeleme durumları (GD1–3) için 100’er döngü çalıştırılıp sonuçların ortalaması Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere DKA algoritması tüm GD durumlarında MGN’na yaklaşıp fakat bu noktayı bulamamış ve LMGN değerlerine takılmıştır. SIA ve BT algoritmaları kıyaslanması durumunda BT algoritmasının tüm GD durumları için daha iyi güç değerleri ürettiği görülmektedir.

Çizelge 1. Elde edilen gücün karşılaştırılması

	Güç Değerleri (W)			
	İdeal Değer	SIA	DKA	BT
GD1	15.2161	15.1570	12.7230	15.081
GD2	7.8744	7.4016	6.5237	7.6990
GD3	4.5285	4.3482	4.0841	4.4570

Çizelge 2; yakınsama oranı, ortalama adım sayısı ve ortalama süre gibi önemli verileri içermektedir. Yakınsama oranı, eşitlik (11)’de tanımlandığı gibi, algortimaların MGN değerlerine yüzdesel olarak yaklaşımı göstermektedir.

$$Yakınsama\ oranı(\%) = \frac{P_A}{P_{MGN}} \cdot 100 \quad (11)$$

Eşitlikte P_A , algoritma tarafından bulunan güç değerini, P_{MGN} ise grafik üzerindeki GMGN değerini göstermektedir. Yakınsama değerleri incelendiğinde BT ve SIA algoritmalarının DKA algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. BT, her üç gölgeleme durumunda da %100’e yakın oranlarla yakınsama yaptığı fakat SIA algoritmasının kısmi gölgeleme içermeyen GD1 dışında performansının düştüğü görülmektedir. DKA algoritmasının yakınsaması GD2-3 grafiklerinde %80’lere düşmektedir bunun nedenini ise bu algoritmanın LMGN değerlerine takılıp GMGN değerine ulaşamamasıdır.

Çizelge 2. Algoritmaların başarı karşılaştırması

	Algoritma	Yakınsama oranı (%)	Ort. Adım Sayısı	Ortalama Süre
GD1	SIA	99.61	10.50	89 μ s
	DKA	92.46	9.48	255 μ s
	BT	99.11	24	119 μ s
GD2	SIA	94.36	8.59	137 μ s
	DKA	85.46	11.78	311 μ s
	BT	97.78	24	119 μ s
GD3	SIA	96.40	7.15	103 μ s
	DKA	84.72	15.44	406 μ s
	BT	98.42	24	119 μ s

Çizelge 2’de verilen ortalama adım sayısı değerleri algoritmanın bir MGN bulması için incelediği veri sayıdır. BT algoritmasında durdurma kriteri olarak tavlama sıcaklığının 0’a eşit yada küçük olması veya kritik döngü

sayısı seçilebilir. Durdurma kriteri olarak, döngü sayısı 24 seçilmiştir. Bu yüzden çizelge 2’de BT için verilen adım sayısı değerleri sabit ve 24’dür. BT’nin döngü sayısı DKA ve SIA’dan fazla olmakla beraber MGN değerini bulma süresi DKA’dan büyük ama SIA’dan küçüktür. Algoritmanın daha fazla noktayı incelenmesi çıkış gücünün MGN değerinden uzaktaki değerlerini çıkış gücü olarak kabul etmek olduğu için arama boyunca düşük güç elde edilmesine neden olacaktır.

Sonuç olarak BT ve SIA algoritmalarının kısmi gölgeleme durumunda MGN’yi bulma verimi DKA ya oranla oldukça yüksektir. SIA algoritmasının BT algoritmasından verim olarak çok az bir oranda düşük olduğu görülmektedir. Fakat SIA algoritmasının BT algoritmasından Daha az adım sayısı kullanarak ve daha hızlı MGN’yi bulduğu görülmektedir.

7. Kaynaklar

- [1] Öztürk, M. ve Yüksel, Y. E., "Energy structure of Turkey for sustainable development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, sf: 1259–1272, 2016.
- [2] Green, MA., "Solar cell efficiency tables (Version 45)", *Progress in photovoltaics: research and applications*, 23.1, sf: 1–9, 2015.
- [3] R, Faranda. ve S, Leva., "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems", *WSEAS transactions on power systems*, 3.6, sf: 446–455, 2008.
- [4] S, Lyden. ve ME, Haque., "A Simulated Annealing Global Maximum Power Point Tracking Approach for PV Modules under Partial Shading Conditions", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31, 4171–4181, 2015.
- [5] S, Kirkpatrick. CD, Gelatt. ve M.P. Vecchi., "Optimization by Simulated Annealing", *Science, New Series*, 220, 671–680, 1983.
- [6] Y, Jiang. JAA, Qahouq. ve I. Batarseh., "Improved solar PV cell Matlab simulation model and comparison", *IEEE Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2770–2773, 2010.
- [7] S, Saravanan. ve N, Babu., "Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system—A review.", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 192–204, 2016.
- [8] LT3652 katalog verisi Erişim tarihi:18.06.2016. goo.gl/rwG3Dx
- [9] ADP5090 katalog verisi Erişim tarihi:18.06.2016. goo.gl/9cxtJ8
- [10] Shi, Ji-Ying. ve Xue, Fei., "Tracking the global maximum power point of a photovoltaic system under partial shading conditions using a modified firefly algorithm", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8, 033501, 2016.
- [11] OW, Peng Si. ve TE, Morton., "Filtered beam search in scheduling", *The International Journal Of Production Research*, 26, 35–62, 1988.
- [12] N, Mladenović. ve P, Hansen., "Variable neighborhood search", *Computers & Operations Research*, 24, 1097–1100, 1997.
- [13] HR, Lourenço. OC, Martin., ve T, Stützle., "Iterated local search, Handbook of Metaheuristics", *Springer US*, ABD, 2003
- [14] S. Kuzu, O. Önay, U. Şen "Gezgin satıcı problemlerinin metasezgiseller ile çözümü" *Istanbul University Journal of the School of Business*, 43, 1–27, 2014.