

Güneş Panellerinde Gölgeleme Durumunda Maksimum Güç Noktası ile Verim Arttırımı

Sıla SEZGİN¹, Ahmet YÖNETKEN^{2*}, Tolga ÖZER³

^{1,2,3} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 03032, Afyonkarahisar

¹<https://orcid.org/0000-0001-6919-8324>

²<https://orcid.org/0000-0003-1844-7233>

³<https://orcid.org/0000-0001-7607-6894>

*Sorumlu yazar: yonetken@aku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.11.2024

Kabul tarihi: 16.03.2025

Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi
Güneş paneli
Gölgeleme
Maksimum güç noktası takibi
Bulanık mantık kontrolü
Matlab

ÖZ

Güneş enerjisi; güneş panelleri yardımı ile insanlar tarafından kullanılabilir hale gelmekle birlikte enerji kullanılabilir hale gelirken güneşin tüm enerjisinden yarar sağlanamamaktadır. Kullanılacak enerjide kayıplar olmaktadır. Bunun sebeplerinden biri güneş panellerinin gölgeleme durumundan kaynaklı düzgün ışınım alamamasından dolayı ürettiği güçte azalışa sebep olmasıdır. Gölgeleme; verimde azalmaya ve panellerin bozulmasına sebep olabilmektedir. Gölgeleme durumundan etkilenmemek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)'dir. Bu makalede; kısmi gölgelemenin güneş panellerinin performansını nasıl etkilediğini ve Maksimum Güç Noktası Takibi gibi azaltma tekniklerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada Matlab\ Simulink programı kullanılarak Maksimum Güç Noktası Takibi teknikleri olan Bulanık Mantık kontrolü üzerinde çalışılmıştır. Çalışma iki adet güneş paneli dizisi, bulanık Mantık ve Boost dönüştürücü kullanarak tasarlanmış ve MPPT kullanarak ve MPPT kullanmadan elde edilen güç, voltaj ve akım değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda kısmi gölgeleme altında kalan güneş panellerinin MPPT kullanarak yapılan çalışmada güç, verim ve performansının MPPT kullanmadan yapılan çalışmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Çalışmanın sonucunda MPPT kullanımı sonrasında gerilim değerlerinde %2,12, akım değerlerinde %16,21 ve güç değerinde %19,39 değerinde bir artış görülmüştür. Zorlu şartlar altında güneş panellerinden daha fazla verim alabilmek için MPPT tekniklerinin kullanılabileceği çalışma sonucunda net bir şekilde anlaşılmıştır.

Increasing Efficiency with Maximum Power Point in Solar Panels in Shading Conditions

Research Article

Article History:

Received: 10.11.2024

Accepted: 16.03.2025

Published online: 16.06.2025

Keywords:

Solar energy
Solar panel
Shading
Maximum power point tracking
Fuzzy logic control
Matlab

ABSTRACT

Solar energy becomes available to people with the help of solar panels. However, while the energy becomes usable, not all of the sun's energy can be utilized. There is loss of energy to be used. One of the reasons for this is that solar panels cannot receive proper radiation due to shading, causing a decrease in the power they produce. Shading can cause a decrease in efficiency and damage to the panels. There are many methods to avoid being affected by ghosting. One of these methods is Maximum Power Point Tracking. This article aims to examine how partial shading affects the performance of solar panels and mitigation techniques such as Maximum Power Point Tracking (MPPT). In this study, Fuzzy Logic control, which is Maximum Power Point Tracking techniques, was studied using Matlab\Simulink program. In the study, two solar panel arrays were designed using fuzzy logic and Boost converter, and the power, voltage and current values

obtained with and without MPPT were compared. As a result of the study, it was understood that the power, efficiency and performance of solar panels under partial shading in the study using MPPT gave better results than in the study without using MPPT. Consequently, study, an increase of 2.12% in voltage values, 16.21% in current values and 19.39% in power values was observed after the use of MPPT. As a result of the study, it was clearly understood that MPPT techniques can be used to get more efficiency from solar panels under harsh conditions.

To Cite: Sezgin S., Yönetken A., Özer T. Güneş Panellerinde Gölgeleme Durumunda Maksimum Güç Noktası ile Verim Arttırımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1258-1277.

1. Giriş

Teknoloji ilerlemeye başladıkça insanlar hayatlarını daha kolay hale getirebilmek amacı ile çalışmaya başlamışlardır. Teknolojik cihazların kullanımının artması enerji ihtiyacı ile doğrudan bağlantılıdır ve enerji ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Doğada birçok enerji kaynağı bulunmaktadır. Bunların bazıları insanlar tarafından kullanılabilirken bazıları da kullanılamaz ve başka bir forma dönüşebilmektedir. Bu enerji kaynaklarından en eskiye dayananı yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Fakat günümüzde yenilenemez enerji kaynakları enerjiyi karşılamakta yetersiz kalmaktadır ve bu nedenle daha farklı enerji kaynakları arayışına girilmiştir (Karakaya ve Şen, 2019). Bu arayış sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; Rüzgâr Enerjisi, Güneş Enerjisi, Hidrolik Enerji, Jeotermal Enerji ve Biyokütle Enerjisidir (Yılmaz, 2012). Yenilenebilir enerji kaynaklarından uzun süreli maliyet kolaylığı, kullanım ömrü ve tükenmeyen enerjiye sahip olmasından dolayı güneş enerjisi en çok tercih edilen enerji türüdür. Türkiye’de konumundan dolayı güneşten alınan potansiyel açısından zengindir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006). Güneş panellerinden elde edilecek enerjinin miktarı da yapılan ısınıma ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Çıkan, 2024). Güneş enerjisi güneş panelleri sayesinde insanlar tarafından kullanılabilir bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Güneş panelleri yardımıyla enerji elde etme yöntemi fotovoltaik olarak adlandırılmaktadır. Fotovoltaik sistemlere örnek olarak Şebekeden Ayrı (Off-Grid) ve Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri verilebilir (Aktaş ve ark., 2017). Şebekeden Ayrı (Off-Grid) sistemlerde depolanan enerji panellerde elektriğe dönüştürülerek akülerde stoklanır ve invertör yardımıyla AC elektriğe dönüştürülür. Genellikle de elektrik şebekesinin bulunmadığı bölgelerde kullanılmaktadır. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler güneş enerji santralleri olarak düşünülebilir. Güneş panelleri tarafından üretilen elektrik, şebekeye bağlı bir invertör tarafından düzenlenir ve şebekeye iletilmek üzere dönüştürülmektedir. Fotovoltaik sistemlerde her elektrik üretim aşamasında dönüştürülen enerjide kayıplar meydana gelmektedir (Öztürk, 2020). Bu kayıplar ısınım kayıpları, istem kayıpları ve invertör kayıplarıdır. ısınım kayıplarına örnek olarak; spektrum kayıpları, yansıma kayıpları ve gölgeleme kayıpları verilebilir. Sistem kayıplarına örnek ise; düşük ısınım kayıpları, sıcaklık kayıpları, uyumsuzluk kayıpları ve kablo kayıplarıdır. Bu kayıplarda üstünde durulması gereken en önemli kayıplardan biri gölgeleme kayıplarıdır (Ayaz ve Hocaoğlu, 2019). Gölgeleme kayıpları; güneş panellerinin gölgelenen bölümleri ile gölgelenmeyen bölümleri arasındaki gerilim farkıdır. Güneş paneli yeterli miktarda ışık almazsa ürettiği güç azalmaktadır. Güneş panelinde tek bir hücrenin gölgelenmesi bile

enerji üretimini durdurur ve yük görevi görür. Elde edilecek güç, yükün büyüklüğü, sıcaklık ve ışıınım gibi faktörlere bağlı olarak anlık değişiklik gösterebilmesinden kaynaklı bu durumda büyük güç kaybına sebep olabilmektedir (Yılmaz ve ark., 2018; Rahul ve Hariharan, 2023; Saral, 2023; Tan ve Mohamad-Saleh, 2023). Gölgeleme kayıpları; ufuk gölgelemesi ve panel sırası gölgelemesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Güneş panellerinin kurulum sahalarında dağ ve tepe gibi oluşumların bulunması durumunda bu durumların paneller üzerine oluşturduğu gölgelemelere ufuk gölgelemesi denmektedir. Güneş paneli santrallerinde kurulum yapılan panellerin birbiri üzerinde yaptıkları gölgeleme ise panel sırası gölgelemesi olarak adlandırılmaktadır. Gölgeleme güneş enerjisi verimini çok fazla düşürmekte hatta panellerin çalışmasını durdurabilmektedir. Bu durumdan dolayı birçok çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Bu çözümlere panel konumlandırması, bypass diyot kullanımı, güç optimize ediciler ve Maksimum Güç Noktası Takibi vb. örnek verilebilir. Güneş panelleri konumlandırılırken güneşin durumu dikkate alınarak konumlandırma yapılması gerekmektedir. Bypass diyot yardımı ile de gölgeli bölgeleri atlayarak enerji kaybı önlenmeye çalışılmaktadır (Zheng ve Li, 2014; Pamuk, 2023). Güç optimize edicilerde performansta düşüş yaşanmaması için voltajı ve akımı ayarlar. Güneş panellerinde gölgeleme konusu önemli bir konudur. Bu yüzden bu konu ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Aberle ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada kısmi gölgelemeye sahip bir güneş paneli LTspice'da modellemiştir. Çalışmada amaç gölgelemenin paneller üzerindeki etkisini simülasyonlar yardımı ile araştırmaktır. Üç bypass diyot ile beş bypass diyottan oluşmuş güneş panelinin gölgeleme koşulları altında değerleri elde edilerek karşılaştırılmış, gölgeye bağlı olarak maksimum güç hesaplanmıştır. Bouraiou ve ark. (2017) yapmış olduğu bir diğer çalışmada; gölgelemenin güneş panelleri üzerinde etkisinin incelenmesinin dışında bir de farklı güneş panellerinin güçlerinin etkileri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Farklı iklim koşulları ele alınarak güç ve enerji verileri elde edilmiş ve güç performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bouraiou ve ark. (2021) yapmış oldukları çalışmada; panellerin kurulumu yapılırken gerilimin yüksek olması tercih edildiği için paneller seri olarak yan yana konumda bağlanmıştır. Güneş panellerinin kurulum yapıldığı alanlarda bina, ağaç gibi dış etkenlerin olmasından dolayı panellerin bir kısmı gölgede kalarak kısmi gölgelemeyi oluşturmaktadır. Kısmi gölgelemenin yarattığı olumsuzluklardan kurtulmak için Bypass diyot kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Bypass diyot kullanımının önemini gösterebilmek amacı ile hem panel sayısı arttırılmış hem de panellerin bazılarında Bypass diyot kullanarak bazılarında ise kullanmayarak sistem güç değerleri incelenmiştir. Abdulmawjood ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada kısmi gölgelemenin güneş enerjisi üretiminde en önemli sorunlardan biri olmasından kaynaklı kısmi gölgelemenin farklı tipte güneş panellerinin farklı kenarları üzerinde etkisini anlayabilmek için çok kristalli, amorf ince film, Kadmiyum Tellurit (CdTe) ince film ve Bakır İndiyum Galyum Selenit (CIGS) ince film PV modüllerini içeren çalışmalar yapmış ve performans analizine bakılmıştır. Aynı zamanda üç panelde Bypass diyot, bir panelde ise Bypass diyotu kullanmadan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Literatürde Bypass diyot kullanımının dışında üstünde durulan konulardan biri de ve Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğini kullanarak güneş enerjisi verimliliğini arttırmak üzerine olan çalışmalardır. Bu çalışmalardan biri de

birden fazla sayıda seri ve paralel bağı güneş panelleri Matlab /Simulink programı kullanılarak simüle edilmiş ve farklı kısmi gölgelenme koşulları altında incelenmiştir ve Maksimum Güç Noktası değerlerinde uyumsuzluk ve güç kayıpları üzerinde çalışılmıştır (Mäki ve Valkealahti, 2011). Başka bir çalışmada maksimum güç için güç gerilimi değerleri ile Maksimum Güç Noktası Takibi ile maksimum güçte çalıştırılarak sıcaklık ve güneş ışığı verilerini elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçları simülasyon ve deneysel bir çalışmada göstermişlerdir ve Maksimum Güç Noktası Takibinin gölgeleme üzerindeki etkisi akım-voltaj, güç-voltaj grafikleri ile incelenmiştir (Shahariar ve ark., 2012). Diğer bir çalışmada üç farklı Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği kullanılarak güneş panellerinin performans ve verimi arttırılmak amaçlanmıştır. Birden fazla voltaj değeri elde edilerek güç-voltaj analizi yapılmıştır. Elde edilen değerler ile teknikler karşılaştırılmış ve güç performansında, kararlılıkta ve verim artışında hangi tekniğin daha iyi olduğu incelenmiştir (Mirza ve ark., 2019). Gürkan ve Güner'in 2024 yılında yapmış oldukları diğer bir çalışmada; güneş ışınlarının maksimum verimde kullanılabilmesi için maksimum güç verimliliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Güç verimliliğini etkileyen en önemli durumlardan biri kısmi gölgelemelidir. Bu çalışmada kısmi gölgeleme sorununu çözebilmek için meta sezgisel algoritmaları olan parçacık sürü optimizasyonu, gri kurt optimizasyonu ve balina optimizasyonu algoritmaları Matlab/Simulink programında tasarlanarak sonuçları birbirleri ile karşılaştırıp performans analizi yapılmıştır (Gürkan ve Güner, 2024). Maksimum Güç Noktası ile ilgili bir başka çalışmada, güneş panellerinin güneş ışığını kısmi gölgelemeye maruz kalmasından dolayı ve güneş ışığını tam verimle kullanamamasından kaynaklı akım-voltaj ($I-V$), güç-voltaj ($P-V$) grafik değerlerini incelemek amacı ile Matlab programı kullanarak bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada farklı özelliklere sahip panellerdeki gölgelenmenin etkileri incelenmiştir (Patel ve ark., 2008). Bir diğer çalışma, gölgelemeye maruz kalan güneş panellerinden elde edilecek enerjideki verimi arttırabilmek amacı ile Matlab/Simulink programında üç farklı MPPT yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan MPPT teknikleri değiştir ve gözle (DandG), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve guguk kuşu optimizasyonu (GKO) yöntemleridir. Bu yöntemler ile güç değerleri takip edilmiş ve maksimum güç elde edilmeye çalışılmıştır (Gümüş ve Demirtaş, 2021). Maksimum Güç Noktası ile ilgili son çalışmada gölgelemeden kaynaklı güç ve verim kaybından dolayı Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği ile sezgiye dayalı yapay zekâ olan gen algoritması kullanılarak performansı etkileyen durumları incelemek ve bunlar üzerinde geliştirici bir çalışma yapmak amacı ile Matlab/Simulink kullanılarak simülasyonu geliştirilmiş ve güç-voltaj, akım-voltaj grafikleri incelenmiştir (Megantoro ve ark., 2018). Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğinin kullanımında birden fazla yöntem vardır. Bu yöntemler Perturb and Observe, Artımlı iletkenlik, kesirli kısa devre akımı yöntemi ve Bulanık Mantık kontrol tabanlı yöntemdir. Bu çalışmada Maksimum Güç Noktası Takibi tekniklerinden Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Bulanık Mantık yöntemi ile ilgili de literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ilkinde gölgelenmenin enerji kaybı ve güç kaybına sebep olmasından dolayı fotovoltaik sistemlerde sorunlar oluşmasından kaynaklı Maksimum Güç Noktası Takibi teknikleri kullanarak gölgelenme azaltılmaya çalışılmıştır. Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği

olarak Takagi-Sugeno (T-S) Bulanık Mantık yöntemi tercih edilmiştir. Bunun sebebi de Bulanık Mantık yöntemi iklimsel değişikliklerden etkilenmemekte ve diğer tekniklerden daha iyi performans göstermektedir (Choudhury ve ark., 2015). Diğer bir çalışmada gölgelenme koşulları için hem bulanık mantık yöntemi hem de Perturb and Observe (P&O) algoritması birlikte kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir (Kumar ve ark., 2018). Başka bir çalışmada Matlab\Simulink kullanılarak gölgelenme koşullarını azaltıp güneş panellerinin performansını arttırmak amacı ile Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğinden Bulanık Mantık kullanılmış ve Perturb and Observe (P&O) algoritmasına dayalı çalışılmıştır (Chin ve ark., 2012). Son çalışmada gölgelenme koşullarında güneş panellerinin farklı konfigürasyonları incelenerek dört farklı Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı iyi değer aralığını bularak verim ve performansı arttırmaktır (Naick ve ark., 2018). Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği ile ilgili son çalışma maksimum güç transferi yöntemlerinden olan gradiyent tabana sahip artımlı iletkenlik ve değiştir ve gözle yöntemleri ile sabit gerilim ve açık devre gerilim yöntemi olan pasif maksimum güç transferleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sürekli değişen ısıtım değerleri ile güç ve elde edilecek verim bu yöntemler ile incelenmiş ve performans analizi gerçekleştirilmiştir (Altıntaş ve ark., 2021). Bu çalışmada Bulanık Mantık tekniği kullanılmıştır. Bulanık Mantık, sistem belirsizliğini ve doğrusal olmamayı yönetmek için basit ve çok etkili bir tekniktir. Bulanık Mantık, hava değişiklikleri sırasında daha hızlı ve daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu çalışmanın ana amacı gölgelemeye maruz kalan güneş paneli sistemlerinin Maksimum Güç Noktası Takibi tekniklerinden olan Bulanık Mantık yöntemi ile maksimum güç, verim ve performansı arttırmaktır.

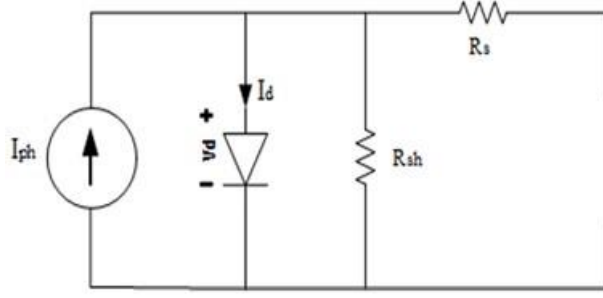
2. Materyal ve Metot

2.1. Güneş Paneli Modeli

Güneş paneli; bir çerçeve içine yerleştirilmiş fotovoltaiik hücrelerin birleşimidir. Güneş paneli enerji kaynağı olarak güneş ışığını kullanarak elektrik akımı üretir. Güneş panelleri genellikle bir dizi halinde kurulur. Güneş panelleri tüm faktörler dikkate alınarak matematiksel olarak modellenabilir. Güneş panellerin iki matematiksel modeli vardır. Bunlar tek diyot ile oluşturulan devre modeli ve iki diyot ile oluşturulan devre modelidir.

2.1.1. Tek Güneş Modeli

Güneş panellerinin tek diyot ile oluştururken, bir akım kaynağı ve paralel bağlı diyot, şönt direnç ve seri bağlı direnç kullanılmaktadır. Tek diyot modeli Matlab\Simulink'teki güneş paneli dizisinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanım olarak kolay olması ve yüksek verime sahip olmasından kaynaklı bu çalışmada tek diyot modeli kullanılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de tek diyot ile oluşturulan model gösterilmektedir (Khan ve ark., 2016).



Şekil 1. PV hücresinin tek diyot modeli

I_{ph} fotovoltaik akım kaynağını, I_d diyot akımını, I_{sh} şönt akımını, R_{sh} şant direncini, R_s seri direnci, I hücre akımını ve V hücre gerilimini temsil etmektedir. Güneş panelinin akım ve gerilimleri matematiksel olarak aşağıdaki gibidir (Boztepe, 2017).

$$I_{PV} = I_L - I_S \times \left(e^{\frac{q \times V_{PV}}{n \times k \times T}} - 1 \right) \quad (1)$$

V_{PV} : Güneş panelinde ele alınacak gerilim

I_{PV} : Güneş panelinde ele alınacak akım

I_L : Işık akımı

I_S : Diyot akımı

q : Elektron yükü

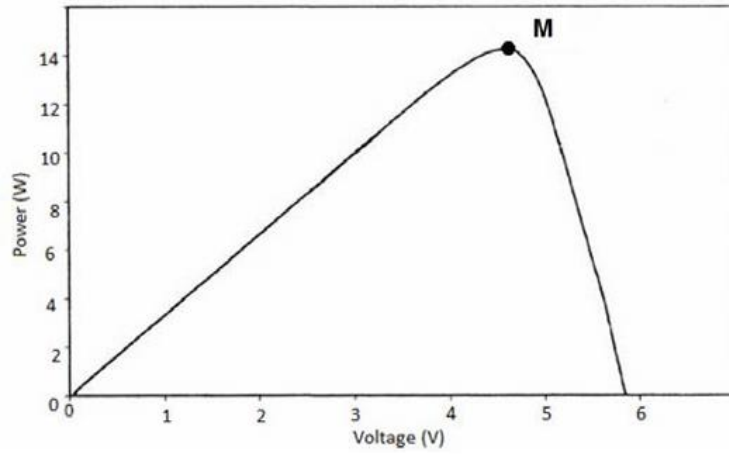
k : Boltzmann sabiti

n : Diyot Faktörü

T : Hücre sıcaklığı

2.2 Maksimum Güç Noktası Takibi

Güneş panelleri; güneş enerjisini alarak farklı formlara dönüştürmektedir. Bu dönüşüm yapılırken elde edilen güneş enerjisinde kayıplar meydana gelir. Bir de panellerin içerisinde gerçekleşen bu kaybın dışında paneller dış etkenlerden de etkilenmekte ve ısıtım, sıcaklık, yön ve gölgeleme gibi durumlardan etkilenerek enerji kaybına neden olmaktadır ve gün içerisinde elde edilecek ışın miktarı da değişmektedir. Bu durum düzensiz bir güç değerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumdan kaynaklı çıkış gücünde maksimum gücün elde edilmesi önemlidir. Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğini kullanarak gücün değerlerindeki inişler çıkışlar tespit edilerek gücün en yüksek değere sahip olduğu an elde edilir ve düzenli ve verimin fazla olduğu anları elde ederek kullanmak amaçlanmaktadır. Elde edilen gerilimi ve akımı kontrol ederek güneş panelinden sisteme doğru maksimum güçte çalışılması için Maksimum Güç Noktası Takibi ile çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Birçok Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği bulunmaktadır. Bunlar dolaylı, doğrudan ve diğer teknikler olarak ayrılmaktadır. Şekil 2 Fotovoltaik sistemlerin Maksimum Güç Noktasını temsil etmektedir (Khan ve ark., 2016).



Şekil 2. Fotovoltaik sistemin maksimum güç noktası (Khan ve ark., 2016)

2.3. Bulanık Mantık Kontrolü

Bulanık Mantık; sisteminde bir sıfır olarak adlandırılan değerlerin dışında ara değerleri de bulunduran bir sistemdir. Güneş panellerinde basitlik ve performansta artışa sahip olunması istenmesinden dolayı gölgelenmeyi azaltmak amacı ile sıklık ile kullanılan yöntemlerden biridir. Kesin değerlerin dışında daha esnek ve kesin olmayan değerler ile çalışarak kontrolü gerçekleştirir. Bulanık Mantık kural tabanlı bir yapıya sahiptir. Değişken ve belirsiz çevre koşullarının sahip olunan yerlerde Maksimum Güç Noktası Takibi yöntemlerinden Bulanık Mantık yöntemi kullanılmaktadır. Bulanık Mantık kontrolcüsü tasarlanırken aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilir.

- Değişkenlerin tanımlanmalı
- Bulanık alt küme yapılandırılmalı
- Bulanık kural tabanının konfigürasyonu sağlanmalı
- Bulanıklaştırma
- Bulanık çıktıların birleştirilmesi
- Durulaştırma

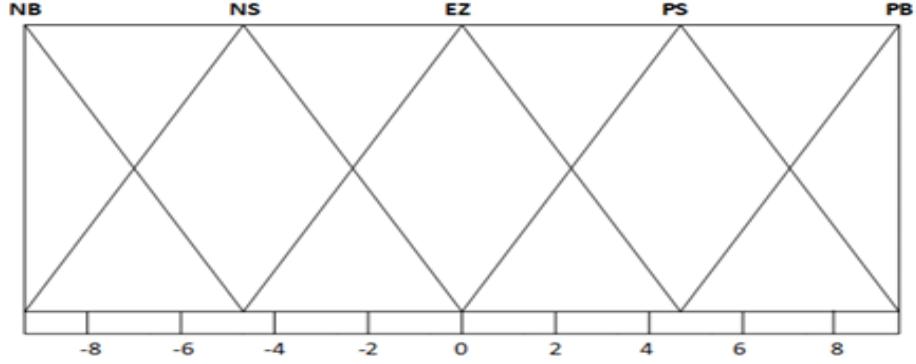
2.3.1. Bulanık Mantık Tasarımı

Bulanık Mantık gerçekleştirilirken giriş fonksiyonları ve üyelik fonksiyonları tanımlanarak gerçekleştirilir ve bu fonksiyonlar bulanık küme olarak adlandırılır. Kesin bir değeri bulanık bir değere dönüştürmek bulanıklaştırma olarak adlandırılır. Bu çalışma sırasında Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada iki giriş $E(t)$, $CE(t)$ ve bir çıkış ise D fonksiyonu tanımlanmıştır. Denklem 2 ve Denklem 3 bulanık sisteme verilen girişleri temsil etmektedir.

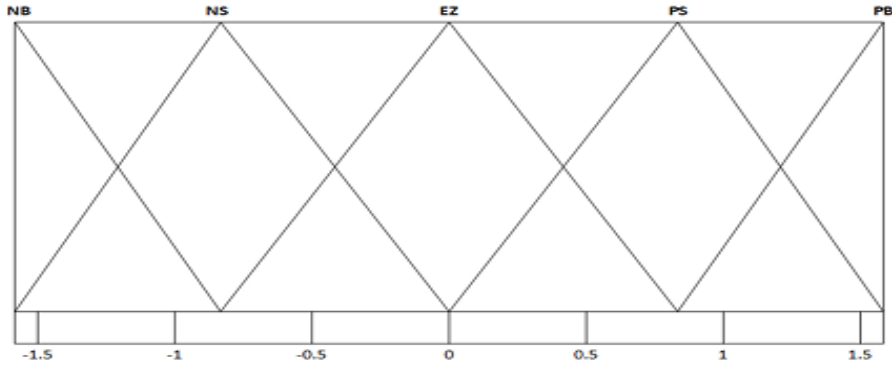
$$E(t) = V(t) - V_{ref} \quad (2)$$

$$CE(t) = E(t - 1) - E(t) \quad (3)$$

Giriş değişkenleri tanımlandıktan sonra giriş üyelik fonksiyon grafikleri elde edilmiştir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'te giriş üyelik fonksiyonu olan $E(t)$, **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'te ikinci giriş üyelik fonksiyonu olan $CE(t)$ bulunmaktadır.



Şekil 3. Giriş üyelik fonksiyonu $E(t)$



Şekil 4. İkinci giriş üyelik fonksiyonu $CE(t)$

Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları için kullanılan adlandırma aşağıdaki gibidir:

Not: Negatif büyük

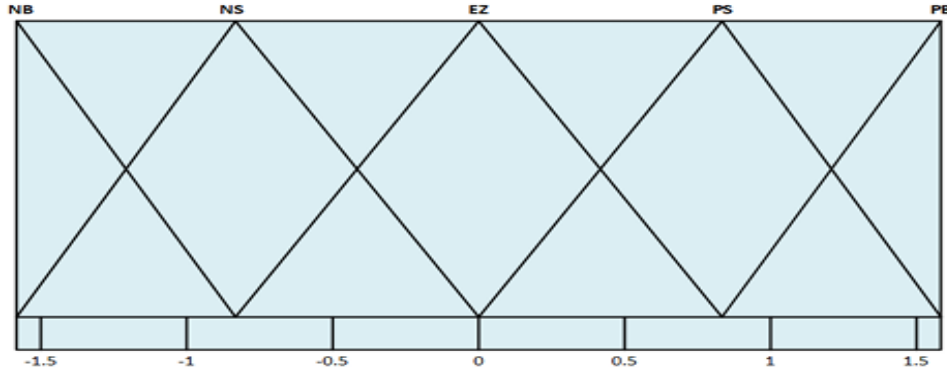
NS: Negatif küçük

EZ: Sıfır

Not: Pozitif küçük

PB: Pozitif büyük

Şekil 5 çıkış fonksiyonu olarak adlandırılan D fonksiyonunu göstermektedir. D çıkışını belirlemek için kurallar Tablo 1'de tanımlanmıştır.



Şekil 5. Çıkış fonksiyonu olan D fonksiyonu

Tablo 1. Bulanık Mantık kural tablosu

$E(t)/CE(t)$	NB	NS	EZ	PS	PB
NB	PB	PS	NS	NS	NB
NS	PS	PS	NS	PB	NB
EZ	NB	NB	PB	PS	PB
PS	NS	NS	PB	NB	PS
PB	NS	NS	PB	PB	PB

Oluşturulan bu kümeler gölgelemeden kaynaklı oluşan etkileri belirtmektedir. Kararlar, bulanık kurallar kullanılarak girdi değişkenlerine göre verilir. Amacı gölgeli koşullarda Maksimum Güç Noktasını bulmaktır.

2.4. Boost Dönüştürücü (Boost Converter)

Girdi olarak giren voltajı istenen gerilim değerine yükselterek çıktı olarak vermektedir. Doğru akımı doğru akıma dönüştürmektedir. DC/DC Boost dönüştürücüler Maksimum Güç Noktası Takibinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu yüzden bu çalışmanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Maksimum Güç Noktası Takibi algoritmalarının oluşturduğu görev döngüleri, Boost dönüştürücü anahtarına verilmektedir. İndüktör enerjiyi depolaması ve yüke daha yüksek bir voltaj seviyesi

iletmesinden kaynaklı devrede kullanılması tercih edilmektedir. Aşağıda Boost dönüştürücünün tasarımında kullanılan denklemler bulunmaktadır.

$$C_{min} = V_{mpp} \times D_{mpp}/2 \times \Delta V_{out} \times R_L \times f_s \quad (4)$$

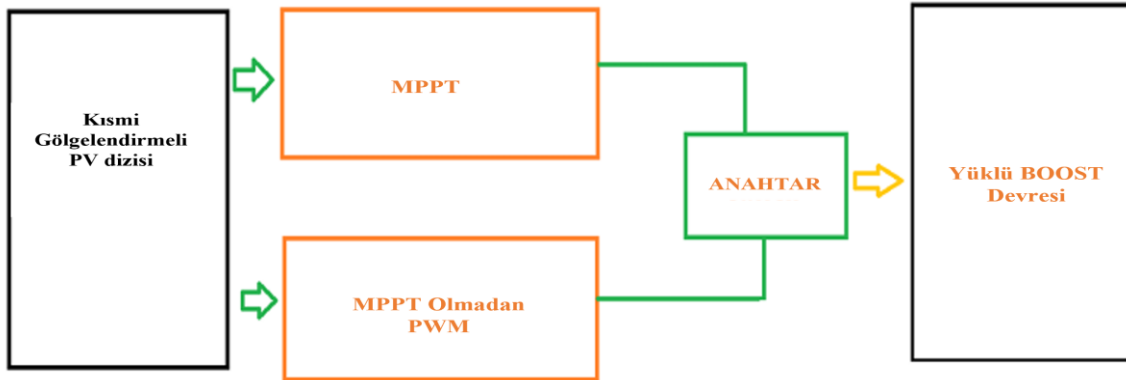
$$R_L = R_{mpp} / [(1 - D_{mpp})]^2 \quad (5)$$

$$L_{min} = V_{mpp} \times D_{mpp}/2 \times \Delta I_{out} \times f_s \quad (6)$$

C_{min} değeri Boost dönüştürücüyü sürekli modda tutmak için gereken minimum kapasitans değerini, L_{min} değeri akımın sürekli kalması için gerekli endüktör değerini, V_{mpp} değeri Maksimum Güç Noktasındaki voltajı, D_{mpp} değeri maksimum noktaya ulaşılan görev döngüsünü, ΔV_{out} değeri çıkışta kabul edilebilir dalgalanma voltajını, R_L değeri yük direncini ve F_s değeri Boost dönüştürücünün anahtarlama frekansını tanımlamaktadır.

2.5.Devre Blok Şeması

Bu çalışmaya ait simülasyon tasarım planlanması **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da gösterilmektedir.

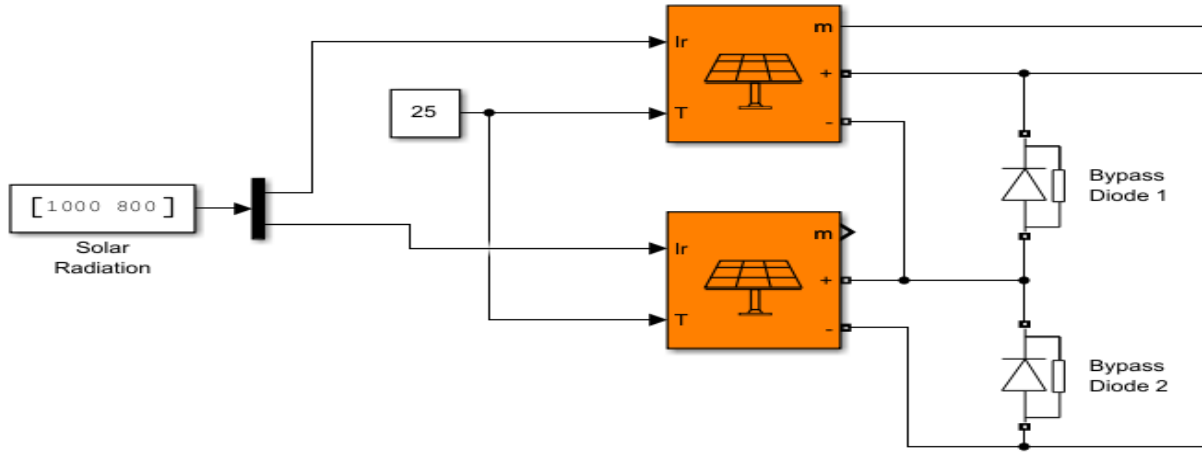


Şekil 6. Tasarım blok şeması

2.6. Matlab Devre Tasarımı

2.6.1.Fotovoltaik Dizilerde Bypass Diyot Kullanımı

Çalışmada güneş panellerindeki gölgeleme sorununu gösterebilmek için devrenin bir ışınlım yapması gerekmektedir. Bu bölümde ışınlım değerleri bulunmaktadır, kısmi gölgeleme yapabilmek için güneş ışınlımı bir panel için 1000W/m^2 , ikinci panel için 800W/m^2 olarak kullanılmıştır. İki panelin güç değerlerinin farklı seçilme nedeni ise güneş panellerini gölgelemeye maruz bırakarak inceleme yapılmak istenmesidir. Bu yüzden ikinci panel güç değeri 800W/m^2 ayarlanmıştır. Sıcaklık tüm panellerde aynı değer ayarlanmıştır. Devrede güneş panellerinin kısa devre yapmasını önlemek için iki adet Bypass diyot kullanılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de güneş panellerinde tasarımın ilk aşaması verilmektedir.



Şekil 7. Güneş panelleri ve Bypass diyot tasarımı

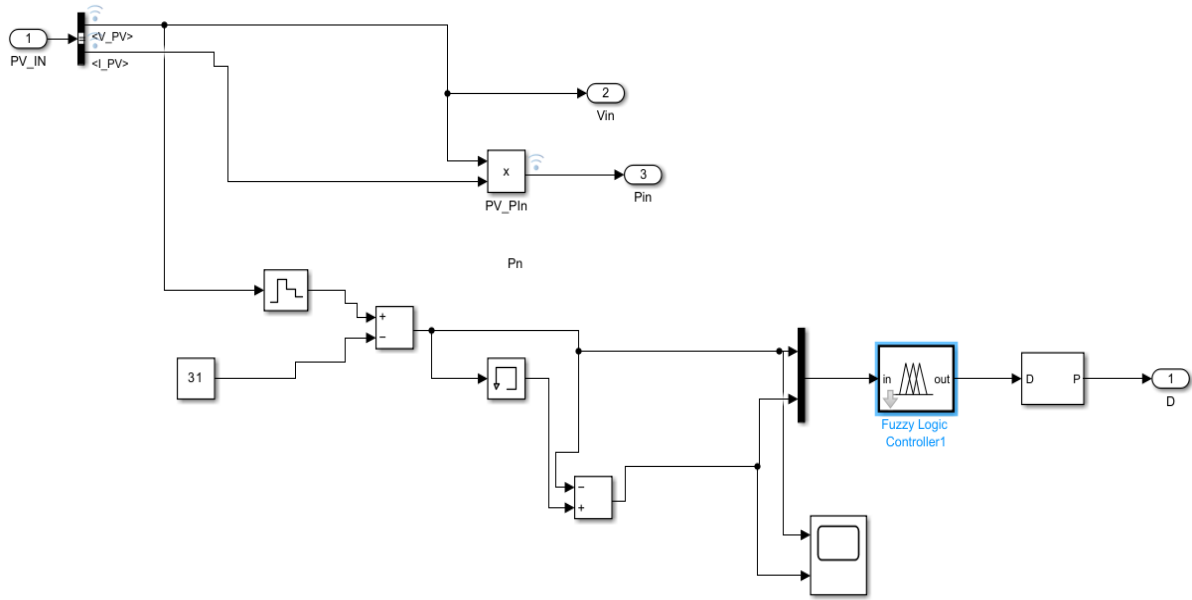
Tasarım gerçekleştirilirken kullanılan güneş paneli verileri Tablo 2’dedir.

Tablo 2. Güneş paneli verileri

Maksimum Güç	Açık Devre Gerilimi	Kısa Devre Akımı	Maksimum Gerilim	Maksimum Akım
213,15 W	36,3 W	7,84 A	29 V	7,35A

2.6.2. Maksimum Güç Noktası Takibinde Bulanık Mantık Kontrolünün Kullanımı

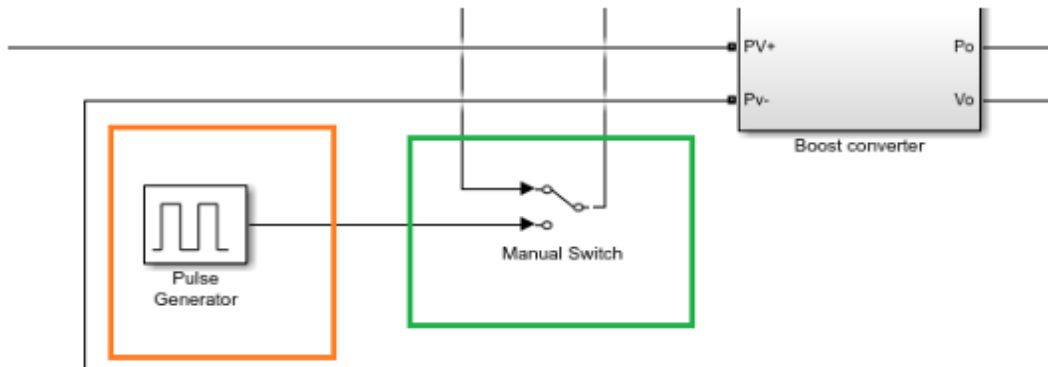
Bulanık Mantık Matlab devre tasarımıda Bulanık Mantık kurallarının uygulandığı bir fotovoltaiik giriş, referans voltajı, girdiyi aynı düzeyde tutmak için zero order hold, memory (bellek) ve bulanık mantık bloğu bulunmaktadır. Referans voltajı, daha sonra bulanık bir değişken olarak kullanılan hata sinyallerini üretmek için kullanılır. Bellek bloğu önceki andaki hatayı saklar ve daha sonra mevcut hata ve önceki hata bulanık bloğa beslenir. Denklem 2 ve Denklem 3 de hata ve hafıza fonksiyonları verilmektedir. Kontrol olarak bulanık Mantık bloğu uygulanır. Belirlenen giriş, çıkış verileri ve bulanık kurallar bu blokta kullanılır. Şekil 8’de Bulanık Mantık devre şeması verilmektedir.



Şekil 8. Bulanık Mantık kontrolü devre şeması

2.6.3. Switch ve Pulse Bloğu

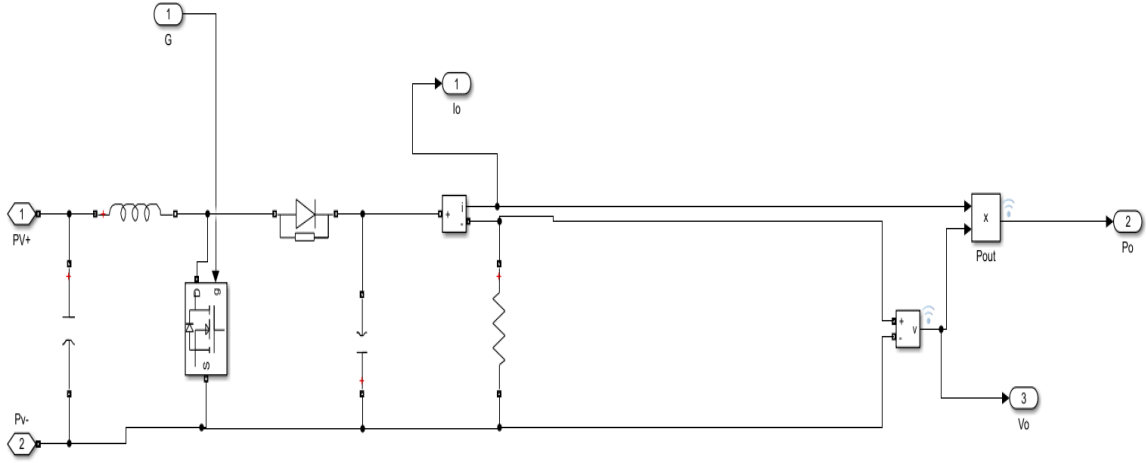
Maksimum Güç Noktası Takibi olmayan simülasyon sırasında Boost dönüştürücüye beslenen bir PWM sinyali oluşturmak için bir Pulse bloğu kullanılmalıdır. Manuel Switch, MPPT ve MPPT olmayan modlar arasında geçiş yapmak için kullanılır. Switch ve Pulse blokları **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da verilmektedir.



Şekil 9. Switch ve Pulse blokları

2.6.4. Boost Dönüştürücü

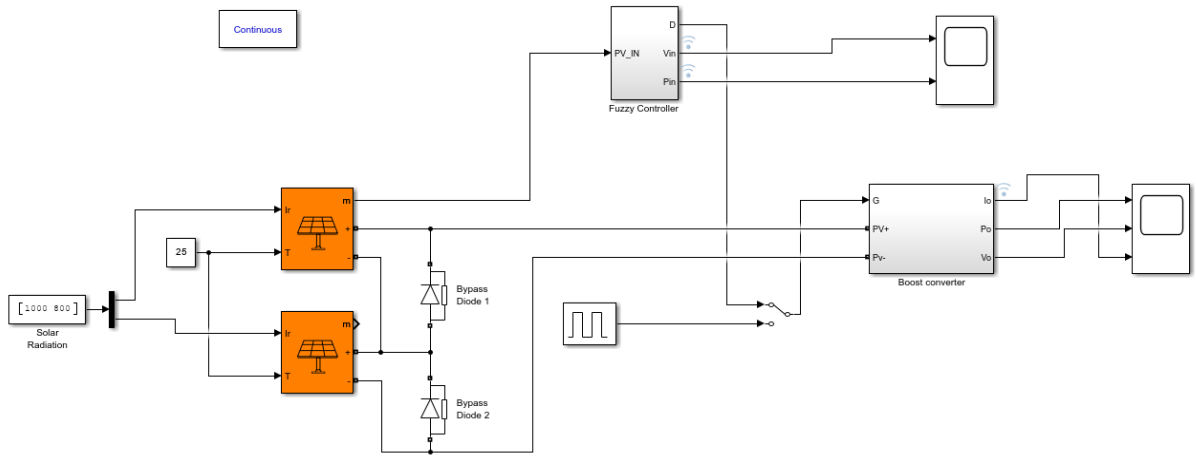
Boost dönüştürücünün çalışması Mosfet'e giriş 1 olduğunda yani açık olması durumunda, indüktör bu Mosfet aracılığıyla enerjiyi şarj eder ve depolar. Bir sonraki döngüde Mosfet kapatıldığında indüktör depolanan enerjiyi girişle birlikte yüke gönderir. Kapasitör, yük boyunca çıkış voltajını koruyacak şekilde konumlandırılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da Boost dönüştürücü tasarımı bulunmaktadır.



Şekil 10. Boost dönüştürücü tasarımı

2.6.5. Genel MPPT Tasarımı

Matlab\Simulink kullanılarak tasarlanan çalışmada ana tasarım, kısmi gölgelendirmeli fotovoltaiik modüllerini, MPPT için Bulanık Mantık kontrolörünü, MPPT olmayan kontrol için PWM kontrolörünü ve Boost dönüştürücüyü içermektedir. Kısmi gölgeleme altında MPPT durumunda her güneş panelindeki voltajı izler. Bulanık Mantık kontrolü için tasarlanan Denklem 2 ve Denklem 3 kullanılarak anlık hata önceki hata ile karşılaştırılır ve Bulanık Mantık kontrolü beslenir. Bulanık Mantık üyelik fonksiyonlarını kullanarak kesin çıktıyı hesaplar. Böylece devre akışı tamamlanmış olur. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de gölgelenme altında kalan genel MPPT tasarımı bulunmaktadır.

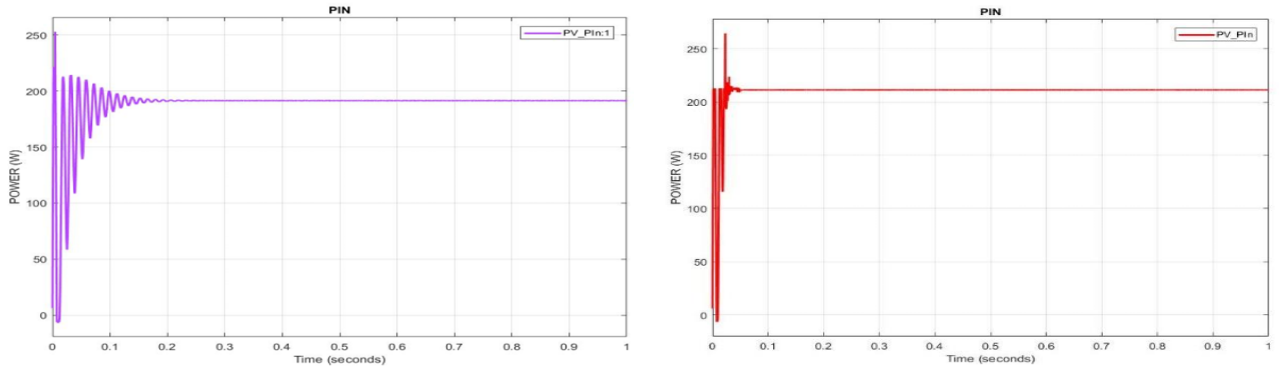


Şekil 11. Genel MPPT tasarımı

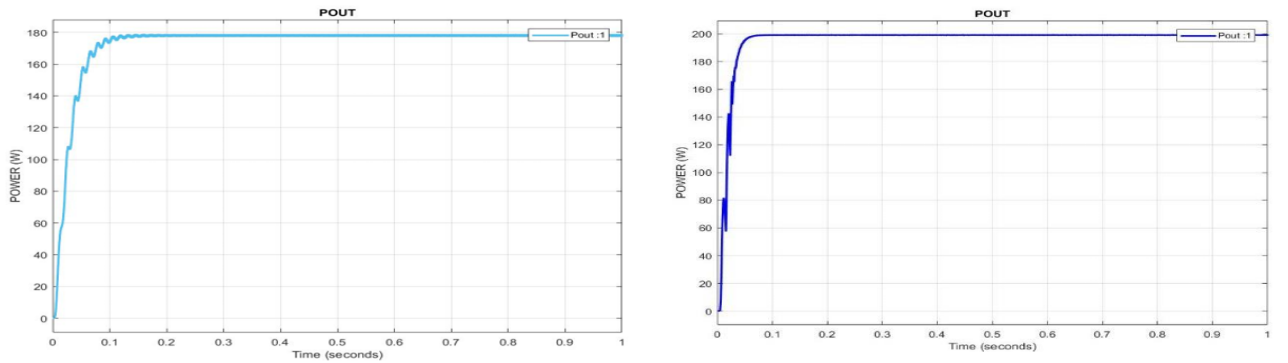
3. Bulgular

Kısmi gölgelenme altında Maksimum Güç Noktası Takibi uygulanmamış sonuçlar incelendiğinde; giriş gücünün çıkış gücünden daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum sistemin verimliliğinin %100'den az olduğunu göstermektedir. Bu durumda kayıplar meydana gelmektedir. Giriş

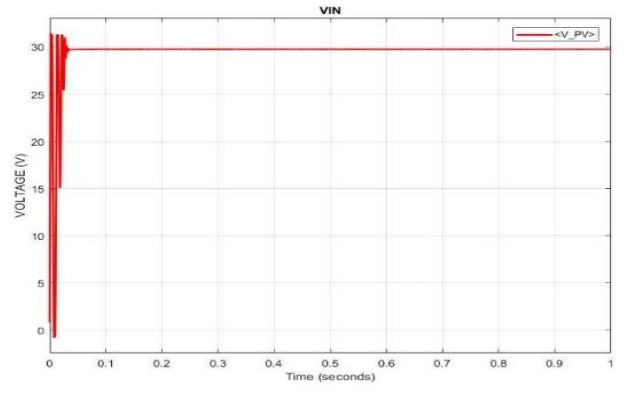
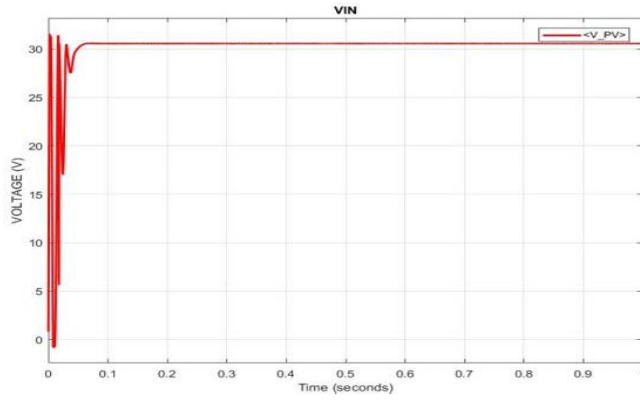
voltajını artıran bir Boost dönüştürücü kullanıldığı için çıkış voltajının giriş voltajından daha yüksek olduğu görülmektedir. Çıkış akımı, Boost dönüştürücünün çalışmasına karşılık gelen giriş akımından daha azdır, çünkü Boost dönüştürücüde çıkış gücü olarak gücü korumak için voltaj artar ve akım azalır. Çünkü çıkış gücü giriş gücünden daha büyük olamaz. Kısmi gölgelenme altında Maksimum Güç Noktası Takibi uygulanmış çalışmanın sonuçlarında ise giriş gücünün çıkış gücünden daha büyük olduğu grafiklerde görülmektedir. Bu da sistemin genel verimliliğinin yine %100 olmadığı fakat MPPT uygulanmamış çalışmaya göre verimliliğin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Grafikler incelendiğinde çıkış voltajının giriş voltajından daha yüksek olduğu fark edilebilir çünkü giriş voltajını artıran bir Boost dönüştürücü kullanılmaktadır. Akım grafikleri incelendiğinde, çıkış akımı, Boost dönüştürücünün çalışmasına karşılık gelen giriş akımından daha azdır, çünkü Boost dönüştürücü çıkış gücü olarak gücü korumak için voltaj artar ve akım azalır. Giriş gücünden daha büyük olamaz. Güç, akım ve voltaj grafikleri incelendiğinde yine verimin ve değerlerin az olduğu düşünebilir fakat Maksimum Güç Noktası Takibi kullanmadan yapılan ve Maksimum Güç Noktası kullanılarak yapılarak çalışma karşılaştırılmalı ve bu sonuçlar değerlendirilmelidir.



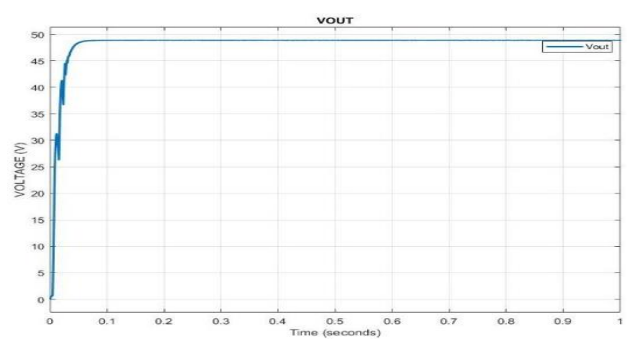
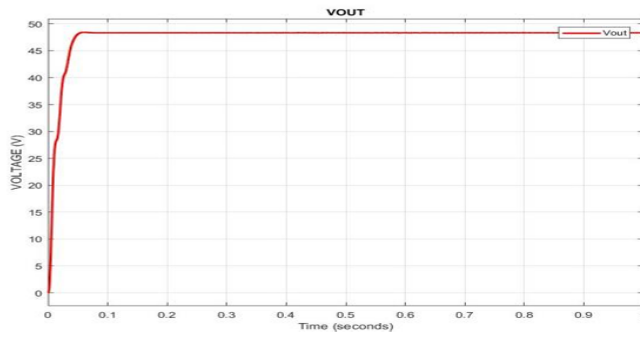
Şekil 12. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin giriş gücü



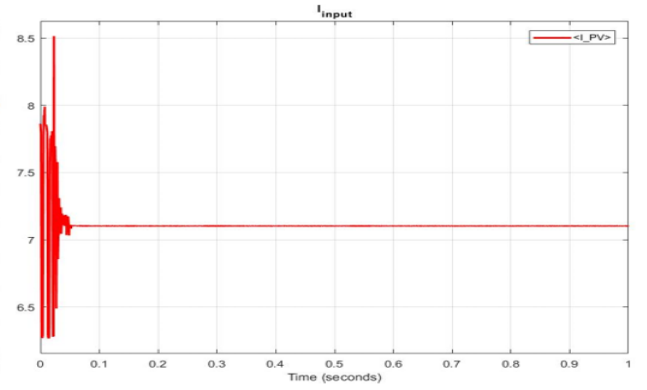
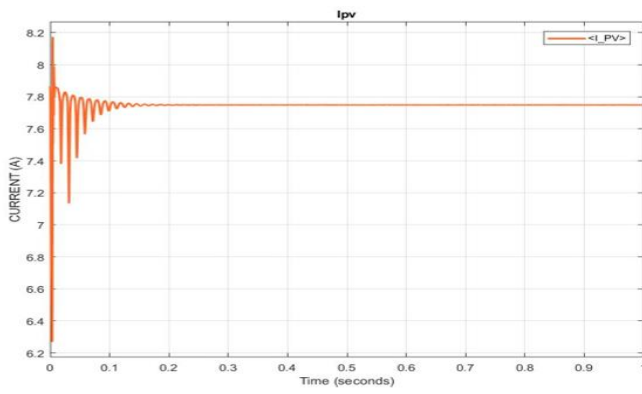
Şekil 13. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin çıkış gücü



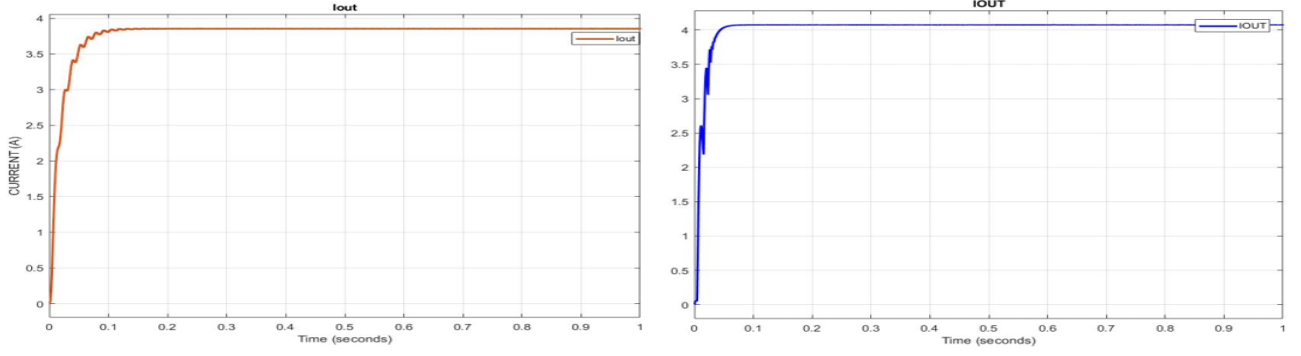
Şekil 14. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin giriş voltajı



Şekil 15. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin çıkış voltajı



Şekil 16. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin giriş akımı



Şekil 17. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin çıkış akımı

4.Tartışma

Günümüzün en büyük sorunlarından biri gölgelenmeye maruz kalarak düşük verim veren güneş panelleridir. Güneş panelleri elde ettiği enerjiyi farklı formlara dönüştürürken enerji kaybı gerçekleşmektedir ve verim azalmaktadır. Çalışmada Bulanık Mantık ile MPPT yöntemi kullanarak verimin artışı sağlamak amaçlanmaktadır. Bulanık Mantık yöntemi ile sürekli değişen hava durumundaki değerler olabileceğinden dolayı belirsiz sistemlerde ara değerleri ele alarak daha hızlı ve doğru sonuçlar ile kontrol gerçekleştirilmiştir. Bulanık Mantık dışında çalışmada Boost Converter önemli bir yere sahiptir. Gölge günlerde veya akşam saatlerinde güneşten elde edilecek verim az olacağı için güneş panelinin voltaj değeri de düşük olacaktır. Boost Converter yüksek güç seviyesine ulaşabilmek için gerilimin genliğinde dönüşüm sağlar ve çıkış genlik değerini uygun değere göre yükseltmektedir. Bu yüzden bu çalışmada Boost Converter kullanımı tercih edilmiştir. Böylece enerji üretiminde artış sağlamıştır. PV panel sayısı düşünüldüğünde toplamda oldukça yüksek bir güç üretim artışı sağlanmış olur. Bu çalışma sonucunda MPPT'li ve MPPT'siz sistemler incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 2'de MPPT'li ve MPPT'siz sistemin maksimum değerleri ele alınarak güç, akım ve voltaj değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Değerler incelendiğinde MPPT'li sistemin voltaj değerinin ve akım değerinin MPPT'siz sistemden elde edilen voltaj ve akım değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Böylece elde edilen maksimum güç değeride MPPT'li sistemde %19,39'luk güç üretim kazancı sağlanmıştır. Sistemlerde çok sayıda fotovoltaik panel olduğundan toplam enerji üretimide buna bağlı olarak artacaktır. Çalışma sonuçları incelendiğinde akım, voltaj ve güç değerlerinde MPPT kullanılarak yapılan çalışmanın MPPT kullanmadan yapılan çalışmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. MPPT kullanılarak maksimum gücün elde edildiği ve bu elde edilecek veriminde daha yüksek olduğu değerlere bakılarak anlaşılmaktadır. Elde edilen verilerden MPPT'nin kısmi gölgeleme altında çok daha gelişmiş ve daha iyi performansa sahip olduğu çıkarılmaktadır.

Tablo 3. MPPT'li ve MPPT'siz verilerin karşılaştırması

Parametreler	MPPT Kullanarak	MPPT Kullanmadan	Fark	Kazanç	MPPT Kullanarak % Verim	MPPT Kullanmadan % Verim
Voltaj	48 V	47 V	1	%2,12	96,00	94,00
Akım	4,3 A	3,7 A	1,9 A	%16,21	89,58	77,08
Güç	206 W	174 W	32 W	%19,39	85,83	72,50

MPPT yönteminin verim artışında büyük avantajı olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. İçerik olarak daha kompleks ve karmaşık bir yapıya sahip olmasında dolayı maliyeti yüksek bir yöntemdir. MPPT yöntemi anlık değişen hava durumuna hızlı tepki veremeyebilir ve enerjide verim kaybı gerçekleşebilir. Bunların dışında aktif olarak MPPT yöntemini kullanan cihazlarda aşırı ısınma gerçekleşebilir ve bu yüzden cihaz ömrü kısalabilmektedir. Fakat bu dezavantajlara rağmen bu çalışma incelendiğinde güneş panellerinden elde edilecek verim artışının MPPT yöntemi kullanarak olduğu görülmektedir ve MPPT yöntemini kullanmanın avantajı dezavantajından daha fazladır.

5.Sonuç

Kısmi gölge koşullarında güneş panellerinde sistem verimliliğini artırmak için bu projede Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği olan Bulanık Mantık kontrolcüsü kullanılmıştır. Çalışma sırasında normal bir PWM dönüştürücü, girişteki değişiklikleri tespit etme yeteneğine veya devresine sahip olmadığı görülmüş ve dolayısıyla bu değişikliklere tepki vermemiştir. Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğini kullanan DC/DC dönüştürücüler bu sorunlara mümkün olan en iyi sonuçları vermiştir. Sonuç olarak MPPT tekniklerinin kısmi gölgeleme gibi zorlu çevre koşulları altında güneş panellerinden daha fazla güç elde ettiği ve performansı arttırdığı görülmüştür.

6.Öneriler

Maksimum güç transferi teknikleri daha karmaşık devre ve bilgi işlem gücü gerektirir. Tüm bu faktörler sistem maliyetlerini artırmaktadır. Eğer sistemin daha iyi bir verim ve performansa sahip olması isteniyorsa maliyet gözden çıkarılmalıdır. Fakat sistemin maliyeti ve performansı arasında ödün verilebilir. Sistemin uygun olması, maliyetinin düşük olması ve karmaşık olmaması isteniyorsa Bulanık Mantık ve Maksimum Güç Transferi teknikleri tercih edilmemelidir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Abdulmawjood K., Alsadi SY., Refaat SS., Morsi WG. Characteristic study of solar photovoltaic array under different partial shading conditions. IEEE Access 2022; 10: 6856-6866.
- Aberle AG., Peters M., Guo S., Walsh TM. Analysing partial shading of PV modules by circuit modelling. 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference 03-08 June 2012; Austin TX, USA 002957-00296.
- Aktaş E., Araz M., Atay O., Bıyık E., Hepbaşlı A., Genç Y. Fotovoltaik (PV) sistemlerin tasarımı için bütünleşik bir metodolojinin geliştirilmesi ve bir uygulama. TESKON Termodinamik Sempozyumu 19-22 Nisan 2017, İzmir; 1300-1312.
- Altıntaş N., Yılmaz A., Demirci A., Tercan SM. Bataryalı PV sistemlerde maksimum güç noktası takip yöntemlerinin karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 21: 369-377.
- Ayaz E., Hocaoglu FO. Afyonkarahisar bölgesinde tesis edilen gerçek bir güneş enerjisi sisteminde gölge analizi yapılması. Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 1(1): 41-57.
- Bouraiou A., Bouchafaa F., Dabou R., Mostefaoui M., Neçaibia A., Rouabhia A., Sahouane N., Ziane A. Impact of partial shading and PV array power on the performance of grid connected PV station. 18th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA) 21-23 December 2017, Monastir, Tunisia; 476-481.
- Boztepe M. Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri Konferansı Şubat 2017, İzmir.
- Chin CS., Chin YK., Chua BL., Kiring A., Teo KT. Fuzzy logic based MPPT for PV array under partially shaded conditions. 2012 International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT) 26-28 November 2012, Kuala Lumpur, Malaysia; 133-138.
- Çıkan M. Çıta optimizasyon algoritması kullanarak kısmi gölgelenme altındaki fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyicisinin tasarlanması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2024; 40(1): 555-572.
- Choudhury S., Rout PK. Adaptive fuzzy logic based MPPT control for PV system under partial shading condition, International Journal of Renewable Energy Research 2015; 5(4): 1252-1263.
- Gümüş Z., Demirtaş M. Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması. Politeknik Dergisi 2021; 24(3): 853-865.
- Gürkan E., Güner A. FV sistemlerde kısmi gölgeleme koşullarında maksimum güç noktası takibi için metasezgisel algoritmaların karşılaştırmalı performans analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2024; 1-16.

- Karanfil A. Kısmi gölgelenme durumundaki seri bağlı fotovoltaik (FV) panellerde bypass diyotunun kullanılmasının sistem gücü üzerine etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2021; 23(68): 621-630.
- Karakaya H., Şen İE. Fotovoltaik panellerde verim iyileştirme yöntemleri. 7 th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 2019; 2(3): 1179-1188.
- Khan UU., Raheem M., Ata S., Khan ZH. Design and implementation of a low-cost MPPT controller for solar PV system. 2016 International Conference on Open-Source Systems and Technologies (ICOSST) 15-17 December 2016, Lahore, Pakistan; 156-163.
- Kumar R., Kumar B., Swaroop D. Fuzzy logic based improved P&O MPPT technique for partial shading conditions, 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON) 28-29 September 2018, Greater Noida; 775-779.
- Mäki A., Valkealahti S. Power losses in long string and parallel-connected short strings of series-connected silicon-based photovoltaic modules due to partial shading conditions, IEEE Transactions on Energy Conversion 2011; 27(1): 173-183.
- Megantoro P., Nugroho YD., Anggara F., Suhono Rusadi EY. Simulation and characterization of genetic algorithm implemented on MPPT for PV system under partial shading condition, 2018 3rd International Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering (ICITISEE) 13-14 November 2018, Yogyakarta, Indonesia; 74-78.
- Mirza A., Ling Q., Javed M., Mansoor M. Novel MPPT techniques for photovoltaic systems under uniform irradiance and partial shading. Solar Energy 2019; 184(3): 628-648.
- Naick BK., Chatterjee K. Fuzzy logic controller based maximum power point tracking technique for different configurations of partially shaded photovoltaic system. Archives of Electrical Engineering 2018; 67(2): 307-320.
- Öztürk C. Güneş enerji sistemlerinde verim analizi ve enerji kayıplarının tespiti. Hasan Kalyoncu Üniversitesi 2020; 1-69.
- Pamuk N. Performance analysis of different optimization algorithms for MPPT control techniques under complex partial shading conditions in PV systems. Energies 2023; 16(8): 3358.
- Patel H., Agarwal V. MATLAB-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics. IEEE Transactions on Energy Conversion 2008; 23(1): 302-310.
- Rahul I., Hariharan R. Enhancement of solar PV panel efficiency using double integral sliding mode MPPT control. Tsinghua Science and Technology 2023; 29(1): 271-283.
- Saral Y. Fotovoltaik panel verimliliği ve maksimum güç noktası izleme. Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi 2023; 18(67): 1-25.
- Şenpınar A., Gençoğlu MT. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel açıdan karşılaştırılması. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları 2006; 4(2): 49-54.

- Shahariar K., Bansal R., Nadarajah M. Effects of partial shading on photovoltaic with advanced MPPT scheme. Power and Energy (PECon), 2012 IEEE International Conference 02-05 December 2012 Kota Kinabalu, Malaysia; 354-359.
- Tan WH., Mohamad-Saleh J. Critical review on interrelationship of electro-devices in PV solar systems with their evolution and future prospects for MPPT applications. *Energies* 2023; 16(2): 850.
- Yılmaz M. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 2012; 4(2): 33-54.
- Yılmaz U., Kircay A., Borekci S. PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 81(1): 994-100.
- Zheng H., Li S. Design of bypass diodes in improving energy extraction of solar PV systems under uneven shading conditions. 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition 14-17 April 2014, Chicago, IL, USA; 1-5.