

**YENİ BİR P&O TABANLI
MPPT ALGORİTMASI
TASARIMI VE PERFORMANSININ TESTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat BAKIM

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

Temmuz, 2016

Bu tez çalışması 15.FEN. BİL.30 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİ BİR P&O TABANLI MPPT ALGORİTMASI TASARIMI VE
PERFORMANSININ TESTİ

Sedat BAKIM

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

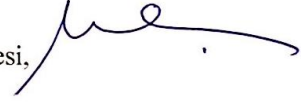
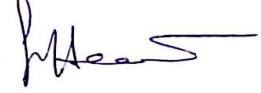
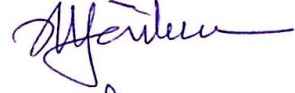
Sedat BAKIM tarafından hazırlanan “Yeni bir P&O tabanlı MPPT algoritması tasarımı ve performansının testi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11/07/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR

Başkan : Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/07/2016

İmza
Sedat BAKIM

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

YENİ BİR P&O TABANLI MPPT ALGORİTMASI TASARIMI VE
PERFORMANSININ TESTİ

Sedat BAKIM

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR

Bu çalışmada, atmosfer dışı ışınım şiddetlerini kullanarak maksimum güç noktası (MPP-Maximum Power Point) takibi yapan yeni bir boz-gözle (P&O-Perturb and Observe) algoritması tasarlanmıştır. Algoritma, karmaşık güneş paneli modellerine ve matematiksel hesaplama yöntemlerine ihtiyaç duymayan bir yapıya sahiptir. Tasarlanan P&O algoritması, geleneksel P&O algoritması ile birlikte MATLAB/Simulink ortamında hazırlanmış bir platformunda test edilmiştir. Bu testlerde tasarlanan P&O algoritmasının geleneksel P&O algoritmasına göre daha küçük bozma oranıyla çalışmasına rağmen daha kısa sürede maksimum güç noktasını yakaladığı tespit edilmiştir. Önerilen P&O algoritması küçük bozma oranıyla çalıştırılabildiğinden güç kaybı azalmakta ve geleneksel P&O algoritmasına göre yüksek enerji verimliliği elde edilebilmektedir. Ayrıca güneş panelinin kısmi gölgelenmeye maruz bırakıldığı durumda önerilen P&O algoritmasının global MPP'yi yakalayabildiği görülmüştür.

2016, viii + 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Atmosfer dışı ışınım, değiştir ve gözle, maksimum güç noktası takibi, kısmi gölgelenme

ABSTRACT
M. Sc. Thesis

A NEW P&O BASED MPPT ALGORITHM DESIGNING AND PERFORMANCE
TESTING

Sedat BAKIM

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Said Mahmut ÇINAR

In this study, a new P&O type maximum power point tracking (MPPT) algorithm which is use extraterrestrial irradiance is designed. The algorithm has a simple form and it is not required complex photovoltaic panel (PV) models and mathematical calculation methods. The proposed P&O and traditional P&O algorithms are tested in a platform designed on MATLAB/Simulink. In this tests, it is determined that even though the proposed P&O algorithm is run small perturbation, its' MPP catch time is less than traditional P&O algorithm. To the proposed P&O algorithm can be run for small perturbation, high energy efficiency is obtained because of decreasing power losses. In addition to the proposed P&O algorithm can be reached global MPP in case of partial shading on PV panel.

2016, viii + 55 pages

Keywords: Extraterrestrial irradiance, perturb & observe, maximum power point tracker, partial shading

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOğLU'na, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma ve bu tez çalışmasında maddi destek veren Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: 15.FEN.BİL.30) teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Sedat BAKIM

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. MATERYAL ve METOT	9
3.1 MATERYAL	9
3.1.1 Güneş Panelleri	9
3.1.2 DC/DC Dönüştürücüler ve Çeşitleri	15
3.2 METOT	18
3.2.1 MPPT Yöntemi	18
3.2.1.1 Değiştir & Gözle Yöntemi	19
3.2.1.2 Tasarlanan P&O Algoritması	20
4. BULGULAR	27
4.1 SENARYOLAR	28
4.1.1 Senaryo 1	28
4.1.2 Senaryo 2	39
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	47
6. KAYNAKLAR	49
6.1 İNTERNET KAYNAKLARI	54
ÖZGEÇMİŞ	55

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

W/m^2	Watt/metre kare
K	Kelvin
A	Amper
V	Volt
J/V	Joule/Volt

Kısaltmalar

PV	Fotovoltaik panel
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
MPPT	Maksimum güç noktası izleyicisi
P&O	Değiştir & gözle
I_s	Işık akımı
I_D	Diyot akımı
I_P	PV hücre akımı
R_s	Seri hücre direnci
R_p	Paralel hücre direnci
V_P	PV hücre gerilimi
K	Boltzman sabiti
T	Mutlak sıcaklık
Q	Elektron yükü
N	İdealite faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Tek kristal güneş hücresi (İnt. Kyn. 4).....	10
Şekil 3.2 Tek kristal güneş paneli (İnt. Kyn. 5)	11
Şekil 3.3 Güneş paneli tek diyot modeli	11
Şekil 3.4 PV paneli akım - gerilim (a) ve güç - gerilim ilişkisi (b).....	13
Şekil 3.5 PV panelinde ışınım şiddetinin akım-gerilim eğrisine etkisi	14
Şekil 3.6 PV panelinde ışınım şiddetinin güç-gerilim eğrisine etkisi.....	15
Şekil 3.7 Yükselten dönüştürücü yapısı.....	16
Şekil 3.8 Yükselten dönüştürücü yapısında anahtarın kapalı durumu.....	17
Şekil 3.9 Yükselten dönüştürücü yapısında anahtarın kapalı durumu.....	17
Şekil 3.10 Geleneksel P&O algoritması akış şeması.....	19
Şekil 3.11 Çalışmada kullanılan algoritmanın akış şeması.....	20
Şekil 3.12 Bulutsuz (a) ve bulutlu (b) gün için ışınım şiddeti değişim grafikleri	25
Şekil 4.1 MATLAB/Simulink test platformu.....	27
Şekil 4.2 Bulutsuz gün için PV paneli çıkış gücü değişimi	29
Şekil 4.3 Bulutsuz gün için algoritmalara göre MPPT bulma süreleri	29
Şekil 4.4 Bulutsuz gün için algoritmalara göre güç salınımları	30
Şekil 4.5 Bulutsuz gün için PV paneli çıkış gerilimi değişimi	31
Şekil 4.6 PV çıkış geriliminin maksimum güç noktası gerilimine yerleşmesi	32
Şekil 4.7 PV çıkış geriliminde algoritmalara göre oluşan salınımlar	32
Şekil 4.8 Bulutsuz gün için PV paneli çıkış akımı değişimi	33
Şekil 4.9 Bulutsuz gün için algoritmalara göre PV çıkış akımının yerleşmesi	33

Şekil 4.10 Bulutsuz gün için algoritmalara göre PV çıkış akımındaki salınımlar	34
Şekil 4.11 Bulutlu gün için PV paneli çıkış gücü değişimi	35
Şekil 4.12 PV panelinin çıkış gücünün algoritmaların adım miktarına göre değişimi ...	36
Şekil 4.13 PV panelinin çıkış gücünde oluşan salınımlar	36
Şekil 4.14 Bulutlu gün için PV çıkış gerilimindeki değişim.....	37
Şekil 4.15 PV panelinin çıkış geriliminin algoritmalara göre değişimi.....	38
Şekil 4.16 Bulutlu gün için PV panelinin çıkış gerilimindeki salınımlar	38
Şekil 4.17 Bulutlu gün için PV paneli çıkış akımı değişimi	39
Şekil 4.18 PV paneli modüllerinin düzgün ve kısmi gölgeli durumları (a) ve akım-güç grafiği (b)	40
Şekil 4.19 Kısmi gölgelenme durumunda PV panel çıkış gücünün değişimi (Bulutsuz gün).....	41
Şekil 4.20 Kısmi gölgelenme durumunda PV panel çıkış gücünün yerleşme süresi	42
Şekil 4.21 Bulutsuz - kısmi gölgelenmeli gün için PV çıkış gerilimi değişimi	42
Şekil 4.22 PV panel çıkış gücünün bulutlu gün ve kısmi gölgelenme durumunda algoritmalara göre değişimi	43
Şekil 4.23 Bulutlu ve kısmi gölgeli durumda PV çıkış gücü değişimi	44
Şekil 4.24 Bulutlu ve kısmi gölgeli gün için PV çıkış gerilimi değişimi	44
Şekil 4.25 Test platformu blok şeması.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Güneş paneli tek diyot modeli parametreleri.....	11
Çizelge 3.2 Diyot akımı parametreleri.....	12
Çizelge 3.3 Isofoton ISF-250 MPP parametreleri	21
Çizelge 3.4 PV panel çevrim tablosu.....	23
Çizelge 4.1 Bulutlu ve bulutsuz çalışma durumu için % enerji verimlilikleri	46
Çizelge 4.2 Kısmi gölgeli çalışma durumu için % enerji verimlilikleri	46

1. GİRİŞ

Petrol, doğalgaz ve kömür gibi rezervleri sınırlı fosil yakıtlar enerji ihtiyacımızın büyük bir kısmını karşılamaktadır. Fakat bu yakıtların çevreye zarar vermekte olması bu yakıtların kullanımının azalmasına sebep olmaktadır. Dünya nüfusunun hızlı bir artış göstermesi buna bağlı olarak ve teknolojiye bağlı olarak enerji talebinde artış gözlenmesi mevcut kaynakları verimli bir şekilde kullanmaya ve bu kaynaklara alternatif enerji kaynağı arayışına yönlendirmiştir. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtların kullanımı sonucu atmosferde sera etkisi, küresel ısınma gibi çevresel problemler, çevre dostu kaynaklar olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır (Yeşilata ve Fıratoğlu 2001).

Çok eski tarihlerden beri ısıtma ve sıcak su elde etmek amacıyla çeşitli uygulamalarda kullanılan güneş, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemler yeni teknoloji sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler olarak adlandırılan bu sistemler uzay çalışmaları için geliştirilmiş olmasıyla birlikte şebekeden uzak olan orman gözetleme kuleleri, dağ evleri, tarla sulama sistemleri gibi alanların elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılmaya başlanmıştır (Fahrenbruch ve Bube 1983).

Coğrafi konumu açısından ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli açısından diğer birçok ülkeye göre şanslıdır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (İnt. Kyn. 1).

Düşük ışınım şiddetlerinde elektrik enerjisi çevrimi ve üretilen enerji miktarının değişen hava koşullarına bağlı olarak artış veya azalış göstermesi fotovoltaik sistemlerin önemli problemlerindendir. Fotovoltaik panellerin performanslarını arttırmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır (Elektrik İşleri Etüt İdaresi 2015).

Güneş panellerinin çıkışından alınan güç, panelin üzerine düşen ışınım miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Güneş ışınimleri yeryüzüne gün içerisinde ve yıl boyunca

değişik açılarda ulaşmaktadır. Güneş panellerinden maksimum enerji elde edilebilmesi için güneş ışınımının güneş paneli üzerine dik düşmesi gerekmektedir. Güneş panellerinden maksimum güç elde edebilmek için panellerin güneş yörüngesini takip etmesi gerekir. Bu yüzden güneş takip sistemleri geliştirilmiştir.

Güneş panellerinin I-V karakteristikleri doğrusal değildir ve karakteristikleri ışınım miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık ve ışınım şiddetinin değişiminden dolayı güneş panellerinin verimini arttırmak için güç kontrolü yapılmak suretiyle sürekli maksimum güç noktasında çalıştırılmaları gerekmektedir. Bir kaynaktan yüke maksimum güç aktarılabilmesi için empedanslarının eşit olması gerekmektedir. Güneş panelinden maksimum güç almak için bir DC/DC dönüştürücü, PV paneliyle yük arasına bağlanarak empedans dengelemesi yapılmaktadır. Bu DC/DC dönüştürücünün dönüştürme oranı maksimum güç noktası takibi (MPPT) olarak isimlendirilen algoritmalar ile kontrol edilerek güneş panelinin maksimum güç noktasında çalıştırılması temin edilmektedir.

Bu tez çalışmasında atmosfer dışı ışınım şiddetlerini kullanarak maksimum güç noktası tespiti yapan yeni bir P&O tabanlı MPPT algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan P&O algoritması ışınım veri setleri kullanılarak oluşturulan senaryolara göre test edilmiştir.

Bu çalışmada ikinci bölümde, literatürde yer alan maksimum güç noktası algoritmaları hakkında bir literatür özetine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan materyaller ve tasarlanan P&O algoritması hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışma sonucunda ulaşılmış bulgulara yer verilmiş olup son bölümde tartışma ve sonuç verilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

PV panellerinde güç takibi yapmak için maksimum güç takip algoritmaları kullanılmaktadır. P&O artan iletkenlik, tepe tırmanışı, üç nokta ağırlıklı karşılaştırma yöntemi, sabit gerilim yöntemi, kısa devre akımı yöntemi literatürde bulunan maksimum güç takibi algoritmalarından bazılarıdır. Aşağıda bu algoritmalar hakkında bir literatür özeti verilmiştir.

Faranda ve Leva (2008) çalışmalarında kısa devre akımı, sabit gerilim, değiştir-gözle, artan iletkenlik gibi klasik yöntemlerin takip hızı, uygulanabilirlik, maliyet ve verimlerini farklı ışınım şiddetlerinde MATLAB Simulink' de karşılaştırmıştır. Test sonuçlarına göre P&O ve IC algoritmalarının performanslarının diğer algoritmalara göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Coelho vd. (2010) üç çeşit dönüştürücü (alçaltan DC/DC dönüştürücü, yükselten ve alçaltan yükselten dönüştürücü) de maksimum güç noktası takibi yapan algoritmaları uygulamıştır. Bu çalışmada farklı sıcaklık ve ışınım şiddeti kullanarak dönüştürücülerin çalışma performanslarını incelenmiştir. Test sonuçlarına göre yükselten dönüştürücünün düşük sıcaklık ve ışınım altında MPP izleyemediği görülmüştür.

Mei vd. (2011) yeni bir değişken adım boyutlu artan direnç MPPT algoritması önermiştir. Önerilen algoritma INC algoritmasına ek olarak PV dizisinin maksimum güç noktasını izlemede adım boyutu ayarlanabilmektedir. Önerilen yöntem değişken adım boyutu INC yöntemi ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde kararlı ve hızlı tepki vermektedir. Ayrıca daha geniş bir çalışma aralığına bağlı olarak pratik işletme koşulları için daha uygundur.

Abouobaida ve Cherkaoui (2012) değiştir- gözle ve artan iletkenlik algoritmalarının performanslarını değişen ışınım ve sıcaklık durumlarında yükselten DC/DC dönüştürücü devresi kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki artan iletkenlik algoritması, değiştir-gözle algoritmasına göre maksimum güç noktasında daha az salınım göstermiştir. Sharma ve Purohit (2012) takip hızı ve uygulanabilirliği açısından klasik değiştir-gözle, artan iletkenlik algoritmaları mevcut olan diğer algoritmalarla karşılaştırmış ve bu iki algoritmayı birleştirerek yeni bir algoritma olarak sunmuşlar ve yükselten dönüştürücüde uygulamışlardır. PV panelinin, akım-gerilim ve güç-gerilim

eğrileri MATLAB programında çizdirilerek önerilen algoritma ile klasik değiştir-gözle algoritmasının MPP noktasındaki salınımları küçültülmeye çalışılmıştır.

Alqarni ve Darwish (2012) P&O ve artan iletkenlik yöntemini incelemişler ve bu çalışma sonucunda yeni bir P&O sunmuşlardır. Sunulan yöntemde klasik P&O algoritmasına ölçülen akım, gerilim ve ışınım şiddeti bileşenlerini eklemişlerdir. Eklenen bu bileşenler sayesinde sürekli ışınım şiddetleri veya çıkış gerilimindeki değişimler algılanarak hava koşullarında değişiklik olup olmadığına karar vermektedir.

Banu vd. (2013) düşüren DC/DC dönüştürücü devresi kullanarak artan iletkenlik ve değiştir-gözle algoritmalarının farklı çevre koşullarında MATLAB Simulink programında performanslarını karşılaştırmalı olarak incelemişler ve farklı doluluk (duty cycle) oranlarında artan iletkenlik algoritmasının, değiştir-gözle algoritmasına göre daha hızlı maksimum güç noktasını izlemede daha hızlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Huynh vd. (2013) geliştirilmiş bir P&O algoritması önermişlerdir. Her bozma oranından önce kısa devre akımını belirleyerek geleneksel P&O algoritmasının temel sakıncalarını azaltmışlardır. Çeşitli atmosferik şartlarda geleneksel P&O algoritması ile önermiş oldukları P&O algoritmasını karşılaştırmışlar ve önerilen algoritmanın geleneksel P&O algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Sriram ve Swagnik (2013) iki aşamalı kontrol ve doğrudan doluluk oranını bozmaya dayalı P&O ve artan iletkenlik algoritmaları önermişlerdir. Önerilen teknikler daha önceki çalışmalara göre daha az donanım içerdiğinden daha az karmaşık oluşuyla verimlidir. Önerilen yöntemler geleneksel MPPT yöntemleri ile standart test koşullarında karşılaştırılmış ve önerilen yöntemlerin dinamik davranışının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Dounis vd. (2013) PID kontrolör tabanlı bir MPPT tasarımı gerçekleştirmişler ve PID parametrelerini hesaplamak için bulanık mantık tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın geleneksel PID ve P&O MPPT yöntemlerine göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

Duman vd. (2014) PV panelinin matematiksel modelini kullanarak farklı sayıda seri paralel bağlı PV panelin ve değişen çevre koşulları altında P&O algoritmasını kullanarak MPPT noktaları bulunmuştur.

Li vd. (2015) DC bara ile fotovoltaik sistemler için değişken hava şartlarında maksimum güç noktası takibi stratejisi geliştirmişlerdir. Önerilen kontrol stratejisi

değiştir-gözle algoritması kullanılarak PV sisteminin MPPT performansı ve kullanılabilirlik deneyleri ile gözlemlenmiştir. Li (2015) değişken hava koşulları veya değişken yüke göre geleneksel değiştir-gözle algoritmasını baz alarak MPP izleme hızını arttırmak için bir yöntem önermiştir. Önerilen sistemle MPP izleme hızının önemli oranda artırılabilirdiği gözlenmiştir.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda bulanık mantık, yapay sinir ağı, arı kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) gibi adaptif algoritmalara da rastlanmıştır. Jung vd. (2005) otomatik olarak güç karşılaştırması için referans adım boyutu ve histerisiz bant genişliğini otomatik olarak ayarlayan geliştirilmiş adaptif P&O algoritması önermişlerdir. Önerilen MPPT algoritması dijital sinyal işlemcisi (DSP) kullanılarak 3kW şebekeye bağlı fotovoltaik güç sisteminde DC/DC yükselten dönüştürücü içeren sisteme uygulanmıştır. Önerilen yöntem geleneksel P&O ile kararsız hava şartlarında karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin çıkış gücünü %0,5 arttırdığı gözlemlenmiştir.

Salah ve Ouali (2011) PV sistemleri için bulanık mantık ve yapay sinir ağı yöntemleriyle tasarlanmış MPPT kontrolörler önermiştir. Bu kontrolörlerin ikisinde de güneş ışınımı ve PV hücre sıcaklığı girdi olarak alınmıştır. Simülasyon ve deney sonuçlarından bulanık mantık ve yapay sinir ağı kontrolörlerin bilinen MPPT yöntemlerine göre daha yüksek performansla çalıştığı gözlenmiştir.

Bouchafaa vd. (2011) PV sisteminin maksimum güç noktası takibi için bulanık mantık tabanlı bir algoritma önermişlerdir. Önerilen çalışma değiştir-gözle, artan iletkenlik algoritmaları ile karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın çok iyi bir performans gösterdiği ve salınımları azalttığı gözlenmiştir. Chekired vd. (2011) değişen sıcaklık ve ışınım şartlarında tek başına fotovoltaik sisteme uygulanan bulanık mantık tabanlı bir maksimum güç noktası izleyicisi yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntem Memec Design Virtex-II V2MB1000 geliştirme kartı üzerinde FPGA Xilinx Virtex-II kartı ile kontrol edilmiştir.

Kulaksız (2013) adaptif nöro bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) PV paneli parametrelerini elde etmek için kullanmıştır. Önerilen çıkarım modeli üç farklı PV paneli için MPPT kontrollü bir akü şarj sisteminde test edilmiştir. Bu çalışmada PV paneli eşdeğer devre parametrelerinin tahmininde ANFIS yönteminin kullanışlı bir araç olduğu görülmüştür. Bendib vd. (2014) şebekeden bağımsız PV sistem için bulanık

mantık tabanlı akıllı bir MPPT sunmuşlardır. Simülasyon sonuçlarından, bulanık mantık kontrolörün değişen hava koşullarında geleneksel P&O tekniğine göre daha kararlı olduğu görülmüştür.

Radjai vd. (2014) klasik artan iletkenlik MPPT algoritmasının dezavantajlarını ortadan kaldıran, bulanık mantık tabanlı yeni bir artan iletkenlik MPPT kontrolörü önermişlerdir. Önerilen bu kontrolör ile sabit adımlı klasik artan iletkenlik yöntemi karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın dinamik ve kararlı hal durumlarında daha doğru ve hızlı biçimde MPP'ye ulaştığı gözlenmiştir.

Radjai vd. (2015) bulanık mantık denetleyicisi kullanarak adaptif görev döngüsü adım boyutu ile yeni bir iyileştirilmiş P&O yöntemi önermişlerdir. Önerilen ve klasik yöntemler, Sun Tech STP085B modeline bağlı olan bir DC/DC dönüştürücü kullanılarak geliştirilmiş ve test edilmiştir. Ayrıca önerilen yöntem PV sistemlerinin dinamik ve kararlı durum performanslarını arttırmaktadır.

Bu çalışmalarla birlikte MPPT algoritmaları kısmi gölgelenme şartlarında da test edilerek maksimum güç noktası bulma hızları, dinamik davranışları, maliyetleri gibi yönlerden incelenmiştir. Kaliamoorthy and Rajasekaran (2011) evrimsel programlama (EP) ile PV modelin maksimum güç noktasını bulan bir model önermişlerdir. Önerilen model Newton Raphson algoritması ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre EP'nin gerçek maksimum güç noktasına daha yakın bir noktaya ulaştığı gözlenmiştir.

Ishaque vd. (2012) güneş panellerinde maksimum güç noktası takibi yapan parçacık sürü optimizasyonu algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritma PV simülatör kullanılarak düşüren-yükselten DC/DC dönüştürücüye çeşitli kısmi gölgelenme şartlarında uygulanmıştır.

Ishaque vd. (2012) bir parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması önermişlerdir. Önerilen P&O algoritması kısmi gölgelenme şartlarında tepe tırmanışı algoritması ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritmanın maksimum güç noktasında oluşan salınımı azalttığı gözlemlenmiştir.

Lyden ve Haque (2014) PV modüllerinin kısmi gölgelenme şartlarında tavlama benzetimi yöntemine dayanan bir global maksimum güç izleme tekniği önermişlerdir. P&O gibi yaygın tekniklerle karşılaştırıldığında önerilen yöntemin konutlar için kolayca uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Orozco-Gutierrez (2015) çalışmalarında, kısmi gölgelenme durumunda çalışan PV panelinde güç-gerilim eğrisi üzerinde MPP tahmini için bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntemin %5 daha düşük tahmin hataları sergilediği deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

Sundareswaran ve Palani (2015) çalışmalarında kısmi gölgelenme koşullarında parçacık sürü optimizasyonu ve değiştir-gözle algoritmalarını birleştirerek yeni bir algoritma sunmuşlardır. Önerilen algoritma PV sistemin çıkış gücü, akım ve gerilim salınımlarını azalttığı yapılan deneylerle incelenmiştir.

Chen vd. (2015) PV sistemleri için bulanık mantık tabanlı otomatik ölçeklendirme değişken adım boyutlu bir MPPT yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntem bulanık mantık teorik sisteminin aracılığı ile girdi olarak bulanıklaştırma, çıkarım ve durulama süreci uygulayarak MPPT algoritmasının geçici izleme yeteneği izlenmiştir. Ayrıca yükselten dönüştürücü kullanarak TMS320LF2407 dijital sinyal işlemcisi kullanılarak algoritma gerçeğe uyarlanmıştır.

Kheldoun vd. (2016) PV sistemler için altın bölüm optimizasyon tekniğine dayalı yeni bir MPPT yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemde sınırları bilinen arama alanından iki nokta seçilerek maksimum güç noktası taraması yapılır. Önerilen yöntemin adım miktarını küçülterek maksimum güç noktası takibi yaptığı gözlemlenmiştir.

Boukenoui vd. (2016) PV sistemler için kısmen gölgeli şartlarda global maksimum güç noktası izlemek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem bulanık mantık tabanlı bir tarama ve depolama algoritması ile yeni bir izleme döngüsünde birleştirilmiştir. Geliştirilen yöntem, Simscape programında modellenmiş ve PV panelinde test edilerek performansı değerlendirilmiştir.

Literatürde çok sayıda yenilikçi çalışma bulunmakla birlikte atmosfer dışı ışınımı kullanarak MPP takibi yapan algoritmaya rastlanmamıştır. Atmosfer dışı güneş ışınım şiddetleri her coğrafi konum için belirlidir. Hocaoğlu vd. (2008) çalışmalarında yeni bir güneş ışınımı modelleme yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem atmosfer dışı ışınımlar kullanarak herhangi bir bölge için ışınım şiddetinin modellenmesi prensibine dayanmaktadır. Çalışmada geliştirilen model Eskişehir bölgesinde toplanan bir yıllık güneş ışınım verileri ile test edilmiştir.

Bu tez kapsamında atmosfer dışı ışınımı kullanarak MPP noktası tespiti yapan ve bu noktadan itibaren geleneksel P&O algoritmasıyla MPP takibi yapan yeni bir MPPT algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritma karmaşık güneş paneli modeli ve matematiksel hesaplama yöntemine gerek duymayan bir yapıya sahiptir. Söz konusu algoritma MATLAB/Simulink ortamında yükselten tip DC/DC dönüştürücü içeren bir PV sisteminde bir günlük ışınım şiddeti veri setleri kullanılarak test edilmiştir. Bu testlerde, tasarlanan algoritmanın maksimum güç noktasına daha hızlı yerleştiği ve düşük bozma oranıyla bunu gerçekleştirmesi sebebiyle güç kaybının düştüğü görülmüştür. Ayrıca tasarlanan algoritmanın, güneş panelinin kısmi gölgelenmeye maruz kaldığı durumda bile, global maksimum güç noktasını tespit edebildiği görülmüştür. Önerilen algoritmanın kısa sürede MPP yakalaması ve küçük genlikli güç salınımları sayesinde yüksek verimle çalıştığı gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, tez kapsamında tasarlanan ve atmosfer dışı ışınım şiddetine dayalı olarak çalışan, P&O tipi MPPT algoritmasına ilişkin bilgiler verilmektedir. Ayrıca algoritmanın işletildiği platformun bileşenlerine ilişkin ayrıntılı bilgiler de sunulmaktadır. Aşağıda ilk olarak materyal kısmında tez kapsamında kullanılan güneş panelleri ve çeşitleri, DC/DC dönüştürücüler ve çeşitleri, ayrı başlıklar altında bilgiler verilmiştir. Ardından metot kısmında MPPT algoritmaları hakkında bilgiler verildikten sonra tasarlanan P&O tipi MPPT algoritması tüm ayrıntılarıyla sunulmuştur.

3.1 MATERYAL

3.1.1 Güneş Panelleri

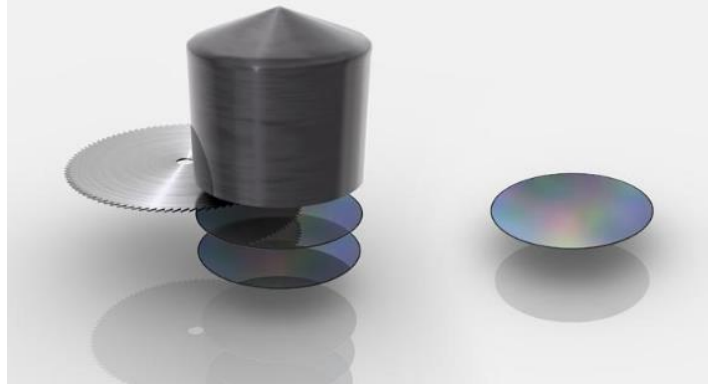
Güneş panelleri, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten yarı iletken yapıya sahip aygıtlardır. Çok sayıda güneş hücresinin paralel veya seri bağlanması ile oluşturulmaktadır. Güneş panellerini oluşturan güneş hücreleri, çeşitli yöntem ve tekniklerle geliştirilmiştir. Güneş hücreleri kristal silikon ve ince film olarak iki gruba ayrılmaktadır. İnce film hücrelerin seri üretim maliyetlerinin düşük olması, daha az enerji üretebiliyor olmaları kristal güneş hücrelerine göre avantajlı oldukları ortaya çıkmaktadır. Kristal güneş hücrelerine göre fotovoltaik malzeme, düşük maliyete sahip olan cam, metal ve plastik folyo gibi malzemelerle kaplanmıştır. Güneş ışığını iyi tutarlar. % 7 pazar payına sahiptirler. İnce film güneş hücreleri amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum galyum selenyum olmak üzere üç çeşittir.

Kristal güneş hücreleri ise oldukça geniş pazar payına sahiptirler. Verimleri % 12-16 arasında olduğu bildirilmektedir. Kristal güneş hücresinin kalınlığı 0,17 mm civarındadır. Tek kristal ve çok kristal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Polikristal olarak adlandırılan güneş hücreleri mono kristal güneş hücrelerine göre daha az verimlidirler. Çıkış güçleri dış kristal yapının elektron akışını engellemesi sebebi ile düşüktür ve verimleri % 10-14 civarındadır. Silisyumun saflık derecesinin bu grup için de mono kristallerdeki gibi olması gerekir. Mono kristal yapılarına göre üçte biri oranda daha kalındır. Üretim maliyetleri düşüktür (İnt Kyn. 3). Ayrıca piyasada tek kristalli

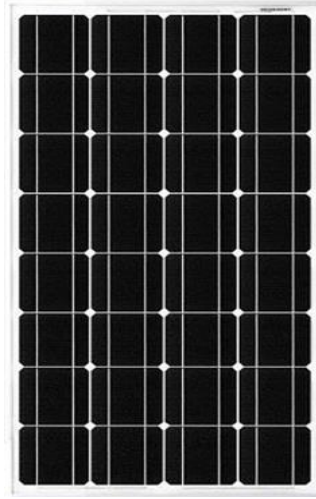
yapıya sahip güneş hücreleri de mevcuttur. Tek kristalli hücrelerin özellikleri incelendiğinde aşağıdaki bilgiler ortaya çıkmaktadır.

Silisyum hücre yapımında en çok kullanılan element özelliğini taşımakla birlikte yarıiletken özelliği de göstermektedir. Ayrıca silisyum doğada kuartz ve kum haliyle oksijenden sonra doğada en çok bulunan element olma özelliği de taşımaktadır. Silisyum üretimi için kumun saflık derecesinin yetersiz olması sebebi ile silisyum yapımı için kuartz kullanılabilir. Çünkü kuartzın yaklaşık % 90'ı silisyumdur. Kuartz çeşitli işlemlerden geçirilerek % 99 yoğunluğa sahip silika elde edilerek yarı iletken teknolojisi için gerekli olan ve % 99.99 yoğunluğa sahip silisyum üretilir (Oktik 2001). Saf silisyum eriyiğinin içerisine çekirdek adı verilen tek kristal yapıları silisyum parça batırılır. Eriyiğin içerisinden çıkarılan bu parçanın etrafında parça soğuduktan sonra silisyum eriyik birikir. Daha sonra çekirdek ve silisyum eriyik bloklar halinde kesilir ve bu bloklar dilimlere ayrılır (Şekil 3.1). Yapımları esnasında çok fazla malzeme kaybı yaşanması sebebiyle maliyetleri yüksektir (İnt. Kyn. 3).



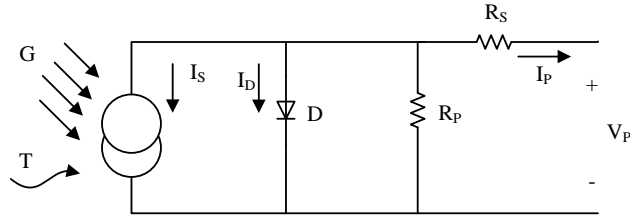
Şekil 3.1 Tek kristal güneş hücresi (İnt. Kyn. 4).

Aşağıda tek kristal güneş hücrelerinden oluşturulmuş bir güneş paneli görülmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Tek kristal güneş paneli (İnt. Kyn. 5).

Güneş paneli doğrusal olmayan bir elemandır. Güneş panelinin tek diyot, iki diyot vb. gibi eş değer modelleri bulunmaktadır. Aşağıda güneş panelinin tek diyot eş değer devresi verilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Güneş paneli tek diyot modeli.

Aşağıdaki çizelgede güneş paneli tek diyot modeli parametreleri verilmektedir.

Çizelge 3.1 Güneş paneli tek diyot modeli parametreleri.

Sembol	Açıklama	Birimi
I_D	Diyot Akımı	A
I_P	PV Hücre Akımı	A
R_S	Seri Hücre Direnci	Ω
R_P	Paralel Hücre Direnci	Ω
V_P	PV Hücre Gerilimi	V

I_S : Fotonlar tarafından oluşturulan ve eş değer devrede akım kaynağı olarak sembolize edilen akımdır.

I_D : PV hücresi N ve P birleşiminden oluşur ve diyot ile gösterilmiştir ve akım akıtmaktadır. İdeal olmayan PV hücrelerin kayıpları dirençlerle gösterilir.

R_S : Seri dirençtir. Bağlantı noktaları ve kontaklardaki gerilim düşümlerini gösterir.

R_P : Farklı gerilimler arasındaki sızıntı akımını ifade eden paralel dirençtir (Kulaksız 2007).

Tek diyot modeli devresinde Kirşof'un akımlar kanuna göre aşağıdaki eşitlik (3.1) elde edilir.

$$I_{PV} = I_S - I_D - I_{RP} \quad (3.1)$$

Diyot akımı, gerilim ve doyma akımına bağlı olarak yazılırsa eşitlik (3.2) ile ifade edilir.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{q(V_{PV} + I_{PV}R_S)}{nKT}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

Çizelge 3.2 Diyot akımı parametreleri.

Sembol	Açıklama	Birimi
I_S	Ters Saturasyon Akımı	A
K	Boltzman Sabiti	J/K
T	Mutlak Sıcaklık	K
Q	Elektron Yüğü	J/V
N	İdealite Faktörü	-

Paralel bağlı direnç üzerinden geçen akım aşağıdaki eşitlik (3.3) ile hesaplanabilir.

$$I_{RP} = \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_P} \quad (3.3)$$

Kirşof'un akım eşitliğinden yararlanılarak oluşturulan eşitlikte diyot ve paralel direnç

formülleri yerine konularak tekrar düzenlenirse aşağıdaki eşitlik (3.4) elde edilir.

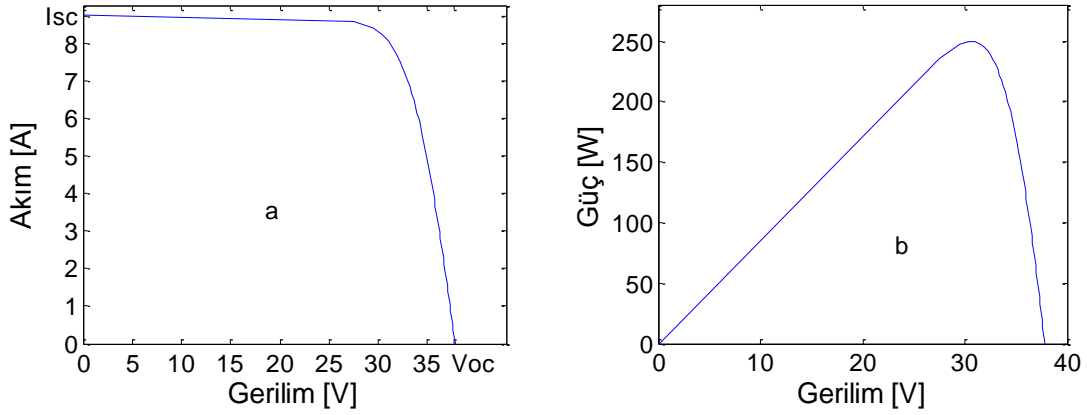
$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{RP} = I_L - I_S \left(e^{\frac{V_{PV} + I_{PV} R_S}{R_p}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_S}{R_p} \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.4)'deki I_{PV} formülü düzenlendiğinde aşağıdaki formüle (3.5) ulaşılmaktadır.

$$I_{PV} = I_L - I_S \left(e^{\frac{qV_{PV}}{nKT}} - 1 \right) \quad (3.5)$$

PV panelinde en yüksek gerilim, panel uçları açık devre iken elde edilir. En yüksek akım ise panel uçları kısa devre iken elde edilir. Panelde kısa devre akımı ölçüldüğü anda panel gerilimi sıfır, panelin açık devre gerilimi ölçülürken de devreden geçen akım sıfır olduğundan her iki durumda da panelden üretilen güç sıfır olacaktır.

Aşağıda (Şekil 3.4.a)'da PV panelin akım- gerilim grafiği görülmektedir. Şekil 3.4.b'de gerilim-güç grafikleri görülmektedir.



Şekil 3.4 PV paneli akım - gerilim (a) ve güç - gerilim ilişkisi (b).

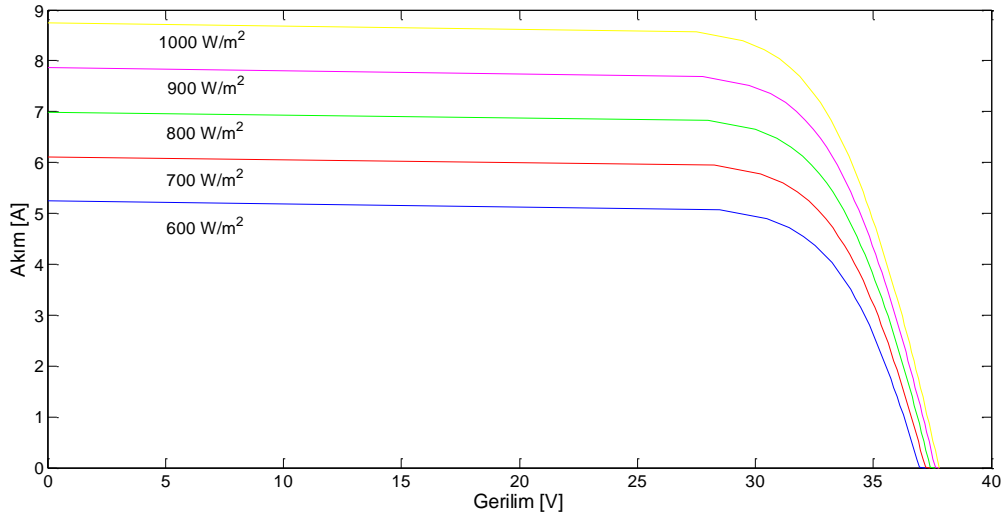
Şekil 3.4.a incelendiğinde PV panelinin çıkış akımı, PV panelin çıkış geriliminin bir değerine kadar sabit olduğu görülmektedir. Akımın hızlı bir düşüş gösterdiği nokta gerilim değerinin aşılmasından sonra gerçekleşmektedir.

Şekil 3.4.b incelendiğinde PV panel geriliminin bir noktasına kadar güç değerinin arttığı

görülmektedir. Ancak o değer aşıldıktan sonra çıkış akımı azaldığından güç değeri de azalmaktadır.

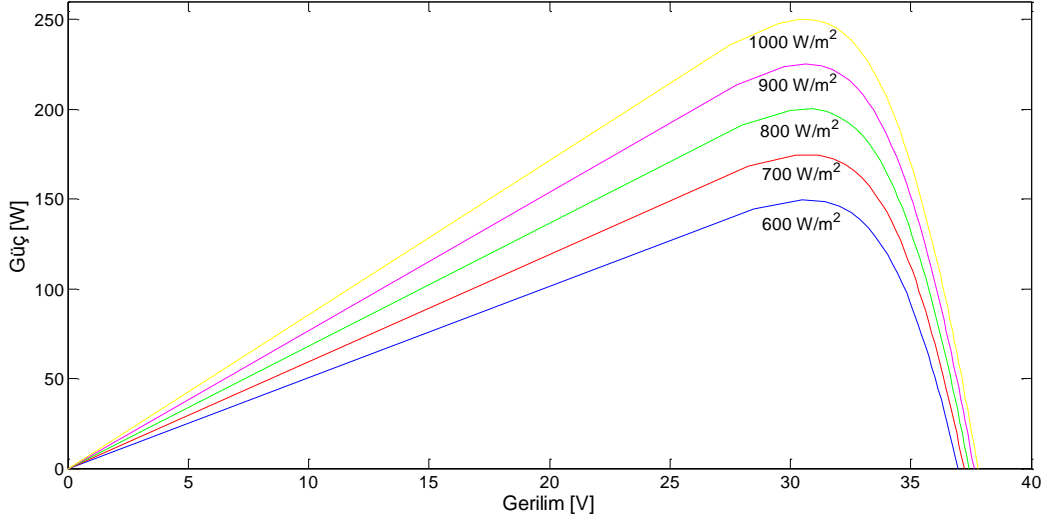
Güneş panellerinde panel verimine etki ederek akım-gerilim ve güç-gerilim eğrilerinin değişmesine sebep olan faktörler ışınım şiddeti ve sıcaklıktır. Sıcaklık her 10 °C arttığında PV panelin verimi %1 azalır. Aşağıdaki şekiller incelendiğinde sıcaklık arttığında açık devre gerilimi (V_{oc}) azaldığı görülmektedir. Bununla beraber kısa devre akımı artmaktadır. Açık devre geriliminin azalması, kısa devre akımının artması sebebi ile panel gücü de azalacaktır.

Işınım şiddeti değeri arttıkça açık devre gerilimi (V_{oc}) değeri az da olsa artış göstermektedir. Açık devre gerilimi küçük artışlar gösterirken kısa devre akımının artışı daha fazladır. Aşağıdaki akım gerilim grafiği incelendiğinde açık devre gerilimindeki artış miktarı, kısa devre akımına göre çok daha küçük olduğu için açık devre gerilimi ihmal edilerek ışınım şiddeti ile kısa devre akımı arasında doğru orantılı bir bağlantı vardır denilebilmektedir (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 PV panelinde ışınım şiddetinin akım-gerilim eğrisine etkisi.

Gerilim güç grafiğine göre (Şekil 3.6) ışınım şiddeti değerinin artması çıkış gerilimini arttırmaktadır (Özçelik 2014). Ancak panel yüzeyinin gölgelenmesi veya üzerinde kir, toz kaplanmasının çıkış gücüne olumsuz etkileri mevcuttur.



Şekil 3.6 PV panelinde ışınım şiddetinin güç-gerilim eğrisine etkisi.

3.1.2 DC/DC Dönüştürücüler ve Çeşitleri

Girişlerindeki DC gerilimi çıkışlarında farklı seviyelere ayarlayan (alçaltan veya yükselten) yapılarıdır. DC/DC dönüştürücüler anahtarlama güç kaynakları, kesintisiz güç kaynakları, güç faktörünün düzeltilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarında (güneş panelleri, rüzgâr türbinleri uygulamaları), akümülatör şarjı gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

DC/DC dönüştürücülerde frekans yükseldikçe kondansatör, bobin ve transformatörün boyutları küçüleceğinden bu malzemelerin tasarımı önemlidir. DC/DC dönüştürücüler yüksek frekans değerlerinde çalıştırılan zorlamalı komütasyonlu devreler olduğundan tam kontrollü elemanlar ile gerçekleştirilebilir. Çoğunlukla DC PWM (darbe genişlik modülasyonu) yöntemi ile kontrol edilirler. Bu PWM sinyaliyle anahtarlama elemanı için gerekli olan izoleli ya da izolesiz bir kontrol sinyali üretilir.

DC/DC dönüştürücülerde PWM yöntemi ile doluluk kontrolü yapılır. Doluluk oranı kontrolü aşağıda eşitlik (3.6) ile gösterilmiştir. PWM yönteminde kontrol sinyali $0 < D < 1$ arasında uygulanmaktadır.

$$D = \frac{T_D}{T_P} \quad (3.6)$$

Burada;

D : Doluluk oranını,

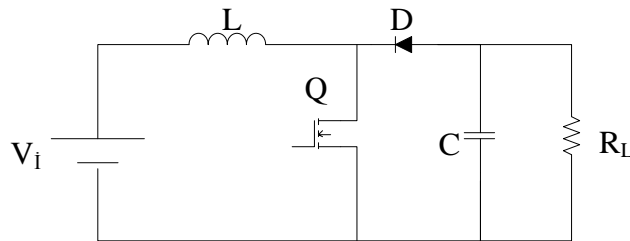
T_D : Sinyalin geçerli olduğu süreyi,

T_P : Çalışma periyodunu ifade etmektedir.

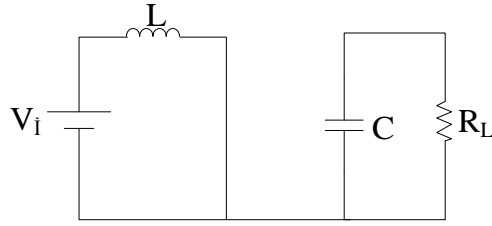
DC/DC dönüştürücülerde birinci aralıkta en az bir aktif eleman kontrol için, ikinci aralıkta en az bir pasif eleman serbest geçiş için kullanılır.

Endüktanslı ve izolesiz DC/DC dönüştürücüler enerji akımına dayalı olarak çalışırlar. Yarı iletken elemanın iletim aralığında DC kaynaktan endüktansa yüklenen enerjiyi, yarı iletken elemanın kesim aralığında çıkışa aktarırlar. Bu dönüştürücülerde giriş ve çıkış arasında elektriksel izolasyon olmadığı için giriş ve çıkış referans noktaları aynıdır. Bu dönüştürücüler düşüren (buck), yükselten (boost), düşüren-yükselten (buck-boost), çuk, flyback ve sepic gibi çeşitlere sahiptir. Aşağıda tez kapsamında kullanılan yükselten tip dönüştürücünün ayrıntılı tasarım bilgileri verilmiştir.

Girişteki DC/DC gerilimi, çıkışta daha yüksek seviyelere çıkaran devrelerdir. DC/DC yükselten dönüştürücüler güç faktörünü kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. Aşağıda yükselten dönüştürücünün prensip şeması yer almaktadır (Şekil 3.7). Ardından devredeki Q anahtarının kapalı (Şekil 3.8) ve açık (Şekil 3.9) durumlara ilişkin devre topolojilerini gösteren şemalar verilmektedir.



Şekil 3.7 Yükselten dönüştürücü yapısı.



Şekil 3.8 Yükselten dönüştürücü yapısında anahtarın kapalı durumu.

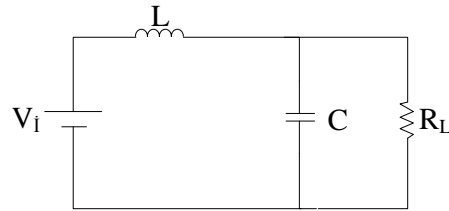
Şekil 3.8’de D diyodu anahtarın kapalı olduğu durumda kesimdedir. Bu yüzden iki ayrı bağımsız gözlü bir devre oluşmuştur. Devrenin bu hali için durum denklemleri çıkarılırsa (V_C ve i_L durum değişkenleri);

$$C \rightarrow i_C = C \cdot \frac{dV_C}{dt} = -i_R \Rightarrow \frac{dV_C}{dt} = -\frac{V_C}{R \cdot C} \quad (3.7)$$

$$L \rightarrow V_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} = V_g \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_g}{L} \quad (3.8)$$

Yukarıdaki durum denklemleri matris formunda yazılırsa;

$$\frac{d}{dt} \cdot \begin{bmatrix} V_C \\ i_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_L C} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_C \\ i_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \cdot V_g \quad (3.9)$$



Şekil 3.9 Yükselten dönüştürücü yapısında anahtarın kapalı durumu.

Anahtarın açık olması durumunda D diyodu iletme girer ve iki gözlü bir devre oluşur. Devrenin bu hali için durum denklemlerini yazılırsa;

$$C \rightarrow i_C = C \frac{dV_C}{dt} = i_L - i_R = i_L - \frac{V_C}{R} \Rightarrow \frac{dV_C}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{V_C}{RC} \quad (3.10)$$

$$L \rightarrow V_L = L \frac{di_L}{dt} = -V_C + V_g \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = -\frac{V_C}{L} + \frac{V_g}{L} \quad (3.11)$$

Yukarıdaki durum denklemleri matris formunda yazılırsa;

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} V_C \\ i_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_L C} & \frac{1}{C} \\ -\frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_C \\ i_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \cdot V_g \quad (3.12)$$

Yukarıda verilen DC/DC dönüştürücü durum denklemleri MATLAB/ Script dosyasına gömülerek devrenin nümerik analizi yapılabilir (Bakım vd. 2015).

3.2 METOT

Bu bölümde ilk olarak literatürde yer alan MPPT yöntemleri anlatılacak olup ardından literatürde sıklıkla kullanılan P&O yöntemi anlatılacaktır. Son olarak tez kapsamında tasarımı gerçekleştirilen P&O algoritması tüm ayrıntılarıyla verilecektir.

3.2.1 MPPT Yöntemi

Güneş panelleri doğrusal olmayan (non-linear) bir yapıya sahiptir. Bu nedenle PV çıkışından sürekli aynı güç değerini almak zordur. Bunun için maksimum güç noktası takibi yöntemleri kullanılarak maksimum güç noktası izlemesi yapılmalıdır. Güneş panellerin maksimum güç noktası, çalışma şartlarına göre; yük değişimi, ışınım değişimi, sıcaklık değişimi vb. değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla eğer panelden maksimum verim alınmak isteniyorsa sürekli maksimum güç noktasında çalışması temin edilmelidir. Bu işlem MPPT olarak bilinen bir yöntemle gerçekleştirilir. MPPT yönteminde PV sistemi parametrelerinden; PV akımı, PV gerilimi, Işınım şiddeti, PV yüzey sıcaklığı, yük akımı, yük gerilimi vb. bir kısmı kullanılarak maksimum güç noktası belirlenmeye çalışılır ve PV panelinin bu noktada işletilmesi temin edilir.

Maksimum güç noktası izleme işlemi yapan literatürde çok sayıda yöntem mevcuttur.

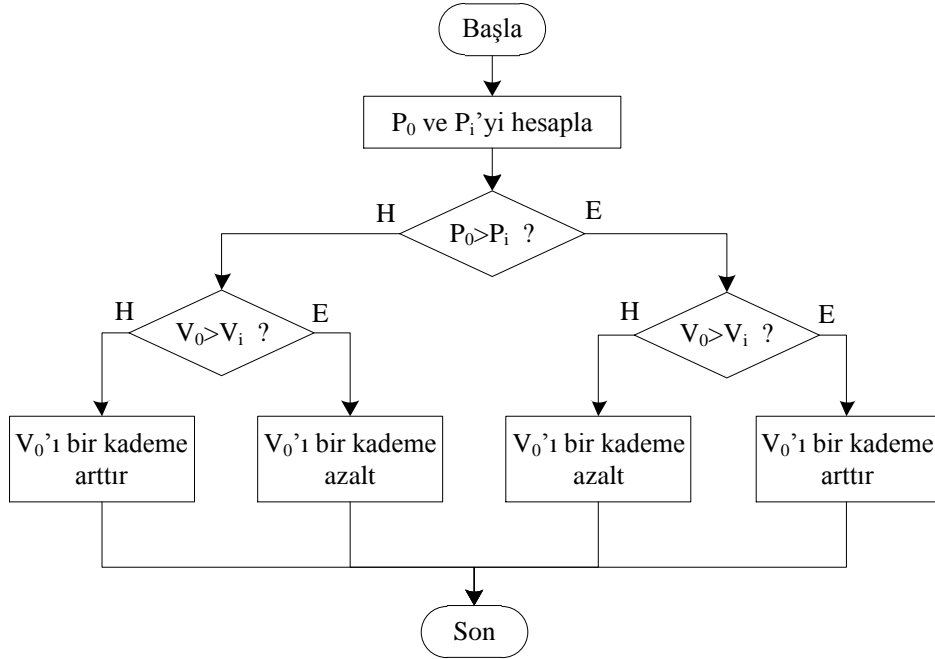
Bunlar;

1. Değiştir & gözle yöntemi (P&O, Perturb & Observe),
2. Artan iletkenlik yöntemi (IC, Incremental Conductance),
3. Tepe tırmanışı yöntemi (HC, Hill Climbing),

4. Açık devre gerilimi yöntemi,
5. Kısa devre akımı yöntemi,
6. Üç nokta yöntemi
7. Bulanık mantık yöntemi vb.

3.2.1.1 Değiştir & Gözle Yöntemi

Basit yapıya sahip olmasından dolayı en çok kullanılan algoritmalarından biridir. Akım ve gerilim değerleri kullanılarak panel ve çıkış gücü değerleri hesaplanır. Gücün değişimine göre referans değeri arttırılıp azaltılarak MPP izlemesi yapması sağlanır. MPP'ye ulaşmak için referans değer olarak akım veya gerilim seçilebilir. Aşağıda P&O algoritmasının akış diyagramı görülmektedir (Şekil 3.10).



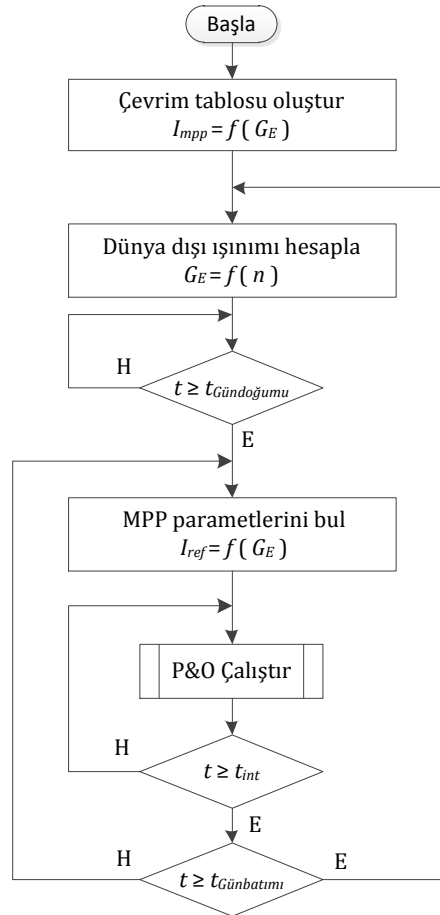
Şekil 3.10 Geleneksel P&O algoritması akış şeması.

Yukarıdaki çalışmada panel çıkış gücü ve yük tarafındaki çıkış gücü akım ve gerilimden yararlanılarak hesaplanır ve karşılaştırılır. Daha sonra gerilimlerin karşılaştırılması yapılır. Ardından referans değeri (gerilim) belirlenen miktar oranında arttırılır veya azaltılır. Maksimum güç noktasına ulaştığında o noktada sürekli olarak değiştir ve gözle işlemi yapacağından salınımlar gerçekleştirecektir (Tan 2008, Ahmed 2015, Tafticht 2008).

3.2.1.2 Tasarılan P&O Algoritması

Literatürde çok sayıda maksimum güç noktası takibi yapan MPPT algoritmaları mevcut olmakla birlikte atmosfer dışı ışınım şiddetlerini kullanarak güç noktası takibi yapan algoritmalara rastlanmamıştır. Bu bölümde atmosfer dışı ışınım şiddetlerini kullanarak maksimum güç noktası takibi yapan MPPT algoritması sunulmaktadır.

Aşağıda tasarlanan P&O tipi MPPT algoritmasının akış şeması görülmektedir (Şekil 3.11). İlk olarak test platformunda kullanılan PV panelinin ışınım şiddetine karşılık maksimum güç noktasının akımını veren bir çevrim tablosu oluşturulmuştur. Bu tablo sistemde kullanılacak PV panelinin özelliklerinden faydalanarak o PV paneli için oluşturulur ve PV paneli değiştirilmediği sürece tekrar oluşturulmasına gerek yoktur. Dolayısıyla algoritmanın işlem yüküne herhangi bir etkisi olmamaktadır.



Şekil 3.11 Çalışmada kullanılan algoritmanın akış şeması.

PV panelini modellemek için çok çeşitli matematiksel modeller kullanılmakla birlikte

burada kullanılacak modelin olabildiğince basit ve hesap yükünün hafif olması gerekmektedir. Duru (2006)'nın çalışmasında kullanmış olduğu doğrusallaştırılmış üç nokta yöntemi kullanılarak MPP parametreleri kolayca hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada Isofoton ISF-250 model bir PV panelin etiket değerleri kullanılarak MPP parametreleri $200-1000W/m^2$ aralığında hesaplanmıştır. Aşağıda çizelge 3.3'de hesaplanan parametreler verilmektedir.

Çizelge 3.3 Isofoton ISF-250 MPP parametreleri.

Işınım [W/m^2]	1000	800	600	400	200
V_{oc} [V]	37.8	37.42	36.66	36.29	35.91
I_{sc} [A]	8.75	7	5.26	3.5	1.75
I_{MPP} [A]	8.17	6.54	4.9	3.27	1.64
V_{mpp} [V]	30.6	30.4	30	29.5	29.2
P_{max} [W]	250	199	147	96.5	47.9
P_{tip} [W]	331	262	193	127	63
$\Delta\eta$	1	0.99	0.97	0.96	0.95

Burada; $\Delta\eta$ PV panelin bağıl verimliliğini göstermektedir ve PV panelinin kataloğunda bu değer IEC 60904-1 standardına göre $200-1000W/m^2$ aralığı için verilmiştir. Verilen bu değer, ışınım şiddetine bağlı olarak PV panelin akım- gerilim karakteristiği parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Aşağıda ışınım şiddeti değişimine bağlı olarak maksimum güç noktası parametrelerinin hesabında kullanılan formüllere yer verilmiştir. Standart test koşullarında PV panelinin tipik gücünü göstermektedir (Eşitlik 3.13).

$$P_{tip} = V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (3.13)$$

Belirli bir ışınım şiddetinde panelin tipik gücü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (Eşitlik 3.14).

$$P_{tip}(\xi) = P_{tip}(\xi_{sc}) \cdot \Delta\eta(\xi) \cdot \xi \quad (3.14)$$

burada; ξ bağıl ışınım şiddetini göstermektedir ve $1000W/m^2$ temel değerine göre belirlenir. Örneğin $600W/m^2$ ışınım şiddeti değeri için $\xi = 0.6$ 'dır. PV panelinin tipik gücü bilindiği zaman maksimum gücü aşağıdaki (Eşitlik 3.15) ile bulunabilir.

$$P_{\max}(\xi) = P_{tip}(\xi) \cdot FF \quad (3.15)$$

burada; FF PV panelin doluluk faktörü olarak tanımlanır ve FF aşağıdaki (Eşitlik 3.16) ile hesaplanır.

$$FF = (V_{mpp} \cdot I_{mpp}) / (V_{oc} \cdot I_{sc}) \quad (3.16)$$

PV panelinin maksimum güç noktası akımı (I_{mpp}) aşağıdaki (Eşitlik 3.17) ile hesaplanabilmektedir.

$$I_{mpp}(\xi) = \xi \cdot I_{mpp}(stc) \quad (3.17)$$

Maksimum güç noktası gerilimi (V_{mpp}) aşağıdaki (Eşitlik 3.18) ile hesaplanabilmektedir.

$$V_{mpp}(\xi) = P_{\max}(\xi) / I_{mpp}(\xi) \quad (3.18)$$

Ayrıca açık devre gerilimi (V_{oc}) aşağıdaki (Eşitlik 3.19) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$V_{oc}(\xi) = P_{tip}(\xi) / I_{sc}(\xi) \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.19) kullanılarak $V_{oc}(\xi)$ hesaplanmak istenirse $I_{sc}(\xi)$ değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıda (3.20) ve (3.21)'de verilen eşitlikler kullanılarak

$I_{sc}(\xi)$ kolayca hesaplanabilir.

$$V_{oc}(\xi) = V_{oc}(stc) \cdot \Delta\eta \quad (3.20)$$

$$I_{sc}(\xi) = P_{tip}(\xi) / V_{oc}(\xi) \quad (3.21)$$

Yukarıda verilen formüller kullanılarak Isofoton ISF-250 model bir PV panel için $200-1000W/m^2$ ışınım şiddeti aralığında maksimum güç noktası akımı (I_{mpp}) değerlerini içeren bir çevrim tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 3.4). Farklı bir panel kullanılmak istendiğinde kullanılacak olan PV panelin katalog bilgilerinden yararlanılarak çevrim tablosu kolayca oluşturulabilir.

Çizelge 3.4 PV panel çevrim tablosu.

G_E [W/m ²]	I_{mpp} [A]
200	1.63
210	1.72
220	1.8
...	...
...	...
990	8.09
1000	8.17

Çevrim tablosu oluşturulduktan sonra atmosfer dışı ışınım şiddeti değerleri hesaplanmaktadır. Atmosfer dışı ışınım şiddetleri bulutsuz açık havalarda yeryüzü ışınım şiddetleriyle benzer bir karakteristiğe sahip olarak değişim göstermektedirler. Ayrıca atmosfer dışı ışınım şiddeti değerleri yeryüzünün herhangi bir konumu için güneşin geometrisinden yararlanılarak kolayca hesaplanabilir. Dünyanın eliptik yörüngesinin bir sonucu olarak dünya ve güneş arasındaki mesafe yıl içerisinde değişiklik gösterir. Dünyanın güneş etrafındaki yörüngesinin oluşturduğu dış merkezliliği hesaba katmak amacıyla, ışınım şiddeti denkleminde bir dış merkezlilik düzeltme faktörü (fill factor) kullanılır (Irmak 2005).

$$E_n = I_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right) \quad (3.22)$$

burada; I_{sc} güneş sabitidir değeri [$1367.7W / m^2$] dir. n yılın kaçınıcı günü olduğunu belirtir. Örneğin Ocak ayının 1. günü için $n = 1$, 31 Aralık için $n = 365$ 'dir. Atmosfer dışı ışınımın yatay bileşeni aşağıdaki eşitlikle bulunur (Eşitlik 3.23).

$$E_h = E_n \cdot \cos(\theta_z) \quad (3.23)$$

burada; zenit açısı (θ_z) eşitlik (3.24) ile bulunur.

$$\cos(\theta_z) = \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) \quad (3.24)$$

Atmosfer dışı ışınım şiddetinin herhangi bir w saat açısındaki yatay bileşeni eşitlik (3.25) ile hesaplanabilir.

$$E_n = I_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right) \{ \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) \} \quad (3.25)$$

burada; ϕ istenilen konumun enlem açısını derece cinsinden ifade etmektedir. Güneşin saat açısı w eşitlik (3.26) ile hesaplanır.

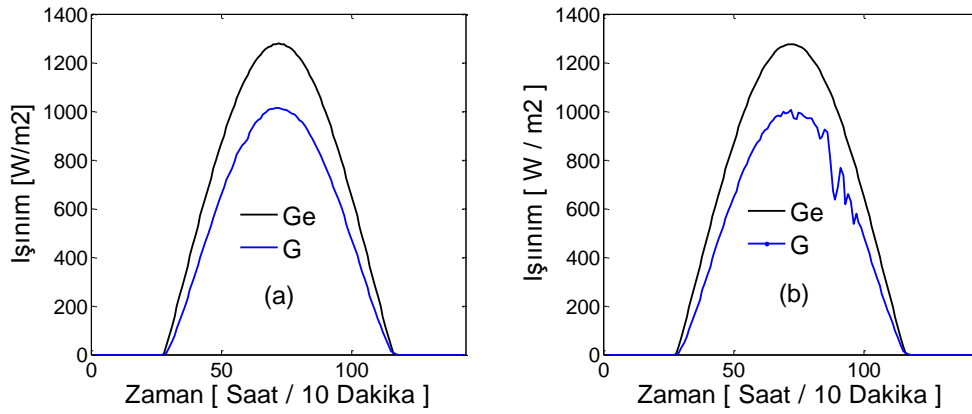
$$\omega = \left(\frac{360}{24} \right) \cdot (h - 12) \quad (3.26)$$

burada; h günün saatini gösterir. δ güneşin sapma (declination) açısı olarak ifade edilip eşitlik (3.27) ile hesaplanabilmektedir.

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \cdot \frac{(284 + n)}{365} \right) \quad (3.27)$$

Simülasyon çalışması için 8 ve 10 Haziran 2015 günlerinde Afyonkarahisar için elde edilen ışınım şiddeti grafikleri görülmektedir (Şekil 3.11). Şekil 3.11.a'da verilen grafik açık ve bulutsuz hava şartlarında Kipp & Zonen CMP6 model güneş ışınım sensörü ve

Meteon model data logger kullanılarak ölçülmüş ışınım şiddeti ve aynı gün için yukarıda verilen denklemler kullanılarak türetilmiş atmosfer dışı ışınım şiddetinin değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi atmosfer dışı ışınım şiddetleri ve yeryüzü ışınım şiddetleri birbirine çok benzerdir ve benzer değişimler göstermektedir. Şekil 3.12.b'de ise bulutlu bir gün olan 8 Haziran 2015 için benzer şekilde ölçülmüş ve türetilmiş atmosfer dışı ışınım şiddeti değişimi görülmektedir. Şekil 3.12.b'de de atmosfer dışı ve yeryüzü ışınım şiddeti karakteristikleri benzerlik göstermektedir. İki grafik de atmosfer dışı ışınım şiddeti değerlerinin maksimum güç noktası kestiriminde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.122 Bulutsuz (a) ve bulutlu (b) gün için ışınım şiddeti değişim grafikleri.

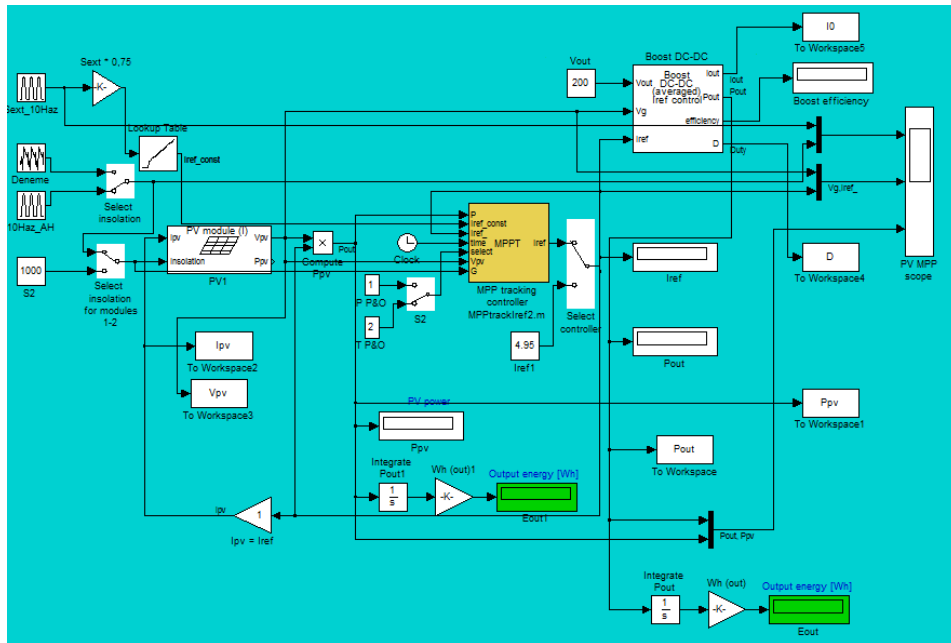
Atmosfer dışı ışınım şiddeti değerleri üretiminde 10 dakika aralıklarla toplamda 144 ışınım şiddeti değeri türetilir ve bir tabloda saklanır. Çevrim tablosu verilerinin 10 dakika aralıklarla türetilmesinin sebebi, yeryüzü ışınım şiddeti verilerinin ölçüm aralığının ışınımölçerde 10 dakika seçilmiş ve bu aralıkla kaydedilmiş olmasıdır. Atmosfer dışı ışınım şiddeti değerlerinin hesabı güneş battıktan sonra hesaplanmakta ve günde 1 kez işletilmektedir. Ayrıca türetilmiş olan atmosfer dışı ışınım şiddeti değerlerinden güneşin doğma ve batma zamanı belirlenmektedir. Güneş doğduktan sonra atmosfer dışı ışınım şiddetine karşılık gelen maksimum güç noktası parametrelerinden I_{mpp} değeri DC/DC dönüştürücünün referans akımı (I_{ref}) olarak ayarlanır ve dönüştürücü bu referans akım değeriyle başlatılır. Ardından yukarıda verilen geleneksel P&O algoritması işletilir. P&O algoritması MPP'ye yakın bir noktadan MPP takibine başlarsa çok kısa sürede MPP'ye ulaşacaktır. P&O algoritması

ışınım şiddeti güncelleme süresi olan 10 dakika doluncaya kadar işletilmekte ve bu süre sonunda bir sonraki dünya dışı ışınım şiddetine karşılık gelen I_{ref} değeri bulunmakta ve dönüştürücü bu noktadan çalışmaya başlatılmaktadır.

Tasarlanan algoritma türetilen dünya dışı ışınım şiddetleri, güneş doğma ve batma zamanları sayesinde sadece güneşin var olduğu saatlerde işletilmekte ve böylece sistemin verimi de artırılabilir. Bu çalışmanın konusu dışında olmakla birlikte tasarlanan algoritmanın gerçek bir PV sistemine uygulanması durumunda güneşin battığı saatlerde kontrol sistemi uyku modunda çalıştırılmak suretiyle sistemin enerji tüketimi de optimize edilebilir.

4. BULGULAR

Tasarlanan algoritma, aşağıda (Şekil 4.1) verilen MATLAB/Simulink ortamında hazırlanmış olan test platformu ile test edilmiştir. Bu platformda PV panel modeli, DC/DC yükselten tip dönüştürücü, kontrolör yer almaktadır. PV panel girişine ışınımölçerden alınmış olan bir günlük (ölçümü yapılan güne ait) ışınım şiddeti verileri girilmektedir. Kontrolör kısmında karşılaştırma yapabilmek için geleneksel P&O algoritması ve önerilen P&O algoritması seçimi yapılabilmekte ve işletilmektedir. MPPT takibi bir DC/DC dönüştürücü yardımıyla yapılabilmektedir. Önerilen algoritma DC/DC dönüştürücü için bir referans sinyal üretmekte ve dönüştürücü bu referans değere göre çalışmaya başlamaktadır. PV panel çıkışında panel çıkış gücü hesaplanarak panelde üretilen günlük enerji miktarı gözlenebilmektedir. Aynı şekilde dönüştürücü çıkış gücü hesaplanarak üretilen enerji miktarı gözlenebilmektedir. Bu test platformunda görülen PV paneli 250W'lık Isofoton ISF-250 model bir paneldir. Panelin etiket bilgileri şöyledir. Açık devre gerilimi (V_{OC}) 37.8V, kısa devre akımı (I_{SC}) 8.75A, maksimum güç noktası gerilimi (V_{max}) 30.6V, maksimum güç noktası akımı (I_{max}) 8.17A'dır.



Şekil 4.1 MATLAB/Simulink test platformu.

Test platformu kullanılarak önerilen algoritma klasik P&O algoritması ile birlikte iki

farklı senaryo kullanılarak test edilmiştir. Bu senaryolar aşağıda senaryolar başlığı altında ayrıntılı olarak incelenmiştir.

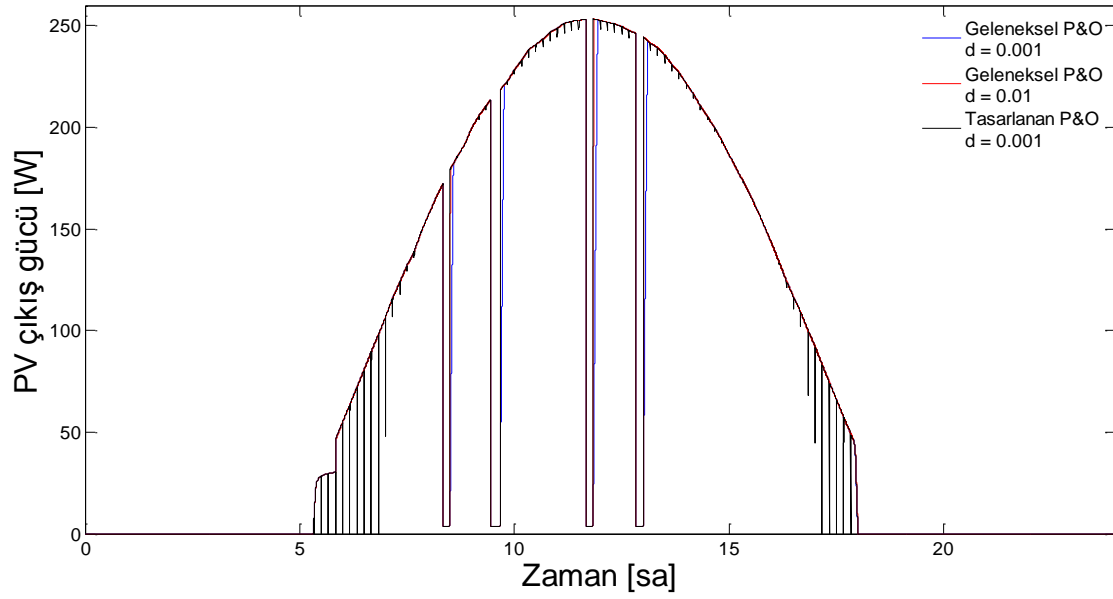
4.1 SENARYOLAR

Tasarlanan P&O algoritması ile geleneksel P&O algoritmasının test çalışması için iki farklı senaryo uygulanmıştır. Bu testlerde algoritmaların kararlı durum ve dinamik davranışları incelenmiştir. Oluşturulan senaryolarda (8 Haziran 2015) bulutlu ve (10 Haziran 2015) bulutsuz günler için algoritmaların performanslarını test edebilmek için elde edilen ışınım şiddeti verileri kullanılmıştır. İlk senaryoda PV panelinin düzgün ışınım aldığı durum, ikinci senaryoda ise PV panelinin kısmi gölgelenmeye maruz kaldığı durum dikkate alınarak her iki senaryo için bulutlu ve bulutsuz günler için test çalışmaları yapılmıştır. Söz konusu senaryolar için uzun süre çalışmada elde edilebilecek enerji verimliliği değerlerini incelemek için algoritmalar tüm gün için test edilmiştir.

4.1.1 Senaryo 1

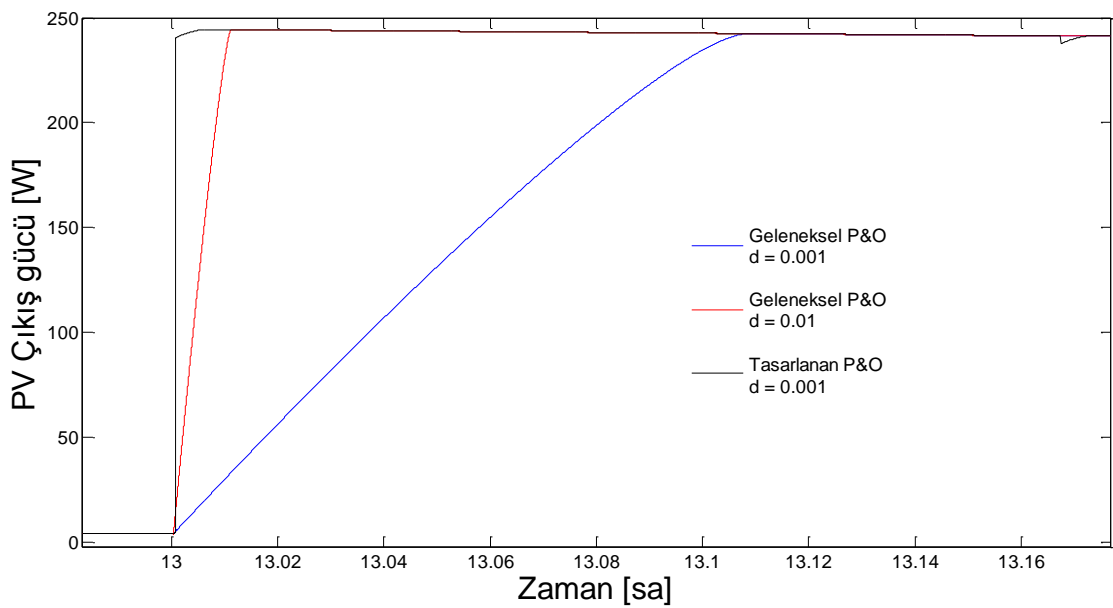
Bu senaryoda PV panelin düzgün ışınım aldığı durum için tasarlanan algoritmanın dinamik ve kararlı durum davranışı ve uzun süreli çalışmada elde edilebilecek enerji verimliliği incelenmiştir. Algoritmaların maksimum güç noktasını bulma sürelerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla DC/DC dönüştürücü gün içerisinde dört defa durdurulup yeniden başlatılmıştır. Algoritmalarda kullanılan adım miktarı değeri $\Delta I_{ref} = 0.001$ ve $\Delta I_{ref} = 0.01$ değeri için güçte oluşan salınımların genliği ve ΔI_{ref} değerinin maksimum güç noktası bulma süresine etkileri incelenmiştir (Çınar ve Bakım 2016).

Aşağıdaki şekilde açık ve bulutsuz bir gün olan 10 Haziran 2015 için PV paneli çıkış gücünün değişimi görülmektedir. Ayrıca DC/DC dönüştürücünün durdurulup yeniden başlatıldığı zaman diliminde panel gücü sıfıra gitmektedir (Şekil 4.2).



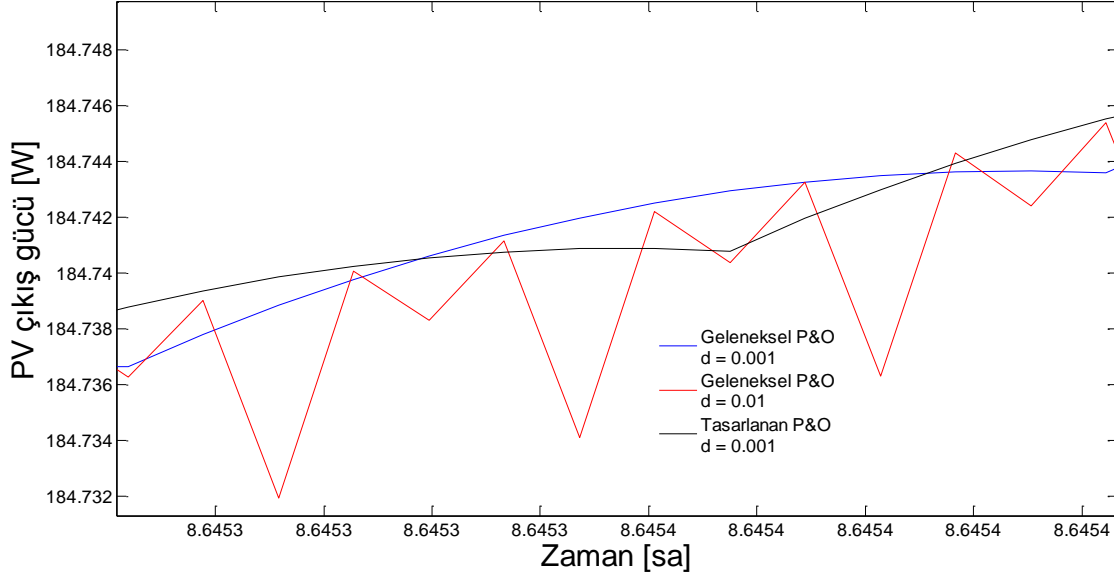
Şekil 4.2 Bulutsuz gün için PV paneli çıkış gücü değişimi.

Aşağıdaki grafik şekil 4.2’de DC/DC konvertörün gün içerisinde üçüncü kez durdurulup yeniden başlatıldığı noktaya zoom yapılmış olup algoritmaların adım miktarına göre MPP bulma süreleri daha yakından incelenmiştir. Görüldüğü gibi küçük adım miktarı ile çalıştırılan geleneksel P&O algoritmasının MPP bulma süresi oldukça uzundur. Tasarlanan P&O algoritması ise küçük adım miktarı ile çalıştırıldığı halde büyük adım miktarı ile çalıştırılan geleneksel P&O algoritmasından daha hızlı bir şekilde maksimum güç noktasına ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.3).



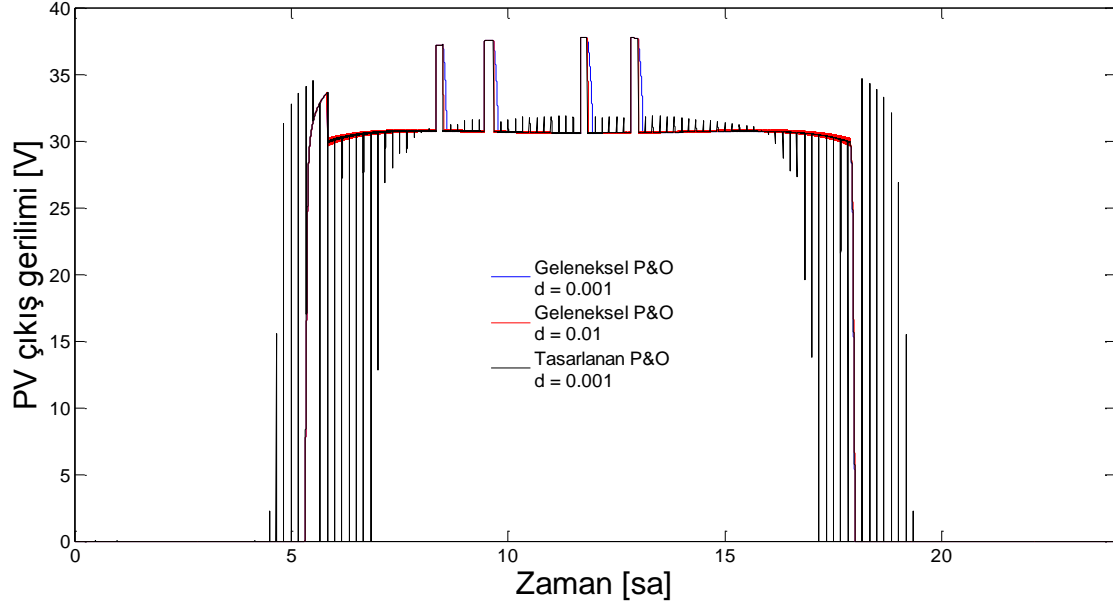
Şekil 4.3 Bulutsuz gün için algoritmalara göre MPPT bulma süreleri.

Aşağıdaki şekilde üç algoritmanın da kararlı olduğu durumda güçteki değişimleri göstermektedir. Burada $\Delta I_{ref} = 0.001$ için küçük salınımlar gözlenirken $\Delta I_{ref} = 0.01$ için salınının genliğinin arttığı gözlenmektedir (Şekil 4.4). Güçteki salınımların düşük olması enerji verimini arttırıcı bir etki oluşturmaktadır.



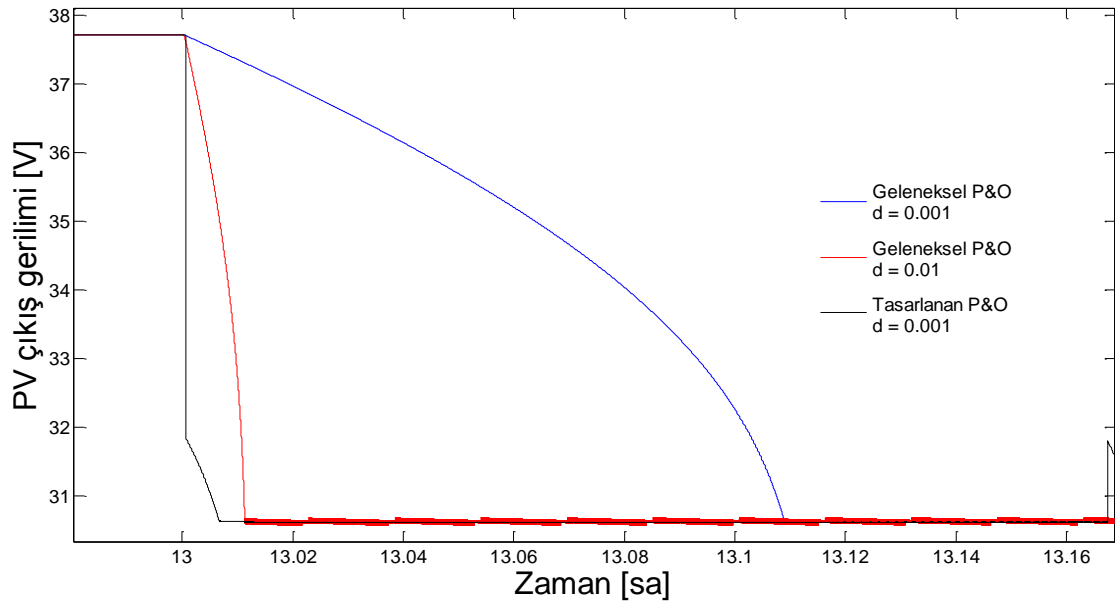
Şekil 4.4 Bulutsuz gün için algoritmalarla göre güç salınımları.

DC/DC dönüştürücünün durdurulup yeniden başlatıldığı durumlarda PV panel ile yük arasındaki bağlantı kalmadığından PV panel açık devre gerilimi (V_{oc}) ile çalışmaktadır. Daha sonra açık devre geriliminden maksimum güç noktası gerilimine yerleşmektedir. Aşağıdaki şekilde yukarı doğru oluşan dört tepecik DC/DC dönüştürücünün durdurulup yeniden başlatılması durumlarını göstermektedir (Şekil 4.5).



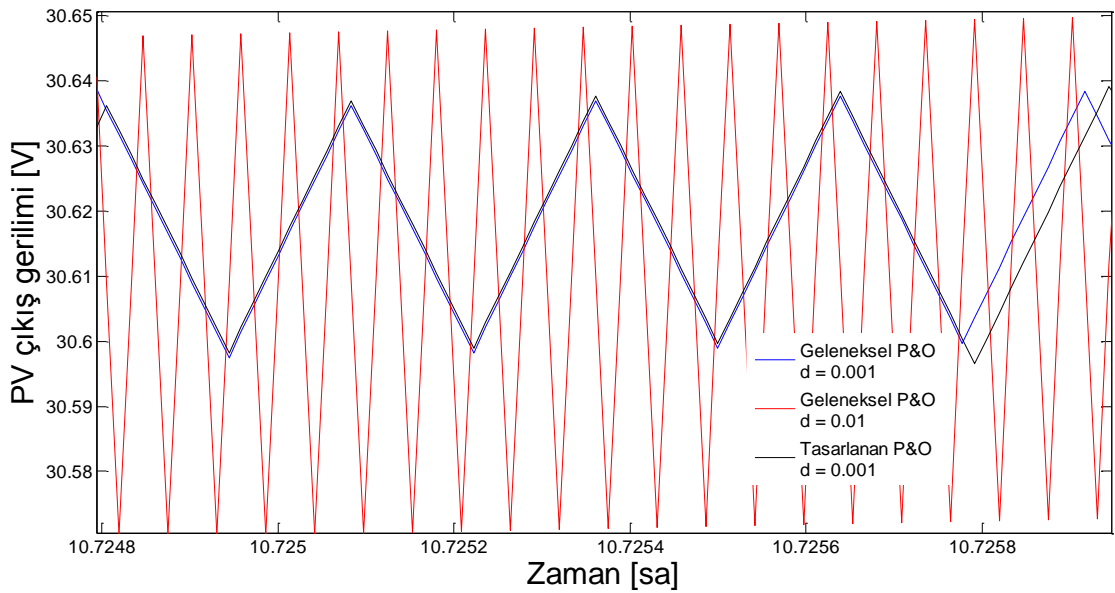
Şekil 4.5 Bulutsuz gün için PV paneli çıkış gerilimi değişimi.

Aşağıdaki şekilde mavi renk geleneksel P&O algoritmasının küçük adımlarla çalıştığı kırmızı renk geleneksel P&O algoritmasının daha büyük adımda çalıştığını siyah renk ise tasarlanan P&O algoritmasının mavi renkle gösterildiği gibi küçük adımlarla çalışma performansını göstermektedir. Tasarlanan P&O algoritması küçük adımlarla çalışmasına rağmen büyük adımlarla çalıştırılan geleneksel P&O algoritmasına göre MPP çalışma gerilimine daha hızlı ulaştığı görülmektedir. Ayrıca grafikte görülen durum DC/DC dönüştürücünün üçüncü kez durdurulup yeniden başlatıldığı ana karşılık gelmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 PV çıkış geriliminin maksimum güç noktası gerilimine yerleşmesi.

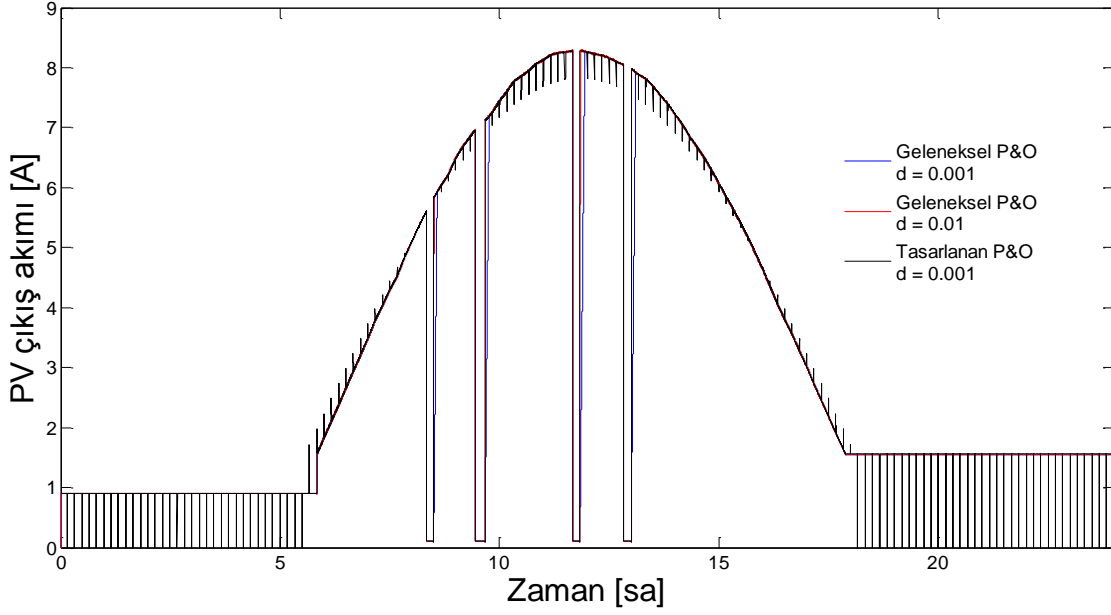
Aşağıdaki şekilde çıkış geriliminde adım miktarına göre meydana gelen salınımlar incelendiğinde küçük adım miktarı ile çalıştırılan geleneksel P&O ve tasarlanan P&O algoritmasındaki salınım miktarı yaklaşık olarak 40mV iken büyük adım miktarı ile çalıştırılan geleneksel P&O algoritmasında salınım miktarının yaklaşık olarak 80mV olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 PV çıkış geriliminde algoritmalara göre oluşan salınımlar.

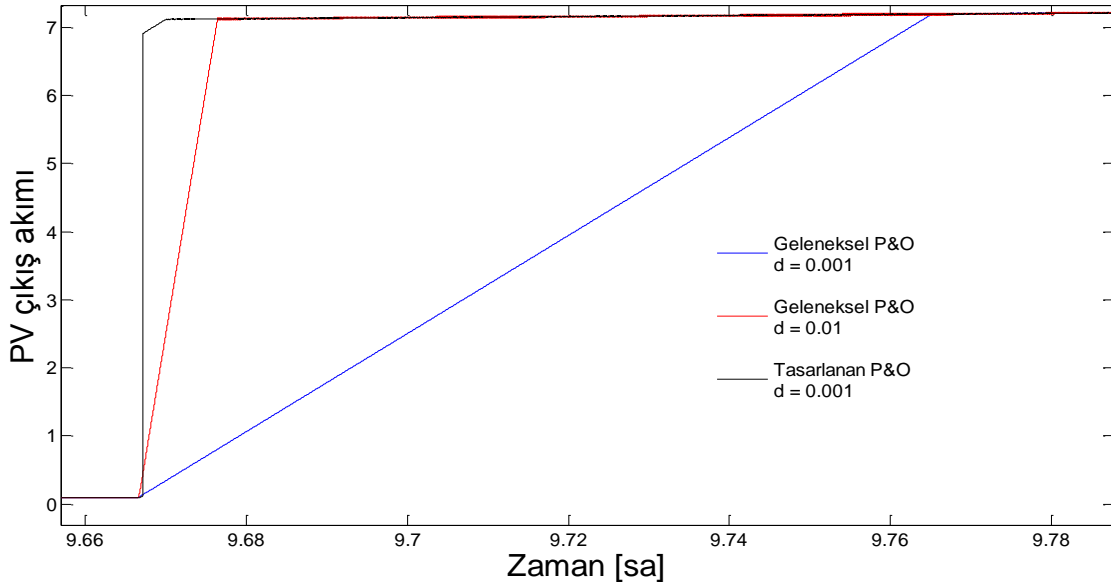
Aşağıdaki şekilde bulutsuz gün için PV paneli çıkış akımının algoritmalara göre

değişim grafiği görülmektedir (Şekil 4.8).



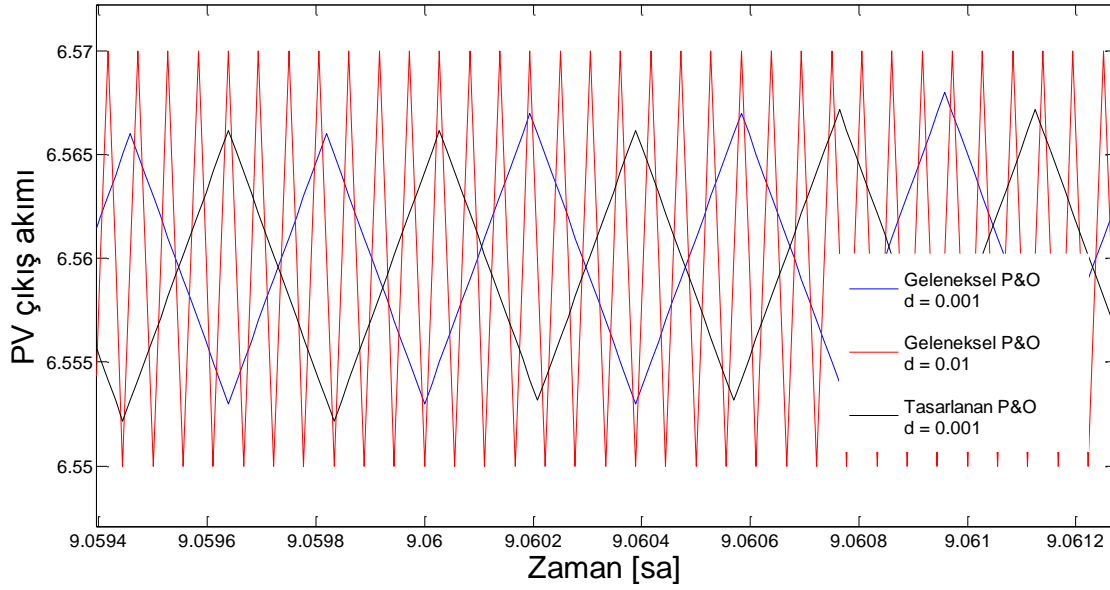
Şekil 4.8 Bulutsuz gün için PV paneli çıkış akımı değişimi.

Aşağıda şekil 4.8’de verilen PV paneli çıkış akımı grafiğinde DC/DC dönüştürücünün gün içerisinde ikinci kez durdurulup başlatıldığı nokta olan yaklaşık 9.6 saat kısmına yapılan zoom ekranı görülmektedir. Grafikte geleneksel P&O algoritmasının adım miktarı 0.001 değeri için yerleşme zamanı uzun sürmekle birlikte tasarlanan P&O algoritmasının adım miktarının 0.001 olduğu durumda akım değerinin hızlı bir şekilde yerleştiği görülmektedir (Şekil 4.9).



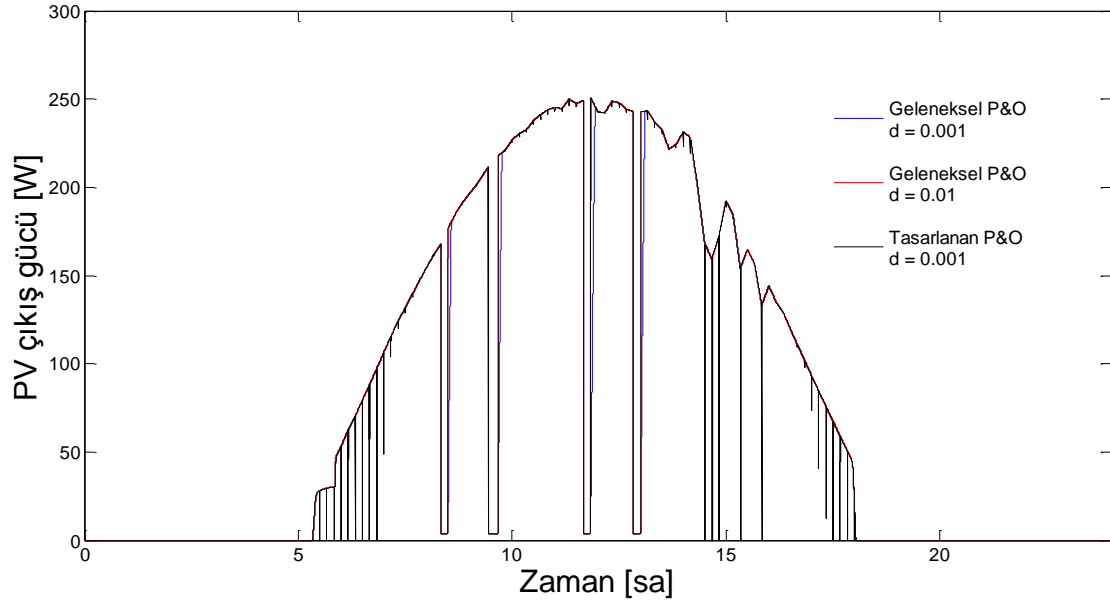
Şekil 4.9 Bulutsuz gün için algoritmalara göre PV çıkış akımının yerleşmesi.

Aşağıdaki şekilde PV paneli çıkış akımı değişimi grafiğinde oluşan salınımlar görülmektedir. Algoritmada mavi ve siyah renkle gösterilen çizgiler geleneksel P&O algoritması ve tasarlanan P&O algoritmasının adım miktarının 0.001 olduğu durumlar görülmektedir. Kırmızı renkle gösterilen çizgide ise geleneksel P&O algoritmasının adım miktarının 0.01 olduğu durum görülmektedir. Adım miktarının küçük olduğu durumlarda değişimde daha küçük salınım olduğu görülürken adım miktarının büyük olduğu durumda daha büyük salınım görülmektedir (Şekil 4.10).



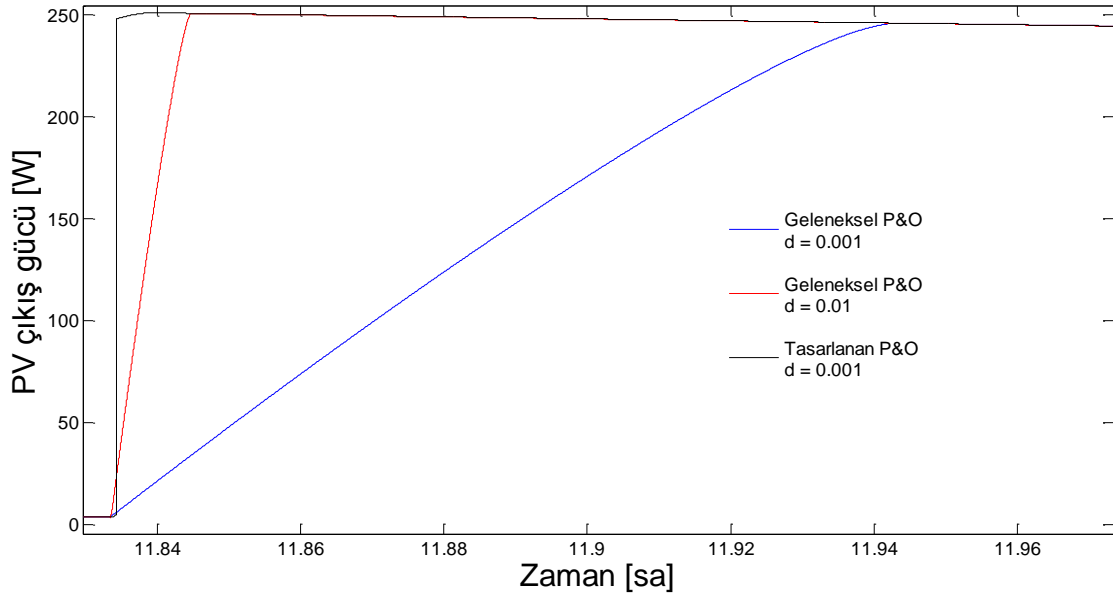
Şekil 4.10 Bulutsuz gün için algoritmalarla göre PV çıkış akımındaki salınımlar.

Bu senaryo kapsamında ikinci olarak havanın bulutlu olduğu gün olan (8 Haziran 2015) tarihine ait simülasyon çalışmasında tasarlanan P&O ve geleneksel P&O algoritmalarının dinamik ve kararlı durum davranışları incelenmiştir. Işınım veri setleri belirlenen gün için elde edilmiş ve bu veri setleri kullanılarak algoritmaların tüm gün performansları test edilmiştir. Söz konusu gün için her iki algoritmanın davranışı incelenmiştir. Aşağıda (Şekil 4.11) söz konusu bulutlu gün için elde edilmiş PV panel çıkış gücünün adım miktarına göre değişimi verilmektedir.



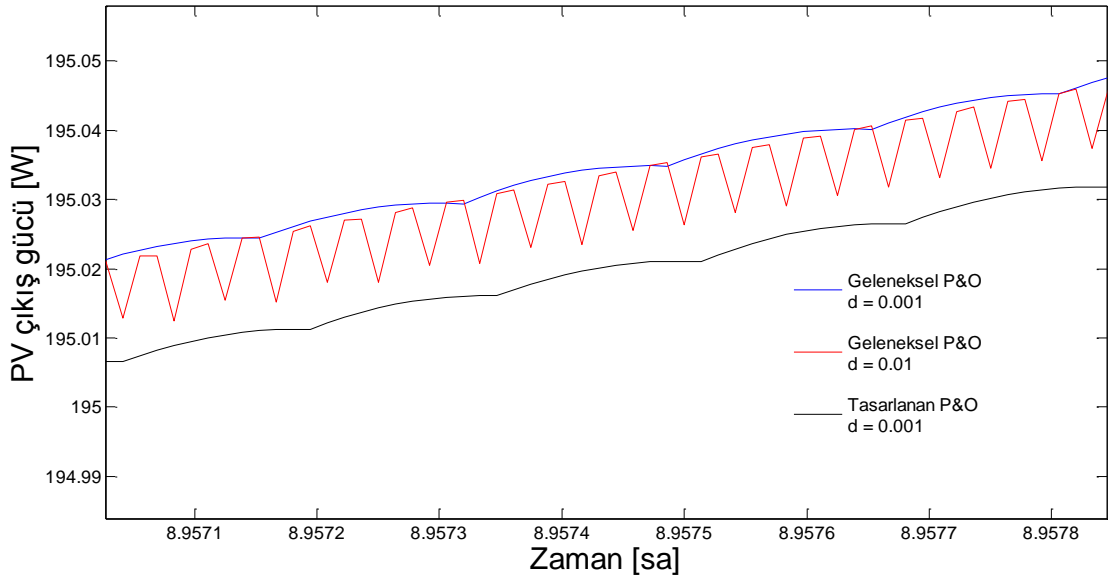
Şekil 4.11 Bulutlu gün için PV paneli çıkış gücü değişimi.

Aşağıdaki grafik adım miktarları göz önüne alınarak incelendiğinde PV panelin güç değişimlerinin durumu görülmektedir. DC/DC dönüştürücünün yeniden başlatıldığı durumlarda tasarlanan P&O algoritmasının geleneksel P&O algoritmasına göre maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı görülmektedir. Algoritmanın adım miktarı (ΔI_{ref}) değerine göre geleneksel P&O algoritmasının MPP'ye ulaşma süresi değişiklik göstermektedir. Geleneksel P&O algoritmasının adım miktarı $\Delta I_{ref} = 0.001$ seçildiğinde maksimum güç noktasını yakalama süresi artış göstermektedir. Geleneksel P&O algoritmasının adım miktarı $\Delta I_{ref} = 0.01$ seçilmesi durumunda tasarlanan P&O algoritmasının adım miktarı $\Delta I_{ref} = 0.001$ seçilse bile tasarlanan P&O algoritmasının maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.12) (Bakım vd., 2016).



Şekil 4.12 PV panelinin çıkış gücünün algoritmaların adım miktarına göre değişimi.

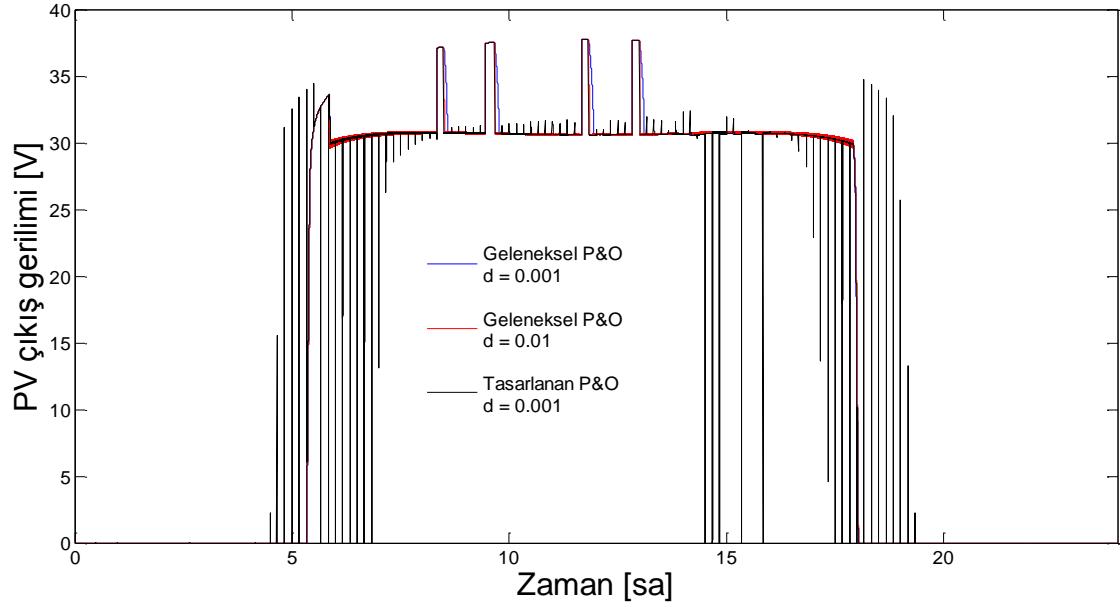
Aşağıda algoritmaların adım miktarı (ΔI_{ref}) değerine göre çıkış gücünde oluşan salınımlar incelenmiştir. Geleneksel P&O algoritmasının ve tasarlanan P&O algoritmasının adım miktarı $\Delta I_{ref} = 0.001$ seçildiğinde güç değerinde küçük bir salınım yaparken geleneksel P&O algoritmasında adım miktarı $\Delta I_{ref} = 0.01$ seçildiğinde güç değerindeki salınımların büyüdüğü gözlenmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 PV panelinin çıkış gücünde oluşan salınımlar.

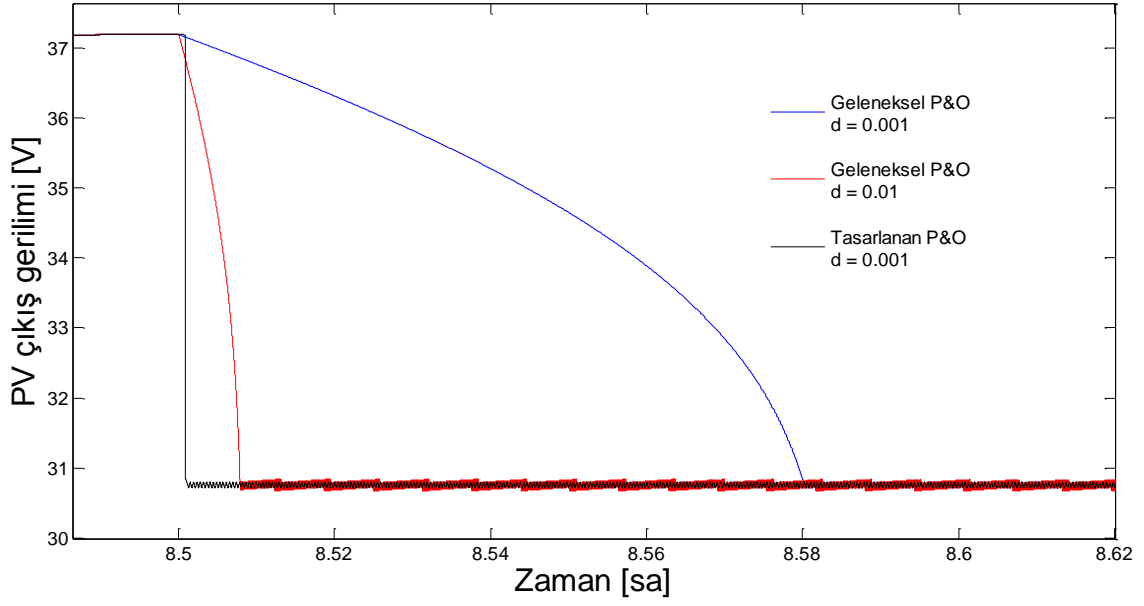
Aşağıdaki grafik bulutlu gün için test çalışması yapılan algoritmaların adım miktarına

göre PV çıkış gerilimindeki değişimleri göstermektedir.



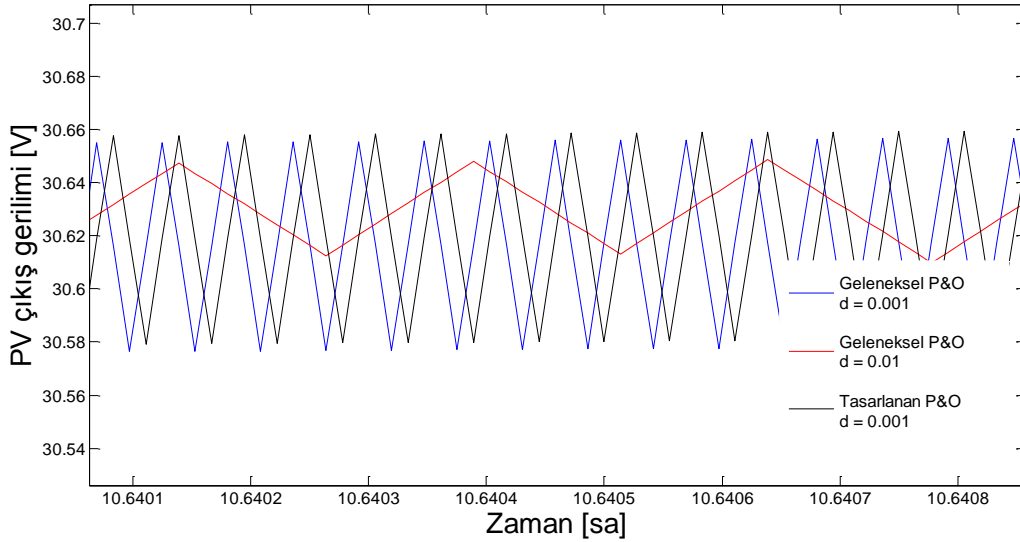
Şekil 4.14 Bulutlu gün için PV çıkış gerilimindeki değişim.

Aşağıdaki şekil bulutlu gün için verilen PV çıkış gerilimi grafiğinde (Şekil 4.15) DC/DC dönüştürücünün ilk kez durdurulup yeniden başlatıldığı nokta olan 8.5 saate yapılan zoom görüntüsünü göstermektedir. Geleneksel P&O algoritmasının 0.001 adım ile çalıştırılması durumunda açık devre geriliminden maksimum güç noktası gerilimine ulaşması uzun sürmektedir. Tasarlanan P&O algoritmasında adım miktarı 0.001 seçildiğinde bile açık devre geriliminden maksimum güç noktasına ulaşma süresi 0.01 adım miktarı ile çalıştırılan geleneksel P&O algoritmasından oldukça kısadır.



Şekil 4.15 PV panelinin çıkış geriliminin algoritmalara göre değişimi.

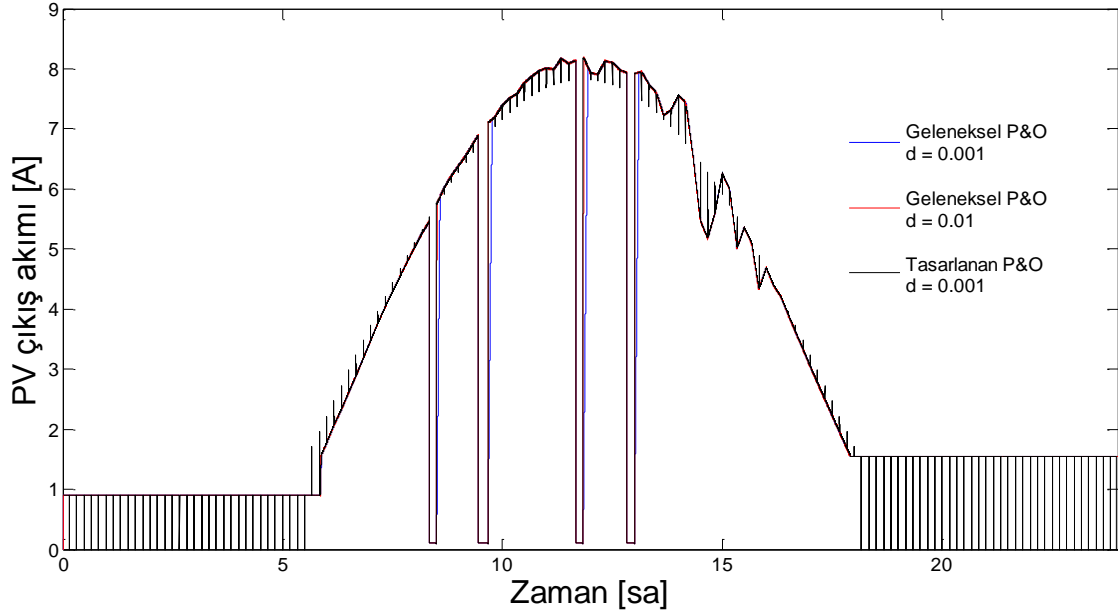
Aşağıda PV panelinin çıkış geriliminin algoritmaların adım miktarı değişimine göre grafiği görülmektedir. Tasarlanan algoritmada PV geriliminin açık devre geriliminden (V_{OC}) çok kısa sürede MPP gerilimine (V_{mpp}) yerleştiği görülmektedir. Ayrıca $\Delta I_{ref} = 0.01$ için PV gerilimindeki salınım genliği büyük iken $\Delta I_{ref} = 0.001$ için salınım genliğinin küçük değerler aldığı gözlenmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Bulutlu gün için PV panelinin çıkış gerilimindeki salınımlar.

Aşağıda bulutlu gün için PV panel çıkış akım grafiği verilmektedir. Grafikte geleneksel P&O algoritması adım miktarı 0.01 ve 0.001 için test edilmiş olup tasarlanan P&O

algoritması adım miktarı 0.001 için test edilmiştir. Ayrıca grafikte DC/DC dönüştürücünün gün içerisinde 4 defa durdurulup yeniden başlatıldığı durumlarda görülmektedir (Şekil 4.17).

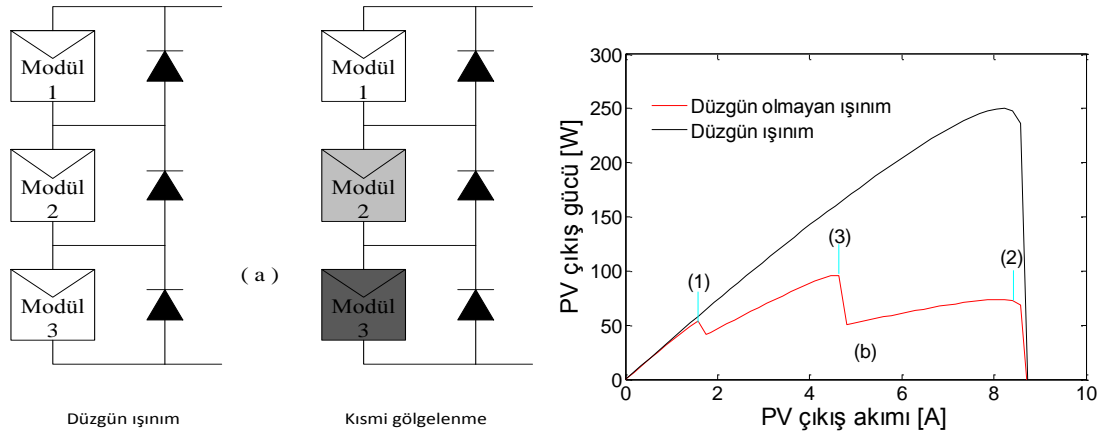


Şekil 4.17 Bulutlu gün için PV paneli çıkış akımı değişimi.

4.1.2 Senaryo 2

Bu senaryoda PV panelinin kısmi gölgelenmeye maruz kaldığı durum incelenmiştir. Bu çalışma için PV panelin gün içerisinde üç defa kısmi gölgelenmeye maruz kalacak şekilde bir ışınım şiddeti veri seti oluşturulmuştur. Burada da algoritmaların dinamik ve kararlı durum davranışları incelenmiştir. MATLAB/Simulink ortamında yapılan testlerde kullanılan PV panel ISOFOTON ISF-250 model, 60 hücreli ve 3 by-pass diyotludur. Oluşturulan senaryoda yapılan testlerde PV panelin modüllerinden ikisinin kısmi gölgelenmeye maruz kaldığı diğer modülün ise ışınımı tam olarak aldığı düşünülmüş ve bu duruma göre test yapılmıştır. Test çalışmasında kullanılan PV panelinin modüllerinin gölgelenme durumları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.18.a). Gölgelenme durumu gün içerisinde değişim gösterse de bu senaryoda tek bir gölgelenme karakteristiği uygulanmıştır. Bu kısmi gölgelenme karakteristiği gün içerisinde 3 defa PV paneline uygulanmıştır. PV panelinin modülleri sırasıyla %100, %55 ve %20 olarak ışınım almaktadır. Şekil 4.18.b'de PV panelinin kısmi gölgelenme durumu için akım-güç görülmektedir. Ayrıca kısmi gölgelenme durumunda düzgün ışınım aldığı duruma göre farklı karakter göstermektedir ve birden çok yerel maksimum

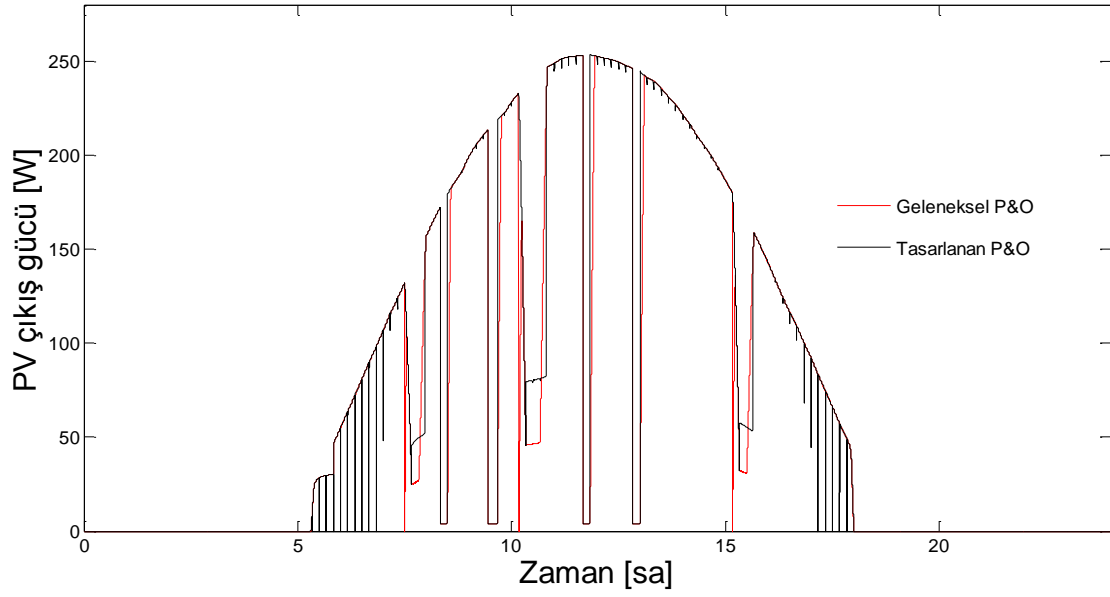
güç noktası ve bir global maksimum güç noktası içermektedir.



Şekil 4.18 PV paneli modüllerinin düzgün ve kısmi gölgeli durumları (a) ve akım-güç grafiği (b).

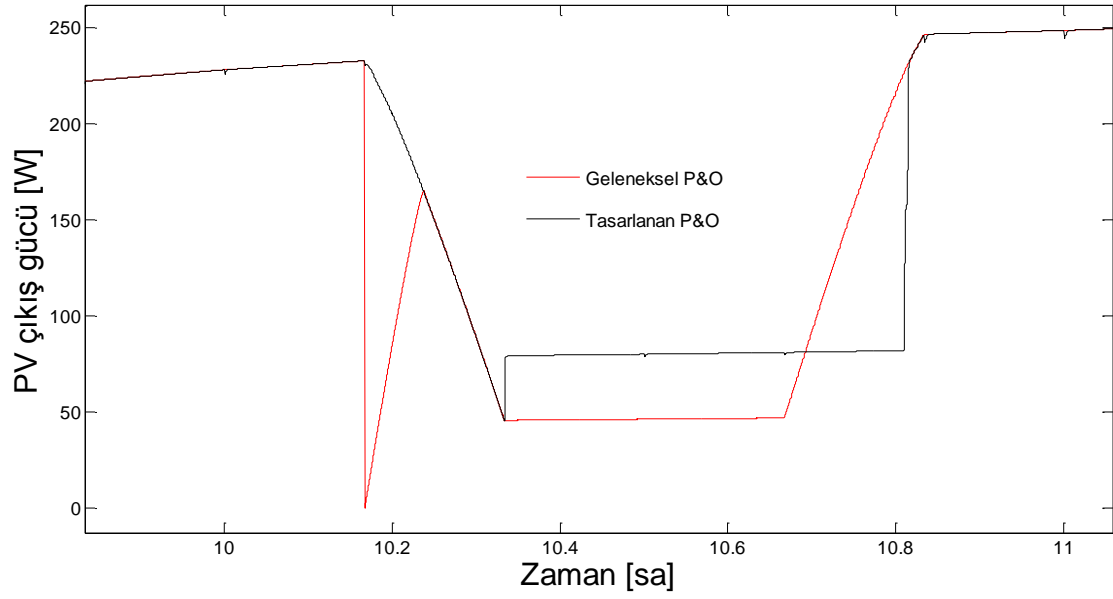
Geleneksel P&O algoritması kısmi gölgelenme durumunda sıfır noktasından maksimum güç noktası taraması yapmaya başladığında Şekil 4.18.b'de (1) ile gösterilen yerel maksimum güç noktasına yakınsamaktadır. Bu nokta grafikte global maksimum güç noktası olmadığı için PV panel bu noktada çalıştırılırsa verim kaybı oluşacaktır. Yine aynı şekilde geleneksel P&O algoritması I_{SC} referansı ile çalışmaya başlatılırsa Şekil 4.18.b'de (2) ile gösterilen yerel maksimum noktası etrafında çalışacağından bu durumda da verim kaybı söz konusu olacaktır. Atmosfer dışı ışınım şiddetine bağlı olarak başlangıç değeri üretilmiş olan tasarlanan P&O algoritması global maksimum noktasına yakın bir referansla tarama yapmaya başlayabileceğinden Şekil 4.18.b'de (3) ile gösterilen global MPP etrafında çalışması sağlanabilmektedir.

Şekil 4.19'da PV panelin bulutsuz gün için üç defa kısmi gölgelenme etkisine maruz kaldığı durumdaki çıkış gücü grafiği görülmektedir. Kısmi gölge durumları yaklaşık olarak 7.5., 10. ve 15. saatlerde uygulanmıştır. PV panelini oluşturan modüllere kısmi gölgelenmenin olduğu durumlarda %100, %55 ve %20 ışınım şiddeti değerleri uygulanmıştır. PV panelin yerel ve global maksimum noktası güçleri grafikte zoom yapılan gölgelenme aralığında yaklaşık olarak $P_{(1)} = 45W$, $P_{(2)} = 70W$, $P_{(3)} = 89W$ olarak gözlemlenmiştir. Güç değerlerindeki (1), (2) ve (3) indisleri Şekil 4.18.b'de verilen grafik dikkate alınarak kullanılmıştır.



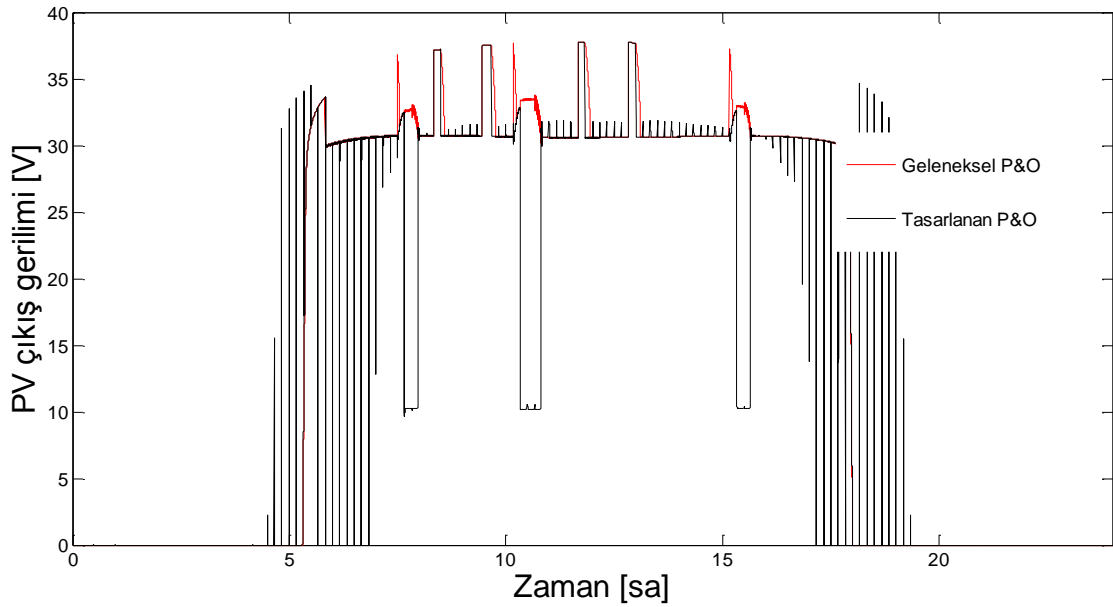
Şekil 4.19 Kısmi gölgelenme durumunda PV panel çıkış gücünün değişimi (Bulutsuz gün).

Aşağıda saat 10 civarında 30 dakika süreyle uygulanan kısmi gölgelenme aralığı görülmektedir. Grafikten görüleceği üzere tasarlanan P&O algoritması global maksimum olan ve Şekil 4.18.b’de verilen (3) numara ile gösterilen nokta etrafında çalışmaktadır. Geleneksel P&O algoritması çalışmaya sıfır noktasından başladığı için Şekil 4.18.b’de verilen (1) numara ile gösterilen yerel maksimum noktasını global maksimum kabul edip bu nokta etrafında çalışmaktadır. Grafik üzerinde kısmi gölgelenmenin uygulandığı diğer noktalar da incelendiğinde tasarlanan P&O algoritmasının global maksimum noktalarını yakaladığı görülürken geleneksel P&O algoritmasının yerel maksimum noktaları etrafında çalıştığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Kısmi gölgelenme durumunda PV panel çıkış gücünün yerleşme süresi.

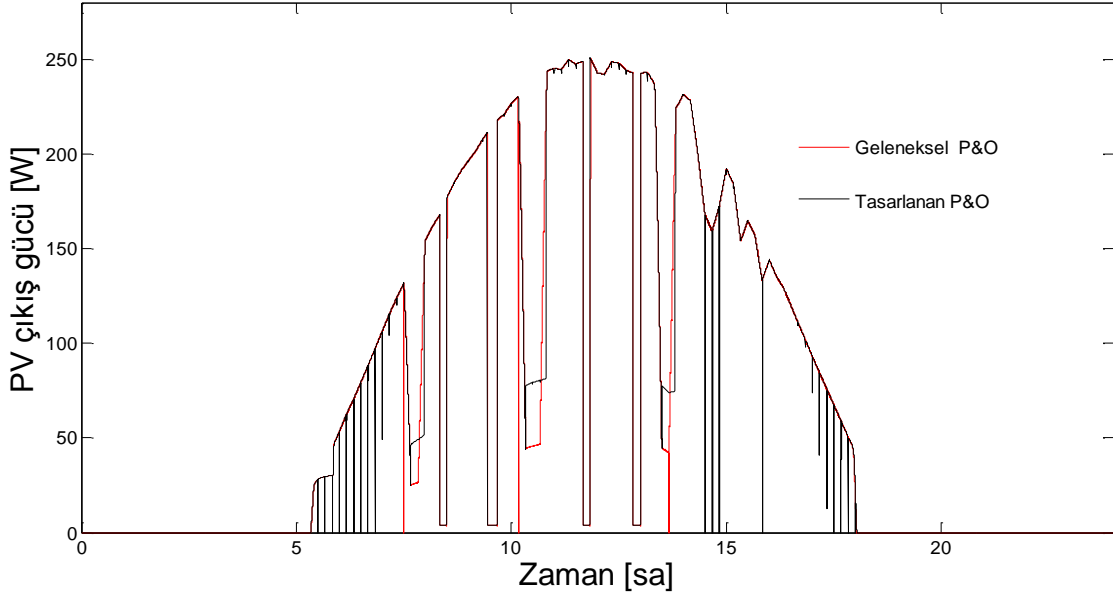
Bulutsuz gün için yapılan kısmi gölgelenmeli test çalışmalarında PV paneli çıkış gücünün ardından PV çıkış gerilimindeki değişim incelenmiştir. Aşağıda PV panelinin çıkış gerilim grafiği verilmiştir (Şekil 4.21). Geleneksel P&O algoritması ve tasarlanan P&O algoritması adım miktarı 0.001 için test edilerek grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.21 Bulutsuz - kısmi gölgelenmeli gün için PV çıkış gerilimi değişimi.

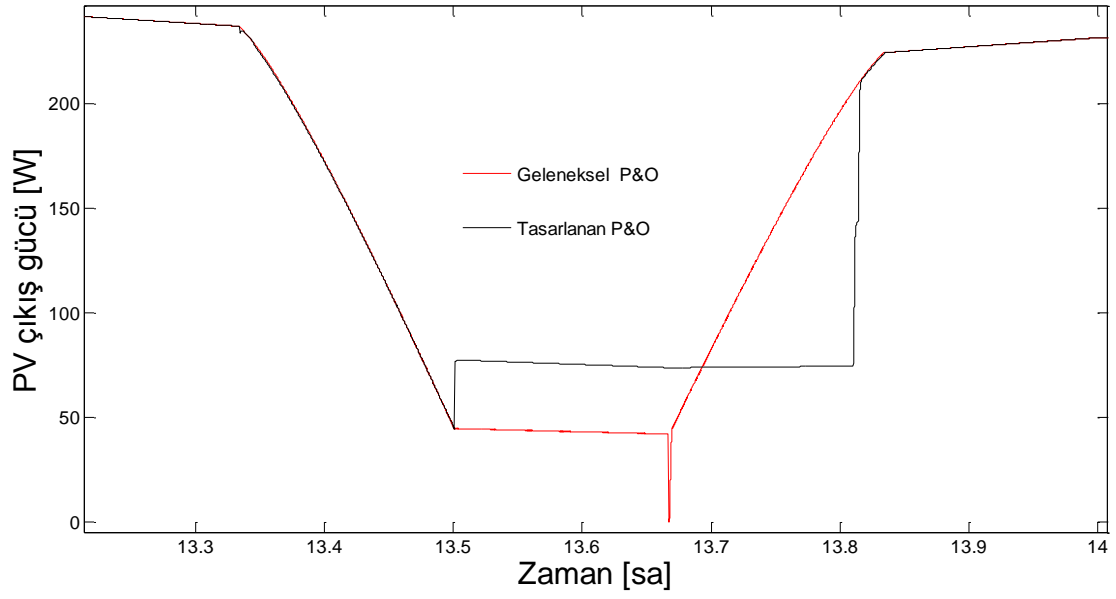
Şekil 4.22'de PV panelin bulutlu bir gün (8 Haziran 2015) için gün içerisinde üç defa kısmi gölgelenme etkisine maruz kaldığı durumdaki çıkış gücü grafiği görülmektedir.

Burada da gün içerisinde DC/DC dönüştürücü dört defa durdurulmuştur. Kısmi gölge durumu da yaklaşık olarak 7.5., 10. saat ve özellikle bulutlanmanın olduğu 13. saatte uygulanmıştır.



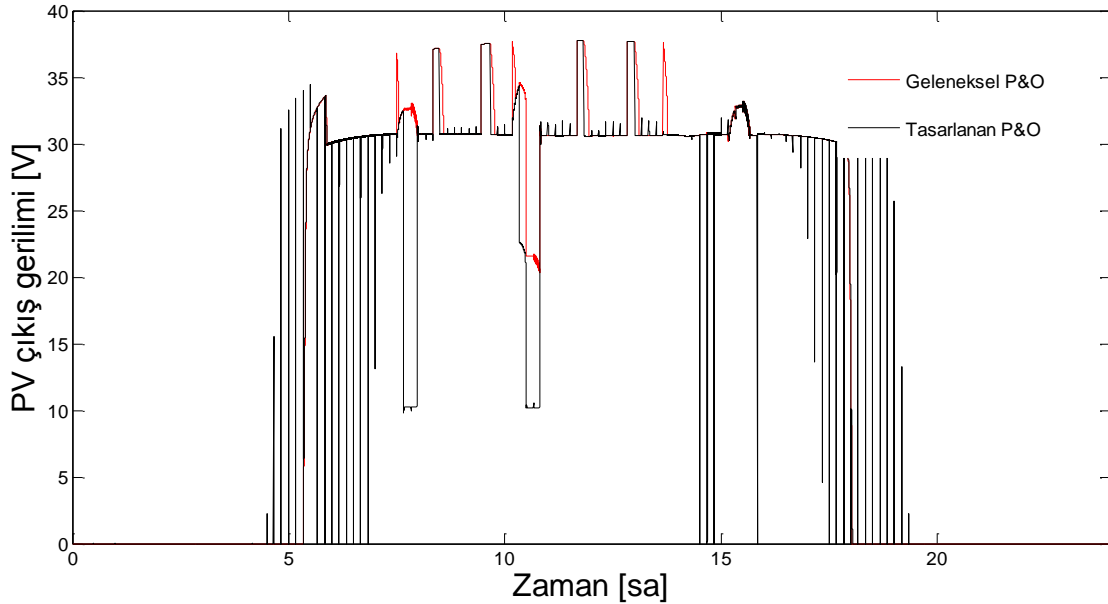
Şekil 4.22 PV panel çıkış gücünün bulutlu gün ve kısmi gölgenme durumunda algoritmalara göre değişimi.

Kısmi gölgenme etkisini özellikle bulutlanmanın mevcut olduğu durumda gözlemleyebilmek için üçüncü kısmi gölgenme etkisi zoom yapılan aralığa uygulanarak tasarlanan P&O algoritmasının bulutlu ve kısmi gölgenmeli çalışma durumundaki performansı incelenebilmiştir (Şekil 4.23). Bulutlanma ve kısmi gölgenmenin olduğu aralıkta PV panelinin yerel ve global maksimum güç değerleri $P_{(1)} = 42W$, $P_{(2)} = 65W$, $P_{(3)} = 83W$ olarak bulunmuştur. Bulutlanma ve kısmi gölgenmenin olduğu zoom ekranı incelendiğinde tasarlanan P&O algoritması bu durumda da global maksimum noktasını yakalarken geleneksel P&O algoritması (1) nolu yerel maksimum noktaya takılıp o noktada çalıştığı görülmektedir.



Şekil 4.23 Bulutlu ve kısmi gölgeli durumda PV çıkış gücü değişimi.

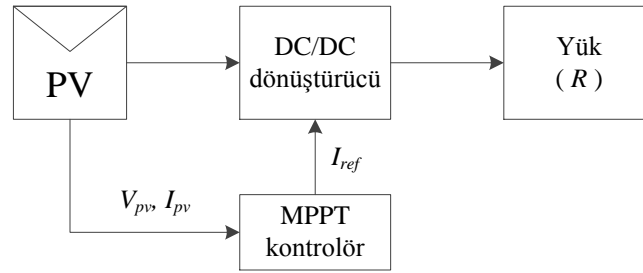
Bulutlu gün için yapılan test çalışmalarında PV paneli çıkış gücünün ardından PV çıkış gerilimindeki değişim incelenmiştir. Aşağıda PV panelinin çıkış gerilim grafiği verilmiştir (Şekil 4.24). Geleneksel P&O algoritması ve tasarlanan P&O algoritması adım miktarı 0.001 için test edilerek grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.24 Bulutlu ve kısmi gölgeli gün için PV çıkış gerilimi değişimi.

Oluşturulan senaryolar için yapılan test çalışması sonuçları göstermektedir ki tasarlanan P&O algoritması bulutsuz günde kısa sürede maksimum güç noktasını bulurken bulutlu

günlerde ise maksimum güç noktasını bulama süresi bulutsuz güne göre uzamış olsa da geleneksel P&O algoritmasına göre daha kısadır. Kısmi gölgelenme durumunda ise tasarlanan P&O algoritması global maksimum noktasını bulurken geleneksel P&O algoritması yerel maksimum noktaya takılmaktadır. Bu sonuçlara göre tasarlanan P&O algoritmasının uzun süreli çalışması durumunda geleneksel P&O algoritmasına göre daha yüksek verimle çalıştığı gözlemlenmiştir. Aşağıdaki şekilde test platformunun blok şeması verilmektedir (Şekil 4.25). PV panelde üretilen enerji DC/DC yükselten dönüştürücü ile direnç yüküne aktarılır. Tasarlanan P&O ve geleneksel P&O algoritmasının uzun süreli enerji verimi performanslarının karşılaştırılabilmesi için her bir algoritmanın PV paneli çıkışı ve yük tarafının toplam enerji değerleri bulunup algoritmaların verimleri yüzdesel olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.25 Test platformu blok şeması.

Aşağıda (Çizelge 4.1) bulutsuz çalışma durumu için geleneksel ve tasarlanmış P&O algoritmalarının uzun süreli çalışması sonucu elde edilmiş verimler yüzdesel olarak verilmektedir. Buradaki analizler $\Delta I_{ref} = 0.01$ ve $\Delta I_{ref} = 0.001$ değerleri için gerçekleştirilmiştir. $\Delta I_{ref} = 0.01$ değeri için geleneksel P&O ve tasarlanan P&O algoritmasının verimleri birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Ancak tasarlanan P&O algoritmasından geleneksel P&O algoritmasına göre % 0.15 daha yüksek verim değeri alınmaktadır.

Yapılan test çalışmalarında $\Delta I_{ref} = 0.001$ değeri için geleneksel P&O ve tasarlanan P&O algoritmalarının verimleri arasındaki fark yaklaşık % 1.5'e çıkmaktadır. Verimlerde oluşan farklar incelendiğinde bulutsuz gün için daha yüksek verim farkı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi bulutsuz günde ışınım karakteristiğinin atmosfer dışı ışınım şiddetlerinin karakteristiği ile benzer karakteristik göstermesidir.

Bu benzerlik sonucu olarak tasarlanan P&O algoritmasının yüksek verimle çalıştığı gözlenir.

Çizelge 4.1 Bulutlu ve bulutsuz çalışma durumu için % enerji verimlilikleri.

	$\Delta = 0.01$		$\Delta = 0.001$	
	Bulutsuz	Bulutlu	Bulutsuz	Bulutlu
Geleneksel P&O	85.65	85.79	84.18	84.57
Tasarlanan P&O	85.80	85.93	85.71	85.92
Fark	0.15	0.14	1.53	1.35

Çizelge 4.2’de PV panelinin kısmi gölgelenmeli olarak çalışması durumu için elde edilen verim değerleri yüzdesel olarak verilmiştir. Her iki algoritmanın kısmi gölgeli çalışma durumu akım miktarı oranı $\Delta I_{ref} = 0.001$ değeri için incelenmiştir. Tasarlanan P&O algoritmasının global maksimum noktası etrafında salınması sonucu verimi geleneksel P&O algoritmasına göre daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.2 Kısmi gölgeli çalışma durumu için % enerji verimlilikleri.

	$\Delta = 0.001$	
	Bulutsuz	Bulutlu
Geleneksel P&O	83.35	84.04
Tasarlanan P&O	84.71	84.76
Fark	1.36	0.72

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada atmosfer dışı ışınım şiddetlerini kullanarak maksimum güç noktası tespiti yapan yeni bir P&O algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritma Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsünde yer alan ışınımölçer tarafından alınan ışınım veri setleri kullanılarak test edilmiştir.

Bu çalışmada test çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında hazırlanmış bir test platformu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan test çalışmalarında da öncelikle iki senaryo belirlenmiş olup ilk senaryoda PV panelin düzgün ışınım aldığı durum test edilmiştir. Geleneksel P&O ve tasarlanan P&O algoritması açık hava ve bulutlu hava için algoritma adım miktarı değeri $\Delta I_{ref} = 0.001$ ve $\Delta I_{ref} = 0.01$ için dinamik ve kararlı durum performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki tasarlanan P&O algoritması küçük adım miktarında bile geleneksel P&O algoritmasına göre maksimum güç noktasına daha hızlı ulaşmaktadır. Aynı zamanda DC/DC dönüştürücünün gün içerisinde durdurulup yeniden çalıştırılması durumunda tasarlanan P&O algoritması referans değer ile çalışmaya başladığı için hızlı bir şekilde maksimum güç noktasına yakınsayacaktır.

İkinci olarak tasarlanan P&O algoritması ve geleneksel P&O algoritması PV panelinin modüllerinin kısmi gölgelenmeye maruz kaldığı durumda adım miktarları da test çalışmalarına dâhil edilerek dinamik ve kararlı durum performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu senaryoda kısmi gölgelenme şartlarını sağlayabilmek için PV panel modüllerine ışınım şiddeti verileri sırasıyla %100, %55 ve %20 olarak uygulanmıştır. Burada da açık hava ve bulutlu hava için her iki algorithmada test edilmiştir. Test sonuçları göstermiştir ki tasarlanan P&O algoritması kısmi gölgelenme durumunda global maksimum güç noktasına yakınsayarak çalışmaktadır.

Bu çalışmalara ek olarak tasarlanan P&O algoritması ve geleneksel P&O algoritmasının uzun süreli enerji verimlerini incelemek ve karşılaştırabilmek amacıyla iki algoritma için de PV panel ve dönüştürücü tarafının toplam enerjileri bulunarak yüzdesel olarak analiz edilmiştir.

Algoritmaların düzgün ışınım aldığı durumdaki verimleri incelendiğinde tasarlanan P&O algoritmasının verimi geleneksel P&O algoritmasına göre %0.15 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kısmi gölgelenmenin uygulandığı ve adım miktarı oranının 0.001 olduğu durumda ise her iki algoritma arasındaki farkın %1.5 değerinde olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu çalışmalarla birlikte atmosfer dışı ışınım şiddetleri farklı algoritmalar üzerinde denenerek algoritmaların dinamik, kalıcı durumları ve enerji verimliliğine etkisi incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abouobaida, H. and Cherkaoui, M. (2012). Comparative study of maximum power point trackers for fast changing environmental conditions. In *Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, International Conference on 1131-1136.
- Ahmed, J. and Salam, Z. (2015). An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency. *Applied Energy*, **150**: 97-108.
- Alqarni, M. and Darwish, M. K. (2012). Maximum power point tracking for photovoltaic system: modified perturb and observe algorithm. In *Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2012 47th International 1-4.
- Bakım, S., Çınar, S. M. ve Hoccoğlu, F. O. (2016). Investigation of a novel MPPT algorithm based on extraterrestrial radiation for PV systems. 8th Afyon Ege Energy Symposium and Exhibition, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 11-13 Mayıs 2016 (Basım Aşamasında).
- Bakım, S., Çınar, S. M. ve Hoccoğlu, F. O. (2015). Atmosfer dışı ışınım şiddetine göre çalışan yeni bir P&O MPPT algoritması tasarımı. TOK2015, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 10-12 Eylül 2015, 84-88
- Banu I. V., Beniuga R. and Istrate M. (2013). Comparative analysis of the perturb-and observe and incremental conductance MPPT methods, 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, 23-25 May.
- Bendib, B., Krim, F., Belmili, H., Almi, M. F. and Boulouma, S. (2014). Advanced Fuzzy MPPT Controller for a stand-alone PV system. *Energy Procedia*, **50**: 383-392.
- Bouchafaa, F., Hamzaoui, I. and Hadjammar, A. (2011). Fuzzy Logic Control for the tracking of maximum power point of a PV system. *Energy Procedia*, **6**: 633-642.
- Boukenoui, R., Salhi, H., Bradai, R. and Mellit, A. (2016). A new intelligent MPPT method for stand-alone photovoltaic systems operating under fast transient variations of shading patterns. *Solar Energy*, **124**: 124-142.

- Chekired, F., Larbes, C., Rekioua, D. and Haddad, F. (2011). Implementation of a MPPT fuzzy controller for photovoltaic systems on FPGA circuit. *Energy Procedia*, **6**: 541-549.
- Chen, Y. T., Jhang, Y. C. and Liang, R. H. (2016). A fuzzy-logic based auto-scaling variable step-size MPPT method for PV systems. *Solar Energy*, **126**: 53-63.
- Coelho, R. F., Concer, F. M. and Martins, D. C. (2010). A simplified analysis of DC/DC converters applied as maximum power point tracker in photovoltaic systems. In *Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 2010 2nd IEEE International Symposium on 29-34. IEEE.
- Çınar, S. M. ve Bakım S., (2016). On The Investigation of A Novel P&O MPPT Algorithm Based On Extraterrestrial Irradiance For PV Systems. 2nd ICENS, Sarajevo, Bosna Hersek, 24-28 Mayıs 2016 (Basım aşamasında).
- Dounis, A. I., Kofinas, P., Alafodimos, C. and Tseles, D. (2013). Adaptive fuzzy gain scheduling PID controller for maximum power point tracking of photovoltaic system. *Renewable Energy*, **60**: 202-214.
- Duman, S. Yörükeren, N. ve Altaş, İ. H. (2014) Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Modellenmesi, Benzetimi ve Uygulaması. *Journal of Advanced Technology Sciences* **3(1)**: 9-23.
- Fahrenbruch, A.L. and Bube, R.T. (1983). *Fundamentals of Solar Cells*.
- Faranda, R. and Leva, S. (2008). Energy comparison of MPPT techniques for PV systems. *Wseas Transactions on Power Systems*, **3(6)**: 446-455.
- Hocaoğlu, F. O., Gerek, Ö. N. and Kurban, M. (2008). A Novel Solar Radiation Model Using Extraterrestrial Radiations. In *World Renewable Energy Congress X (WREC X)*, Glasgow, Scotland, UK 19-25.
- Huynh, D. C., Nguyen, T., Dunnigan, M. W. and Mueller, M. A. (2013). Maximum power point tracking of solar photovoltaic panels using advanced perturbation and observation algorithm. In *Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2013 8th IEEE Conference on 864-869.

- Irmak, S., Howell, T. A., Allen, R. G., Payero, J. O. and Martin, D. L. (2005). Standardized ASCE Penman-Monteith: Impact of sum-of-hourly vs. 24-hour timestep computations at reference weather station sites. *Transactions of the ASAE*, **48(3)**: 1063-1077.
- Ishaque, K., Salam, Z., Shamsudin, A. and Amjad, M. (2012). A direct control based maximum power point tracking method for photovoltaic system under partial shading conditions using particle swarm optimization algorithm. *Applied Energy*, **99**: 414-422.
- Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M. and Mekhilef, S. (2012). An improved Particle Swarm Optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, **27(8)**: 3627-3638.
- Jung, Y., So, J., Yu, G. and Choi, J. (2005). Improved perturbation and observation method (IP&O) of MPPT control for photovoltaic power systems. In Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Thirty-first IEEE 1788-1791.
- Kaliamoorthy, M., & Rajasekaran, V. (2011). A novel MPPT scheme for solar powered boost inverter using evolutionary programming. In Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering (ICONRAEeCE), 2011 International Conference on 346-351.
- Karamanav, M. (2007). Güneş enerjisi ve güneş pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kheldoun, A., Bradai, R., Boukenoui, R. and Mellit, A. (2016). A new golden section method-based maximum power point tracking algorithm for photovoltaic systems. *Energy Conversion and Management*, **111**: 125-136.
- Kulaksız, A. A. (2007). Maksimum güç noktası izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaik sistemlerin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 21-23.
- Kulaksız, A. A. (2013). ANFIS-based estimation of PV module equivalent parameters: application to a stand-alone PV system with MPPT controller. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, (Sup. 2) **21**: 2127-2140.

- Li, S., Attou, A., Yang, Y. and Geng, D. (2015). A maximum power point tracking control strategy with variable weather parameters for photovoltaic systems with DC bus. *Renewable Energy*, **74**: 478-488.
- Li, S. (2015). A variable-weather-parameter optimization strategy to optimize the maximum power point tracking speed of photovoltaic system. *Solar Energy*, **113**: 1-13.
- Lyden, S. and Haque, M. E. (2014). Comparison of the Perturb and Observe and simulated annealing approaches for maximum power point tracking in a photovoltaic system under partial shading conditions. In Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014 IEEE 2517-2523.
- Mei, Q., Shan, M., Liu, L. and Guerrero, J. M. (2011). A novel improved variable step-size incremental-resistance MPPT method for PV systems. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, **58(6)**: 2427-2434.
- Oktik, Ş. (2001). Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri. Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara.
- Orozco-Gutierrez, M. L., Petrone, G., Ramirez-Scarpetta, J. M., Spagnuolo, G. and Ramos-Paja, C. A. (2015). A method for the fast estimation of the maximum power points in mismatched PV strings. *Electric Power Systems Research*, **121**: 115-125.
- Özçelik, M. A. ve Yılmaz, A. S. (2014). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Verimliliğe Etkisi. Elektrik- Elektronik –Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 –29 Kasım, Bursa.
- Radjai, T., Rahmani, L., Mekhilef, S. and Gaubert, J. P. (2014). Implementation of a modified incremental conductance MPPT algorithm with direct control based on a fuzzy duty cycle change estimator using Dspace. *Solar Energy*, **110**: 325-337.
- Radjai, T., Gaubert, J. P., Rahmani, L., & Mekhilef, S. (2015). Experimental verification of P&O MPPT algorithm with direct control based on Fuzzy logic control using CUK converter. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, **25(12)**: 3492-3508.

- Salah, C.B. and Ouali, M. (2011). Comparison of Fuzzy Logic and Neural Network in Maximum Power Point Tracker for PV Systems. *Electric Power Systems Research* 81.1: 43-50.
- Sharma, D. K. and Purohit, G. (2012). Advanced perturbation and observation (P&O) based maximum power point tracking (MPPT) of a solar photo-voltaic system. *Power Electronics (IICPE)*, 1-5.
- Sundareswaran, K. and Palani, S. (2015). Application of a combined particle swarm optimization and perturb and observe method for MPPT in PV systems under partial shading conditions. *Renewable Energy*, **75**: 308-317.
- Tafticht, T., Agbossou, K., Doumbia, M. L. and Cheriti, A. (2008). An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems. *Renewable energy*, **33(7)**: 1508-1516.
- Tan, C. W., Green, T. C. and Hernandez-Aramburo, C. A. (2008). Analysis of perturb and observe maximum power point tracking algorithm for photovoltaic applications. In Power and Energy Conference, PECon 2008. IEEE 2nd International 237-242.
- Venkata Sriram, P. and Swagnik, B. (2013). Novel MPPT Schemes with Direct Duty Ratio Perturbation for Solar PV Systems. *In Advanced Materials Research* **622**: 1039-1047.
- Yeşilata, B. ve Fıratoğlu, Z.A. (2001). Bataryalı ve Direkt Aküleli Fotovoltaik Pompa Sistemlerinin Çalışma Karakteristiklerinin Tespiti. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, Bildiriler Kitabı, E/2001/275, 129-136.

6.1 İNTERNET KAYNAKLARI

- 1- <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, 21.09.2015
- 2- http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes_index.html, 21.09.2015
- 3- <http://userwww.sfsu.edu/ciotola/solar/pv.pdf>, 16.01.2016
- 4- <http://docplayer.biz.tr/2856794-Fotovoltaik-pv-teknolojileri-prof-dr-suleyman-ozcelik-sozcelik-gazi-edu-tr.html>, 18.01.2016
- 5- <http://www.smarthometurkey.com>, 20.01.2016

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sedat BAKIM
Doğum Yeri ve Tarihi : MANİSA – 05.10.1989
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 537 765 93 85 / sedat_bakim@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Manisa Teknik Lisesi, (2003-2007)
Ön Lisans : Muğla Üniversitesi Ula Ali Koçman MYO, Elektrik,
(2007-2009)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Elektrik Öğretmenliği,
(2009- 2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji
Sistemleri Anabilim Dalı, (2013-2016)