



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP
TEKNİKLERİNE DAYALI DC-DC
DÖNÜŞTÜRÜCÜ**

Rawaa Hasan Mustafa MUSTAFA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2023



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP
TEKNİKLERİNE DAYALI DC-DC
DÖNÜŞTÜRÜCÜ**

Rawaa Hasan Mustafa MUSTAFA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Serkan KESER

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet GÜÇYETMEZ

KIRŞEHİR

2023

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiđi Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduđum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiđimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 01/06/2023

Öđrenci
Rawaa Hasan Mustafa MUSTAFA

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

| | |
|---|-------------|
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ | I |
| TEŞEKKÜR | II |
| ÖZET | III |
| ABSTRACT | IV |
| TABLolar DİZİNİ | V |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | VI |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | VIII |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Sorun bildirimini | 2 |
| 1.2. Amaç ve Kapsamlar | 3 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 4 |
| 3. MATERYAL VE METOT | 5 |
| 3.1. PV Dizi Modelleme..... | 5 |
| 3.2. DC-DC Buck Dönüştürücü | 6 |
| 3.2.1. İndüktör ve Kapasitör Filtreleri | 7 |
| 3.2.2. Doğrultucu | 8 |
| 3.2.3. MOSFET Değiştirme | 9 |
| 3.2.4. Buck Dönüştürücü Transfer Fonksiyonu Türetme | 11 |
| 3.3. Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemleri | 11 |
| 3.3.1. Boz ve Gözlemle (P&O)..... | 11 |
| 3.3.2. Artımlı İletkenlik (IC)..... | 15 |
| 3.3.3. Bulanık Mantık Kontrolü (FL)..... | 18 |
| 3.3.4. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)..... | 21 |
| 3.3.5. Merkezi Kuvvet Optimizasyonu (CFO)..... | 24 |
| 3.3.6. Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA)..... | 24 |
| 3.4. Pil Depolama Sistemi İçin DC-DC Dönüştürücü Tasarımı | 25 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 28 |
| 4.1. MATLAB® Ortamında PV Modeli | 28 |
| 4.2. MATLAB® Ortamında DC-DC Buck Çevirici | 32 |
| 4.3. PV Sistem Temelli MPPT Teknikleri | 34 |
| 4.3.1. PI Kontrollü Batarya Tabanlı MPPT Çıkış Tekniği | 34 |
| 4.3.2. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 42 |
| 5. KAYNAKLAR | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ | 50 |

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Serkan KESER'e ve 2. danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Mehmet GÜÇYETMEZ'e büyük bir içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi her zaman desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Mayıs, 2023

Rawaa Hasan Mustafa MUSTAFA



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP TEKNİKLERİNE DAYALI DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Rawaa Hasan Mustafa MUSTAFA

**KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan KESER
Yıl: 2023, Sayfa: 51
Jüri: Doç. Dr. Şekip Esat HAYBER
Doç. Dr. Umut AYDEMİR
Doç. Dr. Mehmet Fatih TEFEK

İkinci Danışman Dr. Öğr. Üyesi Mehmet GÜÇYETMEZ

Yenilenebilir enerji kaynakları ve verimli kullanımları, güncel olarak araştırılan, geliştirilen ve uygulanan en önemli konular arasındadır. Bu çalışmada 210 W'lık bir fotovoltaik (photovoltaic (PV)) sistem için çoklu yaklaşım tabanlı yöntemler kullanarak maksimum güç noktası takibi (Maximum Power Point Tracking (MPPT)) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yaygın olarak kullanılan Boz and Gözleme (Perturb and Observation (P&O)), Bulanık Mantık (Fuzzy Logic (FL)), Artımlı İletkenlik (Incremental Conductivity (IC)), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimisation (PSO)), Merkezi Kuvvet Optimizasyonu (Central Force Optimisation (CFO)) ve Yerçekim Arama Algoritması (Gravitational Search Algorithm (GSA)) algoritmaları seçilmiştir. Bu algoritmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. P&O'ya dayalı MPPT tekniği, kararlı durumlarda doğal bir salınım sorununa sahip olduğundan, bu araştırmanın bir amacı da bu sorunu gidermektir. Bu çalışmada güncellenen yöntemlerin performansının geleneksel yöntemlere göre daha üstün olduğu görülmüştür. Test edilen tüm yöntemlerde CFO kontrolü en iyi sonuçları vermiştir.

Anahtar Kelimeler: MPPT, Fotovoltaik, IC, PSO, CFO, GSA

ABSTRACT

MSc THESIS

DC-DC CONVERTER BASED ON MAXIMUM POWER POINT TRACKING TECHNIQUES IN STANDALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Rawaa Hasan Mustafa MUSTAFA

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ADVANCED TECHNOLOGY**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan KESER
Year: 2023, Pages: 51
Juries: Assoc. Prof. Dr. Şekip Esat HAYBER
Assoc. Prof. Dr. Umut AYDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fatih TEFEK
Co-Supervisor Assist. Prof. Dr. Mehmet GÜÇYETMEZ

Renewable energy sources and their efficient use are among the most important issues that are currently researched, developed, and applied. In this study, maximum power point tracking (MPPT) was performed for a 210 W photovoltaic (PV) system using multiple approach-based methods. Widely used in the study, Perturb and Observation (P&O), Fuzzy Logic (FL), Incremental Conductivity (IC), Particle Swarm Optimization (PSO), Central Force Optimization (Central Force Optimization (CFO)) and Gravitational Search Algorithm (GSA) algorithms were selected. The results of these algorithms are compared. Since the P&O-based MPPT technique has a natural oscillation problem at steady state, one aim of this research is to address this problem. In this study, the performance of the updated methods was found to be superior to the traditional methods. CFO control yielded the best results in all tested methods.

Key Words: MPPT, Photovoltaic, IC, PSO, CFO, GSA

TABLULAR DİZİNİ

| | Sayfa No |
|--|-----------------|
| Tablo 3.1. Doğru akım parametreleri | 7 |
| Tablo 3.2. Bulanık mantık kuralları tanımları | 21 |
| Tablo 4.1. Güneş paneli (Advance Power API-P2210) parametreleri | 32 |
| Tablo 4.3. PV sistem karşılaştırma sonuçları | 43 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa No |
|--|----------|
| Şekil 1.1. PV modülü statik özellikleri | 2 |
| Şekil 3.1. PV eşdeğer devresi | 5 |
| Şekil 3.2. DC-DC buck dönüştürücü yapısı | 7 |
| Şekil 3.3. İndüktör filtresi ve tahmini sinyaller | 7 |
| Şekil 3.4. (a) Sabit ve (b) Dalgalanan güneş radyasyonu koşulları altında bir güneş modülünün çalışma noktası hareketi | 13 |
| Şekil 3.5. P&O algoritmasının akış şeması | 13 |
| Şekil 3.6. P&O algoritmasında güç kazancının açıklaması | 15 |
| Şekil 3.7. IC algoritması akış şeması | 17 |
| Şekil 3.8. Üyelik işlevi | 19 |
| Şekil 3.9. Giriş değişkeni-hata bölümü | 19 |
| Şekil 3.10. Giriş değişkeni hata dönüş hızı | 20 |
| Şekil 3.11. Görev döngüsü | 20 |
| Şekil 3.12. Bulanık kurallar | 21 |
| Şekil 3.13. PSO akış diyagramı | 23 |
| Şekil 3.14. Pil modeli girişi için parametreler | 26 |
| Şekil 3.15. Nominal akım deşarj karakteristiği | 27 |
| Şekil 4.1. PV_{maks} simülasyonu | 28 |
| Şekil 4.2. Simulink®'te PV Modeli | 28 |
| Şekil 4.3. Ters doyum akım bloğu | 29 |
| Şekil 4.4. Doyma akımı blok diyagramı | 29 |
| Şekil 4.5. Şönt akım bloğu | 30 |
| Şekil 4.6. Fotoakım bloğu | 30 |
| Şekil 4.7. PV akışı | 30 |
| Şekil 4.8. PV panelinin I-V özellikleri | 31 |
| Şekil 4.9. PV panelinin P-V özellikleri | 31 |
| Şekil 4.10. I-V / P-V güneş pili karakteristiği | 32 |
| Şekil 4.11. Buck dönüştürücünün adım cevabı | 33 |
| Şekil 4.12. Buck dönüştürücünün Bode grafiği | 33 |
| Şekil 4.13. Önerilen Bulanık mantık MPPT kontrolünün alt sistemi | 34 |
| Şekil 4.14. Kontrollü akü kutusunda önerilen sistem | 34 |
| Şekil 4.15. PI kontrol çift yönlü şarj alt sistemi | 35 |

| | |
|---|-----------|
| Şekil 4.16. Kontrollü pil durumunda kullanılan ışınlm değerleri | 35 |
| Şekil 4.17. Kontrollü batarya MPPT-P&O yöntemi durumunda PV çıkışı | 35 |
| Şekil 4.18. Kontrollü batarya MPPT-IC yöntemi durumunda PV çıkışı | 36 |
| Şekil 4.19. Kontrollü akü MPPT-FL yöntemi durumunda PV çıkış | 36 |
| Şekil 4.20. Kontrollü batarya MPPT-PSO yöntemi durumunda PV çıkışı | 37 |
| Şekil 4.21. Kontrollü batarya MPPT-GSA yöntemi durumunda PV çıkışı | 37 |
| Şekil 4.22. Kontrollü batarya MPPT-CFO yöntemi durumunda PV çıkışı | 38 |
| Şekil 4.23. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO-MPPT yöntemleri için kontrollü akü buck çıkış gerilimleri | 39 |
| Şekil 4.24. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO MPPT yöntemleri için kontrollü akü buck çıkış akımları | 40 |
| Şekil 4.25. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO MPPT yöntemleri için kontrollü pil buck çıkış gücü | 41 |
| Şekil 4.26. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO için kontrollü akü buck şarj durumu | 42 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|-----------------|-----------------------|
| I_{ph} | : Foto akımı |
| P_{tdead} | : Ölü zaman miktarı |
| I_D | : Diyot akımı |
| I_{pk} | : İndüktör tepe akımı |
| I_L | : Bobin akımı |

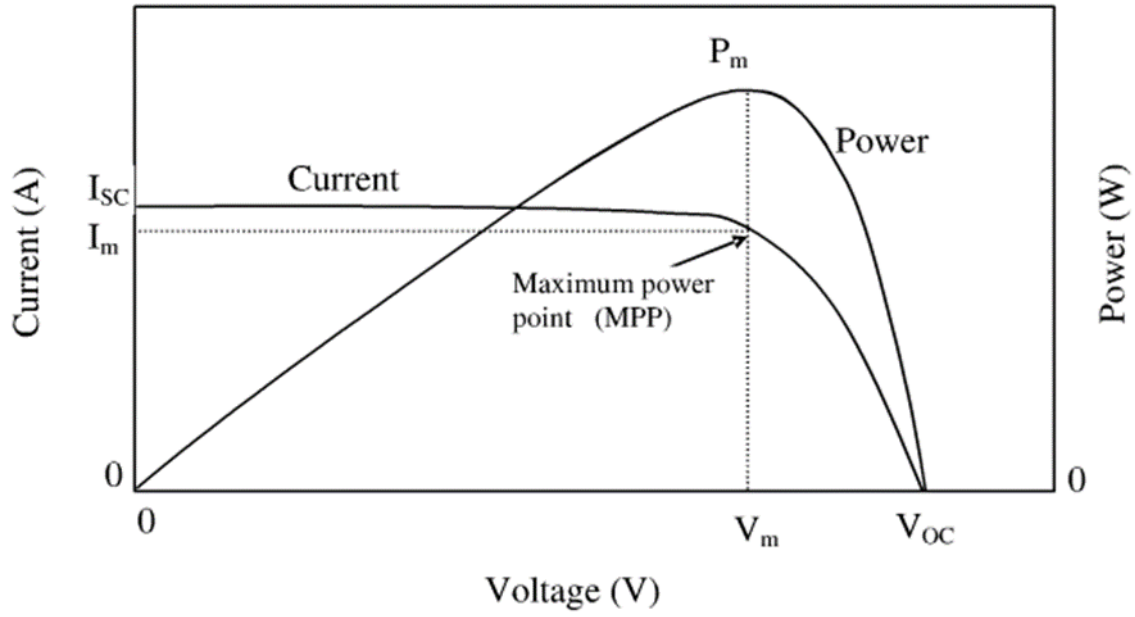
| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|---|
| PV | : Fotovoltaik (Photovoltaic) |
| PS | : Kısmi gölgeleme (Partial Shading) |
| MPPT | : Maksimum güç noktası takibi (Maximum Power Point Tracking) |
| P&O | : Boz ve gözlemler (Perturb and Observe) |
| IC | : Artımlı iletkenlik (Incremental Conductivity) |
| FL | : Bulanık mantık kontrolü (Fuzzy Logic) |
| PSO | : Parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimisation) |
| GSA | : Yerçekimi arama algoritması (Gravitational Search Optimisation) |
| CFO | : Merkezi kuvvet optimizasyonu (Central Force Optimisation) |

1. GİRİŞ

Küresel enerji ihtiyacının her yıl arttığı bilinen bir gerçektir ve nüfus, yaşam tarzı talepleri arttıkça bu eğilimin devam etmesi beklenmektedir. Artan enerji talebi nedeniyle geleneksel fosil yakıtların hızla tükenmesi sonucu çevre kirliliği sorunu daha da kötüleşmektedir. Bu nedenle, yerel ve küresel kirliliği azaltırken tüketicilere uzun vadeli enerji kullanılabilirliği sağlamak için alternatif (yenilenebilir) enerji kaynakları geliştirilmelidir. Güneş enerjisi, sonsuz, tamamen ücretsiz ve ekolojik olarak faydalı olduğu için en çok arzu edilen elektrik üretimi biçimlerinden biridir. Yüksek fiyatlarına rağmen, PV sistemlerin popülaritesi dünya çapında artmaktadır. Tarih boyunca, PV hücre teknolojisinde ilerlemeler kaydedilmiş ancak güneş modüllerinin toplam verimliliği düşük kalmıştır. Şekil 1.1'deki akım-gerilim karakteristiğinde, güneş enerjisi modelinde çıkış gücü tepe noktasının belirli bir noktadaki koordinatlar (V_{mpp} , I_{mpp}) görülmektedir. Çeşitli koşullar altında güneş modülünden yüke en fazla gücü çekmek için PV sisteminde maksimum güç noktasını elde etmek için bir izleme algoritması kullanılmalıdır. Böylece güneş modülü en verimli bir yolla çalışacaktır. Güneş pili modülleriyle ilgili kısmi gölgeleme sorunu (Partial Shading (PS)), üretilen gücün güneş radyasyonuna ve sıcaklığa bağlı olması ve güneş modülü tarafından üretilen akım ile çıkış gerilimi arasındaki doğrusal olmayan ilişki maksimum güç noktasının elde edilmesini daha da zorlaştırmaktadır (Tajuddin ve ark., 2015). Farklı karmaşıklığıdaki çok sayıda MPPT yaklaşımı yabancı çalışmalarda da sunulmuştur (Babaa ve ark., 2014). P&O ve IC yaklaşımları, basit kontrol yapıları ve uygulama basitlikleri nedeniyle en sık kullanılan ticari çözümlerdir (Dolara ve ark., 2009; Femia ve ark., 2006). Sabit voltaj ve (Park ve Yu, 2004)'daki gibi kısa akım darbesi ve açık devre gerilimi gibi iki yöntem, düşük MPPT seviyesine sahip PV sistemleri için kullanılır. Bu teknikler ekonomiktir ve daha az sensör gerektirir. Hesaplamalı zekaya dayalı MPPT arama yöntemleri, güneş modüllerinin PS ve aydınlatmadaki hızlı değişiklikler altında çalışırken oldukça etkili olan uyarlanabilir yapıları nedeniyle bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle popülerlik kazanmıştır. Yapay zeka ve evrimsel hesaplamaya dayalı yaklaşımlar, hesaplamalı zeka tekniklerini sınıflandırmak için kullanılabilir.

Bir fotoelektrik dönüştürücünün akım-gerilim karakteristiğinde bir uç nokta bulmak, bu çalışma için düşünülen yaklaşımın temelidir. Maksimum güç noktasını bulmak için en yaygın iki strateji dikkate alınır. Bunlar; "Boz ve gözlemler (P&O) " ve "İletkenlikte artış (IC)" yöntemleridir. Güneş pillerinin verimliliğini artırmak için geleneksel algoritmalar yerine

bulanık mantık (FL) tabanlı algoritmalar önerilmiştir. Güneş panelleri için kontrol sistemi modelini uygulamak için Simulink® ve MATLAB® kullanılmıştır. PV sistemin tepe gücü üç farklı yol kullanılarak izlenmektedir. Çeşitli kontrol algoritmalarının değişen güneş radyasyonu yoğunluğu seviyeleri altında nasıl çalıştığına dair karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Gerçek güç sistemleri, genel performanslarını iyileştirmek için pratik değeri olan algoritmaları kullanılabilirlerdir.



Şekil 1.1. PV modülü statik özellikleri

1.1. Sorun bildirimi

Alternatif enerji kaynaklarının daha verimli kullanımları, şu anda araştırılan, geliştirilen ve uygulaması yapılan en önemli çalışmalar arasındadır. Bu çalışma, gelecekteki araştırma projelerine uygulanabilir bilgi edinmek ve gerçek dünya uygulamalarıyla ilgisi nedeniyle yürütülmüştür. Çalışmanın hedefleri, bir dizi yaygın algoritmanın tanımlanmasını da sağlamıştır. Bu algoritmaların yararlı ve verimli olduğu belirlenmiş ve karşılaştırılmaları çalışmanın daha belirgin olarak yorumlanmasını sağlamıştır.

P&O temelli MPPT tekniğinde, dış etkenler doğal bir yayılım biçimine sahiptir ve bu temel amaç doğrultusunda, çoklu çerçeve temelli MPPT kullanılarak maksimum güç noktası elde edilmeye çalışılır.

1.2. Amaç ve Kapsamlar

Bu çalışmada, çoklu konsol teknikleri kullanılarak MPPT'yi optimize etmeye yönelik algoritmaların teorik analizi ve tanımlanması için MATLAB® ortamından yararlanılmış ve çeşitli algoritmaların sonuçları incelenmiştir. Yapılan çalışma adımları şu şekildedir:

1. PV modelinin özellikleri ve ilişkili MPPT parametreleri hakkında geniş bilgi elde etmek.
2. Bileşenlerinin her biri için modeller tanımlayarak sistemi kapsamlı bir şekilde modellemek.
3. MATLAB® ile sistem simülasyonu gerçekleştirmek.
4. Simülasyon sonuçlarına dayalı olarak algoritmaların performanslarını karşılaştırmak.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Birkaç MPPT süreci ve uygulamaları açıklanmıştır (Lee ve ark., 2006; Balagurov ve ark., 2015). Belirli bir uygulama için MPPT yaklaşımı seçerken, araştırmacılar genellikle zorluk yaşamışlardır. Şaşırtıcı bir şekilde, 2007'den önce bu alanda mevcut olan ve aynı zamanda MPPT stratejileri üzerine söylemleri de içeren çeşitli stratejiler olmasına rağmen, Parçalı Kısa Devre Akımı, Parçalı Açık Devre Gerilimi, See Up Tablosu, Tek Çevrim Kontrolü, P&O, IC ve Girdi yöntemleri kullanılarak hiçbir MPPT stratejisi geliştirilmemiştir (Esrám ve ark.,2006; Salas ve ark., 2005). Birden çok PV modülü paralel bağlandığında, aynı sistemin giriş işletme noktalarının ortadan kaldırılmasıyla ilgili olarak çıkış noktalarının dengelenmesi incelenir. Bu işlemi yapmak kolaydır ve hem sabit hem de değişken atmosferik koşullarda çok etkilidir.

Çeşitli çalışmalar, o zamandan bu yana daha çağdaş MPPT yaklaşımlarının tanımını ayrıntılı olarak yapmıştır (Kottas ve ark., 2005; De Cesare ve ark., 2006). P&O ve IC, kullanım kolaylığı, maksimum güç noktasını tespit etmek için gereken sürenin azalması ve diğer maliyet faktörleri nedeniyle en yaygın kullanılan MPPT yöntemleri olmuştur. P&O'nun, aniden değişen çevresel koşullar (parlaklık seviyesi vb.) altında maksimum güç noktasında (Maximum Power Point (MPP)) uzun süreli bir kaymayı, aydınlatmadan ziyade ajitasyona bağlı bir kayma olarak yanlış yorumladığı ve bazen de tabanlı olmayan MPP'yi hesapladığı görülmüştür (Elgendy ve ark.,2011). Dönüştürücü aynı zamanda sistemin performansını da etkiler. En uygun dönüştürücü buck dönüştürücüdür, ardından buck-boost dönüştürücü ve son olarak boost dönüştürücü gelmektedir (Kobayashi ve ark., 2004).

Giriş ve eğim hareketi kontrolüne dayalı olarak güneşin yönünü takip etmek için çerçeveler geliştirmek için çözümler üretilmiştir (Esrám ve ark., 2006; Salas ve ark., 2006). Bu çözümler, topografik enlem bilgisi (Park ve Yu, 2004; Femia ve ark., 2006)'deki gibi bilimsel modeller ve sonraki hesaplamalar (Lopez ve Penella 2012; Narendiran, 2013) kullanılarak güneş yönelimli toplayıcıların eğiminin ve giriş yerlerinin değiştirilmesini içermektedir. Kontrol endüstrisinde, hareket kontrolüne (Patel ve Agarwal, 2008; Kato ve Koizumi, 2015) ve güneşin konumuna göre eğim ve yönlendirme noktalarını doğal bir şekilde (Pandey ve ark., 2007; Koutroulis ve Blaabjerg, 2012) değiştirmek için elektronik cihazlardan gelen verileri uygulayarak bayrak işlemeye dayalı çeşitli yöntemler önerilmiştir.

Çok sayıda çalışma çeşitli MPPT tekniklerini (Ansari,1998; Dorofte ve ark., 2005; Faranda ve Leva, 2008; Dolara ve ark., 2009; Babaa ve ark., 2014; Abo-Sennah ve ark., 2021) karşılaştırırken, hiçbiri tek bir çalışmada çeşitli teknikler kullanarak MPP'yi geliştirmemiştir.

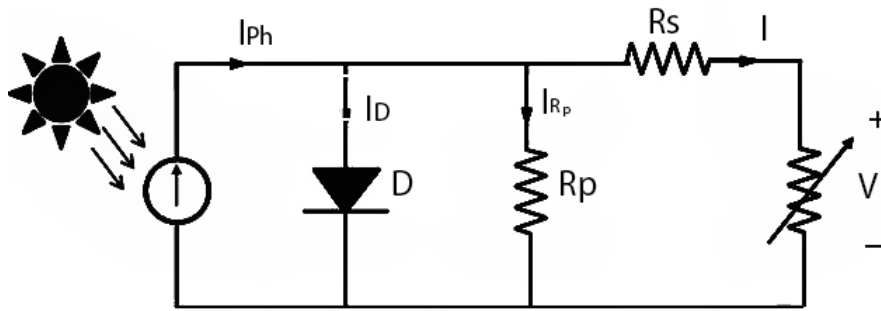
3. MATERYAL VE METOT

Bu bölüm, aşağıda listelenen dört alt sistemden oluşan tüm sistemin matematiksel formülünü açıklamaktadır. Bunlar:

- Modelleneyecek olan PV
- DC-DC dönüştürücü modeli
- Batarya modeli
- MPPT tekniğini tanımlayan denklemler.

3.1. PV Dizi Modelleme

Bir güneş panelinin çıkış voltajı ile akımı arasındaki ilişki bir devre kullanılarak analiz edilmektedir. Bir PV şebekesi, güneş enerjisini elektriğe dönüştürmek için birkaç veya daha fazla PV dizisi kullanır. PV hücresi, PV dizisinin temel elemanıdır ve fotovoltaj prensipte çalışmaktadır (Ngan ve Tan, 2011; Haque, 2014). Fotovoltaj etki, fotonların enerjilerinin, yarı iletken yapıdaki bağı kırarak dış elektronları kullanarak ışığın elektrik enerjisine dönüştürülmesidir ve enerji bant boşluğunun değerinden daha büyük olduğunda meydana gelmektedir. Bu etki, PV hücresinin foton enerjisini güneş pilinin temel çalışma mekanizması olan elektrik enerjisine dönüştürmesiyle sonuçlanmaktadır. Enerji dönüşümünün eşdeğer devresi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. PV eşdeğer devresi.

Çıkış akımı ve gerilimi (Pathak ve Yadav, 2011; Karlsson ve ark., 2014) Denklem (3.1)'de gösterildiği gibi bu teknik kullanılarak ifade edilebilir;

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp \left[\frac{q(V+IR_s)}{AKT} \right] - 1 \right) - \frac{(V+IR_s)}{R_p} \quad (3.1)$$

V ve I çıkış voltajını ve akımını ve q elektron yükünü ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C) temsil ederken, I_{ph} foton akımını, I_{sat} diyot doyma akımını, R_s eşdeğer seri direnci temsil eder. R_p paralel direnç değeri olup, K, değeri $1.381 \cdot 10^{23}$ J/K'na eşit olan Boltzmann sabiti, sıcaklık T ise ideal sıcaklığa ait sabit değerdir.

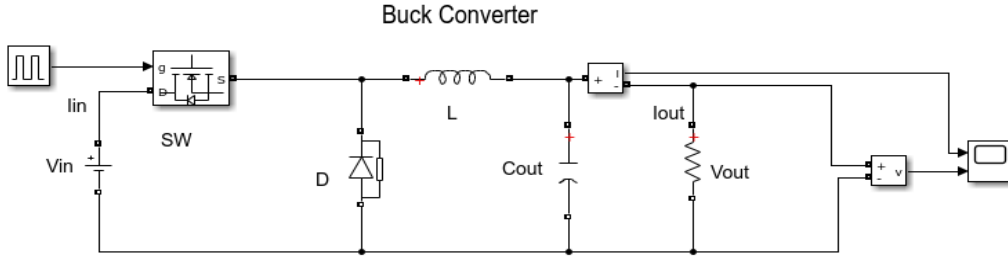
$$I_D = I_{sat} \left[\exp\left(\frac{qV_{PV}}{AKT}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

Çıkış akımı ve geriliminin yanı sıra fotoakım I_{ph} 'nin güneş ışığı miktarına ve sıcaklığa bağlı olduğu iyi bilinmektedir. Maksimum güç ancak belirli bir gerilimde elde edilebilir. Güneş pilinin mümkün olduğu kadar çok güç üretebilmesi için çıkış gerilimi ve yük direncinin kontrol edilmesi gerekmektedir ve bunun için, elektrikli ekipman ile yük arasında bir güç dönüştürücü konmalıdır.

3.2. DC-DC Buck Dönüştürücü

Buck dönüştürücüler, en temel anahtarlama mod güç kaynağı topolojisidir. Bu yaklaşım, endüstride giriş voltajını daha düşük bir çıkış değerine dönüştürmek için yaygın olarak kullanılır. Karmaşık sistemlerde kontrolü için en yaygın topoloji, istenen yerel gerilimi birkaç dönüştürücü tarafından paylaşılan daha iyi bir gerilim seviyesi ile aktararak yapılabilir. Dönüştürücünün kendisi, bir entegre devre, bir doğrultucu ve kanal bileşenleri tarafından kontrol edilen tek bir dinamik anahtardan oluşmaktadır Dönüştürücünün bu basit yapısı, programlama boyunca başarılı, dağıtılmış yüksek kontrol sağlamaktadır.

Güç aşamasında, V_{min} ve V_{max} giriş voltajı aralığının hesaplanması için nominal çıkış voltajı (V_o), maksimum çıkış akımı (I_{maks}) hesaplanmalıdır. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, buck dönüştürücü devresindeki indüktörden oluşan filtre, yığına düzgün, sürekli bir akımı dalga formu sağlamaktadır. Giriş akımı yüksek miktarda enerji içeren bir dalga formu olabilir. Değiştirilen akım tüm yapı boyunca sorun oluşturduğundan, bu genellikle istenmeyen bir durumdur. Bir buck dönüştürücü oluşturmak için Şekil 3.2'de gösterilene benzer bir entegre devre kullanılıyorsa, dönüştürücünün performansını doğru bir şekilde değerlendirmek ve tükettiği gücü hesaplamak için entegre devrenin teknik bilgisine uygun olarak parametrelerin seçilmesi zorunludur.



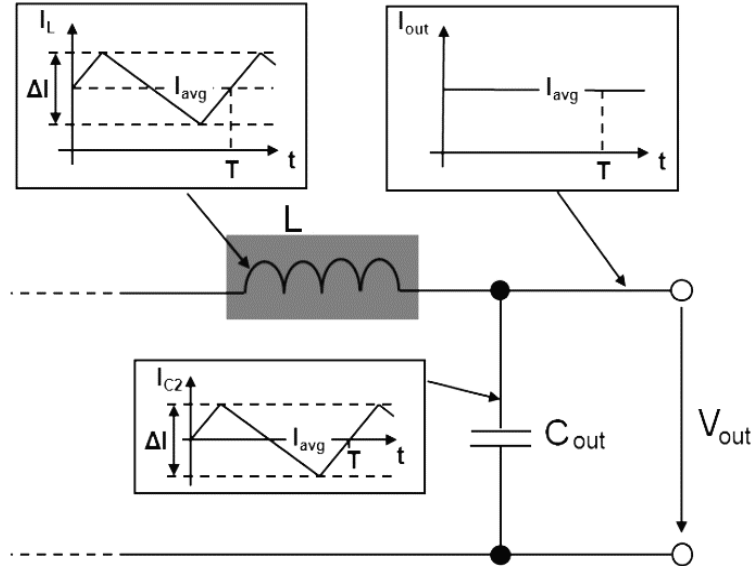
Şekil 3.2. DC-DC buck dönüştürücü yapısı

Tablo 3.1. Doğru akım parametreleri

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| Giriş gerilimi | 29 V |
| Çıkış gerilimi | 12.5 V |
| Anahtarlama frekansı | 10 kHz |
| Bobin akımı salınımı ΔI_L | $0.1 * I_o = 0.734$ |
| Çıkış anma gücü | 10 W |
| Maksimum güç | 213 W |
| Gerilim salınımı | < 20 mv |

3.2.1. İndüktör ve Kapasitör Filtreleri

Spesifik maksimum indüktör akımı dalgalanmasına bağlı olarak, filtre tepe akımı ve bununla ilişkili indüktör değeri Şekil 3.3'te (Atallah ve ark., 2014; Sharma ve Jain, 2015)'de gösterildiği gibi belirlenir.



Şekil 3.3. İndüktör filtresi ve tahmini sinyaller.

Bir DC-DC dönüştürücünün görev döngüsü, Denklem (3.3) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (3.3)$$

Ayrıca, bir indüktör filtresini temsil etmek için Denklem (3.4) ve (3.5) kullanılabilir:

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta I_L}{(1-D)T} V_o \quad (3.4)$$

$$L = \frac{V_o(V_{in}-V_o)}{V_{in}f_{sw}\Delta I_L} \quad (3.5)$$

Denklem (3.6) ile filtrede kullanılması gerekli kondansatör hesaplanması yapılır:

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f_{sw}\Delta V_r} \quad (3.6)$$

İndüktör, kondansatör ve görev döngüsünün (Yılmaz, U. ve ark., 2018) teorik değerleri Tablo 3.1'de verilen parametrelerden belirlenmelidir (L=1.9 mH , C=0.1469 mF ve D=0.431). Yüksek verimli dönüştürücülerde indüktör seçerken, güç kaybına cevap olarak görev döngüsünü değiştirmek genellikle indüktör değeri üzerinde çok az etkiye sahiptir. Denklem (3.7) ve Denklem (3.8) ile indüktörün tepe akımı hesaplanabilir.

$$I_{pk} = I_o + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (3.7)$$

$$I_{pk} = I_o + \frac{0.1 \cdot I_{out}}{2} = 1.05 I_o = 1.05 * 7.3445 = 7.711A \quad (3.8)$$

Bu senaryoda, indüktör, doymadan 7,711 A tepe akımına dayanabilmelidir. İndüktörün, PV sıcaklığına ve çekirdek ve DCR kayıplarını içeren indüktör kayıplarına bağlı olarak yüksek çalışma sıcaklıklarında bile endüktansını korumasına dikkat edilmelidir.

3.2.2. Doğrultucu

Denklem (3.9), doğrultucu diyot D₁'in ileri iletim kaybının bulmak için kullanılabilir:

$$P_{VFD} = V_{FD} I_o (1 - D) = 0.7 * 7.3448 * (1 - 0.414) = 3.01 W \quad (3.9)$$

Bir dizi faktör dikkate alınmadan anahtar kaybının belirlenmesi yalnızca veri sayfasından yapılamaz, bununla birlikte farklı modern metal oksit yarıiletken alan etkili transistör (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET))'lerin kullanılması, anahtarlama büyük bir etkiye sahip değildir. Diyot yardımı olmadan çalışabilmeleri için, belirli sayıda MOSFET'e ters çevirme kurtarma mekanizmaları yerleştirilmiştir, bu da onlara ölüm bölgesi başına $R_{DS(on)}$ miktarıyla anahtar kurtarma kaybına göre bir avantaj sağlamıştır. Ölü zamanın en aza indirilmesi esastır ve anahtarlama FET'i ile senkron doğrultucu MOSFET'in kapısını aralarındaki en kısa süre ile senkronize eden sürücü tarafından kontrol edilir. Ölü zaman miktarı, Denklem (3.10)'da gösterildiği gibi, yapılan değişim sayısı ile orantılıdır:

$$P_{tdead} = V_{FSync} I_o (t_{deadH} + t_{deadL}) f_{sw} \quad (3.10)$$

10 ns hareket başına ölü zaman ve 5 kHz değişim frekansı varsayılarak iyi bir uyum elde edilebilir. Denklem (3.11)'de gösterildiği gibi, gövde diyotundaki ileri voltaj düşüşü genellikle 0,8V olarak kabul edilir.

$$P_{tdead} = 0.8 * (7.3448 * (10ns + 10ns) 5kHz) = 0.6 mW \quad (3.11)$$

Bu temel çalışma parametrelerinden biri, V_{GS} sürücüsünün sürme voltajıdır. MOSFET'in $R_{DS(on)}$ 'u ve anahtarlama hızı üzerinde etkisi vardır. Belirli bir durumda, MOSFET'in $R_{DS(on)}$ 'u, giriş ile ters orantılıdır. Bu nedenle, optimum MOSFET aynı zamanda kullanılan anahtarlama frekansına ve kapı sürme gerilimine de bağlıdır.

3.2.3. MOSFET Değişirme

Buck dönüştürücünün sabit anahtarlama bir topoloji olması mümkündür. Anahtarlama MOSFET'i, bir geçiş olarak kusursuz bir şekilde çalışmalıdır. FOM, senkron doğrultucu MOSFET (Elbaksawi, 2019) gibi, bir anahtarın idealden ne kadar uzakta yapılabileceği konusunda sınırlar belirler. Dönüştürücü anahtarı için bir MOSFET seçerken aranacak en önemli şeylerden bazıları şunlardır: Güç kaybı formüllerine, Denklem (3.12)'de gösterildiği gibi, HS-MOSFET'in getirdiği birçok kayıp dahildir.

$$P_{HScond} = I_{out}^2 R_{DS(on)_{HS}} * D = 53.94 * 5m\Omega * (0.1) = 27mW \quad (3.12)$$

Temel bir MOSFET parametresi çıkış kapasitansıdır. Çıkış kartına bağlanan FOMOSS, güç çıkışının çeşitli gelişmeler üzerindeki etkisini ölçmek için bir araç sağlayabilir. Her döngü sırasında, HS-verimli MOSFET'in kapasitansı, HS-FET kapalıyken yüklenir ve

MOSFET açıkken kanal boyunca dağılmış olarak boşalır. Test koşulları altında, BSC050NE2LS'nin çıkış kapasitans kaybı şu şekilde hesaplanır (Denklem (3.13):

$$P_{OSS_HS} = 0.5 * Q_{OSS_HS} * V_{IN} * f_{sw} = 0.5 * 6.4\mu s * 29 * 5kHz = 0.464 \quad (3.13)$$

Anahtarlama kaybı, endüktif olarak sınırlandırılmış anahtarlama dalga biçiminde bir endüktif plaka ile hızlı anahtarlama için Denklem (3.14) ile verilir:

$$P_{SW_HS} = 0.5 * L_{Stray} I_o^2 f_{sw} \quad (3.14)$$

Dirençli sınırlı dalga biçiminde bir geçit şarj platosu ile yavaş anahtarlama için anahtarlama kaybı, Denklem (3.15) ile verilir.

$$P_{SW_HS} = V_{in} I_{out} \frac{Q_{sw}}{V_{GS}} R_{Gate} f_{sw} \quad (3.15)$$

MOSFET'in kapı şarj özelliğinde eşik geçit voltajından platonun sonuna (düşük VDS) getirilmesi, anahtarlama şarjının uygulanmasını gerektirir. Kontrol gerilimi (V_{GS}), toplam kapı sürücü direncini (MOSFET ve sürücü dahil) temsil eder. V_{GS} tüm geçiş boyunca değiştiğinden, bu denklem sadece birinciden bir yaklaşımdır. Ancak, ortalanan plato gerilmeleri için bu yine de iyi bir tahmindir. Anahtarlama kayıpları bir simülasyon kullanılarak hassas bir şekilde hesaplandığında, geçiş modellenilebilir. Bu durumda, her iki MOSFET'in yalnızca parazit endüktanslarını hesaba katmak yeterlidir.

Anahtarlama devresinin HS-MOSFET'i, HS- ve LS-MOSFET arasındaki akım değişimlerinden daha hızlı geçiş yaparken düşük $R_{DS(on)}$ sağlamak için düşük bir FOM'a ihtiyaç duyar. Ayrıca, sürücünün boşaltma ve kaynak empedansı, MOSFET'i hızlı bir şekilde sürmek için yeterince düşük olmalıdır. Bu nedenle MOSFET'in kapı direnci düşük tutulmalıdır (Haji ve Genç, 2018). Çok kapılı MOSFET'ler çeşitli paketlerde bulunabilir.

MOSFET'in güç kaybı ve bağlantı sıcaklığında izin verilen maksimum artışında gerekli ortam termal direnci, Denklem (3.16) kullanarak elde edilebilir.

$$R_{thJA} = \frac{T_J - T_A}{P_{MOSFET}} \text{ with: } R_{thJA} = R_{thJC} + R_{thCA} \quad (3.16)$$

Elemanın veri sayfasına göre termal paket direnci R_{thJC} 'dir. Güç MOSFET'leri için bu rakam genellikle 5K/W'nin altındadır. Çalışma koşullarında MOSFET 50 K kadar ısınır, bu da MOSFET'te 5 W'lık bir güç kaybına ve PCB'nin oda sıcaklığında olduğu varsayıldığında 5

K/W'lık bir termal dirence karşılık gelir. Mahfazanın çevreleyen ortama sıcaklık direnci, belirleyici ve genellikle sınırlayıcı unsurdur (Baharudin ve ark., 2017).

3.2.4. Buck Dönüştürücü Transfer Fonksiyonu Türetme

Sistemin kararlı bir durumda olduğunu varsaymak, $\frac{\Delta V_{out}}{\Delta D}$ ile gösterilen transfer fonksiyonu türetmenin ilk aşamasıdır. İkinci adım, bozulmaların sistemin kararlı durumunu değiştirdiği miktarları belirlemektir. Denklem (3.17)'de gösterildiği gibi sistemin kararlı durumunda bobin akımı periyodik bir fonksiyona dönüşmez.

$$I_L = \frac{V_{in}-V_o}{sL} D + \frac{-V_o}{sL} (1 - D) \quad (3.17)$$

Denklem (3.18)'de verildiği gibi kondansatör yükü zamanla değişmemektedir.

$$sCV_o = I_L - \frac{V_o}{R} \quad (3.18)$$

Denklemler (3.19), (3.20), (3.21) ve (3.22) transfer bileşenleri ve bir dış parazitin neden olduğu değişiklik miktarını hesaplamak için kullanılabilir.

$$I_L = \frac{V_{in}-V_o}{sL} D + \frac{-V_o}{sL} (1 - D) \quad (3.19)$$

$$sCV_o + \frac{V_o}{R} = I_L \quad (3.20)$$

$$sL\Delta i_L = V_{in}\Delta D - \Delta v_o \quad (3.21)$$

$$sC\Delta v_o = \Delta i_L - \frac{\Delta v_o}{R} \quad (3.22)$$

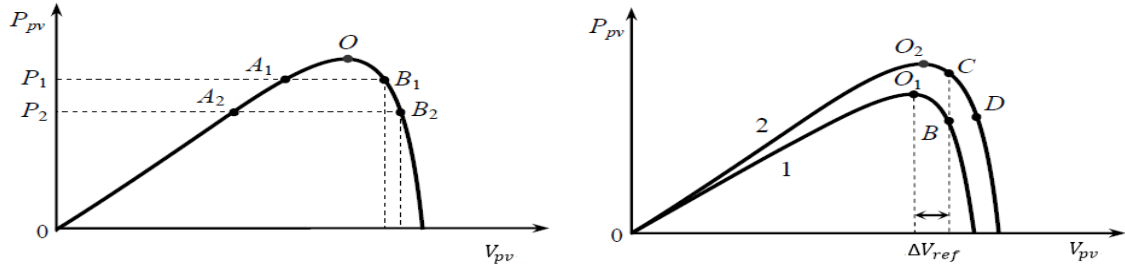
$$\frac{\Delta V_o}{\Delta D V_{in}} = \frac{1/LC}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}} \quad (3.23)$$

3.3. Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemleri

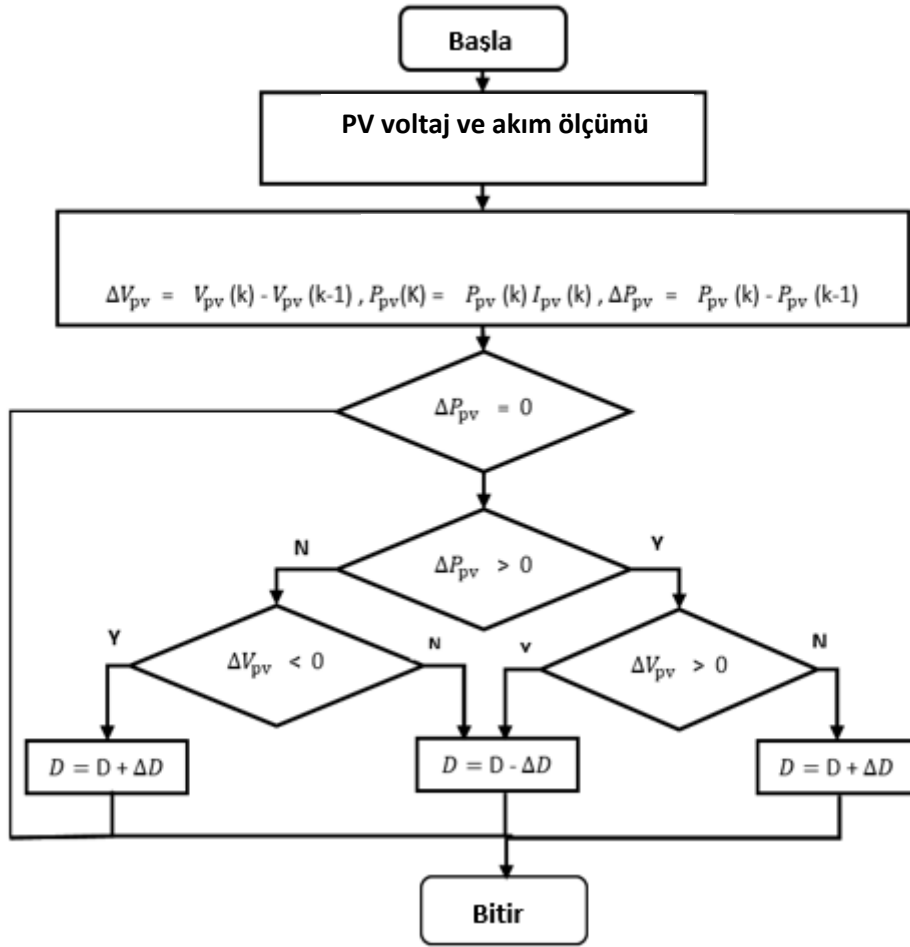
PV sistem çalışırken atmosferik koşulların değişmesi durumunda, sistemi optimum çalışma noktasına yönlendirmek için üç farklı izleme yaklaşımı ya da yöntemi bir alt bölümde açıklanmıştır.

3.3.1. Boz ve Gözleme (P&O)

Yöntem boz ve gözlemlerle olarak adlandırılır. Dizinin ürettiği güç miktarını değiştirmeyi (artırmayı veya azaltmayı) ve ardından bozulan güç miktarının gözlemlenmesi ve güç değişimine ne olduğunu takip etmeyi içerir. Dizinin ayırık artışlarla gerilim veya akım sıçramasına dayalıdır. Algoritma, en son güç örneğinden alınan verilere dayalı olarak referans akımı veya gerilimi sürekli olarak değiştirir. P&O, PV dizisi voltajını ölçmek için en kolay ve en uygun maliyetli yaklaşım olduğundan, yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu algoritmanın tamamlanması sadece kısa bir süre gerektirmesine rağmen, MPP'de bir adım atmaya başaramaz ve bunun yerine MPP'ye yaklaştıkça her iki yönde de kesintiler üretmeye devam eder. P&O algoritması, ortaya çıkan P güç değişikliği pozitif olduğu sürece, PV panelinin çalışma geriliminde aynı yönde küçük, tutarlı değişiklikler yapılmasını önerir. P negatif ise, uygulanan bozulma MPP'ye göre yanlış yöndedir ve ters işarete çevrilmesi gerekir. Modül çıkış gücüne karşı gerilim grafiğinin bir analizini sunan bir güneş panelinde kullanılan P&O tekniğinin bir örneği için P&O yaklaşımının uygulanması, dizinin terminal voltajının veya akımının periyodik olarak ayarlanmasını ve ardından PV çıkış gücünün önceki bozulma döngüsününle karşılaştırılmasını gerektirir. Modülün gücü, sisteme küçük bir parazit verildiğinde kaydırılır. Kesinti sonucu güçte bir artış olursa, bozulmanın yönü korunacaktır. Belirli bir noktaya ulaşılır ulaşılmaz, güç bir sonraki anda azalır ve bozulma tersine dönmeye başlar. P&O tekniğinin dinamik yanıtı, çok az değer eklendiğinde ve düşük bir örnekleme oranı kullanıldığında yavaştır. P&O, çalışma noktasının MPP civarında dalgalanmasına neden olduğundan, kararlı durum hatasını mümkün olduğunca azaltmak için küçük adımlara ihtiyaç vardır. Çoğu durumda, artış boyutunda bir azalma MPP dizisine daha yakın bir yaklaşımla sonuçlanacaktır. Artış daha büyük yapılırsa, yöntem daha hızlı çalışır, ancak kararlı durum hatası daha da kötüleşir. Tatmin edici bir sabit durum hatası elde etmek için örnekleme hızında yalnızca küçük bir artış gerektiğinden, bu, algoritma için bir performans iyileştirmesiyle sonuçlanabilir. Bu nedenle, P&O yönteminde artış ve örnekleme oranı arasında her zaman bir uzlaşma vardır. Çoğu durumda, dizinin terminal gerilimi, P&O algoritmalarında yaygın bir sorun olan her MPPT döngüsü sırasında kesintiye uğrar. Sonuç olarak, MPP'ye ulaşıldığında, çıkış gücü bu sayı civarında değişecek ve bu da PV sisteminden gereksiz ısı çıkmasına neden olacaktır. Bu, özellikle çok tutarlı veya biraz dalgalı hava koşullarında geçerlidir (Sera ve ark., 2006; Faranda ve Leva, 2008; Narendiran, 2013). Algoritmanın uygulamasının basitliği, bu stratejinin birincil faydası olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 3.4. (a) Sabit ve (b) Dalgalanan güneş radyasyonu koşulları altında bir güneş modülünün çalışma noktasının hareketi



Şekil 3.5. P&O algoritmasının akış şeması

Standart P&O algoritması, düşük güneş radyasyonu koşullarında verimlilik kaybına sahiptir (Selvan ve Kumar, 2015). Bu nedenle bazıları alternatif bir yaklaşım önermiştir; (Dorofta, C. Ve ark., 2005)' de, MPPT'yi sırasıyla düşük ve yüksek miktarlarda güneş radyasyonu altında izlerken maksimum verim elde etmek için bir sabit voltaj yöntemi P&O algoritmasıyla eşleştirilir. Bir MPPT denetleyicisi, DC voltaj dönüştürücünün güç anahtarının

açık durumda olduğu süreyi artırarak başlar ve güneş modülünün çıkış voltajını açık devre değerinin yaklaşık %76'sına getirir. Güneş modülünün çıkış akımı daha sonra algoritma kullanılarak belirlenmektedir.

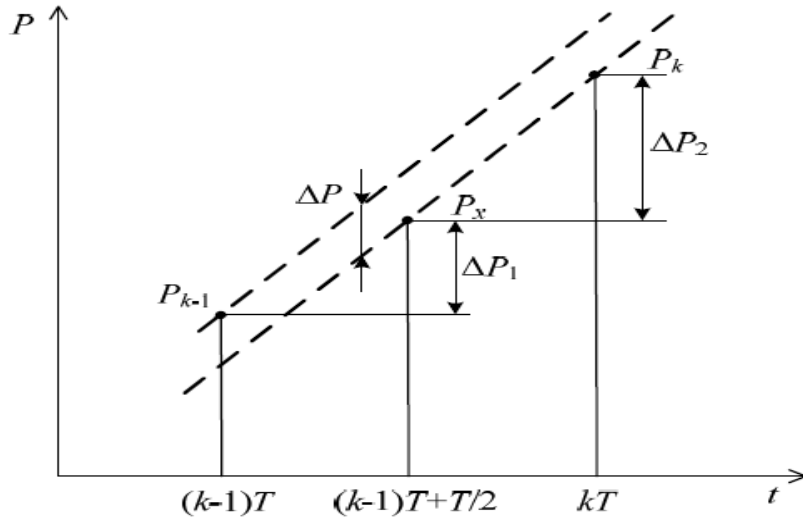
Bu algoritma, akım güneş radyasyonunun en düşük gücüne karşılık gelen seviyeden daha büyük olduğunda, P&O tekniğini ve aksi takdirde sabit gerilim yöntemini kullanır. Geniş bir güneş radyasyonu aralığında, modelleme bulguları (Dorofte ve ark., 2005) güneş enerjisi çıkış verimliliğinin %95 ile %99 arasında olduğunu göstermektedir.

P&O algoritması, aydınlatma seviyesindeki her değişikliği önceki adımda referans gerilimindeki bir değişikliğin sonucu olarak yorumladığından, aydınlatma seviyesindeki hızlı dalgalanmaların olduğu durumlarda kararsız davranış sergileyebilir. Bu, MPPT'yi izlemenin gecikmesine veya hatalı olmasına neden olabilir. Şekil 3.4(b), algoritmanın optimal MPPT arama yönünden nasıl saptığını göstermektedir. Başlamak için, O_1 'in mevcut konum olduğunu varsayalım. Spesifik olarak, eğer V_{ref} pozitif bir bozulma ise, yeni çalışma noktası B olacaktır. Aydınlatma koşullarında bir değişiklik olmadığında algoritma, güneş modülü gücündeki düşüşü bir işaret değişikliği olarak yorumlayacaktır. Bununla birlikte, k'nci örnekleme aralığında ışık seviyesi yükselirse (eğri 1'den 2'ye gider), yeni çalışma noktası B değil, C olacaktır. Bozulmanın bir sonucu olarak güneş enerjisi modülü gücü artıyor gibi görünecek ve artış yönü sabit kalacaktır. D noktası orijinal MPPT O_2 'den daha uzak olduğu için yeni çalışma noktası olacaktır. Yükselen ışık seviyeleri, çalışma noktasının optimum maksimum güç noktasından giderek daha fazla uzaklaşmasına neden olacaktır.

P&O algoritmasına yapılan farklı ince ayarlar, bu soruna olası çözümler olarak sunulmuştur. Örneğin (Hsiao ve Chen, 2002)'de bir test noktasındaki bir güneş modülünün güç çıkışını diğer iki noktadaki güç çıkışına göre değerlendiren üç noktalı bir teknik sunulmaktadır. (Femia ve ark., 2005) P&O algoritmasının parametrelerinin, belirli bir gerilim dönüştürücünün dinamik davranışı için nasıl optimize edilebileceği, böylece MPPT etrafındaki dalgalanmaları azalttığı ve hızla değişen güneş radyasyonu problemini hafiflettiğini göstermişlerdir.

Yanlış yönde MPPT takibi için kolay ve etkili bir düzeltme, dP-P&O yöntemini (Sera ve ark., 2006) önermektedir. Bu teknikte, çevresel faktörler veya güneş ışınlarındaki değişimler gibi güneş panellerindeki güç dalgalanmalarının nedenlerini tam olarak belirlemek için güç ölçümü bileşenlerine ayrılır. Algoritmanın ilgilendiği tek şey MPPT denetleyicisinin komut yürütmesidir, bu nedenle yöntem yalnızca bu komut yürütmeden gelen güç

değişikliklerini dikkate alır. Şekil 3.6, güç kazancının (Ali ve ark., 2022) hesaplamalarını göstermektedir.



Şekil 3.6. P&O algoritmasında güç kazancının açıklaması

Güneş enerjisi modülündeki güç değişimi (P_2) yalnızca güneş radyasyonundaki değişimler tarafından tahrik edilirken, güç değişimi (P_1) hem güneş radyasyonundaki değişimler hem de MPPT denetleyicisindeki bozulmalardan kaynaklanır (Dhanaraju ve ark., 2015; Salman ve ark., 2018). Denklem (3.24), referans voltajın bir yinelemesinde (Şekil 3.6'daki eğrilerin aynı eğimine karşılık gelir) güneş radyasyonu değişim oranının sabit olduğu varsayımına dayalı olarak, MPPT denetleyicisinin eylemidir.

$$\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = (P_x - P_{k-1}) - (P_k - P_x) = 2P_x - P_k - P_{k-1} \quad (3.24)$$

dP-P&O yöntemi, Şekil 3.6'daki P&O algoritmasına özgü güç artışı hesaplaması P (p_v) P_{pv} (k)-P p_v (k-1)'in yerini alır. (Sera ve ark., 2006; Biabani ve ark., 2016)'da sunulan araştırmaya göre, dP-P&O tekniği, izleme hızını önemli ölçüde artırırken, radyasyondaki hızlı değişiklikler sırasında P&O algoritmasına özgü yanlış yol izleme sorununu da azaltır.

3.3.2. Artımlı İletkenlik (IC)

Artımlı iletkenlik (IC), Denklem (3.25) tarafından verilen eşitliktir.

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{d(V_{pv}I_{pv})}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \quad (3.25)$$

Denklem (3.25), Denklem (3.26)'ya dönüştürülebilir:

$$\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} = 0 \quad (3.26)$$

Algoritma, birkaç saniye çalıştıktan sonra, PV modelinden akım ve voltajın ölçülmesiyle başlatılır ve güneş modülü boyunca sabit bir akımın sürdürülmesi gerekliliği ile güneş radyasyonunun yoğunluğundaki değişiklikler değerlendirilir. Mevcut artış ve gerilim artışının nihai sonuçları, önceki k-1 turları boyunca ölçülen I_{pv} ve V_{pv} değerleri kullanılarak hesaplanır; ana odak Denklem (3.26)'nın doğrulanmasıdır (2). Bu durumda standart olarak kullanılan gerilim olan V_{ref} , Denk.(3.27)'deki gibi değiştirilecektir.

$$\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} < 0 \quad (3.27)$$

Referans gerilimi Denklem (3.28)'e göre ayarlanır;

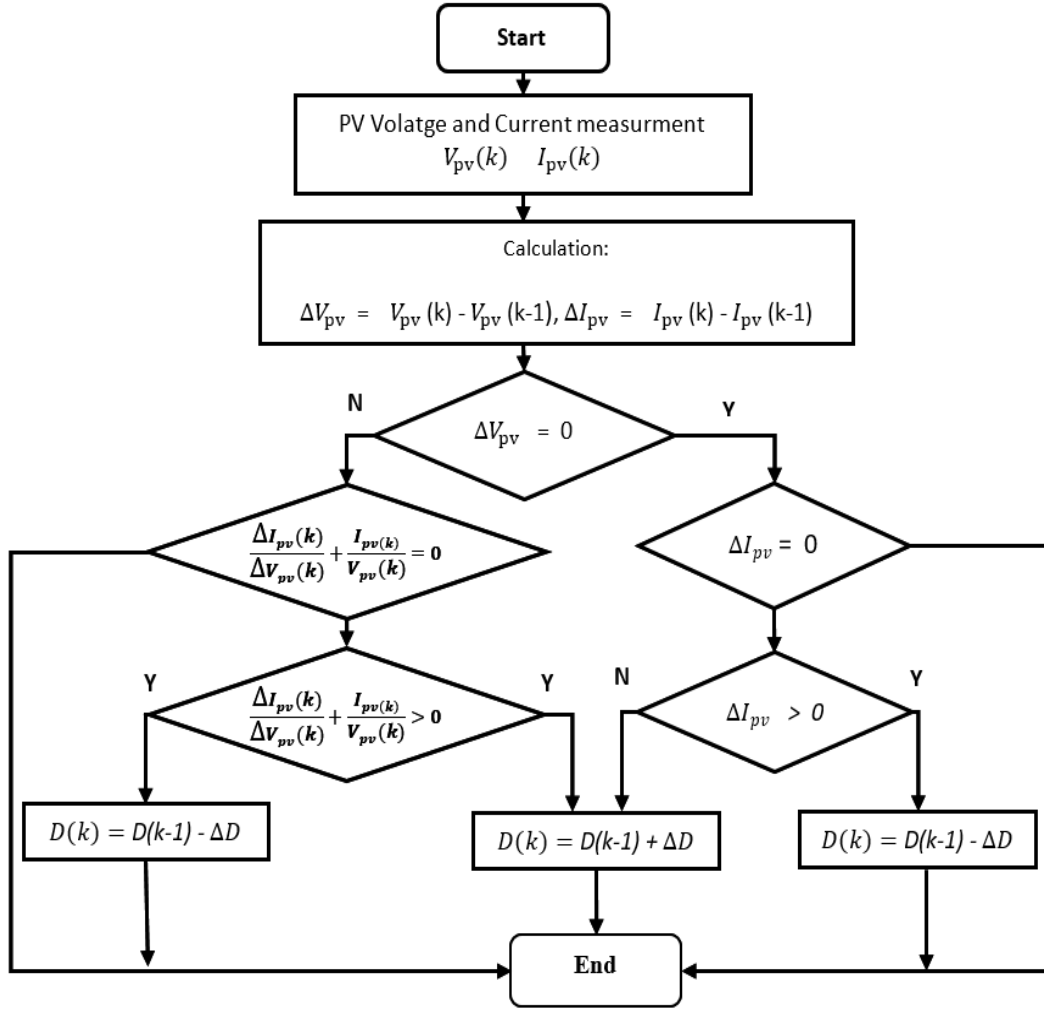
$$\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} > 0 \quad (3.28)$$

Solar modülünün çalışma noktası MPPT'nin solundadır ve V_{pv} çıkış gerilimini nominal değerine yaklaştırmak için referans geriliminde bir artış gerektirir. Algoritma, solar modül zaten MPPT aşamasında çalışıyorsa, referans gerilim ayarı şeklinde bir kontrol eyleminin gerekli olup olmadığını değerlendirmek için V_{pv} eşitliği için bir kontrol içerir. Bu durumda, güneş modülünün I-V karakteristiği doğrultusunda hava koşullarındaki değişiklik, V_{ref} referans voltajının ayarlanması gereken yönünü belirleyecektir (Singh ve ark., 2021).

MPPT denetleyicisi tarafından gerçekleştirilen dI_{pv} ve dV_{pv} 'nin kaba hesaplamaları nedeniyle, Koşul (2)'nin nadiren tam olarak karşılandığı belirtilmelidir. Sonuç olarak, MPPT koşulu Denklem (3.29) olarak ifade edilebilir (2):

$$\left| \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} \right| \leq \varepsilon \quad (3.29)$$

Şekil 3.7, IC yönteminin akış şemasını göstermektedir.



Şekil 3.7. IC algoritması akış şeması

MPPT'nin tamamen aynı bulunması ve çalışma noktasında MPPT etrafındaki salınım olasılığı, hata değerine ulaşmak için değiş tokuş edilir. Bu nedenle, tıpkı P&O yönteminde olduğu gibi, güneş modülünün V-I karakteristiği boyunca çalışma noktasını değiştirmek için kontrol değişkeninin (burada referans gerilimi) periyodik bozunumu gereklidir. Bununla birlikte, MPPT'ye göre çalışma noktasının konumu, (2) koşulunun sürekli olarak doğrulanmasıyla belirlenebilir. Sonuç olarak, deneme yanılma ile P&O algoritmasının referans geriliminin yanlış yönde ayarlanması böylece ilk geçiş hatası önlenir.

P&O algoritmasına kıyasla, söz konusu IC yöntemi, güneş modülünün değişen çalışma koşullarına daha hızlı ve daha kesin bir tepki verme sisteminin yanı sıra MPPT'nin ve etrafındaki daha küçük salınımların daha doğru izlenmesine sahiptir (Salas ve ark., 2006; ESRAM ve Chapman, 2007). Kararsızlığa yol açabilecek bir türev işlemi kullanması nedeniyle IC yönteminin dezavantajı vardır. Akılda tutulması gereken başka bir şey de, güneş radyasyonu düşük olduğunda, farklılaşma sürecinin karmaşık hale gelmesi ve ölçümlerin

gürültüye eğilimli hale gelmesidir ki, bu da MPPT aramasının hayal kırıklığı yaratan sonuçlar vermesine neden olabilir.

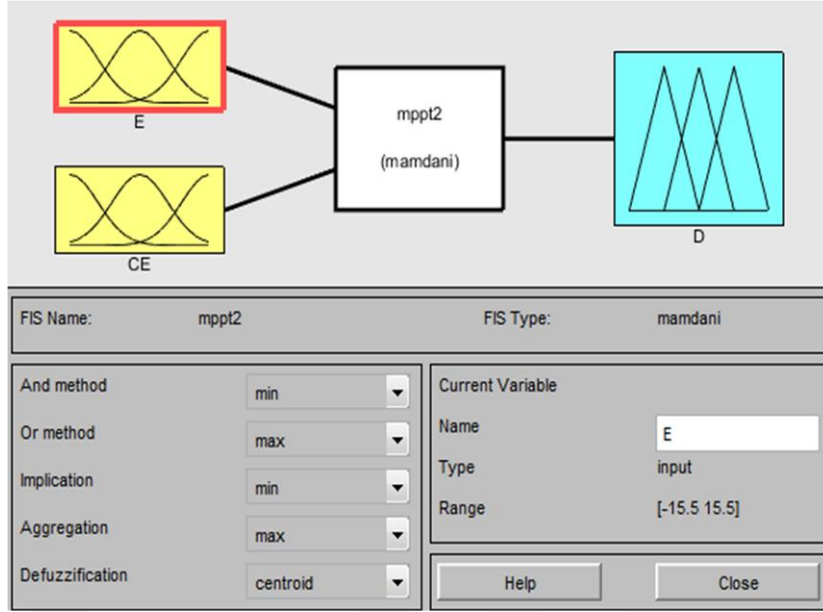
Bir MPPT kullanılırken IC algoritması tarafından genellikle V adım boyutu kullanılır. IC tekniğinin değişen adım boyutuna sahip değiştirilmiş bir versiyonu (Lee ve ark., 2006) tarafından sunulmuştur. Adım boyutu, güneş paneli çalışma noktasına yaklaştığında otomatik olarak ayarlanır, MPPT'den uzaktayken çalışma noktasını MPPT'ye daha hızlı yaklaştırmak için artırılır ve MPPT'ye yakinken algoritmanın doğruluğunu ve performansını iyileştirmek için azaltılır. Ek olarak, sistemin kararlılığı her zaman küçük sinyal modeli kullanılarak değerlendirilir.

3.3.3. Bulanık Mantık Kontrolü (FL)

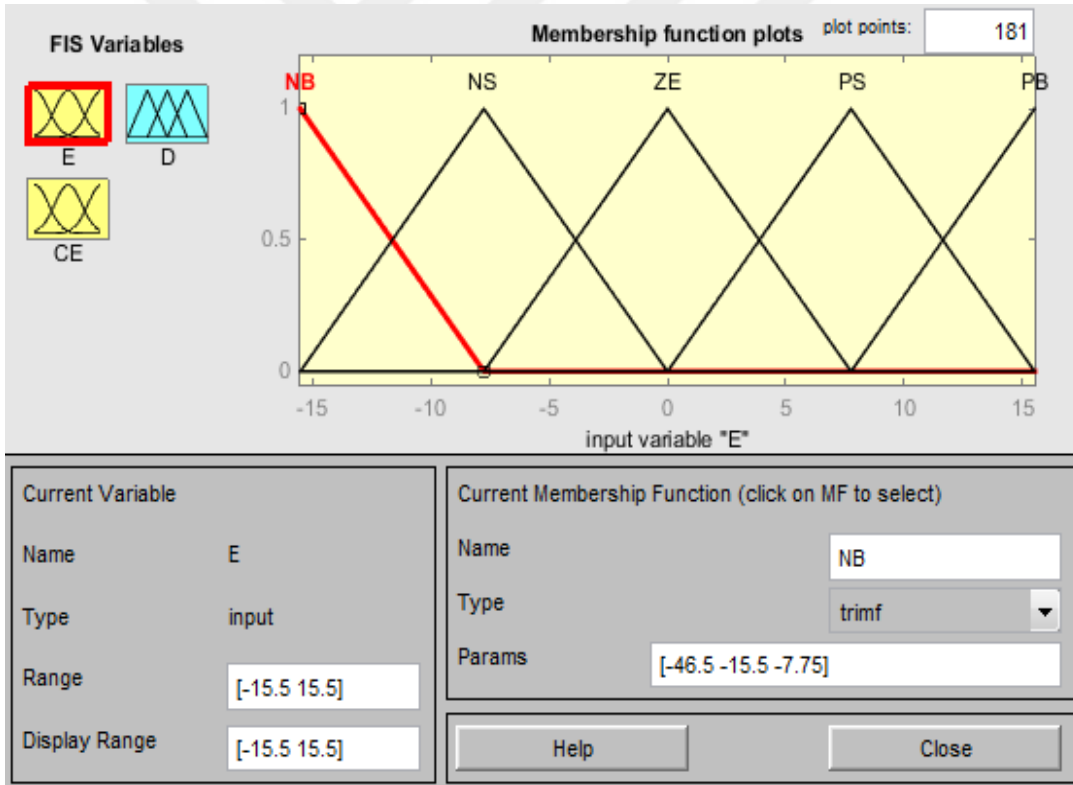
Bulanık mantık kontrolü, yenilenebilir kaynaklardan üretilen birçok farklı enerji türünü kullanabilir. Son 10 yılda FL kullanımı, parametrelerinin karşılanması kolay olduğu için artmıştır (Ismail ve ark., 2010). FL ayrıca kontrolörün tam bir bilimsel girişe sahip olması gerekmeyen bir arayüz ile çalışmaktadır. FL, PV modüllerinden en fazla güç elde etmek için doğrusal olmayan koşullarla kolayca başa çıkabilir. Sıcaklık veya ışık seviyesindeki değişikliklerden bağımsız olarak her türlü hava koşulunda çalışabilir (Sharma ve Jain, 2015).

Bir hesap makinesinin bulanık mantık algoritması üç adımdan oluşur: "bulanıklaştırma", "bulanık çıkarım" ve "durulaştırma" (Patel ve Agarwal, 2008). Bu çalışmada, bulanık denetleyici bloğu için bir giriş değişkeni ve bir çıkış değişkeni ayarlanmış olup, P/V hatası ve değişim oranı, giriş değişkenleri olarak kullanılacaktır.

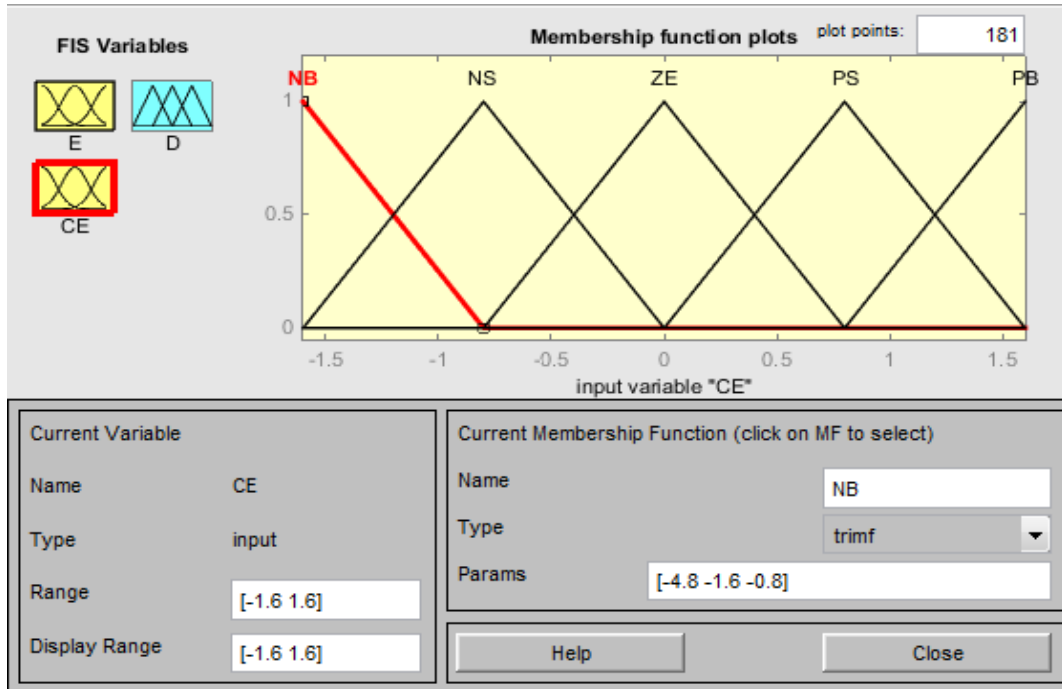
Şekil 3.8'de gösterilen üç değişkenin her birine bir üyelik fonksiyonu sağlanmalıdır. Şekil 3.9'da gösterilen hata giriş değişkeni, hata dönüş oranı ve giriş değişkeni Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Şekil 3.11'deki görev döngüsü çıkış değişkenidir (Tse ve ark., 2001; Sivanandam ve ark.,2007; Şahin ve Okumuş, 2011; Dhanaraju ve Satyanarayana, 2015; Doubabi ve ark., 2021).



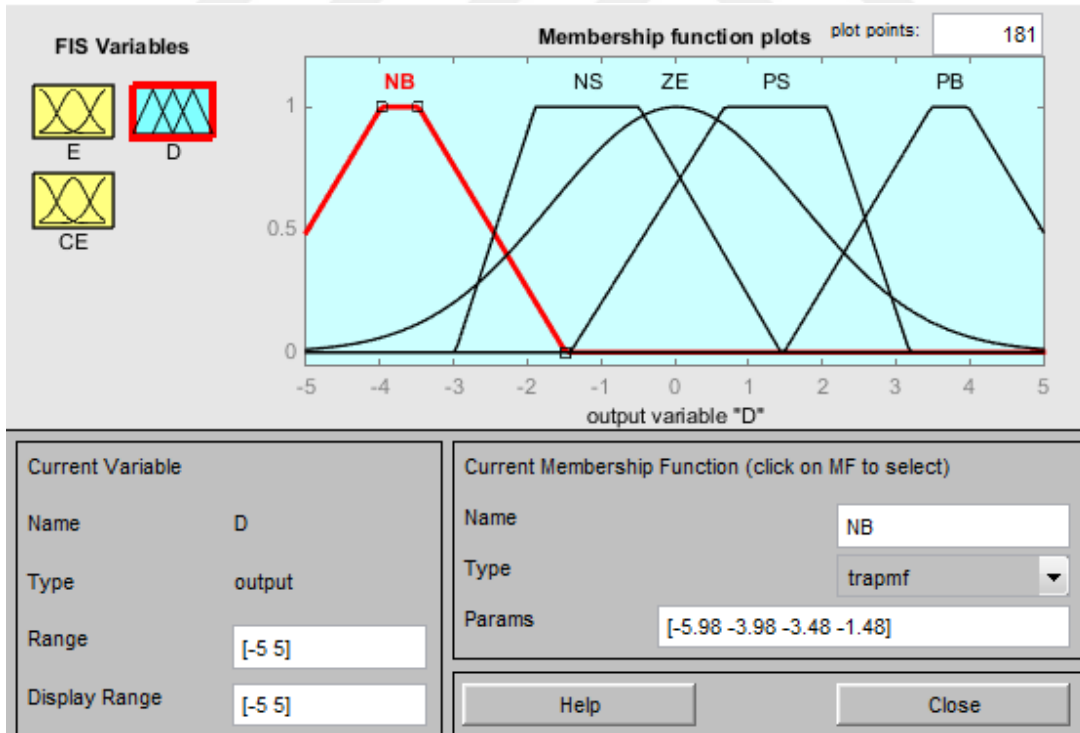
Şekil 3.8. Üyelik işlevi



Şekil 3.9. Giriş değişkeni-hata bölümü



Şekil 3.10. Giriş değişkeni hata dönüş hızı



Şekil 3.11. Görev döngüsü

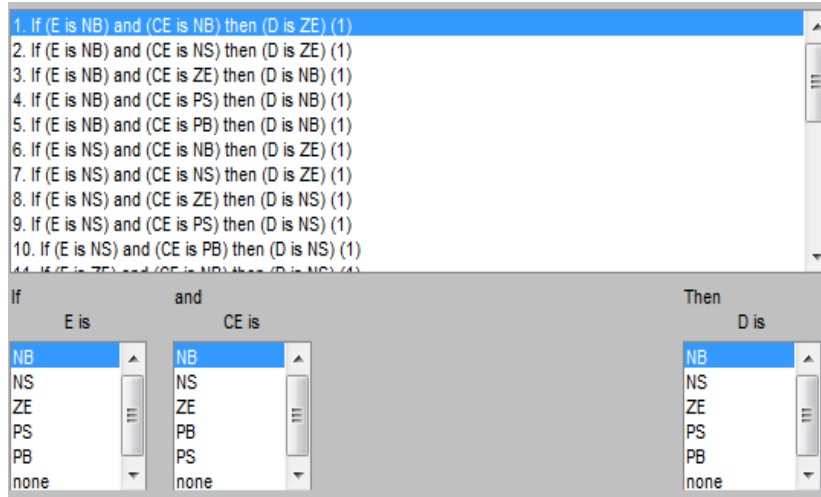
Tipik olarak, yalnızca beş ila yedi üyelik fonksiyonuna ihtiyaç vardır: Büyük negatif (NB), orta negatif (NM), küçük pozitif (NS), değişiklik yok (ZE), küçük pozitif (PS), orta

pozitif (PM) ve son olarak büyük pozitif (PB) (Ismail ve ark., 2010; Tajuddin ve ark.,2015). Temel üretim kuralları, girdiler ve çıktılar arasındaki korelasyonu karakterize etmek için kullanılabilir (Hsiao ve Chen, 2002; Sivanandam ve ark., 2007; Mahalakshmi ve ark., 2014). Bu kurallar Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Bulanık mantık kuralları tanımları

| E \ CE | NB | NS | ZE | PS | PB |
|--------|----|----|----|----|----|
| NB | ZE | ZE | NS | PS | PB |
| NS | ZE | ZE | ZE | PS | PB |
| ZE | NB | NS | ZE | PS | PB |
| PS | NB | NS | ZE | ZE | ZE |
| PB | NB | NS | PS | ZE | ZE |

Burada geçerli olan ilkelerden biri şudur: $E=NB$ ve $E=NB$ ise $D=ZE$ (Şekil 3.12). Güneş pilinden alınan güç yükselirse, TMM karşılanana kadar referans voltajı göre çevriminin değişimi kadar yükseltilmelidir (Noman ve ark.,2012; Dhanaraju ve ark.,2015; Doubabi ve ark., 2021).



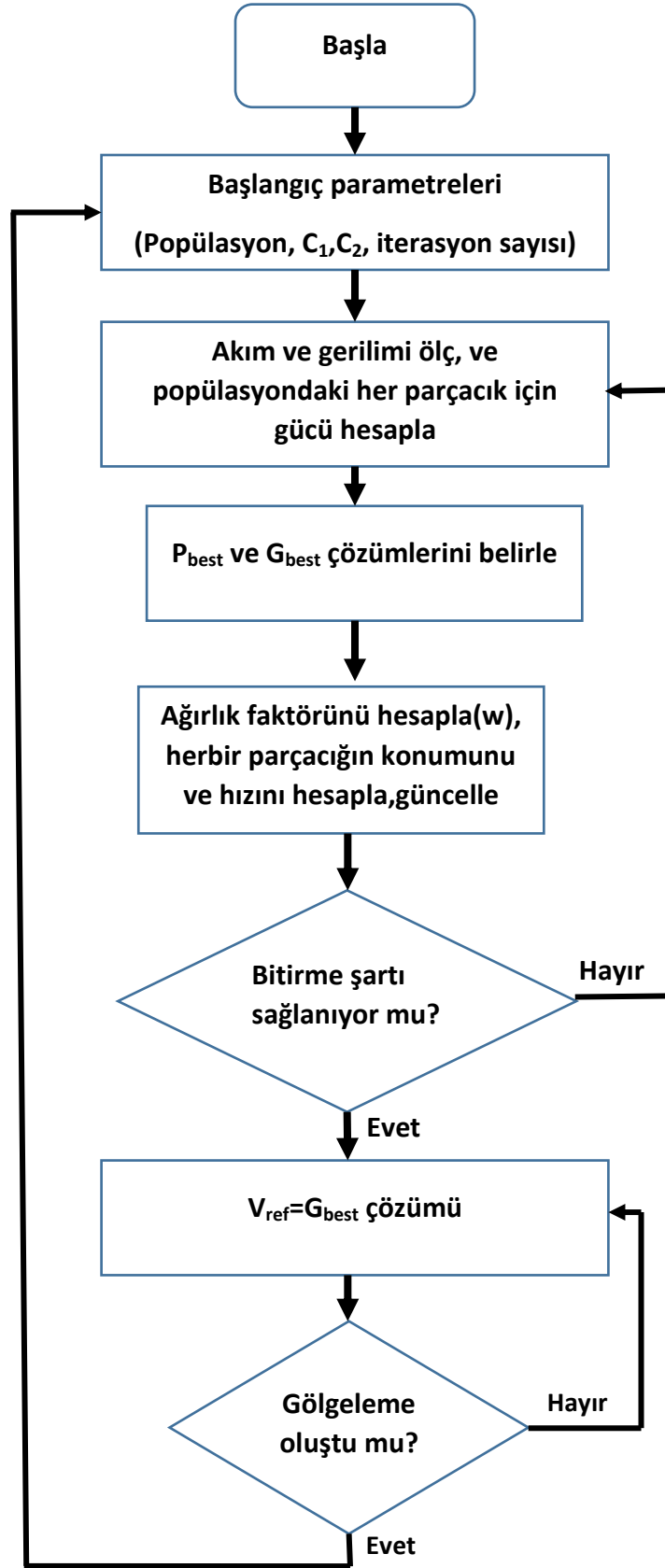
Şekil 3.12. Bulanık kurallar

3.3.4. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

PSO bir probleme en uygun çözümü bulmak için kullanılan bir optimizasyon algoritmasıdır. PSO, PV sisteminin çıkış gücünü en üst düzeye çıkarmak ve sistem

verimliliğinin en yüksek olduğu PV sisteminin optimum çalışma noktasını bulmak için MPPT’de yaygın olarak kullanılır.

Algoritma, her bir kuşun çözüm uzayında bir parçacık olduğu bir kuş sürüsünün davranışını simüle ederek çalışır. Her parçacığın, parçacığın uygunluğuna göre ayarlanabilen bir konum ve hız vektörü vardır. Bir parçacığın uygunluğu, problem tarafından tanımlanan bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak değerlendirilir. Parçacıklar uygunluk fonksiyonuna göre çözüm uzayında hareket eder ve uygunluk değeri en yüksek olan parçacık optimal çözümdür. PSO, PV sisteminin optimum çalışma noktasını hızlı ve doğru bir şekilde bulabildiğinden, MPPT için güçlü bir araçtır. Ayrıca uygulaması kolaydır ve gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir. PSO, en iyi çözümü bulmak için diğer optimizasyon algoritmalarıyla birlikte de kullanılabilir. Şekil 3.13, PSO algoritmasının akış şemasını göstermektedir.



Şekil 3.13. PSO akış şeması

GSA algoritması, rastgele seçilen parametrelerle bir parçacık popülasyonunu rastgele seçerek başlar. Her parçacık, optimizasyon problemine olası bir çözümü temsil eder. Parçacıkların daha sonra yerçekimi kuvveti yoluyla birbirleriyle etkileşime girmesine izin verilir. Her parçacığa, maliyet fonksiyonu kullanılarak hesaplanan uygunluğuna bağlı olarak bir kütle atanır. Parçacıklar daha sonra daha yüksek kütleyle sahip parçacıkların ürettiği yerçekimi kuvvetine dayalı olarak küresel optimuma doğru hareket eder. Parçacıklar yerel veya küresel bir optimum çözüme ulaşana kadar süreç devam eder.

GSA'nın diğer optimizasyon algoritmalarına göre, küresel optimum çözümü hızlı ve kolay bir şekilde bulma yeteneği, basitliği ve karmaşık problemlerin üstesinden gelme yeteneği gibi çeşitli avantajları vardır. GSA ayrıca hesaplama açısından verimlidir ve gerçek zamanlı sistemlerde uygulanabilir. GSA, PV sistemlerinin MPPT'si de dahil olmak üzere birçok optimizasyon problemine başarıyla uygulanmıştır. GSA'nın, doğruluk ve hız açısından parçacık sürüsü optimizasyonu ve genetik algoritmalar gibi diğer optimizasyon algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir.

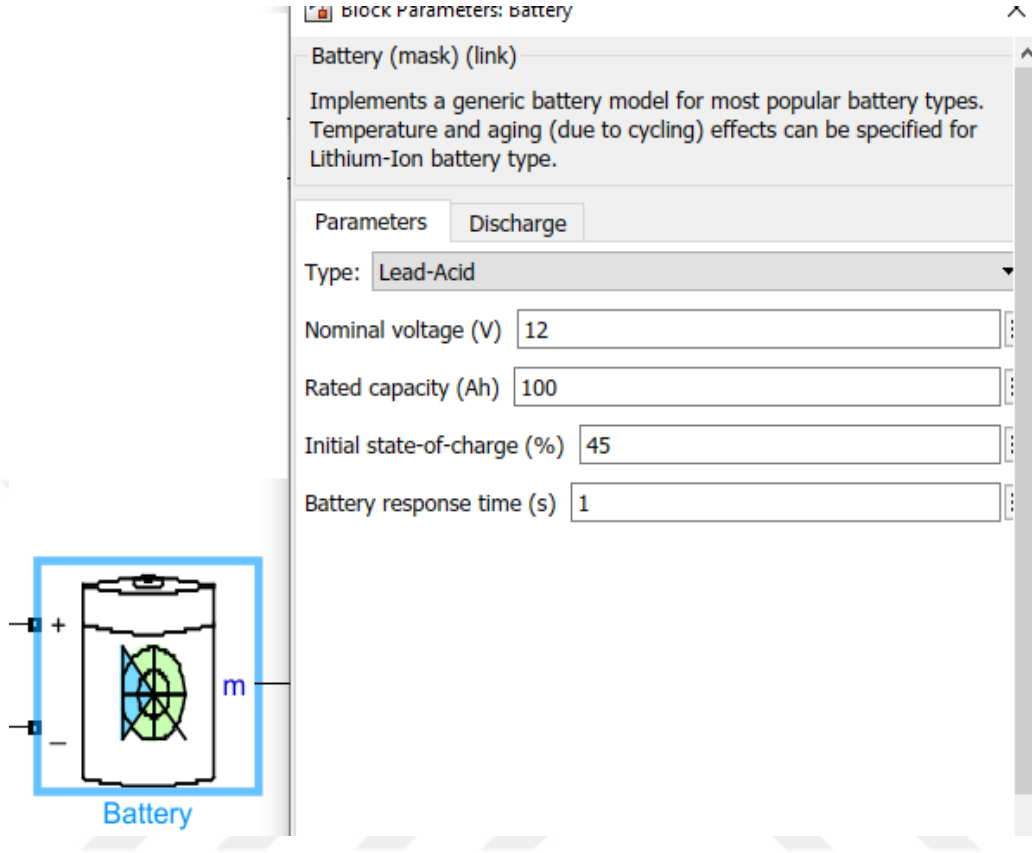
3.4. Pil Depolama Sistemi İçin DC-DC Dönüştürücü Tasarımı

Olivier Tremblay ve Louis-A tarafından akümülatörü simüle etmek için ortaya atılan yaklaşım kullanılmıştır (Tremblay ve ark., 2007; Tremblay ve Dessaint, 2009). AB modelini anlamak için, genelleştirilmiş Shepherd bağıntısına dayanan Denklem (3.30) kullanılabilir.

$$V_{batt} = E_0 - Ri - K \frac{Q}{Q - \int idt} + Ae^{-B \int idt} \quad (3.30)$$

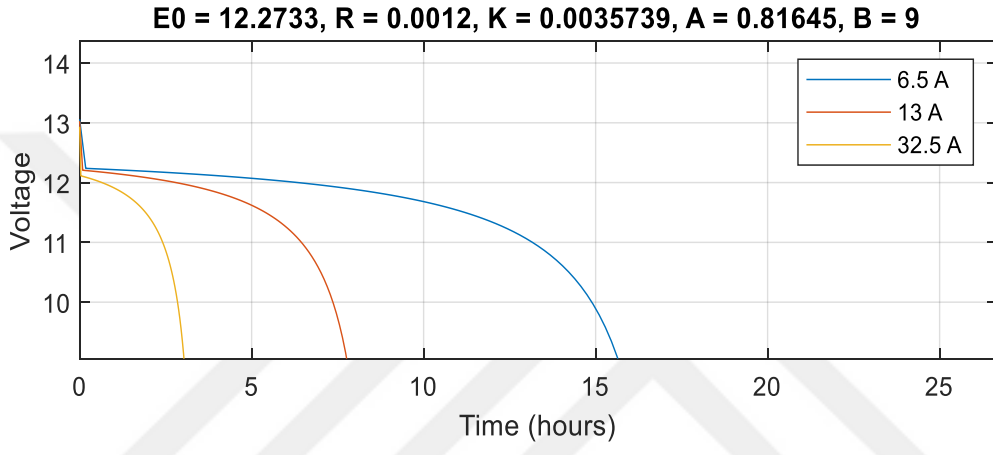
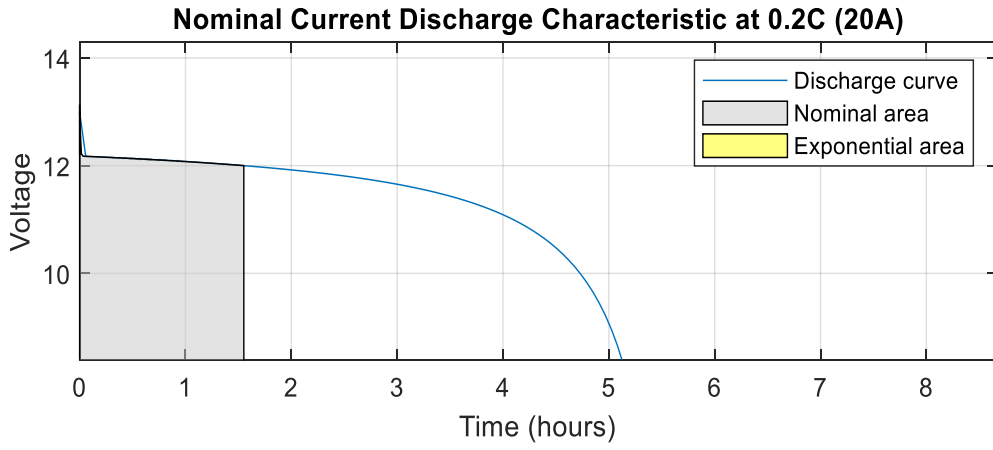
A, B, üstel deşarj bölgesi, V_{batt} gerilim düşüşünün büyüklüğü ve üstel deşarj bölgesinin (Ah)-1 sonundaki batarya kapasitesinin karşılıklı değerini karakterize eden katsayılar olduğunda, A olarak ölçülen batarya akımı, $\int idt$, Ah olarak ölçülen pilin gerçek şarj seviyesidir (Sahin ve Okumus, 2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip enerji sistemlerinde kullanılan kurşun-asit, nikel-kadmiyum ve lityum-iyon gibi çeşitli türlerdeki pillerin deşarj ve şarj modlarının modellenmesi, gerilim değerinin deşarj akımı ve pilin gerçek şarj seviyesi (State of Charge (SOC)) değerleri ile tanımlanmasını gerektirirki bu da yeterince doğru sonuçlar verir (Jusoh ve ark., 2018). Denklem (3.30) ile verilen parametreler, üretici tarafından tanımlandığı şekilde pilin deşarj karakteristiği ile sabitlenir. Bu pil modeli, Simulink® ortamında, Sim Power Systems kitaplığından normal bir pil bloğu olarak oluşturulmuştur. Şekil 3.14'te, Simulink® ortamının, modelin fonksiyonel bloğunun (Rebhi ve

ark., 2013) görsel bir temsili ile AB modelinin parametrelerinin girilebileceği diyalog kutusu görülmektedir.



Şekil 3.14. Pil modeli için giriş parametreleri

Araştırma hedeflerini tamamlamak için yalnızca dinamik özelliklerini daha doğru bir şekilde yakalayan farklı bir pil modeline ihtiyaç duyulduğu için yukarıdaki modelin gereksiz olduğuna dikkat edilmelidir. Bununla birlikte, Simulink®'in yerleşik pil veri tabanı nedeniyle bu modelin farklı pil tiplerini, nominal voltajları ve artık kapasiteleri barındırmadaki esnekliği, kullanımını haklı çıkarmaktadır. Bu senaryoda pilin iç direnç değerlerini yeniden hesaplama konusunda endişelenmeye gerek kalmayacaktır. 0,2 °C'deki nominal akım deşarj karakteristiği Şekil 3.14'te gösterilmektedir ve davranışı Şekil 3.15'deki gibi bir üstel fonksiyon kullanılarak modellenilebilir.

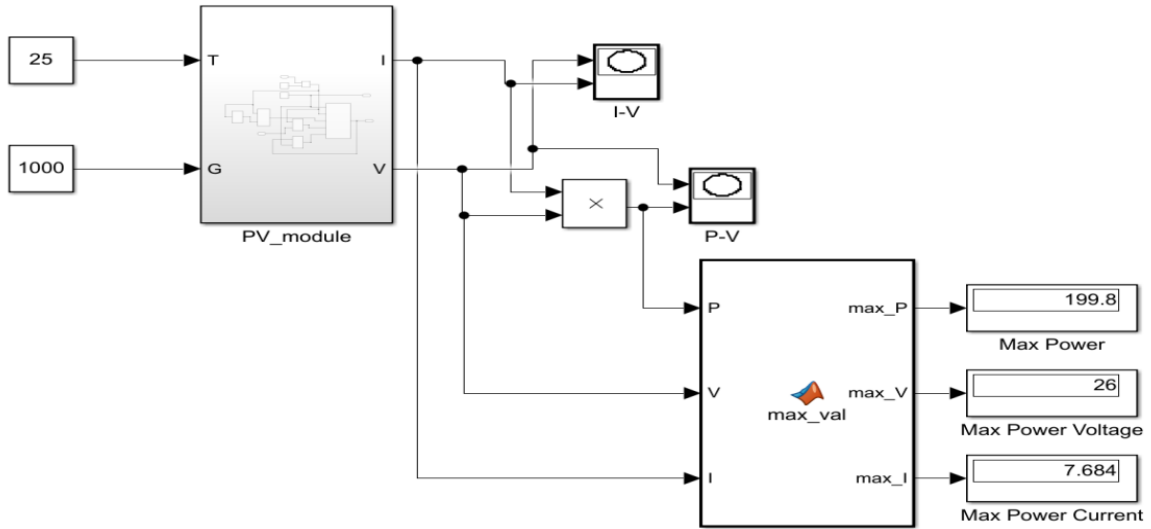


Şekil 3.15. Nominal akım deşarj karakteristiği

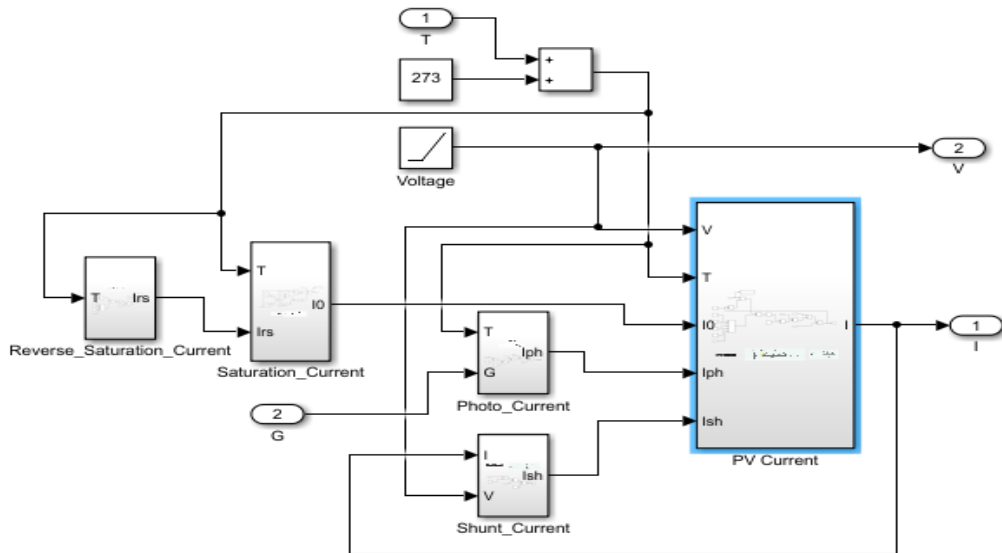
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. MATLAB® Ortamında PV Modeli

Bölüm 2'de güneş pili modelinin matematiksel denklemleri tanımlandıktan sonra, bu bölümde matematiksel modele dayalı olarak MATLAB® ortamında bir simülasyon modeli kurulmuş ve Şekil 4.2'deki gibi simülasyon bloklarında ifade edilmiştir (Murtaza ve ark., 2013).



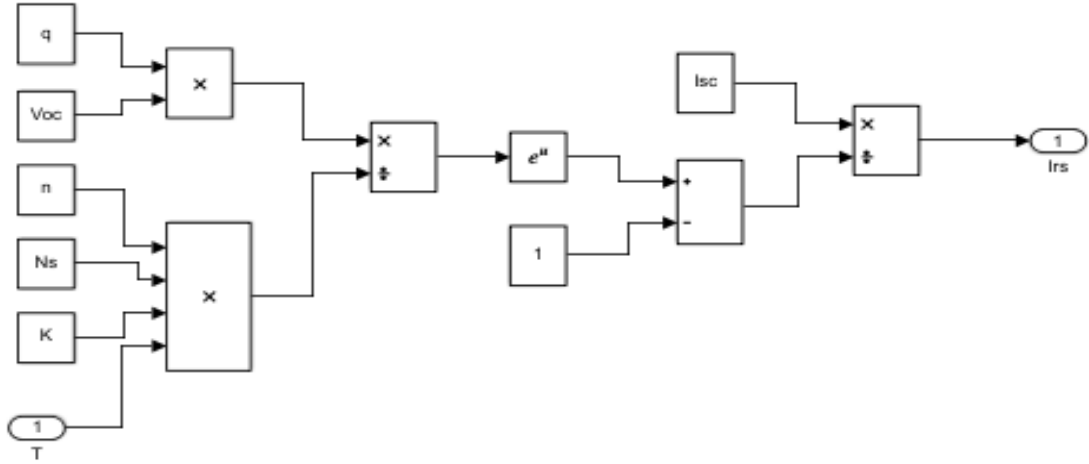
Şekil 4.1. PV_{maks} simülasyonu



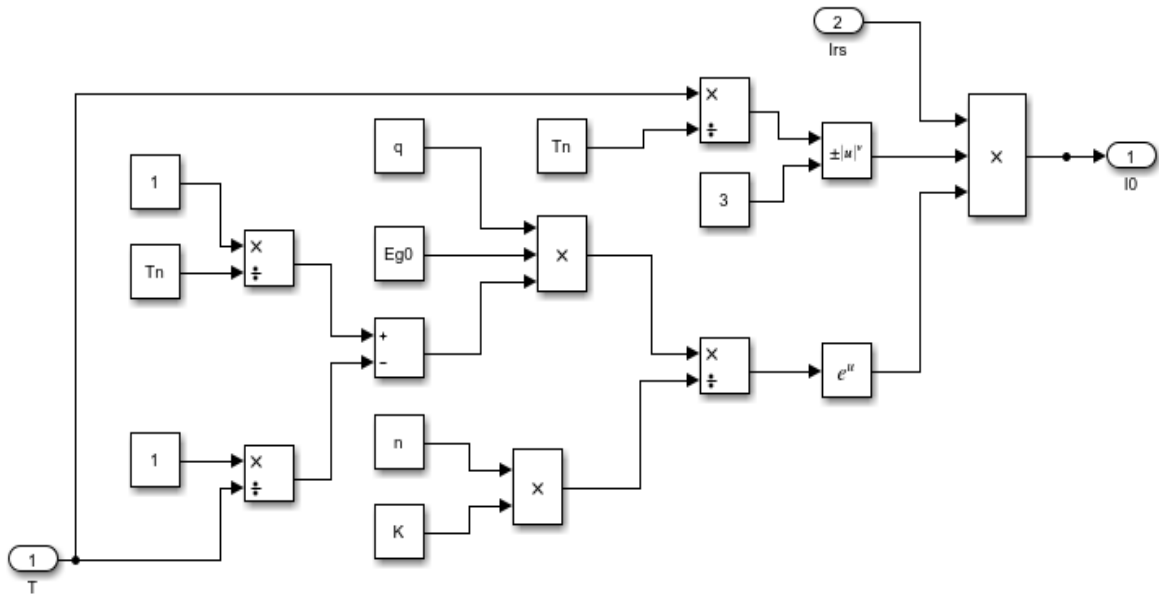
Şekil 4.2. Simulink®'te PV Modeli

PV modeli aşağıdaki alt sistemden oluşur:

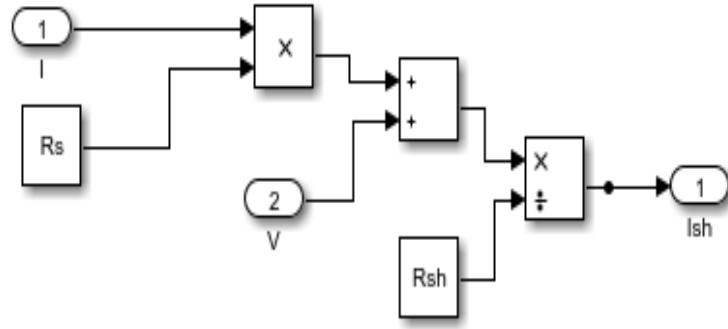
- Şekil 4.3'teki ters doyma akımı.
- Şekil 4.4'teki doyumluk akımı.
- Şekil 4.5'teki şönt akımı.
- Şekil 4.6'daki foto akımı.
- Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9'daki PV akımı



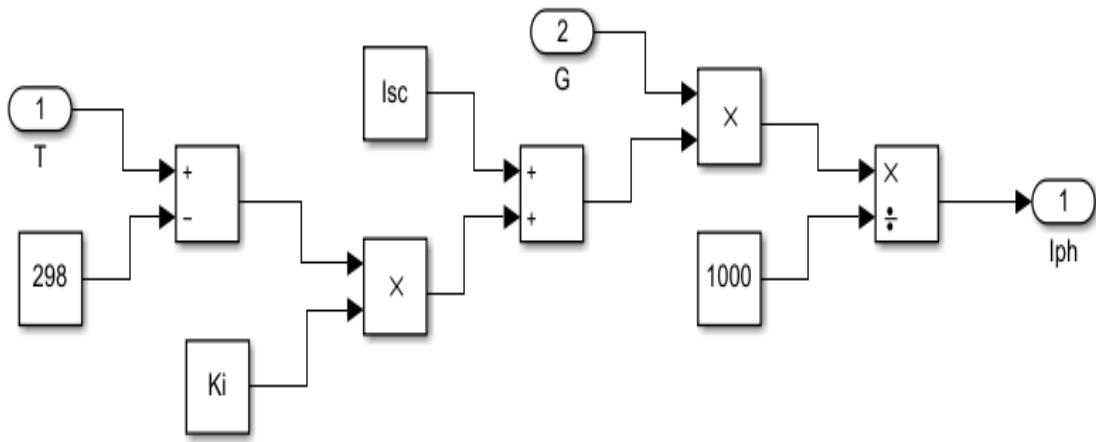
Şekil 4.3. Ters doyum akım bloğu



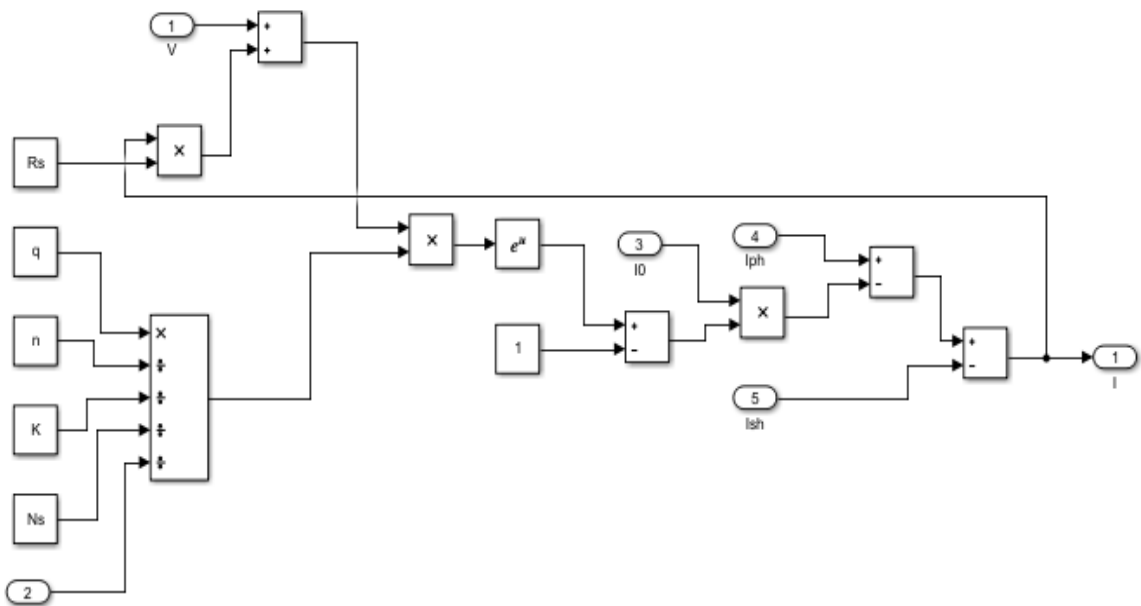
Şekil 4.4. Doyum akımı blok diyagramı



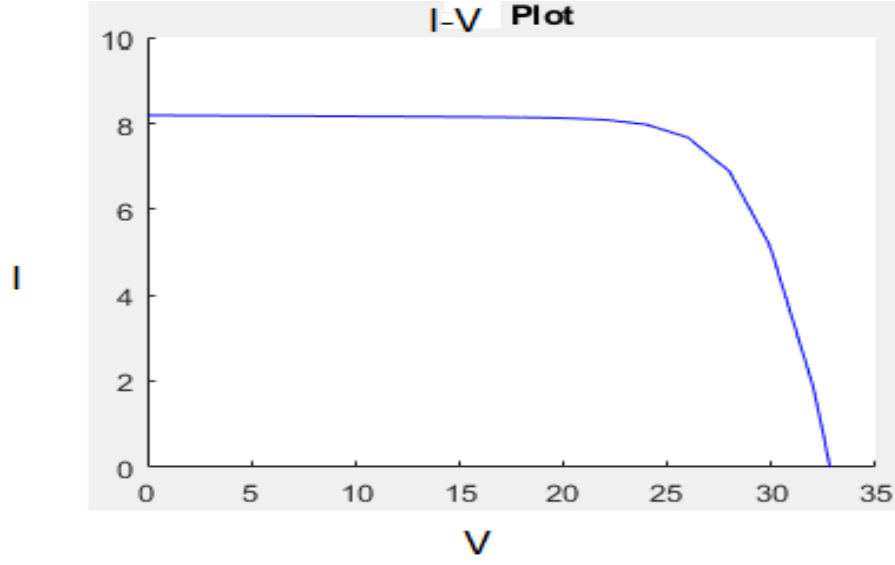
Şekil 4.5. Şönt akım bloğu



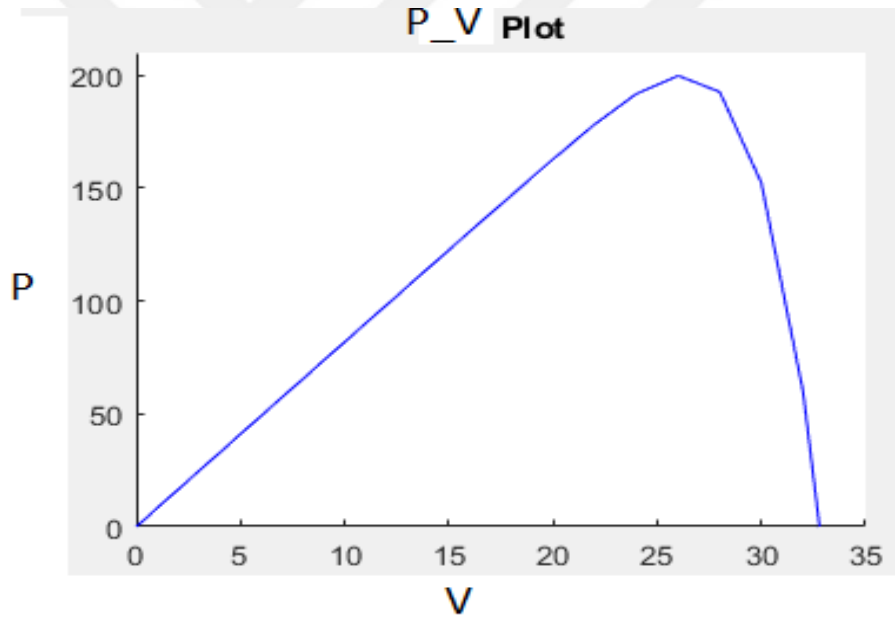
Şekil 4.6. Fotoakım bloğu



Şekil 4.7. PV akışı



Şekil 4.8. PV panelinin I-V özellikleri

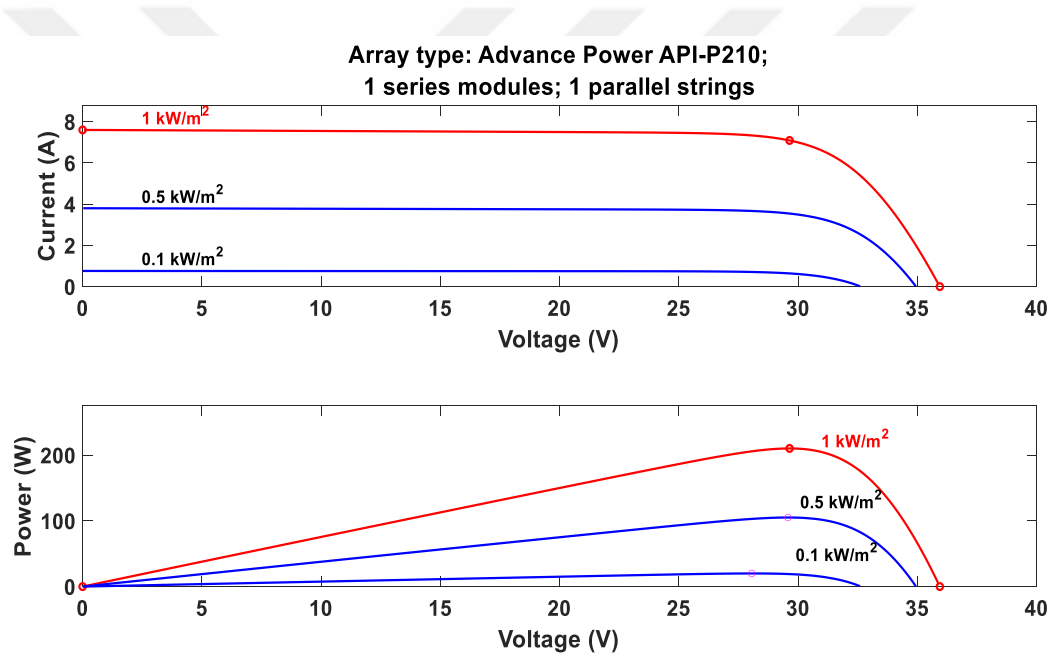


Şekil 4.9. PV panelin P-V özellikleri

Araştırma, MATLAB® ortamında geliştirilen hazır bir modelden yararlanılmış olup, temel özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Şekil 4.10 ve 4.11 sırasıyla bir güneş pilinin güç-gerilim ilişkisini ve ürettiği akım ile uygulandığı gerilim arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Söz konusu güneş panelinin özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Güneş paneli (Advance Power API-P2210) parametreleri

| 1 seri modül-1 paralel dizi | Değer |
|-------------------------------------|---------|
| Maksimum Gerilim, V_{max} | 29V |
| Maksimum Akım, I_{max} | 7A |
| Açık devre durumunda gerilim, V_o | 36V |
| Kısa devre durumunda akım, I_{sh} | 7 A |
| Modül başına hücre Ncell | 60 |
| Maksimum Güç | 210.14w |



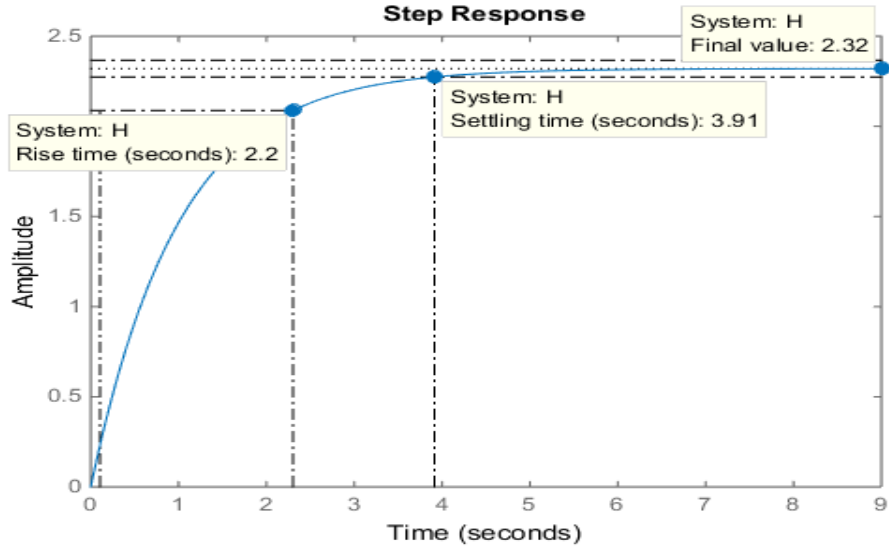
Şekil 4.10. I-V / P-V güneş pili karakteristiği

4.2. MATLAB® Ortamında DC-DC Buck Çevirici

Bu araştırmadaki tasarımın değeri için transfer fonksiyonu Denklem (4.1) olarak ifade edilebilir:

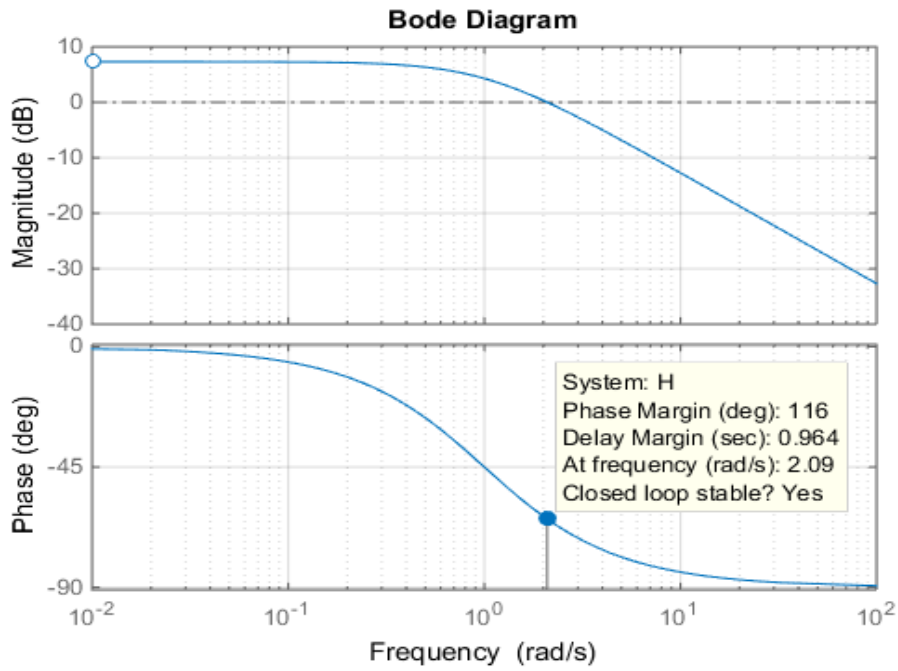
$$\frac{\Delta V_o}{V_{in}} = \frac{\Delta D/LC}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}} = \frac{2.32}{2.791 \cdot 10^{-7} s^2 + s + 1} \quad (4.1)$$

Açık döngüdeki adım yanıtları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Buck dönüştürücünün geçici yanıtı, görüntüde görülebileceği gibi sabittir (aşma yok, yerleşme süresi = 3,91 s.).



Şekil 4.11. Buck dönüştürücünün adım cevabı

Buck dönüştürücünün bode grafiği Şekil 4.12'de görülebilir; faz marjı 116° dir ve kazanç marjı sonsuzdur. Kapalı döngüde sistem dalgalanmaz.



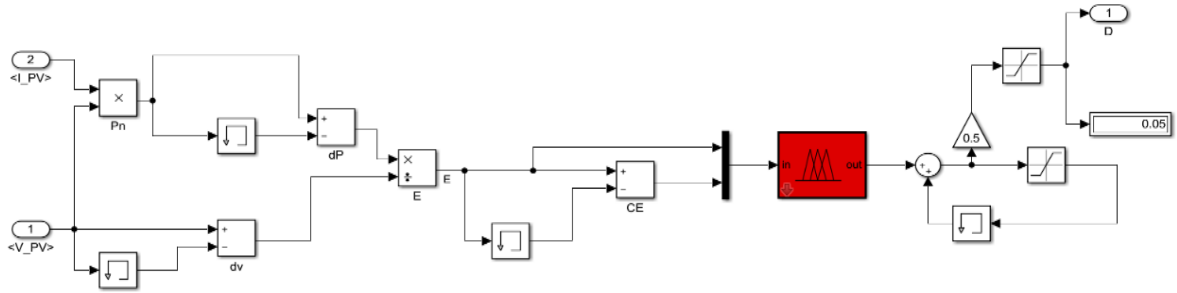
Şekil 4.12. Buck dönüştürücünün Bode grafiği

4.3. PV Sistem Temelli MPPT Teknikleri

Şekil 4.15'te gösterilen sistem modelinin alt sistemleri aşağıdaki gibidir:

- Işınlama bloğu
- PV bloğu
- DC-DC buck dönüştürücü
- Pil
- Kontrol Bloğu
- Kapsamlar

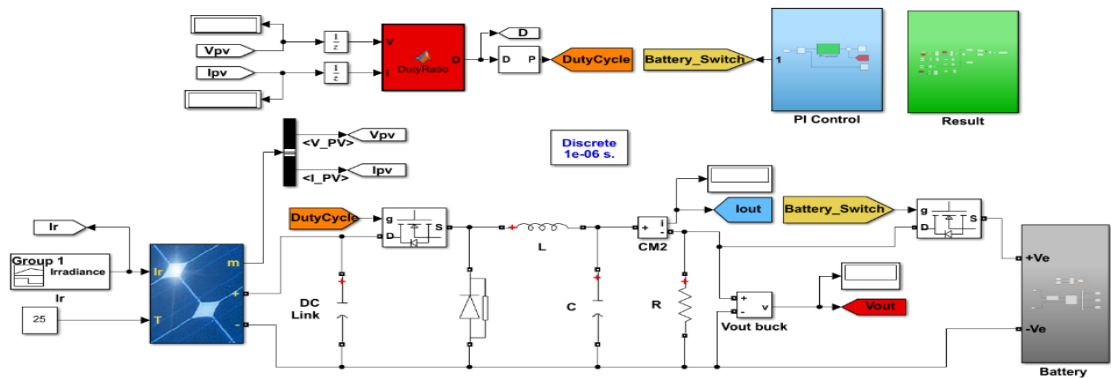
MPPT algoritmalarının bir denetleyici blok değişimine neden olduğu noktaya kadar. FL alt mimari sistemi Şekil 4.13'da gösterilmiştir.



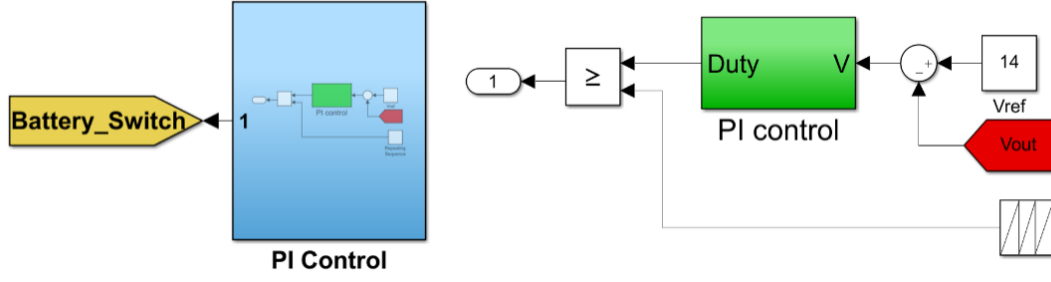
Şekil 4.13. Önerilen Bulanık mantık MPPT kontrolünün alt sistemi

4.3.1. PI Kontrollü Batarya Tabanlı MPPT Çıkış Tekniği

Şekil 4.14, önerilen PV sisteminin bileşenlerini göstermektedir, Şekil 4.15, çift yönlü şarj alt sistemini göstermektedir.

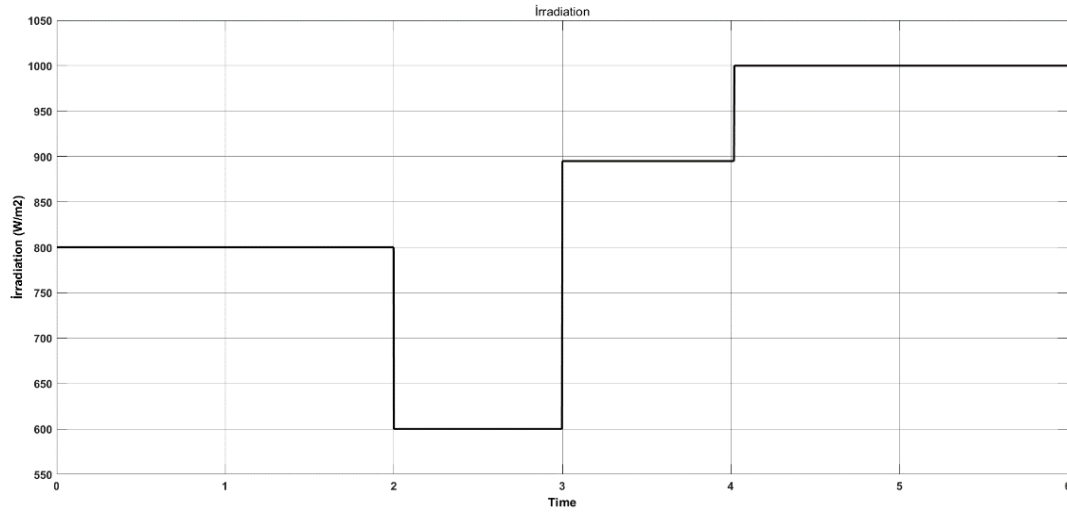


Şekil 4.14. Kontrollü akü kutusunda önerilen sistem



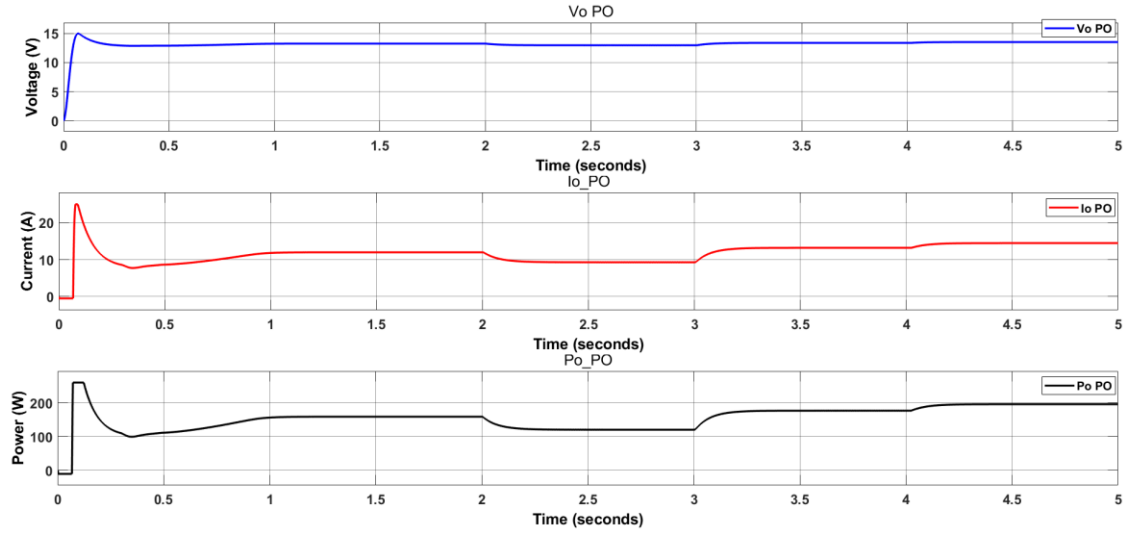
Şekil 4.15. PI kontrol çift yönlü şarj alt sistemi

Bu durumda ışıının, sistemi çalıştırmak için kullanılan Şekil 4.16'da gösterilen bir test sinyali ile temsil edilir ve $t=0$ ile 3 arasında ışıının değerin 800'den 600 W/m^2 'ye düştüğü dört farklı fazdan oluşur. $t=3$ ile 4 saniye arasında 900 W/m^2 'ye yükselir ve ardından $t=4$ ile 6 saniye arasında tekrar 1000 W/m^2 'ye yükselir. Amaç, özellikle geçiş sırasında sistemin nasıl çalıştığını izlemek ve altı farklı MPPT yönteminin (P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO) birbiriyle nasıl bir araya geldiğini görmektir.

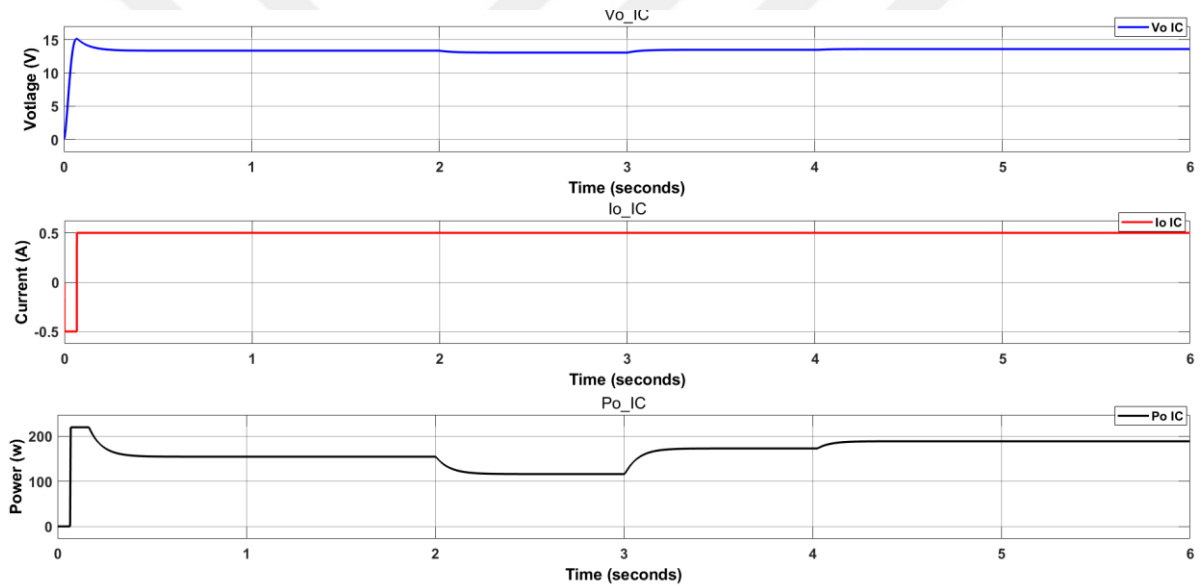


Şekil 4.16. Kontrollü pil durumunda kullanılan ışıının değerleri

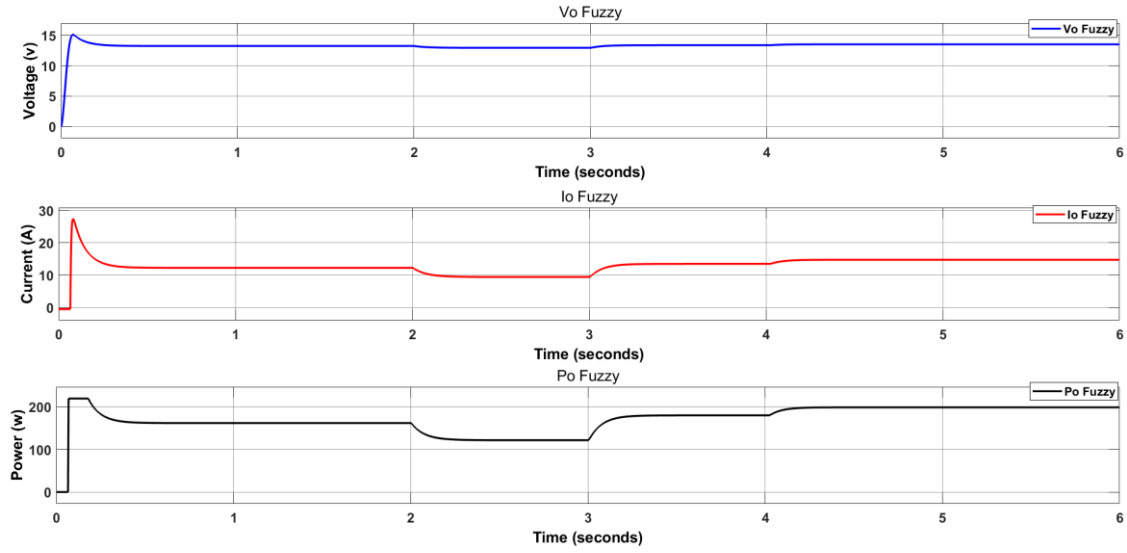
MPPT (P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO) kullanan bir PV panelinin gerilimi, akımı ve gücü sırasıyla Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22'te gösterilmektedir.



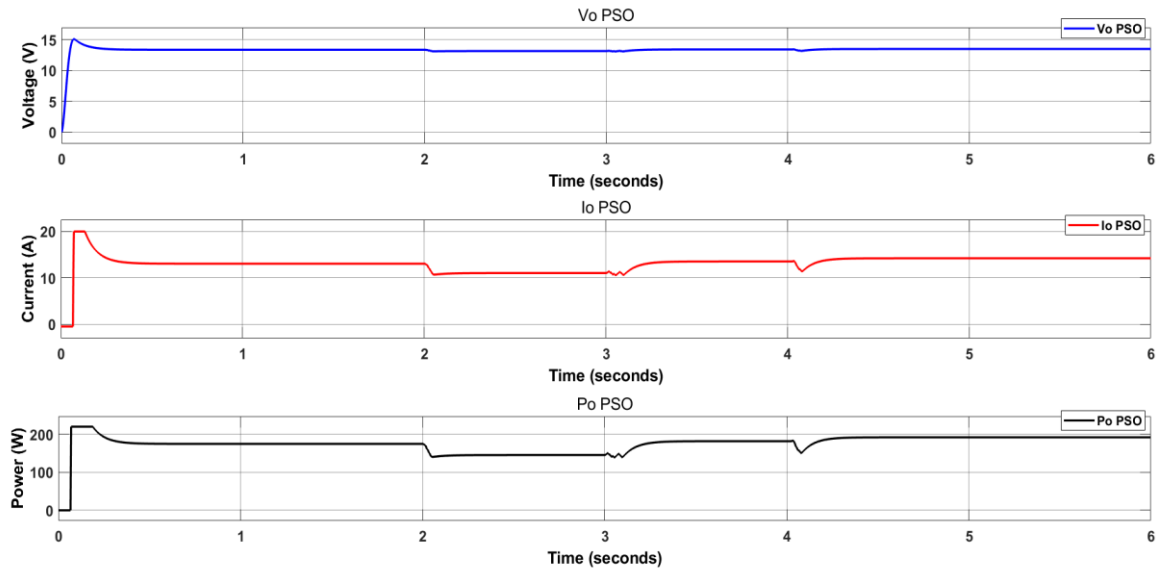
Şekil 4.17. Kontrollü batarya MPPT-P&O yöntemi durumunda PV çıkışı



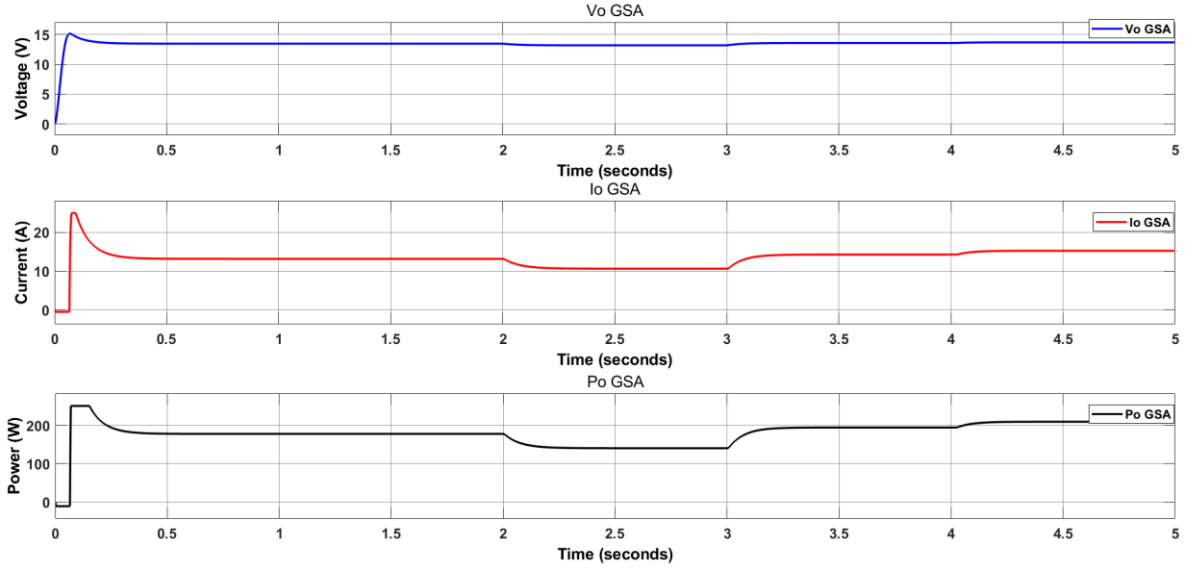
Şekil 4.18. Kontrollü batarya MPPT-IC yöntemi durumunda PV çıkışı



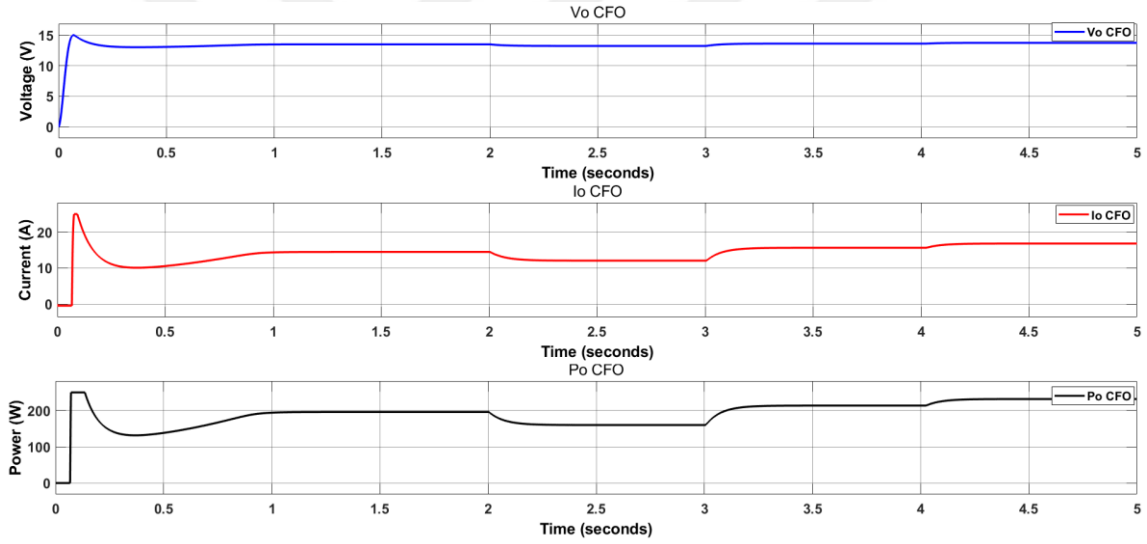
Şekil 4.19. Kontrollü akü MPPT-FL yöntemi durumunda PV çıkışı



Şekil 4.20. Kontrollü batarya MPPT-PSO yöntemi durumunda PV çıkışı

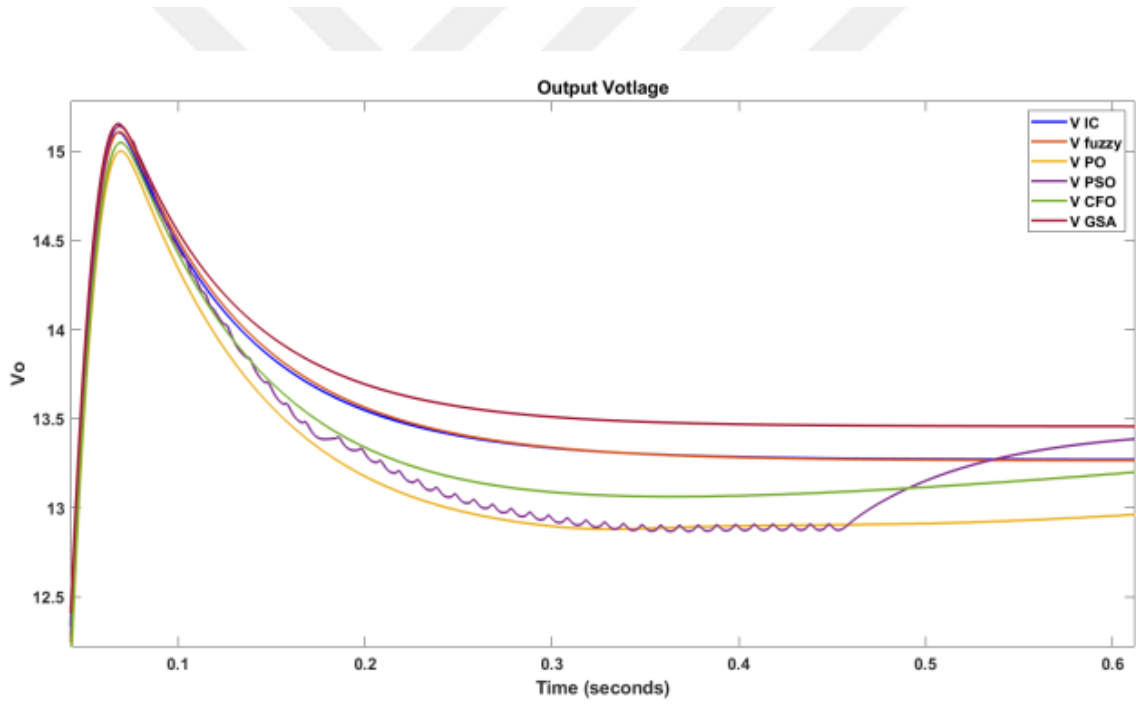
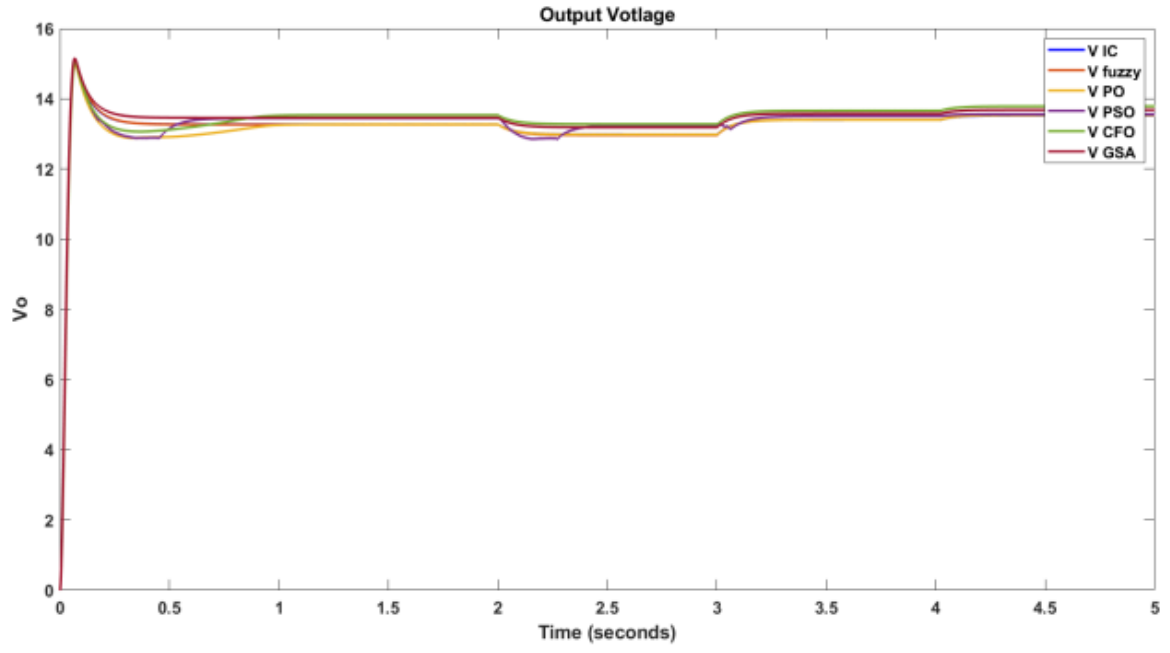


Şekil 4.21. Kontrollü batarya MPPT-GSA yöntemi durumunda PV çıkışı

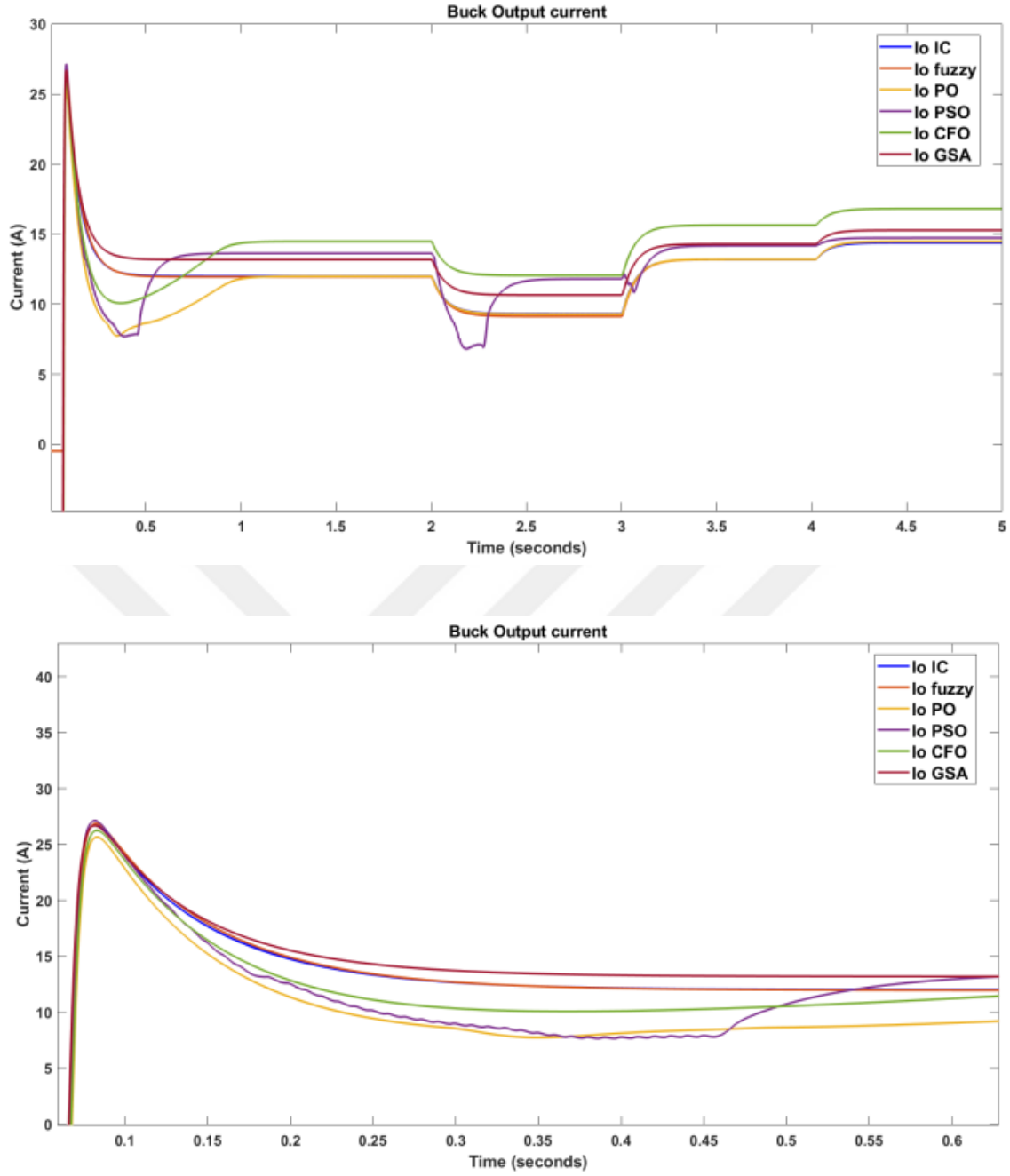


Şekil 4.22. Kontrollü batarya MPPT-CFO yöntemi durumunda PV çıkışı

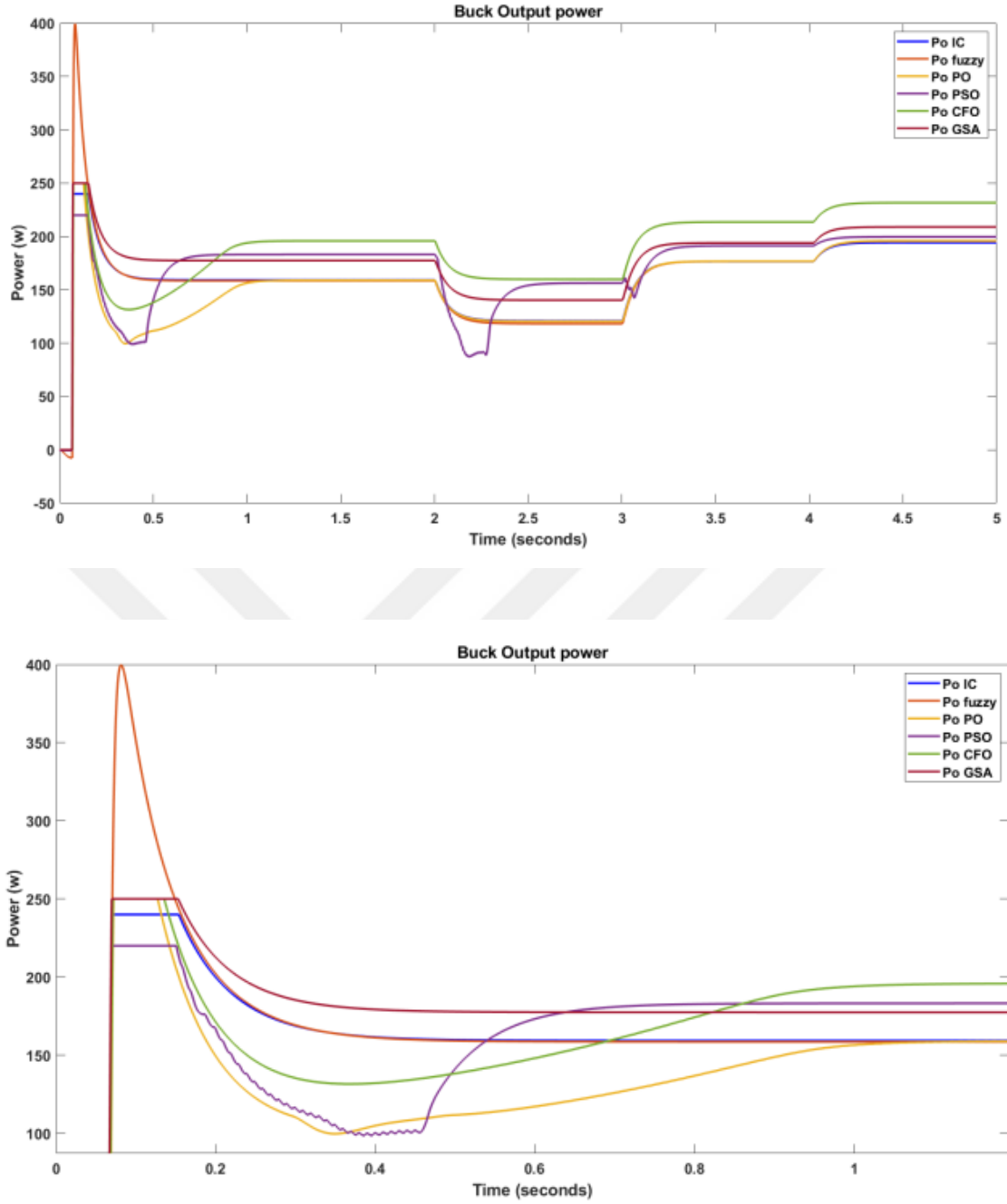
Şekil 4.23'da kontrollü pil durumunda bu altı algoritma arasındaki karşılaştırma verilmiştir. Şekil 4.24 ve 4.25, sırasıyla P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO MPPT yöntemleri arasında gerilim, akım ve gücü göstermektedir.



Şekil 4.23. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO-MPPT yöntemleri için kontrollü akü buck çıkış gerilimleri



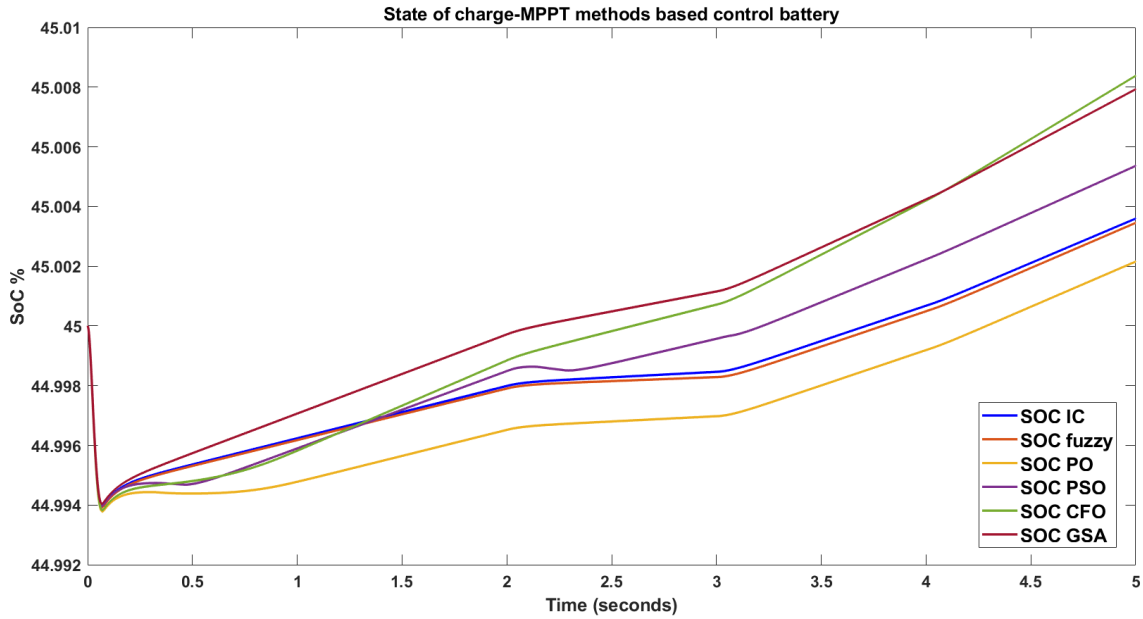
Şekil 4.24. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO-MPPT yöntemleri için kontrollü akü için buck çıkış akımları



Şekil 4.25. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO-MPPT yöntemleri için kontrollü pil buck çıkış gücü

Şekil 4.26'da, önerilen P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO algoritmalarının kontrolsüz bataryadan daha yüksek bir şarj durumuna ulaştığı görülebilir. En yüksek şarj durumu, CFO algoritması tarafından elde edilir. GSA algoritması ile elde edilen şarj durumu yaklaşık olarak benzer bir performans gösterir. PSO, IC ve FL algoritmaları, daha düşük ve daha yavaş bir şarj durumuna sahip olan P&O algoritmasına kıyasla biraz daha iyi bir şarj durumu

göstermektedir. Genel olarak, önerilen algoritmalar, kontrolsüz pilden önemli ölçüde daha yüksek bir şarj durumu elde edebilir.



Şekil 4.26. P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO için kontrollü akü için buck şarj durumu

4.3.2. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

MATLAB/Simulink[®] kullanılarak bir PV sistemi tasarlanmıştır. Önerilen sistem, 210 W'lık bir PV panel, 12V pilin şarj edilmesini desteklemek için yaklaşık 10 kHz frekansta çalışan buck dönüştürücü ve şarj işlemi düzenlemek için bir PI denetleyiciden oluşmaktadır. PV sistemi, P&O, IC, FL, PSO, GSA ve CFO olmak üzere altı maksimum güç noktası izleme (MPPT) tekniğinden birini kullanır. Bir önceki bölüm olan 3. bölümde tartışılan geleneksel denklemler, daha sonra deneme yanılma yoluyla değiştirilen DC-DC parametrelerinin optimal değerlerinin belirlenmesinde büyük ölçüde etkili olmuştur. Boz ve gözlemle (P&O) yaklaşımı maksimum güç noktası izleme (MPPT) için kullanılan yeni bir yöntemdir. P&O yaklaşımı, 0,8 saniyelik bir geçici işlem süresine sahiptir ve %2'ye kadar güç dalgalanmalarına neden olur. Bu yaklaşım, düşük işleme gereksinimlerine sahiptir ve uygulanması kolaydır. Ancak radyasyonun aniden artması veya azalması, verimde %10-12'lik bir düşüşe neden olabilir; öte yandan, IC algoritması 0,1 saniyelik bir geçici işlem süresine sahiptir ve %4-5'lik dalgalanmalara neden olur. Bu yaklaşım, radyasyondaki ani değişikliklerin neden olduğu aynı sorunlardan etkilenmese de, algoritmaya özgü kendi titreşimlerine sahiptir. Bulanık mantık, sistemin doğrusal olmama durumunu ele almak ve kesinliği ve verimi artırmak için

kullanılabilir. Bu, MPPT yöntemi titreşimlerini ortadan kaldırır ve eski denetleyicilere kıyasla % 3-10 verimlilik artışı sağlayabilir. Ancak, belirli bir ögeyi konfigüre etmek için geleneksel denetleyicilerden daha fazla çalışma gerektirirler. Farklı hava koşullarında çeşitli algoritmaların şarj performansının analizi, CFO algoritmasının 1000W/m² ışınlama ile güneşli günlerde en yüksek performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, GSA algoritması, diğer algoritmalara kıyasla bulut günlerinde yüksek bir şarj hızı göstermiştir. Bu nedenle, PV şarjı için uygun algoritmanın seçimi, sistemin çalıştığı belirli hava koşullarına bağlıdır. Bu algoritmaların performansını farklı senaryolarda araştırmak ve şarj verimliliğini artırmak için parametrelerini optimize etmek için daha fazla çalışma yapılmalıdır. Sistemi çeşitli algoritmalarla kontrol etmeye yönelik parametreler ve karşılaştırma sonuçları Tablo 5.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.3. PV sistem karşılaştırma sonuçları

| Irradiation at 25° C | V _{pv} (v) | I _{pv} (A) | P _{pv} (w) | V _o (v) | I _o (A) | P _o (w) | Efficiency |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| P&O MPPT | | | | | | | |
| 600 | 19.06 | 3.12 | 59.46 | 11.89 | 4.015 | 47.74 | 80.29% |
| 800 | 28.81 | 5.23 | 150.7 | 11.97 | 10.6 | 126.9 | 84.60% |
| 1000 | 28.87 | 7.385 | 213.2 | 12.04 | 15.61 | 187.9 | 88.13% |
| IC-MPPT | | | | | | | |
| 600 | 29.44 | 2.932 | 86.31 | 11.91 | 6.461 | 76.92 | 89.12% |
| 800 | 29.32 | 5.131 | 150.4 | 11.95 | 11.68 | 139.5 | 92.75% |
| 1000 | 29.82 | 7.394 | 213.2 | 12.04 | 16.34 | 196.8 | 92.35% |
| FL-MPPT | | | | | | | |
| 600 | 30.27 | 2.804 | 84.86 | 11.89 | 6.609 | 78.57 | 92.59% |
| 800 | 29.60 | 5.094 | 150.8 | 11.93 | 11.79 | 140.7 | 93.30% |
| 1000 | 28.8 | 7.01 | 212 | 12.03 | 16.35 | 195.9 | 92.70% |
| PSO-MPPT | | | | | | | |
| 600 | 29.82 | 7.35 | 219.3 | 13.21 | 14.21 | 192 | 87.54% |
| 800 | 28.34 | 6.02 | 174.5 | 13.25 | 11.78 | 156 | 89.42% |
| 1000 | 27.96 | 4.58 | 125 | 12.95 | 8.978 | 116.2 | 90.61% |
| CFO-MPPT | | | | | | | |
| 600 | 29.48 | 5.82 | 171.7 | 13.27 | 11.98 | 159 | 92.59% |
| 800 | 30.08 | 4.27 | 128.5 | 12.98 | 9.28 | 120 | 93.77% |
| 1000 | 29 | 7.332 | 213 | 12.03 | 16.35 | 200 | 93.99% |
| GSA-MPPT | | | | | | | |
| 600 | 29.58 | 4.37 | 129.7 | 13.04 | 9.28 | 120.92 | 93.50% |
| 800 | 29.56 | 5.80 | 171.6 | 13.32 | 11.96 | 159.3 | 92.89% |
| 1000 | 30.04 | 7.10 | 211.5 | 14.29 | 13.58 | 194 | 93.89% |

P&O algoritması için Tablo 5.1'deki veriler, voltaj, akım ve gücün tüm değerleri için MPPT takibinin zayıf olduğunu göstermiştir. Sistemin verimliliği %87,54 ile %90,61 arasında

değişmektedir. Tekniğin sınırlamaları, düşük güneş ışını seviyelerinde ve kısmi gölgede ortaya çıkmıştır. MPPT'ye dayalı CFO ve GSA tekniklerini kullanarak ışın değerlerini değiştirirken MPPT'nin izlenmesinde verimlilik açısından istenen gerilim, akım ve güç değerlerinin yanı sıra parametre ölçümleri açısından en iyi sonuçları vermiştir. Verimlilikleri GSA için %92,89 ile %93,89 arasında ve CFO için %92,59 ile %93,99 arasında değişmektedir. Sistem tabanlı bir CFO'daki salınımın, GSA'ya ve önceki diğer tasarımlara kıyasla daha az olduğunu belirtmekte fayda vardır.

210 W'lık bir PV sistemi geliştirilmiş ve her bir yaklaşımın sonuçları, farklı seviyelerde güneş ışığı alan dört iklim bölgesinde test edildikten sonra karşılaştırılmıştır. Güncellenen yöntemlerin performansı, karşılaştırma olarak kullanılan geleneksel yöntemden daha üstündür. En basit yöntem olan P&O, mevcut ışık kaynağı loş olduğunda yararlı sonuçlar sağlamamaktadır. Algoritma, GSA yönteminin P&O'ya kıyasla karmaşık olmamasına rağmen, CFO'nun davranışına çok benzeyen sonuçlar üretmiştir. CFO, test edilen tüm yöntemler arasında en iyi sonuçları vermiş, aynı zamanda en bağlantılı olanıdır. Her sistemin çıkış gerilimi, tasarım aşaması boyunca belirtilmiştir.

Pilin kullanım ömrünü ve şarj süresini uzatmak için çift yönlü pil şarjı geliştirilmiştir; bu strateji, uzun bir süre boyunca pilin çalışma süresini azaltır ve sisteme radyasyon uygulanmadığında gerekli çıkış voltajındaki düşüşü telafi eder. Yaptığımız incelemede, şalt kapısı sinyal D'deki kararsızlığın, 0 ila 210 W arasında değişen güç kaynağından ve 0 ila V_{oc} arasında değişen gerilimden kaynaklandığı bulunmuştur. Bir PV sistemi, sabit bir yük durumuyla karşılaştırıldığında R yüküne ek olarak kararsız bir yük içeren bir bataryaya bağlandığında da kötü sonuçlar alınabilir, bu nedenle DC-DC dönüştürücünün parametreleri deneme yoluyla ayarlanmıştır. Gelecekteki araştırmalar, bu çalışmanın bulgularından büyük ölçüde yararlanabilir.

5. KAYNAKLAR

- Abihana, O. A., & Gonzalez, O. R. (1993). *Design and implementation of fuzzy logic controllers* (No. NAS 1.26: 193268).
- Abo-Sennah, M. A., El-Dabah, M. A., & Mansour, A. E. B. (2021). Maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems: a comparative study. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 11(1).
- Ali, M. H. M., Mohamed, M. M. S., Ahmed, N. M., & Zahran, M. B. A. (2022). Comparison between P&O and SSO techniques based MPPT algorithm for photovoltaic systems. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, 12(1), 32-40.
- Ansari, A. Q. (1998). The basics of fuzzy logic: A tutorial review. *COMPUTER EDUCATION-STAFFORD-COMPUTER EDUCATION GROUP-*, 88, 5-8.
- Atallah, A. M., Abdelaziz, A. Y., & Jumaah, R. S. (2014). Implementation of perturb and observe MPPT of PV system with direct control method using buck and buck-boost converters. *Emerging Trends in Electrical, Electronics & Instrumentation Engineering: An international Journal (EEIEJ)*, 1(1), 31-44.
- Babaa, S. E., Armstrong, M., & Pickert, V. (2014). Overview of maximum power point tracking control methods for PV systems. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2014.
- Baharudin, N. H., Mansur, T. M. N. T., Hamid, F. A., Ali, R., & Misrun, M. I. (2017). Topologies of DC-DC converter in solar PV applications. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 8(2), 368-374.
- Balagurov, M. V., Sidorov, A. V., Korobkov, D. V., Zharkov, M. A., Shtein, D. A., & Bessonov, I. O. (2015, June). The universal control system for semiconductor converters with PWM. In *2015 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices* (pp. 379-383). IEEE.
- Bendib, B., Belmili, H., & Krim, F. (2015). A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 637-648.
- Biabani, M. A. K. A., & Ahmed, F. (2016, March). Maximum power point tracking of photovoltaic panels using perturbation and observation method and fuzzy logic control based method. In *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)* (pp. 1614-1620). IEEE.
- De Cesare, G., Caputo, D., & Nascetti, A. (2006). Maximum power point tracker for portable photovoltaic systems with resistive-like load. *Solar energy*, 80(8), 982-988.
- Dhanaraju, K., Srinu, I., & Satyanarayana, K. (2015). Performance Improvement of Fuzzy PID Controller Based Process Control System. In *International Journal of*

- Dolar, A., Faranda, R., & Leva, S. (2009). Energy comparison of seven MPPT techniques for PV systems. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 2009.
- Dorofte, C., Borup, U., & Blaabjerg, F. (2005, September). A combined two-method MPPT control scheme for grid-connected photovoltaic systems. In *2005 European Conference on Power Electronics and Applications (pp. 10-pp)*. IEEE.
- Doubabi, H., Salhi, I., Chennani, M., & Essounbouli, N. (2021). High Performance MPPT based on TS Fuzzy–integral backstepping control for PV system under rapid varying irradiance—*Experimental validation*. *ISA transactions*, 118, 247-259.
- Elbaksawi, O. (2019). Design of photovoltaic system using buck-boost converter based on MPPT with PID controller. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 6(5), 314-322.
- Elgendy, M. A., Zahawi, B., & Atkinson, D. J. (2011). Assessment of perturb and observe MPPT algorithm implementation techniques for PV pumping applications. *IEEE transactions on sustainable energy*, 3(1), 21-33.
- Esr, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on energy conversion*, 22(2), 439-449.
- Esr, T., Kimball, J. W., Krein, P. T., Chapman, P. L., & Midya, P. (2006). Dynamic maximum power point tracking of photovoltaic arrays using ripple correlation control. *IEEE Transactions on power electronics*, 21(5), 1282-1291.
- Faranda, R., & Leva, S. (2008). Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems. *WSEAS transactions on power systems*, 3(6), 446-455.
- Femia, N., Granozio, D., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2006). Optimized one-cycle control in photovoltaic grid connected applications. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 42(3), 954-972.
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE transactions on power electronics*, 20(4), 963-973.
- Haji, D., & Genc, N. (2018, October). Fuzzy and P&O based MPPT controllers under different conditions. In *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)* (pp. 649-655). IEEE.
- Haque, A. (2014). Maximum power point tracking (MPPT) scheme for solar photovoltaic system. *Energy Technology & Policy*, 1(1), 115-122.
- Hsiao, Y. T., & Chen, C. H. (2002, October). Maximum power tracking for photovoltaic power system. In *Conference record of the 2002 IEEE industry applications conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No. 02CH37344)* (Vol. 2, pp. 1035-1040). IEEE.

- Ismail, N. N., Musirin, I., Baharom, R., & Johari, D. (2010, November). Fuzzy logic controller on DC/DC boost converter. In *2010 IEEE International Conference on Power and Energy* (pp. 661-666). IEEE.
- Jusoh, M. A., Tajuddin, M. F. N., Ayob, S. M., & Roslan, M. A. (2018). Maximum power point tracking charge controller for standalone PV system. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, *16*(4), 1413-1426.
- Karlsson, B., Rúben, M. M., & Fonseca Batista, V. (2018). The impact of shadowing in photovoltaic systems and how to minimize it an analysis with the pv system software. *Energy Systems Master Programme in Energy Systems*.
- Kato, K., & Koizumi, H. (2015, May). A study on effect of blocking and bypass diodes on partial shaded PV string with compensating circuit using voltage equalizer. In *2015 IEEE international symposium on circuits and systems (ISCAS)* (pp. 241-244). IEEE.
- Kobayashi, K., Matsuo, H., & Sekine, Y. (2004, June). A novel optimum operating point tracker of the solar cell power supply system. In *2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 04CH37551)* (Vol. 3, pp. 2147-2151). IEEE.
- Kottas, T. L., Boutalis, Y. S., & Karlis, A. D. (2006). New maximum power point tracker for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive networks. *IEEE Transactions on Energy conversion*, *21*(3), 793-803.
- Koutroulis, E., & Blaabjerg, F. (2012). A new technique for tracking the global maximum power point of PV arrays operating under partial-shading conditions. *IEEE journal of photovoltaics*, *2*(2), 184-190.
- Lee, J. H., Bae, H., & Cho, B. H. (2006, August). Advanced incremental conductance MPPT algorithm with a variable step size. In *2006 12th International Power Electronics and Motion Control Conference* (pp. 603-607). IEEE.
- Leedy, A. W., Guo, L., & Aganah, K. A. (2012, March). A constant voltage MPPT method for a solar powered boost converter with DC motor load. In *2012 Proceedings of IEEE Southeastcon* (pp. 1-6). IEEE.
- Lopez-Lapena, O., & Penella, M. T. (2012). Low-power FOCV MPPT controller with automatic adjustment of the sample&hold. *Electronics Letters*, *48*(20), 1.
- Mahalakshmi, R., Kumar, A., & Kumar, A. (2014, March). Design of Fuzzy Logic based Maximum Power Point Tracking controller for solar array for cloudy weather conditions. In *2014 Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy* (pp. 1-4). IEEE.
- Murtaza, A. F., Sher, H. A., Chiaberge, M., Boero, D., De Giuseppe, M., & Addoweesh, K. E. (2013, December). Comparative analysis of maximum power point tracking techniques for PV applications. In *Inmic* (pp. 83-88). IEEE.
- Narendiran, S. (2013, March). Grid tie inverter and MPPT-A review. In *2013 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT)* (pp. 564-567). IEEE.

- Narendiran, S., Sahoo, S. K., Das, R., & Sahoo, A. K. (2016, March). Fuzzy logic controller based maximum power point tracking for PV system. In *2016 3rd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)* (pp. 29-34). IEEE.
- Ngan, M. S., & Tan, C. W. 2011. A study of maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. In *2011 IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC)* (pp. 22-27). IEEE.
- Noman, A. M., Addoweesh, K. E., & Mashaly, H. M. (2012, October). A fuzzy logic control method for MPPT of PV systems. In *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 874-880). IEEE.
- Pandey, A., Dasgupta, N., & Mukerjee, A. K. (2007). A simple single-sensor MPPT solution. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22(2), 698-700.
- Park, M., & Yu, I. K. (2004, November). A study on the optimal voltage for MPPT obtained by surface temperature of solar cell. In *30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2004. IECON 2004* (Vol. 3, pp. 2040-2045). IEEE.
- Patel, H., & Agarwal, V. (2008). Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions. *IEEE transactions on industrial electronics*, 55(4), 1689-1698.
- Pathak, P. K., & Yadav, A. K. (2019). Design of battery charging circuit through intelligent MPPT using SPV system. *Solar Energy*, 178, 79-89.
- Rebhi, M., Benatillah, A., Sellam, M., & Kadri, B. (2013). Comparative study of MPPT controllers for PV system implemented in the south-west of Algeria. *Energy Procedia*, 36, 142-153.
- Sahin, M. E., & Okumus, H. İ. (2011, June). Fuzzy logic controlled buck-boost DC-DC converter for solar energy-battery system. In *2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* (pp. 394-397). IEEE.
- Salas, V., Olias, E., Barrado, A., & Lazaro, A. (2006). Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. *Solar energy materials and solar cells*, 90(11), 1555-1578.
- Salas, V., Olias, E., Lazaro, A., & Barrado, A. (2005). New algorithm using only one variable measurement applied to a maximum power point tracker. *Solar energy materials and solar cells*, 87(1-4), 675-684.
- Salman, S., Ai, X., & Wu, Z. (2018). Design of a P-&O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 3(1), 1-8.
- Selvan, S., & Kumar, G. (2015). Comparative study of perturb & observe and fuzzy logic control based MPPT algorithms. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 7(6), 1649.
- Sera, D., Kerekes, T., Teodorescu, R., & Blaabjerg, F. (2006, July). Improved MPPT method for rapidly changing environmental conditions. In *2006 IEEE*

- International Symposium on Industrial Electronics* (Vol. 2, pp. 1420-1425). IEEE.
- Sharma, C., & Jain, A. (2015). Modeling of Buck Converter Models in MPPT using PID and FLC. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 13(4), 1270-1280.
- Singh, P., Shukla, N., & Gaur, P. (2021). Modified variable step incremental-conductance MPPT technique for photovoltaic system. *International Journal of Information Technology*, 13, 2483-2490.
- Sivanandam, S. N., Sumathi, S., & Deepa, S. N. (2007). Fuzzy rule-based system. *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*, 113-149.
- Tajuddin, M. F. N., Arif, M. S., Ayob, S. M., & Salam, Z. (2015). Perturbative methods for maximum power point tracking (MPPT) of photovoltaic (PV) systems: a review. *International Journal of Energy Research*, 39(9), 1153-1178.
- Tremblay, O., & Dessaint, L. A. (2009). Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications. *World electric vehicle journal*, 3(2), 289-298.
- Tremblay, O., Dessaint, L. A., & Dekkiche, A. I. (2007, September). A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles. In *2007 IEEE vehicle power and propulsion conference* (pp. 284-289). Ieee.
- Tse, K. K., Chung, H. S. H., Hui, S. Y. R., & Ho, M. T. (2001, June). A novel maximum power point tracking technique for PV panels. In *2001 IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 01CH37230)* (Vol. 4, pp. 1970-1975). IEEE.
- Xiong, Y., Qian, S., & Xu, J. (2012, March). Research on constant voltage with incremental conductance MPPT method. In *2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference* (pp. 1-4). IEEE.
- Yilmaz, U., Kircay, A., & Borekci, S. (2018). PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 994-1001.

ÖZGEÇMİŞ

| KİŞİSEL BİLGİLER | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Adı Soyadı: | Rawaa Hasan Mustafa MUSTAFA |
| Uyruğu: | Irak |
| Orcid Numarası: | 0000-0002-9760-3160 |

| EĞİTİM BİLGİLERİ | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Lisans | |
| Üniversite: | Tikrit Üniversitesi |
| Fakülte: | Mühendisliği Fakültesi |
| Bölümü: | Elektrik Bölümü |
| Mezuniyet Yılı: | 2008-2009 |
| Yüksek Lisans | |
| Üniversite: | Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi |
| Enstitü: | Fen Bilimleri Enstitüsü |
| Anabilim Dalı: | İleri Teknolojiler Anabilim Dalı |
| Mezuniyet Yılı: | 2022-2023 |
| Doktora | |
| Üniversite: | |
| Enstitü: | |
| Anabilim Dalı: | |
| Mezuniyet Yılı: | |

| Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler |
|---|
| Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler |
| Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler MUSTAFA R. H., GÜÇYETMEZ M., and KESER S. 2023. Comparison of the P&O and IC algorithms for optimal battery charging utilizing mppt buck dc-dc converters, 6. International Sciences and Innovation Congress, Ankara, Turkey. |
| Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan makaleler |
| Ulusal Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler |