

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ
GERÇEK ZAMANLI OLARAK İZLENMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat BAYRAM

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ
GERÇEK ZAMANLI OLARAK İZLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Murat BAYRAM
(161082321)**

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK

HAZİRAN 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161082321 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Murat BAYRAM, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ GERÇEK ZAMANLI OLARAK İZLENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Yusuf YAŞA**
Bursa Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK
Gümüşhane Üniversitesi

Savunma Tarihi : 24 Haziran 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Murat BAYRAM

İmzası :

X



Aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle hayatımın her döneminde beni her koşulda destekleyen aileme, tez çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK'a, Arş. Gör. Alper YILMAZ'a, arkadaşım Anıl KARADENİZ'e teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışma, Bursa Teknik Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 182N06 proje numarasıyla desteklenmiştir.

Haziran 2019
BAYRAM

Murat

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	15
1.1 Tezin Amacı	17
1.2 Tezin özgün değeri	18
1.3 Literatür Özeti	18
1.3.1 Temel MPPT yöntemleri.....	18
1.3.2 Akıllı MPPT yöntemleri.....	21
1.3.3 Hibrit MPPT yöntemleri	24
2. FV SİSTEMLERDE KULLANILAN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TİP DEVRELER .	25
2.1 FV Sistemler.....	25
2.1.1 FV paneller.....	27
2.1.2 MPPT kontrol bloğu.....	29
2.2 FV Sistemlerde DC-DC Dönüştürücüler.....	31
2.2.1 Alçaltıcı (Buck) tipi dönüştürücü devreler.....	32
2.2.2 Yükseltici (Boost) tip dönüştürücü devreler	33
2.2.3 Alçaltıcı-Yükseltici (Buck-Boost) tip dönüştürücü devreler	35
2.2.4 Önerilen Yükseltici tip dönüştürücü devresi.....	37
3. FV SİSTEMLERDE KULLANILAN MPPT YÖNTEMLERİ	39
3.1 Mevcut MPPT Yöntemleri	39
3.1.1 Değiştir ve Gözle (P&O) yöntemi	40
3.1.1.1 P&O yöntemi ile sistem gücünün artırılması	42
3.1.1.2 P&O Yönteminde Sistemin MPP Noktasından Uzaklaşması	42
3.1.1.3 P&O Yöntemi Adım Aralığı Problemi	43
3.1.2 Artırılmış İletkenlik (IC) Yöntemi	43
3.1.3 Bulanık Mantık Kullanan MPPT Yöntemleri	46
3.2 MPPT Yöntemlerinin MATLAB/Simulink ile Gerçekleştirilmesi	47
3.2.1 P&O MPPT Yöntemi Modeli	48
3.2.2 IC MPPT Yöntemi Modeli.....	49
3.2.3 Bulanık Mantık Tabanlı MPPT yöntemi Modeli	50
4. BULANIK MANTIK TABANLI MPPT YÖNTEMİNİN GERÇEK ZAMANLI OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	53
4.1 Geliştirilen Deneysel Sistem	53
4.1.1 DC güç kaynağı.....	55

4.1.2 Geliştirilen ölçüm kartı	55
4.1.3 MOSFET sürücü entegresi	55
4.1.4 Veri Toplama Kartı (DAQ)	56
4.1.5 LabVIEW Yazılımı	56
4.2 MPPT Yöntemlerinin Gerçek Zamanlı Olarak Geliştirilmesi.....	58
4.2.1 P&O MPPT Yönteminin Gerçek Zamanlı Olarak Gerçekleştirilmesi.....	59
4.2.2 IC MPPT yönteminin Gerçek Zamanlı Olarak Gerçekleştirilmesi	60
4.2.3 Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Yönteminin Gerçek Zamanlı Olarak Gerçekleştirilmesi	61
5. SONUÇLAR	66
5.1 Benzetim Sonuçları	66
5.2 Deneysel Sonuçlar	72
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
ANN	: Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
CSP	: Concentrating Solar Power (Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DAQ	: Data Acquisiton (Veri Toplama)
GA	: Genetic Algorithms (Genetik Algoritmalar)
GTS	: Güneş Takip Sistemleri
IC	: Incremental Conductance (Artırılmış İletkenlik)
LM	: Levenberg-Marquardt
MPP	: Maximum Power Point (Maksimum Güç Noktası)
MPPT	: Maximum Powet Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
P&O	: Perturb and Observe (Değiştir & Gözle)
FV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RBFNN	: Radial Basis Function Neural Network (Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı)

SEMBOLLER

C	: Kondansatör
D	: Diyot
E	: Hata
I_{FV}	: Fotovoltaik panel akımı
I_{SC}	: Kısa devre akımı
I_D	: Diyot akımı
L	: Bobin
P_{FV}	: Fotovoltaik panel gücü
q	: Elektron yükü
R_S	: Fotovoltaik hücre iç direnci
R_{SH}	: Paralel kaçak akım direnci
T	: Sıcaklık
V_{FV}	: Fotovoltaik panel gerilimi
V_{OC}	: Açık devre gerilimi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Önerilen dönüştürücü devresi elemanları.....	37
Çizelge 3.1 : P&O algoritması özeti.....	42
Çizelge 4.1 : Bulanık mantık kural tablosu.....	64
Çizelge 5.1 : MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması.....	71



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Şebeke bağlantılı FV sistem.....	26
Şekil 2.2 : Şebekeden bağımsız FV sistem.....	26
Şekil 2.3 : FV sistem genel blok şeması.....	27
Şekil 2.4 : FV hücre tek diyotlu eşdeğer devresi.....	27
Şekil 2.5 : FV hücreye ait genel I-V karakteristik eğrisi.....	28
Şekil 2.6 : FV hücreye ait I-V ve P-V karakteristik eğrileri.....	29
Şekil 2.7 : I-V eğrisinin değişimi: a) Işık şiddetiyle b) Sıcaklıkla.....	30
Şekil 2.8 : FV sistem blok diyagramı ve DC-DC dönüştürücü ile MPPT ilişkisi.....	31
Şekil 2.9 : Alçaltıcı tip bir dönüştürücüye ait temel eşdeğer devre.....	32
Şekil 2.10 : Yükseltici tip bir dönüştürücüye ait temel eşdeğer devre.....	34
Şekil 2.11 : Yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q iletimde).....	34
Şekil 2.12 : Yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q kesimde).....	35
Şekil 2.13 : DC-DC alçaltıcı-yükseltici tip dönüştürücü devrenin genel devre şeması.....	35
Şekil 2.14 : Alçaltıcı-yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q iletimde).....	36
Şekil 2.15 : Alçaltıcı-yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q kesimde).....	36
Şekil 2.16 : Önerilen yükseltici tip dönüştürücü devresi.....	37
Şekil 2.17 : Önerilen yükseltici tip dönüştürücü devresi (Q kesimde).....	38
Şekil 3.1 : Mevcut MPPT yöntemlerinin sınıflandırılması.....	39
Şekil 3.2 : P&O MPPT yöntemi akış şeması.....	41
Şekil 3.3 : P&O yönteminin MPPT noktasından uzaklaşması.....	43
Şekil 3.4 : IC MPPT yöntemi akış şeması.....	45
Şekil 3.5 : Bulanık mantık genel blok şeması.....	46
Şekil 3.6 : HR-200W 24V tip FV modül karakteristik eğrileri.....	48
Şekil 3.7 : Önerilen DC-DC yükseltici tip dönüştürücünün modeli.....	48
Şekil 3.8 : P&O MPPT yönteminin modeli.....	49
Şekil 3.9 : IC MPPT yönteminin modeli.....	50
Şekil 3.10 : Bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemi giriş-çıkış değişkenleri.....	51
Şekil 3.11 : a) Bulanık mantık MPPT modeli b) Bulanık mantık MPPT denetleyicisi.....	52
Şekil 4.1 : MPPT algoritmalarının gerçek zamanlı olarak geliştirilebilmesi için kurulan deneysel sistem.....	54
Şekil 4.2 : MPPT yöntemlerinin FV sistemi kontrolü için tasarlanan sistem.....	54
Şekil 4.3 : Kullanılan DAQ kart giriş-çıkış portları.....	56
Şekil 4.4 : LabVIEW yazılımı: a)ön panel b) blok diyagramı.....	57
Şekil 4.5 : Geliştirilen MPPT kontrol arayüzü.....	58
Şekil 4.6 : P&O yöntemi gerçek zamanlı kontrol blok şeması.....	59
Şekil 4.7 : P&O MPPT yöntemi LabVIEW blok diyagramı.....	60

Şekil 4.8 : IC MPPT yönteminin LabVIEW ile gerçekleştirilmesi	61
Şekil 4.9 : Bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminin gerçek zamanlı kontrol blok şeması	62
Şekil 4.10 : LabVIEW bulanık mantık arayüzünde MPPT yöntemi giriş ve çıkış değişkenleri: a) Giriş E, b) Giriş dE, c) Çıkış D	63
Şekil 4.11 : LabVIEW arayüzünde bulanık mantık ile MPPT yöntemi kuralları.....	64
Şekil 4.12 : LabVIEW arayüzünde bulanık mantık girişlerine karşılık gelen çıkış değerlerinin görünümü	65
Şekil 4.13 : Bulanık mantık ile LabVIEW ortamında geliştirilen MPPT yöntemine ait blok diyagramı.....	65
Şekil 5.1 : Önerilen dönüştürücünün MATLAB ortamında benzetimi	66
Şekil 5.2 : P&O MPPT yöntemi çıkış değerleri	67
Şekil 5.3 : IC MPPT yöntemi çıkış değerleri.....	67
Şekil 5.4 : P&O MPPT yöntemi adım aralığı etkisi: a) Adım aralığı 0,0007 b) Adım aralığı 0,001	69
Şekil 5.5 : FV sistemin ışık şiddetindeki değişime cevabı	71
Şekil 5.6 : Bulanık mantık tabanlı MPPT FV panel çıkış değerleri (Sabit dış koşullar)	71
Şekil 5.7 : Bulanık mantık tabanlı MPPT FV panel çıkış değerleri (Değişken ışınım şiddeti).....	72
Şekil 5.8 : Bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemi PV panel çıkış gerilimi.....	72
Şekil 5.9 : NI MyRIO-1900 ile üretilen PWM sinyali	73
Şekil 5.10 : DC-DC dönüştürücü çıkışları : a) Giriş-çıkış gerilimleri b) MOSFET gate-source ve drain-source gerilimleri.....	74
Şekil 5.11 : Bobin akımları : a) L_1 bobin akımı dalga şekilleri b) L_1 ve L_2 bobin akımları dalga şekilleri ve değerleri	74
Şekil 5.12 : P&O ile MPPT yöntemi çıkışı : a) LabVIEW arayüzü b) Osiloskop	75
Şekil 5.13 : IC ile MPPT yöntemi çıkışı : a) LabVIEW arayüzü b) Osiloskop çıktısı	75
Şekil 5.14 : Bulanık mantık kontrollü MPPT yöntemi gerçek zamanlı cevabı a) LabVIEW arayüzü b) Osiloskop çıktısı	76

FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ GERÇEK ZAMANLI OLARAK İZLENMESİ

ÖZET

Güneş enerjisi, çevre dostu olması ve kolay ulaşılabilirliği sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten fotovoltaik (FV) sistemlerin kullanımı ve geliştirilmesi çalışmaları da günümüzde hızlı bir şekilde artmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yeri olan FV sistemlerin kurulum maliyetinin yüksek olması, araştırmacıları sistem verimini artırarak maliyeti azaltma yönünde çalışmalara yöneltmiştir. Bu sebeple, FV sistemlerde maksimum güç noktası takibi (MPPT) yöntemlerinin uygulanması ve geliştirilmesi sistem verimliliği açısından çok önemlidir.

Tez çalışmasında, mevcut MPPT yöntemlerinin gerçek zamanlı olarak performansları incelenmiş ve mevcut yöntemlerdeki matematiksel modellerin karmaşıklığından kaynaklanan hataların giderilebilmesi için, bulanık mantık tabanlı bir MPPT yöntemi önerilmiştir. Ayrıca geliştirilen bulanık mantık tabanlı ve gerçek zamanlı MPPT kontrol yöntemi, tasarlanan yükseltici tip dönüştürücü devre ile birlikte değerlendirilerek, FV panel çıkışındaki verimin artırılması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, bulanık mantık (Fuzzy Logic) tabanlı ve gerçek zamanlı olarak çalışan bir MPPT yöntemi, deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte kullanımı yaygın olan MPPT yöntemlerinden değiştir ve gözle (P&O) yöntemi ile artırılmış iletkenlik (IC) yöntemi de deneysel olarak incelenmiştir. MPPT yöntemlerinin gerçekleştirilmesi için gerçek zamanlı olarak çalışan bir kontrol bloğu geliştirilerek, laboratuvar ortamında kurulu olan FV sisteme entegre edilmiştir. MPPT algoritmaları, LabVIEW ortamında geliştirilen gerçek zamanlı yazılımlarla oluşturulmuştur. Ayrıca MPPT yöntemlerinin benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında yapılmış, benzetim sonuçları ile gerçek zamanlı deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemi ile P&O ve IC yöntemi karşılaştırılarak, elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminin diğer yöntemlere göre daha hızlı ve daha verimli çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca benzetim çalışmalarıyla birlikte gerçek zamanlı uygulamaların da gerçekleştirilmesiyle, incelenen MPPT yöntemlerinin FV sistemlere kolaylıkla uygulanarak sistem verimini artıracığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Maksimum Güç Noktası Takibi, Fotovoltaik Sistem, Bulanık Mantık, Gerçek Zamanlı Veri Toplama

REAL-TIME IMPLEMENTATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING TECHNIQUES FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

SUMMARY

Solar energy stands out among renewable energy sources due to its environmental friendliness and easy accessibility. The use and development of photovoltaic (PV) systems that generate electricity from solar energy is also rapidly increasing. PV systems has an important role in meeting the energy demand but high cost of installation of PV systems led researchers to work towards reducing costs by increasing system efficiency. Therefore, the application and development of maximum power point tracking (MPPT) methods in PV systems is very important for system efficiency.

In the thesis, the performance of the existing MPPT methods is examined in real-time and a new fuzzy logic-based MPPT method is proposed in order to eliminate the errors caused by the complexity of the mathematical models in the existing methods. In addition, the fuzzy logic-based real-time MPPT control method is evaluated together with the designed amplifier converter circuit and it is aimed to increase the efficiency of the PV panel output to an optimum level.

In this study, a fuzzy logic-based MPPT method which works in real-time is experimentally performed. In addition, Perturb and Observe (P&O) and Incremental Conductance (IC) methods, which are commonly used MPPT methods, were also investigated experimentally. In order to realize MPPT methods, a real-time control block was developed and integrated into the PV system installed in the laboratory. MPPT algorithms are developed with LabVIEW environment in real-time software. In addition, simulation studies of MPPT methods were performed in MATLAB/Simulink environment and simulation results were compared with real-time experimental results. Fuzzy logic-based MPPT method and P&O and IC method were compared and the results were analyzed. According to the results, it is observed that fuzzy logic-based MPPT method works faster and more efficiently than other methods. Also, with the realization of real-time applications with simulation studies, it is seen that MPPT methods can be applied to PV systems easily and increase system efficiency. In addition, it has been observed that MPPT methods, which are examined with simulation and real-time applications, can be applied to PV systems easily and increase system efficiency.

Keywords: Maximum Power Point Tracking, Photovoltaic System, Fuzzy Logic, Real-Time Data Acquisition

1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik enerjisi hayatın her alanında büyük bir öneme sahiptir ve elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Elektrik enerjisinin fosil yakıtlardan elde edilmesi, fosil yakıtların tükenebilir olması ve çevreye verdikleri zarar sebebiyle, günümüzde yeni enerji kaynağı arayışları hızlanmıştır. Tüm bu sebeplerden, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve geliştirilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisindeki payının 2023 yılında %30 seviyesinde olması hedeflenirken, Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin hedefi ise 2020 yılı sonunda AB ülkelerinin toplam kurulu gücünün en az %20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasıdır [1]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok kullanılan ve üzerinde çalışılan güneş enerjisidir. Temiz bir enerji kaynağı olması, doğadan kolayca elde edilebilmesi ve gürültüsüz çalışması gibi etkenler güneş enerjisini cazip kılmaktadır [2]. Fotovoltaik (FV) sistemlerin kurulumu maliyetli olduğu için, önceleri elektrik enerjisinin iletilemediği ya da iletilmesinde güçlük çekilen yerlerde kullanılmıştır. Otoyolların aydınlatılması ve sinyalizasyonu, park ve bahçe aydınlatması, su pompaları ile ev ve küçük işyerleri gibi uygulamalarda tercih edilmiştir [3]. Her gün belirli saatlerde doğup batan güneşin dünyaya gönderdiği ışınlar elektrik enerjisine dönüştürülebilecek potansiyele sahiptir. Günümüzde yapılan bilimsel araştırmalar bu potansiyelden faydalanma oranını ve güneş panellerinden alınan verimi artırmak üzerine yoğunlaşmıştır. Güneş ışınlarının tamamı FV paneller tarafından elektrik enerjisine çevrilemediğinden, piyasada sıkça kullanılan paneller ancak ortalama %15-18 verimliliğe ulaşabilmektedirler [4]. FV panellerden elde edilen enerjinin veriminin artırılması, beraberinde sistem maliyetinin azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle, literatürde FV sistemler ile ilgili olarak çalışılan önemli bir konu da enerji verimliliğinin artırılmasıdır.

Temel olarak FV sistemlerin neredeyse tamamına yakınında; FV paneller, bir DC/DC dönüştürücü devre, bir inverter devresi ve bir kontrol bloğu bulunmaktadır. FV paneller çıkışta DC bir gerilim üretir. Bu gerilim, güneşten gelen ışığın şiddetine

ve panel sıcaklığına bağılı olarak değişmektedir. Sıcaklıktaki değişiklik FV panelin çıkış gerilimini, ışınımdaki dalgalanma ise FV panelin çıkış akımını etkiler [5,6]. Bu değişken ve düzensiz enerji, DC/DC dönüştürücü yardımıyla düzenlenerek sistemdeki DC yükleri besler ve AC yükler için DC/AC inverter yardımıyla AC enerjiye çevrilir.

Bir FV sistemde verimi etkileyen faktörlerin başında, FV panelin yapıldığı malzemenin cinsi gelmektedir. Bunun yanında, sürekli güneş takip ederek güneş ışınlarını dik açılarla almayı hedefleyen Güneş Takip Sistemleri (GTS), FV sistem verimini artırmak için kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu sistemler, güneş mekanik olarak geliştirilen ve motorlar yardımıyla kontrol edilen düzeneklerle takip ederler. Bir başka takip yöntemi ise FV sistem gücünün maksimum olduğu noktayı belirleyerek, bu noktayı geliştirilen bir algoritma yardımıyla elektronik olarak takip etmektir. Bu yöntemlere Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) yöntemleri denir. Maksimum güç noktasını yazılımsal olarak takip etmek, sisteme fazladan malzeme veya bakım yükü getirmeyeceğinden, FV panellerin çıkışındaki enerjinin verimini yükseltmenin en kolay ve kullanışlı yoludur. Bu nedenlerle, literatürde MPPT yöntemleri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bir FV sisteme MPPT uygulandığında, sistemden alınan enerjinin %45 daha fazla olduğu tespit edilmiştir [7].

FV sistemlerde verimli bir MPPT yöntemi seçimi, sistemde bulunan DC-DC dönüştürücü topolojisine bağılıdır. DC-DC dönüştürücüler, FV sistemde sadece çıkış gerilimini düzenlemek için veya MPPT için kullanılabilir [8]. Genellikle FV sistemlerde yükseltici (boost), düşürücü (buck) ve düşürücü-yükseltici (buck-boost) dönüştürücü topolojileri kullanılmaktadır.

FV sistemlerin kullanımı, güneş hücresi verimlerinin artması ve maliyetlerin azalmasıyla birlikte her geçen gün artmaktadır. Bu sebeple, tez çalışmasında, FV sistemlerde kullanılacak uygun MPPT yöntemlerinin geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesi üzerinde durulmuştur. Literatürdeki MPPT yöntemleri incelenmiş, söz konusu yöntemler maliyet, gerçekleştirilebilirlik, basitlik yönlerinden değerlendirilmiş ve uygulamada yaygın olarak kullanılanlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda yükseltici tip dönüştürücü topolojisi kullanılmış, önerilen dönüştürücü devresiyle yüksek verim elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında, literatürde yaygın olarak kullanılan MPPT teknikleri gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiş, bulanık mantık algoritmalarıyla gerçekleştirilen akıllı yöntemle kıyaslanmıştır. MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen simulasyon çalışmasıyla, bilinen MPPT yöntemleri ve önerilen bulanık tabanlı MPPT yöntemi incelenmiştir. Daha sonra bu yöntemleri uygulayabilmek için, laboratuvar ortamında deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. İncelenen yöntemler gerçek zamanlı olarak LabVIEW ortamında geliştirilen MPPT kontrol ve izleme yazılımı ile test edilmiş, elde edilen sonuçlar FV sistemin verimliliği ve kullanılabilirliği açısından analiz edilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde FV sistemlerin kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve güneşten gelen ışınların sadece küçük bir kısmının elektrik enerjisine dönüştürebilmesi, FV sistemlerin en önemli sorunudur. Artan enerji ihtiyacının fosil yakıtlardan karşılanması nedeniyle, hava kirliliği, çevre kirliliği, küresel ısınma ve sağlık tehditleri gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Mevcut MPPT yöntemlerini inceleyerek kıyaslamak, sınıflandırmak, gerçekleştirmek ve dolayısıyla FV sistemlerin veriminin yükseltilmesi çalışmalarına katkı sağlamak, bu tezin temel amacıdır.

Tez çalışmasında, FV sistemlerde MPPT yöntemlerinin, LabVIEW yazılımı ile birlikte gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmesi, bu yöntemlerin gerçek uygulamadaki performanslarının incelenmesi, bulanık mantık tabanlı uygun bir MPPT algoritmasının yine uygulamalı olarak geliştirilmesi ve elde edilen sonuçlara göre FV sistemlere uygun MPPT yöntemlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, laboratuvarında mevcut olan polikristal yapıdaki FV paneller, geliştirilen DC-DC yükseltici tip dönüştürücü devre ve oluşturulan gerçek zamanlı MPPT kontrol-algoritması ile birlikte, FV sistemler için uygun MPPT yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra, önerilen yükseltici tip dönüştürücü devresiyle, FV sistemlerde MPPT noktasının izlenmesinde, dönüştürücü devrelerin etkilerinin de incelenmesi amaçlanmıştır. MPPT yöntemleri incelenirken, hata payının daha az olduğu ve daha hızlı cevaplar verebilen yöntemlerin geliştirilmesi de amaçlanmıştır.

1.2 Tezin özgün değeri

Yenilenebilir enerjiye ve dolayısıyla güneş enerjisine olan talebin artmasıyla birlikte FV sistemler ve MPPT konularında yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Buna rağmen, FV sistemlerde MPPT çalışmalarının gerçek zamanlı ve deneysel olarak yapıldığı çalışma sayısı azdır. Tez çalışmasında, mevcut MPPT yöntemlerinin gerçek zamanlı olarak performansları incelenmiş ve mevcut yöntemlerdeki matematiksel modellerin karmaşıklığından kaynaklanan hataların giderilebilmesi için, bulanık mantık tabanlı ve gerçek zamanlı yeni bir MPPT kontrol yöntemi önerilmiştir. Ayrıca geliştirilen bulanık mantık tabanlı ve gerçek zamanlı MPPT kontrol yöntemi, tasarlanan yükseltici tip dönüştürücü devre ile birlikte değerlendirilerek, FV panel çıkışındaki verimin maksimum düzeyde artırılması hedeflenmiştir. MPPT konusunu algoritmalar ve dönüştürücüler açısından birlikte ele alması ve gerçek zamanlı olarak bulanık mantık tabanlı bir yöntemin uygulanması, tez çalışmasının özgün değerleridir.

1.3 Literatür Özeti

FV sistemlerde MPPT teknikleri konusunda literatürde çok sayıda çalışma vardır. Bu teknikler temel MPPT teknikleri, akıllı MPPT teknikleri ve hibrit MPPT teknikleri olarak 3 ayrı başlıkta incelenebilir. Temel MPPT teknikleri, FV panel parametrelerine bağımlı ya da bağımsız çalışabilir. Takip algoritmaları, FV panel parametrelerine göre veya FV panel akımı, gerilimi, gücü, sıcaklık, ışık şiddeti gibi değerlere göre oluşturulur. Son zamanlarda MPPT çalışmalarında bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi akıllı yöntemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Literatürde sunulan çok sayıdaki MPPT yöntemlerinin ayrı ayrı avantajları ve dezavantajları vardır. Bir MPPT yönteminin dezavantajını, başka bir MPPT yöntemi ile gideren hibrit MPPT yöntemlerinin sayısı da oldukça fazladır.

1.3.1 Temel MPPT yöntemleri

Temel MPPT yöntemleri, sabit parametrelere dayalı, matematiksel hesaba dayalı, ölçümlere dayalı veya karşılaştırmaya dayalı yöntemlerdir. Sabit parametrelere dayalı yöntemlerde, genellikle maksimum güç noktasını belirlemek için bir sabit değer veya maksimum güç noktasını temsil eden sabit bir referans güç değeri belirlenir. FV panelin parametreleri arasındaki MPP gerilim değerini referans kabul

ederek, panel çıkış gerilimini referans gerilime yaklaştırmaya çalışan yöntem, en basit MPPT yöntemlerinden birisidir [9].

FV panelin karakteristik açık devre gerilimi kullanılarak, Denklem 1.1 ile referans bir maksimum güç noktası geriliminin elde edildiği ve FV sistem çalışma noktasının bu gerilim değerine yakın tutulduğu bir çalışmada [10], yine panel parametresi kullanılarak çalışan bir MPPT yöntemi kullanılmıştır.

$$V_{ref} = k.V_{OC} \quad (1.1)$$

Bir başka çalışmada [11], gerilim sabit değerinde tutulmuştur ve FV panel gerilimi sürekli olarak kıyaslanarak MPP noktası aranmıştır. Sistemi MPP noktasına yaklaştırmak için DC-DC dönüştürücünün görev periyodu (duty cycle) ayarlanmıştır.

Ölçüm ve kıyaslamaya dayalı yöntemler en yaygın kullanılan MPPT çalışmalarıdır. Bu yöntemlere en güzel örneklerden birisi olan çalışmada [12], önceden hafızaya kaydedilen muhtemel hava koşullarına karşılık gelen olası maksimum güç noktaları referans kabul edilir. FV panelin çalışma gerilimi ölçülür ve hafızadan seçilen referans maksimum güç noktasındaki gerilimle karşılaştırılarak, sistemin bu noktada çalışması hedeflenir.

Kayıpsız bir sistem düşünülürse, FV sistem gücünü maksimum yapmak, yükün çıkış gücünü maksimum yapmak demektir. Bunun tam tersi de geçerlidir. Yani bir sistemde yük akımını veya yük gerilimini maksimum yapmak, o sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmak demektir. Yapılan bir başka çalışmada [13], kullanılan MPPT yöntemi, sistemdeki DC yük olan aküden alınan pozitif geri besleme ile FV panelden elde edilen gücü kıyaslayarak MPP noktasını yakalamaya çalışmaktadır. Sistemin hiçbir zaman kayıpsız olamayacağı düşünülürse, bu yaklaşım ile tam olarak maksimum güç noktasını yakalamak mümkün değildir.

MPPT metot ve algoritmaları ile ilgili yapılan araştırmaların çoğu Değiştir ve Gözle (P&O) Metodu ile ilgili olmaktadır [14]. P&O yöntemi temel olarak, arka arkaya yapılan ölçümlerle belirlenen FV sistem güç değerlerinin birbirleriyle karşılaştırılması prensibine dayanmaktadır. FV sistemin akım ve gerilim değerleri ölçülür ve güç değeri hesaplanarak kaydedilir. Bir sonraki çevrimde yeni bir güç değeri hesaplanır ve bu iki güç değeri kıyaslanır. Oluşturulan MPPT algoritması güçler ve gerilimler arasındaki değişimin yönüne göre FV sistem gerilimini ayarlayarak, sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmayı amaçlar [15].

Kolay uygulanabilirliği, kontrol bloğuna fazla işlem yükü bindirmemesi ve basitliği P&O yönteminin avantajlarıdır. Fakat bu yöntemin bazı dezavantajları da vardır. Örneğin, güneş işik Şiddetinin hızlı değişmesi karşısında P&O yöntemi maksimum gücü noktası takibinde kötü bir performans sergiler. Bunun yanı sıra MPP çevresine ulaştığında, tam olarak belirlenen noktada kalmayarak sürekli salınımlar yapması da yöntemin bir diğer dezavantajıdır [16].

Bir diğer P&O yönteminde, değişken olarak FV sistem çıkış gerilimi veya akımı yerine, sistemdeki DC-DC dönüştürücünün görev periyodu kullanılmıştır. Böylece klasik P&O yöntemine göre çalışma hızı artmıştır [17].

P&O yönteminde her bir döngüdeki adım aralığı çok önemlidir. Sabit adım aralığı ile geliştirilen algoritmalarda adım aralığı belirlenmesi, verimlilik ve hızı doğrudan etkiler. Bu problemleri aşmak için değişken adım aralıklı çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan diğer bir çalışmada [18], DC-DC dönüştürücü görev periyodunun ayarlanması işlemi adım aralığına göre yapılmıştır. FV panel çıkış gücü, bir önceki adım aralığı değerleriyle kıyaslanarak, bir sonraki adım aralığı ve maksimum gücü noktası aranmıştır.

Değişken adım aralığı kullanılan bir başka çalışmada [19], adım aralığı başlangıçta açık devre geriliminin %10'una ayarlanmıştır. Adım aralığı, açık devre geriliminin %0,5'lik değerine eşitlenene kadar, her bir döngüde adım aralığı bir önceki değerinin %50'si olarak seçilmiştir. Açık devre gerilimi değerine bağlı olması ve adım aralığının önceden matematiksel hesapla belirlenmesi bu çalışmanın dezavantajıdır.

P&O yönteminin önemli bir dezavantajı da, hızlı değişen işik Şiddeti karşısında sistemin verimsiz olmasıdır. Bu sorunu aşmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Güneş işinımı ve sıcaklığa bağlı olarak, oluşturulan FV sistem modeline göre bir maksimum gücü noktası hesaplayan ve bu noktayı kullanarak klasik P&O tekniğini kullanan bir yöntem ile [16] bu sorunun giderilmesine çalışılmıştır.

FV sistemlerde, P&O yönteminden sonra en yaygın kullanılan MPPT yöntemlerinden birisi, artırılmış iletkenlik (IC) yöntemidir. IC yönteminin alışması, FV panel çıkış gücünün, gerilime göre türevinin sıfıra eşit olmasına dayanır [20].

FV sistem gerilimi, FV panelin anlık iletkenliği ile artırılmış iletkenliğine dayanır. FV sistemin gücü-gerilim grafiğinde, gücü eğrisinin eğimi sıfır ise sistem maksimum gücü noktasında, eğim pozitifse sistem maksimum gücü noktasının solunda ve eğim

negatifse sistem maksimum güç noktasının sağındadır. Bu yöntem, maksimum güç noktası takibi için anlık iletkenlik ile artırılmış iletkenliği sürekli karşılaştırır ve buna göre kontrol algoritması çalışır. IC yöntemi, hızlı atmosferik şartların değişmesi karşısında P&O yönteminden daha verimlidir. Ancak P&O yönteminde olduğu gibi adım aralığı belirlenmesi dezavantajı vardır [21]. Adım aralığı sorununu çözmek için Liu vd., değişken adım aralığına sahip bir IC MPPT yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemle birlikte adım aralığı her döngü için belirlenmektedir.

Bu yöntemde görev döngüsü, matematiksel bir formüle dayanarak hesaplanmıştır. Bu formül Denklem 1.2’de gösterilmektedir.

$$D(k) = D(k - 1) \mp N * \left| \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \right|$$

(1.2)

Denklem 1.2’de $D(k)$ görev periyodunu, $D(k - 1)$ bir önceki görev periyodunu, N ölçekleme faktörünü, $P(k)$ gücü, $P(k - 1)$ bir önceki güç değerini, $V(k)$ gerilimi, $V(k - 1)$ bir önceki gerilim değerini ifade etmektedir.

1.3.2 Akıllı MPPT yöntemleri

Literatürde, MPPT yöntemlerinin akıllı yöntemler ile gerçekleştirilmesi konusunda oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Akıllı MPPT yöntemleri, daha verimli olmaları, maksimum güç noktasını yakalama hızlarının daha fazla olması ve maksimum güç noktasındaki dalgalanmaların daha küçük olması gibi avantajlarının yanında, kontrol bilgisi gerektirmesi ve pahalı olmaları gibi dezavantajlara da sahiptir [22]. FV sistemlerde MPPT yöntemleri konusunda yaygın olarak kullanılan akıllı yöntemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık algoritmaları ve genetik algoritmalarıdır [6].

Yapay sinir ağları, öğrenmeye dayalı algoritmalarıdır. Yapay sinir ağı algoritmalarının girişine FV sistem parametrelerinden seçilenler; çıkış değeri olarak görev döngüsü, maksimum güç, panel gerilimi gibi değerlerden seçilenler sisteme öğretilir. Bu şekilde, algoritmanın maksimum güç noktasını takip etmesi beklenir. Yapay sinir ağları ile MPPT konusunda yapılan bir çalışmada [23], açık devre gerilim değeri ile anlık zaman, çok katmanlı yapay sinir ağının girişleri olarak seçilmiştir. Çıkışta ise sistemin uygun gerilim değerini vermesi beklenir. Bu çalışma,

sıcaklık ve ışınım sensörü gibi malzemelere ihtiyaç duymadığından, basit ve etkili bir çalışmadır. Fakat açık devre gerilimini ölçmek amacıyla sensörlere ihtiyaç vardır.

Yapılan bir diğer çalışmada [24], yapay sinir ağı sistemine giriş verileri olarak güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, rüzgar hızı ve zaman parametreleri girilmiştir. Çıkış verisi olarak ta, maksimum güç değeri tahmin edilmiştir.

Younis vd., sıcaklık ve ışınım şiddetine bağlı olarak en uygun görev döngüsü değerini öngörebilmek için Levenberg–Marquardt (LM) algoritmasını kullanmışlardır. LM algoritması eğitilirken, giriş değerleri sıcaklık, ışınım şiddeti, kısa devre akımı sıcaklık sabiti ve açık devre gerilimi sıcaklık sabitidir. Çıkış değeri ise DC-DC dönüştürücüyü besleyen gerilim değeridir [25].

Farklı tiplerde yapay sinir ağları kullanmak sistemin verimliliğini doğrudan etkiler. “Radial Basis Function Network” (RBFN) ağlarının kullanıldığı çalışmada [26], bir RBFN ağı FV diziyi modellemeyi ve diğer RBFN ağı da maksimum güç noktasını bulmayı amaçlamıştır. MPPT ile görevli RBFN ağı, giriş değerleri olarak sıcaklığı ve güneş ışınım şiddetini kullanırken, çıkış değerleri olarak ta maksimum akım ve maksimum gerilimi kullanmıştır. Eğitim verileri, P&O MPPT yöntemini kullanan, Suudi Arabistan’daki şebekeye bağlı FV bir sistemden alınmıştır. Sonuçta RBFN modeli daha hızlı olmasına rağmen, güç çıkışında büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir.

FV sistemlerde MPPT konusunda yaygın olarak kullanılan akıllı yöntemlerden birisi de genetik algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar, doğrusal olmayan optimizasyon sorunlarına yüksek kaliteli çözümler üretir. Genetik algoritmalar yaygın kullanımına rağmen, genellikle maksimum güç noktası takibinde tek başlarına kullanılmazlar. Bunun sebebi takip hızlarının düşük olmasıdır. Bunun yerine, genetik algoritmalar diğer MPPT yöntemlerinin içerisine gömülerek, MPP noktasını yakalama hızını ve verimi arttıracak şekilde, hibrit olarak kullanılmaktadır [27].

Bulanık mantık algoritmaları, FV sistemlerde MPPT çalışmaları için en uygun optimizasyon tekniklerinden biridir. Bulanık mantık, kesin bir matematiksel modelleme gerektirmemesi, doğrusal olmayan değerlerde ve hatta kesin olmayan değerlerde iyi sonuçlar vermesi gibi avantajlara sahiptir [28]. MPPT yöntemleri konusunda en çok kullanılan akıllı yöntem, bulanık mantık algoritmalarıdır. Bulanık mantık ile gerçekleştirilen MPPT yönteminde giriş değişkenleri olarak güç-akım (P-

D) eğrisinin eğimi ve eğimin değişimi kullanılmıştır. Çıkış değişkeni ise görev döngüsündeki değişimdir [29]. Başka bir çalışmada, giriş değişkenleri görev döngüsündeki değişim ve güçteki değişim değerleri iken, çıkış ise bir sonraki adımın görev döngüsü değerindeki değişimdir [30].

Bulanık mantık tabanlı bir başka MPPT çalışmasında, giriş değerleri olarak FV panel gücündeki değişimin, FV panelden elde edilen akımdaki değişime oranı olan hata (E) ve hatadaki değişim (dE) verileri kullanılmıştır. Sistem çıkışında ise FV dizinin maksimum güç üretebileceği gerilim değeri incelenmiştir. MATLAB/Simulink ortamında benzetimi gerçekleştirilen çalışma, P&O yöntemiyle karşılaştırılmış, bulanık mantık ile gerçekleştirilen MPPT çalışmasının çok daha hızlı ve salınımların daha küçük olduğu verimli bir sonuç elde edilmiştir [31].

Noman vd., geliştirdikleri MPPT yönteminde bulanık mantık algoritmalarını kullanmışlardır. Giriş değişkenleri olarak gerilimdeki değişim (dV) ve güçteki değişim (dP) kullanılmıştır. Çıkış ise darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyaline uygulanan modülasyon sinyalidir. Giriş ve çıkış değerleri için beş bulanık seviye kullanılmıştır. Bu seviyeler; negatif küçük (NS), negatif büyük (NB), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS) ve pozitif büyüktür (PB). MATLAB/Simulink ortamında üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak, benzetim çalışması yapılmış ve önerilen teknik P&O yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta, önerilen tekniğin P&O yöntemine göre daha hızlı ve verimli olduğu görülmüştür. Ayrıca, P&O yönteminde maksimum güç noktası çevresinde oluşan salınımlar, önerilen yöntemde daha azdır [2].

Giriş değerlerinin yine FV panelden elde edilen gücün değişiminin, FV gerilimdeki değişime oranı olan hata (E) ve hatadaki değişim (dE) olduğu bir başka bulanık mantık tabanlı-MPPT çalışmasında [32], yedi bulanık seviye kullanılmıştır. Bunlar; negatif büyük (NB), negatif orta (NM), negatif küçük (NS), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS), pozitif orta (PM) ve pozitif büyük (PB) değerleridir. Daha fazla bulanık seviye kullanmak, sistem verimliliğinin artmasını beraberinde getirmektedir [33]. Kontrol algoritması çıkışı ise PWM sinyalinin görev döngüsünü ayarlamaktadır. Farklı sıcaklık ve ışık şiddeti değerlerinde simulasyon çalışması yapılmış, önerilen yöntemin maksimum güç noktası takibindeki veriminin %94,8 ile %99,4 arasında değiştiği görülmüştür.

1.3.3 Hibrit MPPT yöntemleri

Literatürdeki mevcut MPPT yöntemlerinin bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmak için, hibrit MPPT yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Hibrit MPPT yöntemleri, birden fazla yöntemi kullanarak maksimum güç noktasını takip eden yöntemlerdir. P&O yöntemi ve IC yönteminin birlikte kullanıldığı bir çalışmada [34], geliştirilen MPPT yöntemi, hızlı değişen atmosferik şartlarda temel yöntemlere göre daha iyi cevap vermiştir. Bunun yanında, sistemden alınan verim artmıştır. Bir başka çalışmada ise sabit gerilim tekniği ile P&O tekniği birlikte kullanılmıştır. Akımın düşük olduğu sabah ve akşam üstü saatlerinde, sabit gerilim tekniğinin avantajı kullanılmıştır [35].

P&O yöntemi en yaygın kullanılan MPPT yöntemidir. Fakat adım aralığı problemi sistemin verimliliğini etkilemektedir. Yapılan bir çalışmada [36], P&O yönteminin adım aralığı problemini ortadan kaldırmak için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ile P&O yöntemi işbirliği, maksimum güç noktası takibinde en çok aranan birlikteliktir [27]. MPPT çalışmasında [37], öncelikle yapay sinir ağı algoritması maksimum güç noktasını tahmin etmiştir. P&O yöntemi ise bu noktayı referans kabul ederek maksimum güç noktası takibini yapmıştır.

Boukezata vd., önerdikleri MPPT çalışmasında, bulanık mantık ile P&O yöntemini birlikte kullanmışlardır. P&O yönteminin hızlı değişen atmosferik şartlardaki sorununu çözmeyi hedeflemişlerdir. MATLAB yazılımı kullanılarak yapılan benzetim çalışmasında, sıcaklık değeri sabit tutulurken, ışıınım değeri 200 W/m^2 ile 1000 W/m^2 arasında değiştirilmiştir. Klasik P&O yöntemi ile karşılaştırıldığında, ışık şiddetinin değişimine oldukça hızlı cevap vermiştir [15].

Bir başka çalışmada yapay sinir ağları ile genetik algoritma (GA) birlikte kullanılmış [38], bir diğesinde ise bulanık mantık algoritmaları ile GA birlikte kullanılmıştır [39].

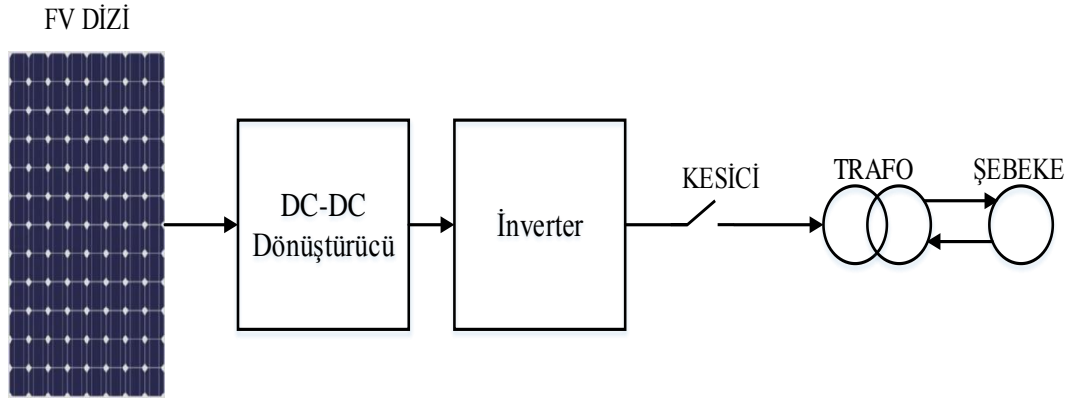
2. FV SİSTEMLERDE KULLANILAN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TİP DEVRELER

2.1 FV Sistemler

FV sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren ve kullanılabilir şekilde düzenleyen sistemlerdir. Güneşten gelen enerjiyi kendi bünyesinde elektrik enerjisine çeviren yarıiletken malzemeler FV panellerdir. FV panellerin ürettiği DC enerjiyi düzenleyen FV sistem elemanı DC-DC dönüştürücü, bu DC enerjiyi günlük yaşamda birçok alanda kullanılan AC enerjiye dönüştüren FV sistem elemanı ise inverterlerdir. FV sistemler, şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız sistemler olarak iki sınıfta incelenirler.

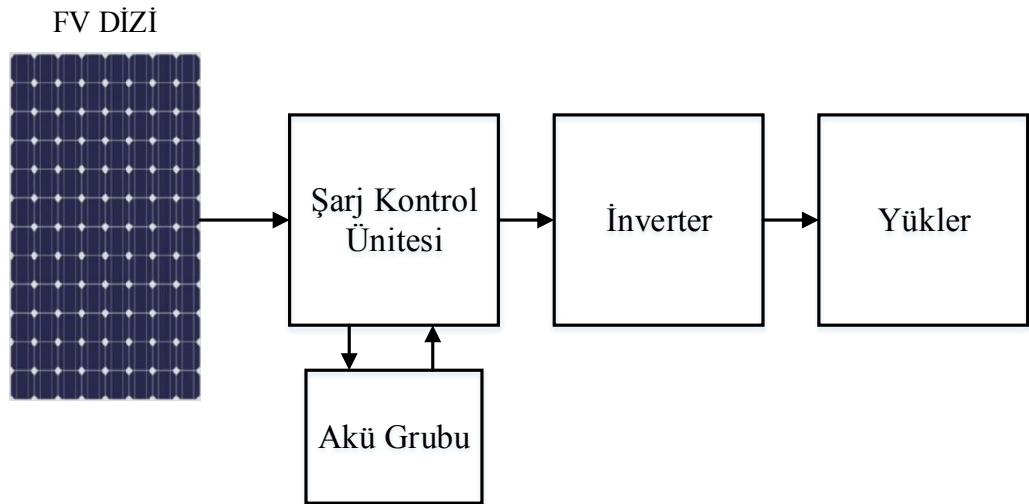
Şebeke bağlantılı (on-grid) FV sistemlerde, üretilen DC elektrik enerjisi DC yüklerde kullanılabilir ya da AC elektrik enerjisine çevrilerek AC yüklerde kullanılabilir. İhtiyaç fazlası enerji gerektiğinde mevcut elektrik şebekesine verilebilir. Aynı zamanda güneşlenme süresinin yetersiz olduğu zamanlar gibi güneşten üretilen elektriğin ihtiyaca yeterli gelmediği zamanlarda, şebekeden elektrik enerjisi

çekebilen sistemlerdir. Bu sistemlerde güç akışı çift yönlüdür. Şekil 2.1’de şebeke bağlantılı FV sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Şebeke bağlantılı FV sistem.

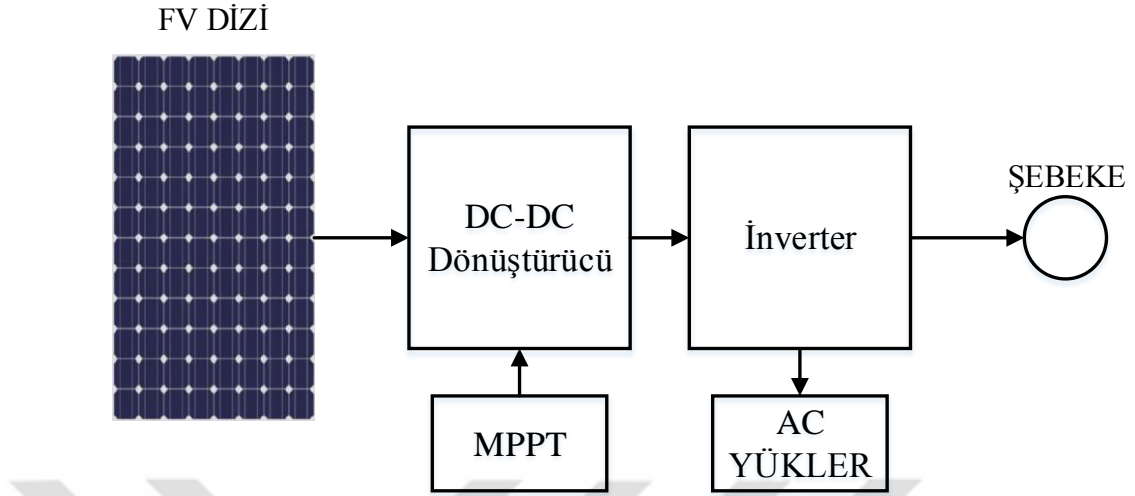
Şebekeden bağımsız (off-grid) FV sistemlerde elektrik şebekesinden bağımsız olarak (FV) panellerde üretilen elektrik enerjisi, şarj kontrol cihazlarında düzenlenerek akülerde depolanır. Akülerde depolanan DC enerji, inverterler ile AC elektrik enerjisi haline getirilerek kullanılır. Şebekeden bağımsız sistemler, güneş paneli, şarj kontrol cihazı, batarya ve inverterler olmak üzere 4 temel elemandan oluşur. Şekil 2.2’de şebekeden bağımsız FV sistemin genel prensip şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Şebekeden bağımsız FV sistem

Temel olarak bir FV sistemi; FV paneli, DC-DC dönüştürücü devresi, DC-AC inverter, yükler ve kontrol bloğundan oluşur. Güneşten gelen enerjili ışınlar, FV paneli yardımıyla DC elektrik enerjisine dönüştürülür. Daha sonra bu enerji DC-DC dönüştürücü devresi ile düzenlenir. Düzenlenen DC enerji, sistemdeki DC yükleri besler. DC-AC inverter yardımıyla güneşten üretilen ve düzenlenen DC enerji AC

enerjiye çevrilir. Sistemdeki AC yükleri besler ve üretilen elektrik enerjisinin fazlası şebekeye verilir. FV sistemin temel blok şeması şekil 2.3'te gösterilmiştir.

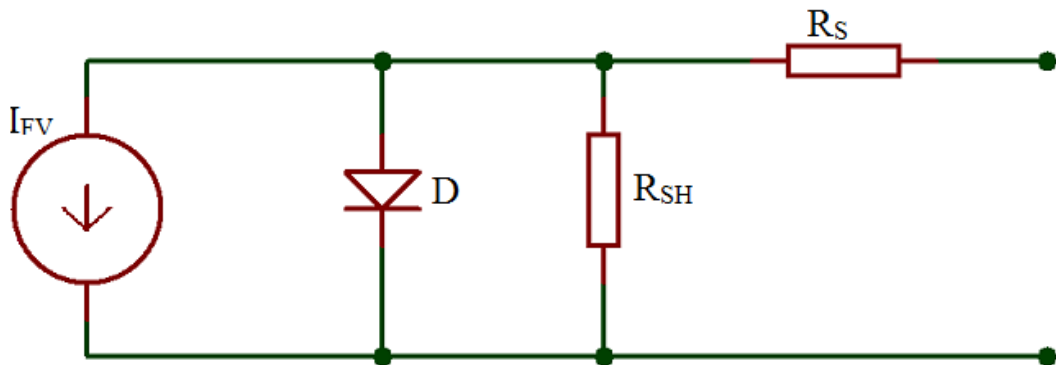


Şekil 2.3 : FV sistem genel blok şeması

MPPT yöntemleri, tüm bu FV sistemi mümkün olan en yüksek verimde çalıştırmayı hedefler. Kontrol bloğu ile birlikte DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanı kontrol edilerek, geliştirilen algoritmalarla birlikte sistemin verimi yükseltilir.

2.1.1 FV paneller

FV paneller güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren elemanlardır ve dolayısıyla FV sistemlerin en önemli elemanlarıdır. Temel yapı bloğu FV hücrelerdir. FV hücreler, fotoelektrik olay denilen ilkeye göre, enerjili foton parçacıklarına maruz kaldıklarında uçlarında elektriksel bir gerilimi oluşturur. FV hücreler diyotlara benzeyen yarıiletken malzemelerdir. Şekil 2.4'te bir FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devresi verilmiştir.

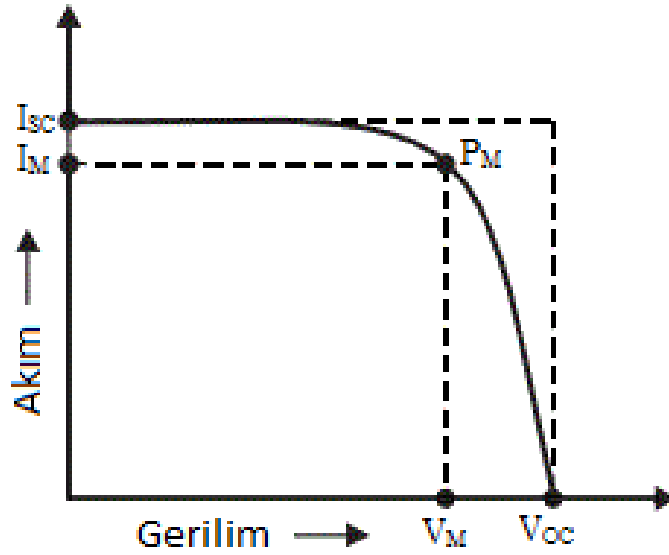


Şekil 2.4 : FV hücre tek diyotlu eşdeğer devresi.

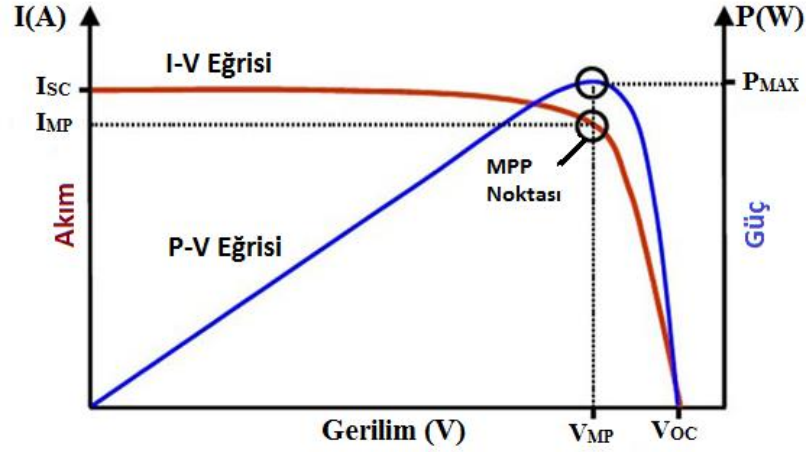
Burada I_{FV} , FV hücre tarafından üretilen akımı, R_S hücrenin iç direncini, R_{SH} direnci ise paralel kaçak akım direncini temsil etmektedir. Denklem 2.1'de FV hücre tek diyotlu eşdeğer devresi formülü verilmiştir [40].

$$I = I_{FV} - I_D - I_{SH} = I_{FV} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q}{k \cdot T_{FV}}(V + R_S \cdot I)} - 1 \right) - \frac{V + R_S \cdot I}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Burada I_{FV} , FV hücre tarafından üretilen akımı; R_S hücrenin iç direncini; R_{SH} paralel kaçak akım direncini; I_D diyot akımını; I_{SH} , R_{SH} üzerindeki akımı; q elektron yükünü; k Boltzman sabitini; T_{FV} sıcaklığı; I ise yüke aktarılan çıkış akımını göstermektedir. FV hücrenin MPP takibinde hücrenin akım-gerilim (I-V) karakteristik eğrisi son derece önemlidir. Bu eğri doğrusal olmayan bir matematiksel denklemle ifade edilebilmektedir. FV hücrenin I-V karakteristik eğrisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. I-V karakteristik eğrisinde maksimum güç noktası denilen tek bir nokta vardır. Bu nokta ışık şiddeti ve hücre sıcaklığına bağlı olarak değişir. MPPT yöntemleri I-V karakteristiğindeki dış etkenlere bağlı olarak sürekli değişen bu maksimum güç noktasını takip eden algoritmalarlardır. Bir FV hücrenin I-V karakteristiğine bağlı olarak güç-gerilim (P-V) karakteristiği Şekil 2.6'daki gibidir.



Şekil 2.5 : FV hücreye ait genel I-V karakteristik eğrisi.

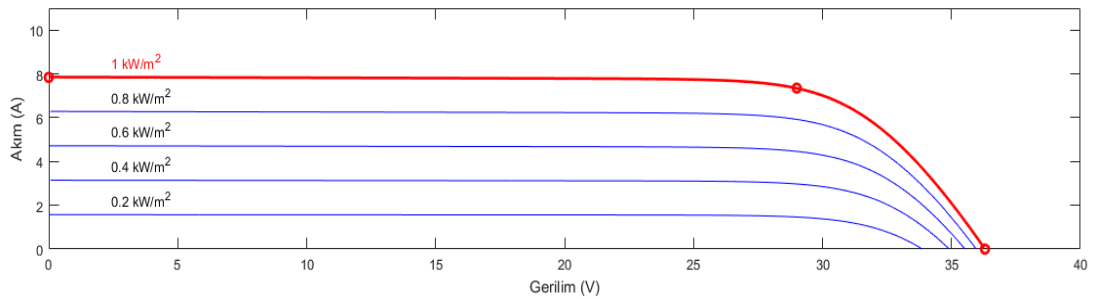


Şekil 2.6 : FV hücreye ait I-V ve P-V karakteristik eğrileri.

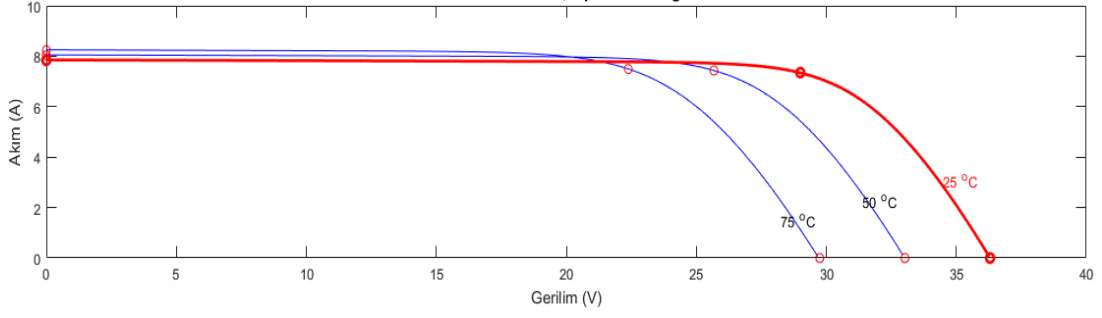
Yukarıda eşdeğer devresi ve karakteristik eğrileri verilen FV hücreler, akımı veya gerilimi artırmak amacıyla seri veya paralel olarak birbirlerine bağlanabilir. FV hücrelerin seri veya paralel olarak bağlanmasıyla FV modüller oluşur. Yine FV modüllerin seri veya paralel olarak birbirine bağlanmasıyla FV paneller meydana gelir. Daha büyük güçler için paneller seri veya paralel olarak bağlanarak FV dizleri oluşturulur.

2.1.2 MPPT kontrol bloğu

FV panellerin I-V karakteristik eğrisindeki maksimum güç noktasının bulunarak, tüm sistemin maksimum verimde çalıştırılması amaçlanır. Bu maksimum güç noktasının ışık şiddetine ve sıcaklığa bağlı olarak sürekli değişmesi, bu noktanın sürekli olarak takip edilmesini gerektirir. Sıcaklıktaki değişimler FV çıkış gerilimini, ışıınımdaki değişiklikler ise FV çıkış akımını etkiler [41,42]. Şekil 2.7'de Hareon HR-200W 24V FV panelin I-V eğrisinin sıcaklık ve ışık şiddetine bağlı olarak değişimi verilmiştir.



(a)



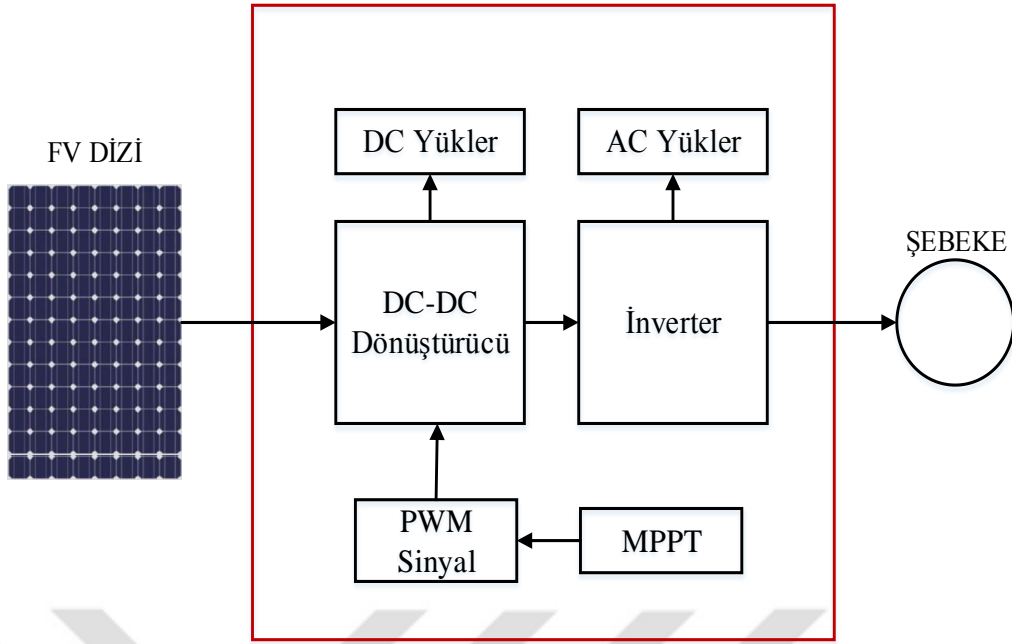
(b)

Şekil 2.7 : I-V eğrisinin değişimi: a) Işık şiddetiyle b) Sıcaklıkla

MPPT yöntemleri, FV sistemi maksimum verimlilikte çalıştırmayı amaçlayan takip algoritmalarıdır. Bunun için çeşitli hesaplamalarla veya ölçümlerle belirlediği MPP noktasını, geliştirilen algoritmalarla sistemin çalışma noktası haline getirir. Literatürde çok sayıda MPPT yöntemi geliştirilmiştir. Bu çeşitlilikteki temel amaç, sistem verimliliğini diğer yöntemlere göre daha da arttırmaktır. Bunun yanında yüksek verimlilikte çalışan MPPT yöntemleri yüksek maliyetleri beraberinde getirebilir. Bu sebeple yüksek verimin aranmadığı, nispeten daha küçük sistemler için uygun MPPT yöntemlerinin geliştirilmesi de bir diğer amaçtır. FV sistemlerde uygulanacak MPPT yöntemi seçilirken; uygulanabilirlik, sensör sayısı, verimlilik ve maliyet yönlerinden değerlendirilmelidir.

MPPT kontrol bloğu temel olarak, ölçüm kartları, veri işleme kartı ve MPPT algoritmasından oluşur. Ölçüm kartları ile gerilim, akım, sıcaklık, ışınım şiddeti gibi sistem parametreleri ölçülür. Veri işleme kartı ile ölçülen değerler geliştirilen yazılıma aktarılır. Seçilen yazılım programı ile oluşturulan MPPT algoritması, ölçülen giriş parametrelerini değerlendirir ve sistemi MPP noktasına yaklaştırmak amacıyla DC-DC dönüştürücünün görev periyodunu ayarlar.

FV sistemlerde MPPT algoritmaları, sistemin maksimum güç noktasına karar verdiğinde sistemi bu noktada çalıştırmak için DC-DC dönüştürücülere ihtiyaç duyar. Gerilimin veya akımın artırılıp/azaltılması, DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanına uygulanan PWM sinyalinin görev periyodunun ayarlanması ile gerçekleşir. Bu bağlantı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : FV sistem blok diyagramı ve DC-DC dönüştürücü ile MPPT ilişkisi.

2.2 FV Sistemlerde DC-DC Dönüştürücüler

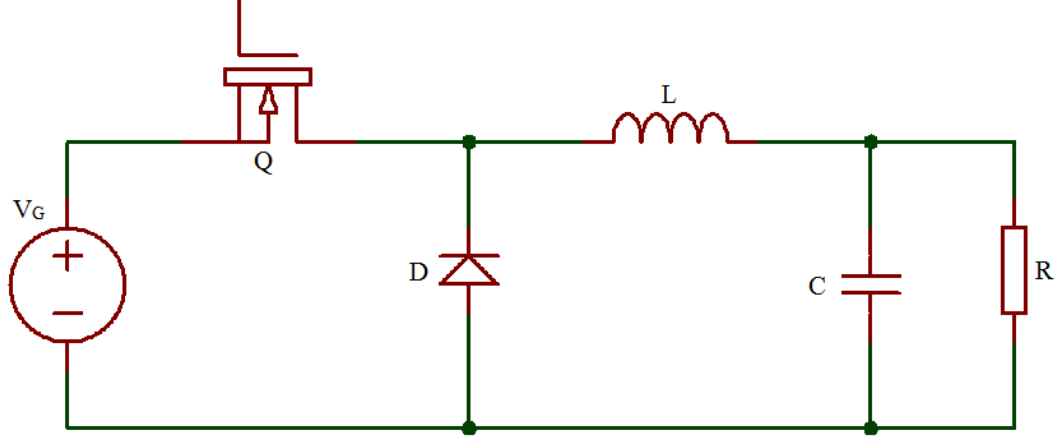
DC-DC dönüştürücüler, güç elektroniğinin önemli elemanlarından biridir. Bir kaynaktan gelen DC gerilimi yükselterek/alçaltarak veya düzenleyerek, sabit veya değişken DC gerilimler üreten elemanlardır. Çok sayıda DC-DC dönüştürücü tipi olmasına karşın, en bilinen ve FV sistemlerde sıkça kullanılan güç dönüştürücüleri; alçaltıcı (buck) tip dönüştürücüler, yükseltici (boost) tip dönüştürücüler ve alçaltıcı-yükseltici (buck-boost) tip dönüştürücülerdir [43].

MPPT uygulamalarında güç dönüştürücüleri, anahtarlama tip DC-DC dönüştürücülerdir. Dönüştürücü devresinde kullanılan anahtarlama elemanına uygulanan PWM sinyali, görev periyoduna göre çıkışı sabitleyebilmekte, arttırabilmekte, azaltabilmekte ve maksimum güç noktası takibini yapabilmektedir. Bu sebeple anahtarlama tip DC-DC güç dönüştürücüleri FV sistemlerde verimli şekilde kullanılmaktadır.

FV sistemlerde kullanılan yüksek kazançlı ve yüksek güçlü DC-DC dönüştürücülerde, anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanımı verimli sonuçlar vermektedir. Tam kontrollü olması, hızlı anahtarlama yapabilen bir güç elektroniği elemanı olması ve yüksek güçlerde çalışabilmesi MOSFET'lerin en önemli avantajlarıdır.

2.2.1 Alçaltıcı (Buck) tipi dönüştürücü devreler

Alçaltıcı tip dönüştürücüler, girişteki bir DC gerilimi, çıkışta istenen bir DC gerilime düşüren devrelerdir. Alçaltıcı tip bir dönüştürücüye ait eşdeğer devre Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 : Alçaltıcı tip bir dönüştürücüye ait temel eşdeğer devre.

Şekil 2.9'da gösterilen alçaltıcı tip dönüştürücü devresinde V_G giriş gerilimi, Q MOSFET, D diyot, L bobin, C kondansatör ve R yük direncidir. Gösterilen devre, Q MOSFET anahtarlama elemanının iletimde veya kesimde olması durumuna göre farklı şekilde davranır. MOSFET iletimdeyken devre L bobini üzerinden tamamlanırken, MOSFET kesim durumuna geçtiğinde, bobinde indüklenen akım D diyotu üzerinden akararak devre tamamlanır. Devrede kullanılan anahtarlama elemanına uygulanan sinyalin görev periyodu, dönüştürücünün çıkış gerilimini belirlemektedir.

Devrede anahtarlama elemanının iletimde olduğu durumda giriş gerilimi Denklem 2.2'de gösterildiği gibi olmaktadır.

$$V_G = V_L + V_C$$

(2.2)

Burada V_G giriş gerilimi, V_L bobin gerilimi ve V_C kondansatör üzerindeki gerilimdir. Buradan Denklem 2.3 elde edilir.

$$V_G = L \frac{di_L}{dt} + V_C$$

(2.3)

Burada L bobin değeridir. Denklem 2.3'ten, akımdaki değişim için aşağıdaki denklem 2.4 elde edilebilir.

$$\Delta I_L = \left(\frac{V_G - V_C}{L} \right) D \cdot T$$

(2.4)

Anahtarlama elemanın kesimde olduğu durumda gerilimler için aşağıdaki Denklem 2.5 yazılabilir.

$$0 = V_L + V_C$$

(2.5)

Buradan Denklem 2.6 elde edilir.

$$0 = L \frac{di_L}{dt} + V_C$$

(2.6)

Buradan hareketle akımdaki değişimi ifade eden Denklem 2.7 yazılabilir.

$$\Delta I_L = \left(-\frac{V_C}{L} \right) (1 - D)T$$

(2.7)

Anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu sürelerde akımdaki değişim eşit olmalıdır. Buradan Denklem 2.4 ve Denklem 2.7 birbirine eşitlendiğinde çıkış gerilimi için aşağıdaki ifade yazılabilir.

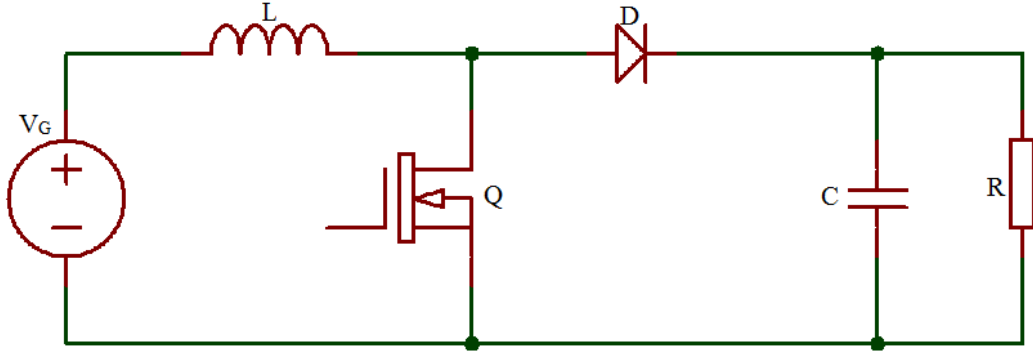
$$V_{\text{çıkış}} = D \cdot V_G$$

(2.8)

2.2.2 Yükseltici (Boost) tip dönüştürücü devreler

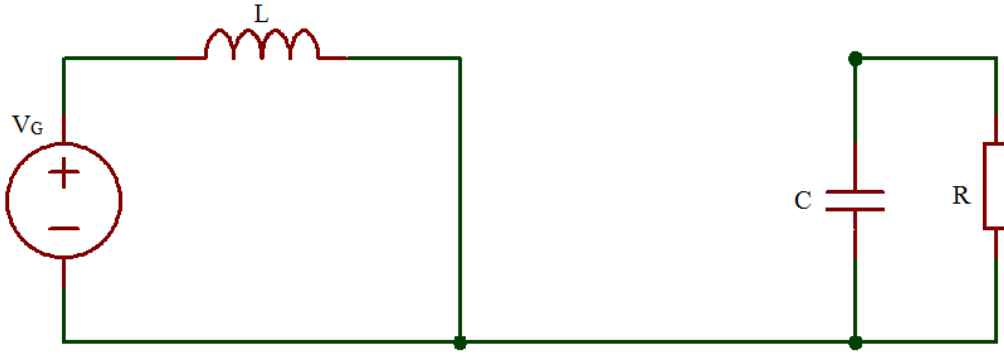
Yükseltici tip dönüştürücü devreler, girişteki bir DC gerilimi, çıkışta istenen bir DC gerilime yükselten dönüştürücülerdir. Yükseltici tip dönüştürücüye ilişkin temel eşdeğer devre Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

Şekil 2.10'da gösterilen yükseltici tip dönüştürücü devresinde V_G giriş gerilimi, Q MOSFET, D diyot, L bobin, C kondansatör ve R yük direncidir. Gösterilen devre, Q MOSFET elemanının iletimde veya kesimde olması durumuna göre farklı şekilde çalışır.



Şekil 2.10 : Yükseltici tip bir dönüştürücüye ait temel eşdeğer devre.

Anahtarlama elemanının iletimde olduğu birinci durum Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q iletimde)

Şekil 2.11’de gösterilen durumda, D diyotu kesimdedir ve L bobini giriş gerilimi üzerinden enerjilenmektedir. Devrenin yük direnci ise C kondansatörü tarafından beslenmektedir. Anahtarlama elemanının iletimde olduğu durumda gerilimler için aşağıdaki Denklem 2.9 yazılabilir.

$$V_{\text{çıkış}} = V_G + V_L \quad (2.9)$$

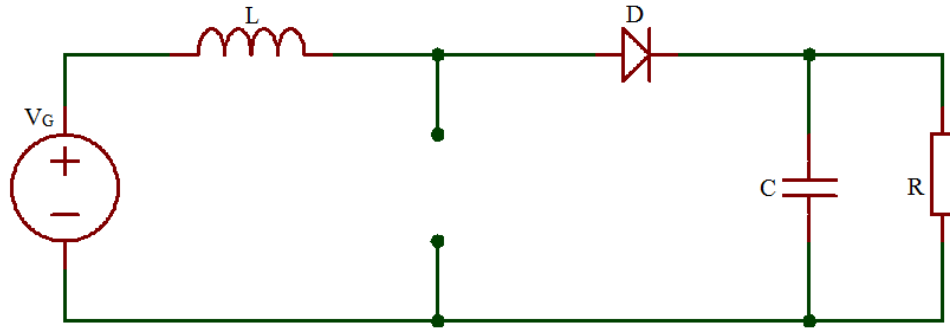
Denklem 2.9’da bobin gerilimi ifadesi yerine yazıldığında aşağıdaki Denklem 2.10 elde edilir.

$$V_{\text{çıkış}} = V_G + L \frac{di_L}{dt} \quad (2.10)$$

Devredeki MOSFET ve diyot elemanları üzerinde oluşan gerilim kaybını görmezden geldiğimizde, çıkış gerilimi için aşağıdaki Denklem 2.11 elde edilir.

$$V_{\text{çıkış}} = \frac{V_G}{1-D} \quad (2.11)$$

Anahtarlama elemanının kesimde olduğu ikinci durum Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

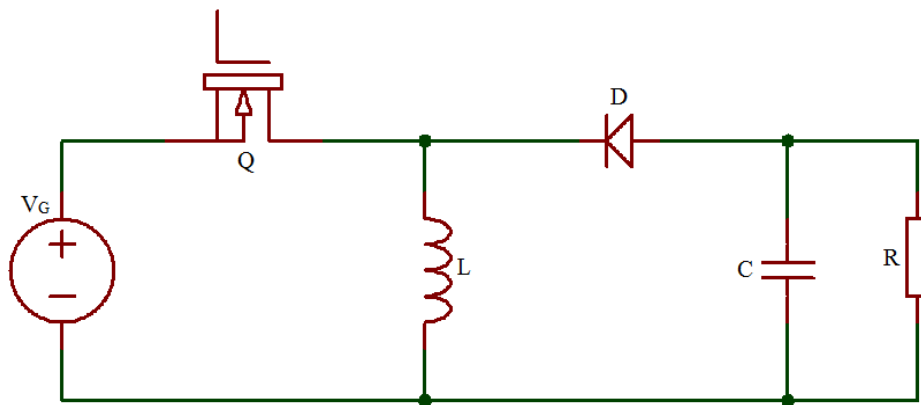


Şekil 2.12 : Yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q kesimde).

Şekil 2.12’de gösterilen durumda anahtarlama elemanı kesimdedir ve L bobini üzerinde D diyotu iletimdedir. C kondansatörü ve R yük direnci bobin üzerinden beslenmektedir. Anahtarlama elemanının iletimde olduğu durumda yük direncini besleyen ve enerjisini boşaltan kondansatör, anahtarlama elemanının kesimde olduğu durumda enerji depolar. Devrede kullanılan anahtarlama elemanına uygulanan sinyalin görev periyodu oranı, dönüştürücünün çıkış gerilimini belirlemektedir.

2.2.3 Alçaltıcı-Yükseltici (Buck-Boost) tip dönüştürücü devreler

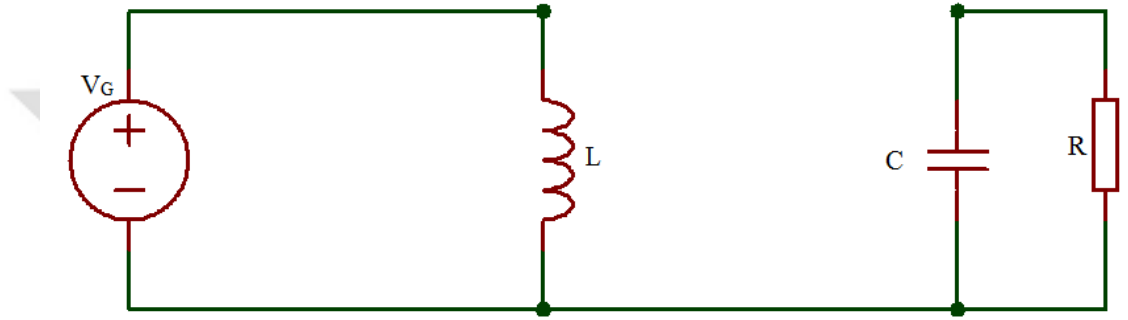
DC-DC dönüştürücüler arasında alçaltıcı-yükseltici (buck-boost) tip dönüştürücü devreler, iki yönlü kullanılabilir. Girişteki bir DC kaynaktan uygulanan gerilim değeri, devre çıkışında anahtarlama elemanı kullanılarak istenilen değere artırılıp azaltılabilir. DC-DC alçaltıcı-yükseltici tip dönüştürücü devrenin genel devre şeması Şekil 2.13’te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : DC-DC alçaltıcı-yükseltici tip dönüştürücü devrenin genel devre şeması.

Şekil 2.13'te gösterilen devrede V_G giriş gerilimi, Q MOSFET, D diyot, L bobin, C kondansatör ve R yük direncidir. Devrenin çalışmasında, anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu iki durum bulunmaktadır ve bu durumlar devrenin çıkış gerilimini belirlemektedir. Anahtarlama elemanının iletimde olduğu birinci durum Şekil 2.14'te gösterilmiştir.

Şekil 2.14'te gösterilen anahtarlama elemanının iletimde olduğu bu durumda L bobini kaynak üzerinden enerjilenmektedir. Devredeki yük, C kondansatörü tarafından beslenmektedir ve D diyotu kesimdedir.

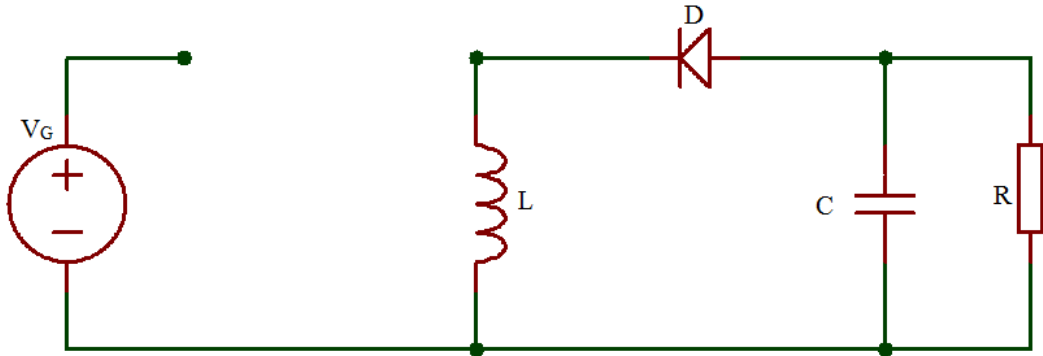


Şekil 2.14 : Alçaltıcı-yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q iletimde)

Anahtarlama elemanının iletimde olduğu Şekil 2.14'teki durumda gerilimler için aşağıdaki Denklem 2.12 yazılabilir.

$$-V_G + V_L = 0 \quad (2.12)$$

Anahtarlama elemanının kesimde olduğu ikinci durum Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Alçaltıcı-yükseltici tip DC-DC dönüştürücü çalışma durumu (Q kesimde).

Şekil 2.15'te gösterilen anahtarlama elemanının kesimde olduğu durumda, DC gerilim kaynağıyla bağlantı kesileceğinden, devre L bobini üzerinden beslenir. D diyotu iletimdedir. Anahtarlama elemanının iletimde olduğu durumda yük direncini besleyen kondansatör, ikinci durumda L bobini üzerinden beslenir. Devrede kullanılan anahtarlama elemanına uygulanan sinyalin görev periyodu oranı, dönüştürücünün çıkış gerilimini belirlemektedir.

Anahtarlama elemanının kesimde olduğu Şekil 2.15'teki durumda gerilimler için aşağıdaki ifade yazılabilir.

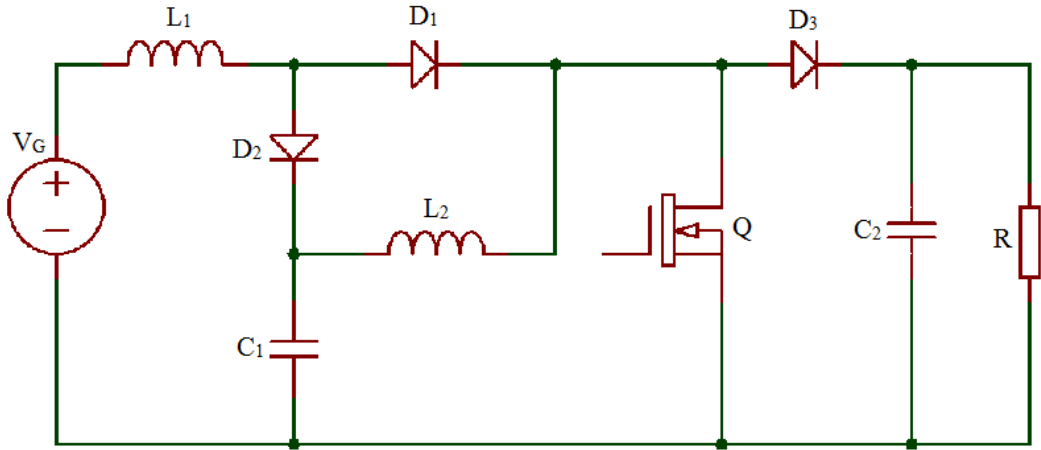
$$V_L + V_C = 0 \quad (2.13)$$

Alçaltıcı-yükseltici tip dönüştürücü devresi çıkış gerilimi, aşağıda gösterilen Denklem 2.14 ile elde edilebilir.

$$V_{\text{çıkış}} = \frac{D}{1-D} V_G \quad (2.14)$$

2.2.4 Önerilen Yükseltici tip dönüştürücü devresi

Bu tez çalışmasında kullanılan yükseltici tip dönüştürücü devresi Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Bu devrede giriş bobini ile anahtarlama elemanı arasında bir ön yükselteç bloğu kullanılmaktadır. Bu sayede temel boost dönüştürücü devresine oranla daha fazla güç kazancı sağlamaktadır.

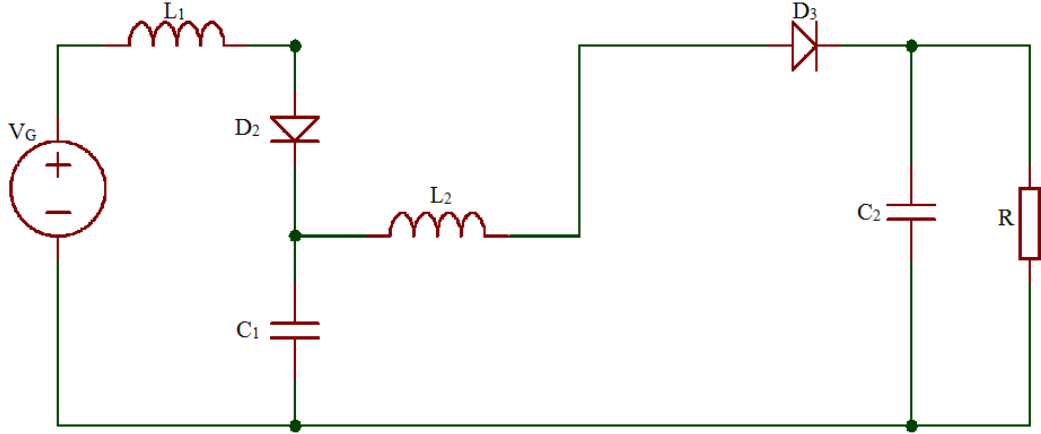


Şekil 2.16 : Önerilen yükseltici tip dönüştürücü devresi.

Şekil 2.16'da gösterilen yükseltici tip dönüştürücü devresinde, anahtarlama elemanının iletimde olduğu ve kesimde olduğu iki durum vardır. Anahtarlama elemanının iletimde olduğu durumda her iki bobin de enerjilenmektedir ve D₂ diyotu kesimdedir. L₁ bobini, D₁ diyotu ve anahtarlama elemanı üzerinden

enerjilenmektedir. L_2 bobini ise C_1 kondansatörü ve anahtarlama elemanı üzerinden enerjilenmektedir. Bu durumda C_1 kondansatörü depoladığı enerjiyi L_2 bobini üzerinden akıtmaktadır. C_2 kondansatörü ise R yük direncini beslemektedir.

Anahtarlama elemanının kesimde olduğu ikinci durum Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17 : Önerilen yükseltici tip dönüştürücü devresi (Q kesimde)

Şekil 2.17’de gösterilen anahtarlama elemanının kesimde olduğu durum incelendiğinde, L_1 bobininin C_1 kondansatörü üzerinde enerji kaybettiği görülmektedir. L_2 bobini ise D_3 diyotu üzerinden C_2 kondansatörünü ve yükü beslemektedir. Bu durumda D_1 diyotu kesim durumundadır. Devrede kullanılan anahtarlama elemanına uygulanan sinyalin görev periyodu oranı, dönüştürücünün çıkış gerilimini belirlemektedir.

Önerilen devrede kullanılan elemanların değerleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

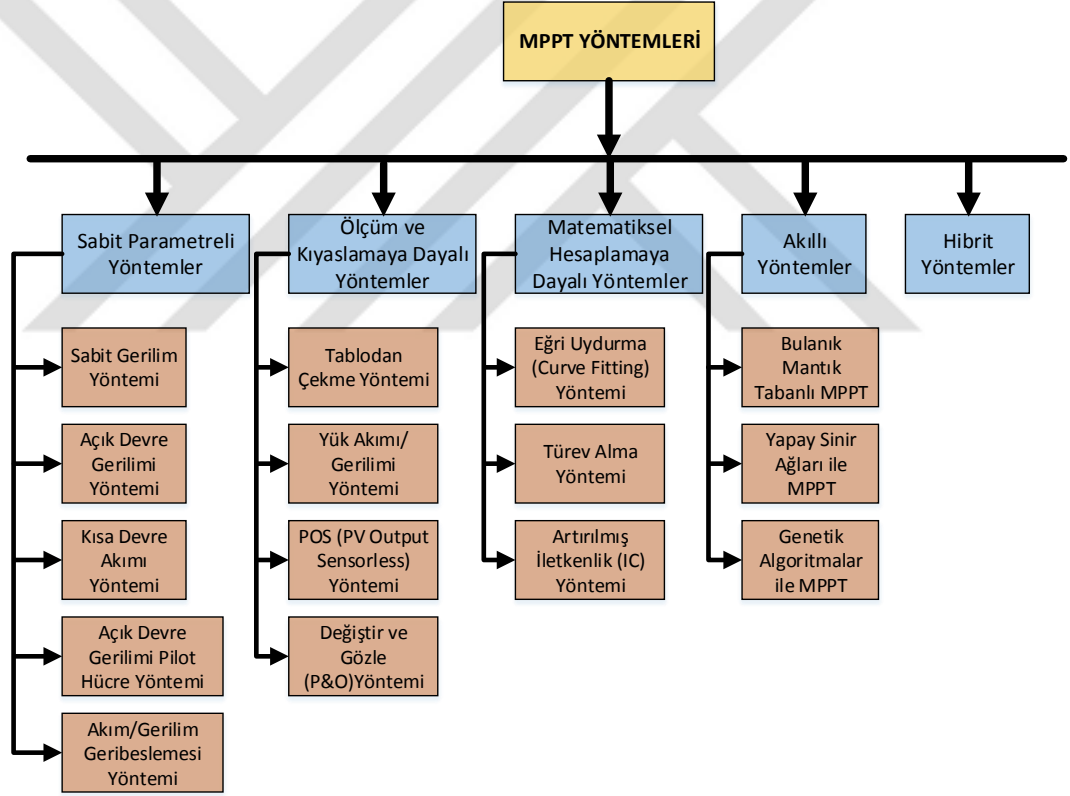
Çizelge 2.1 : Önerilen dönüştürücü devresi elemanları

L_1 ve L_2 bobinleri	C_1, C_2 ve C_3 kondansatörleri	Güç MOSFET’i	Anahtarlama frekans	Güç diyotları
330 μ H	5 μ F	IXTQ460P2	40 kHz	DESP15- 06A

3. FV SİSTEMLERDE KULLANILAN MPPT YÖNTEMLERİ

3.1 Mevcut MPPT Yöntemleri

FV sistemlerde kullanılan mevcut MPPT yöntemleri; sabit parametrelili yöntemler, ölçüm ve kıyaslamaya dayalı yöntemler, matematiksel hesaplamaya dayalı yöntemler, akıllı yöntemler ve hibrit yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Şekil 3.1’de MPPT yöntemlerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Mevcut MPPT yöntemlerinin sınıflandırılması.

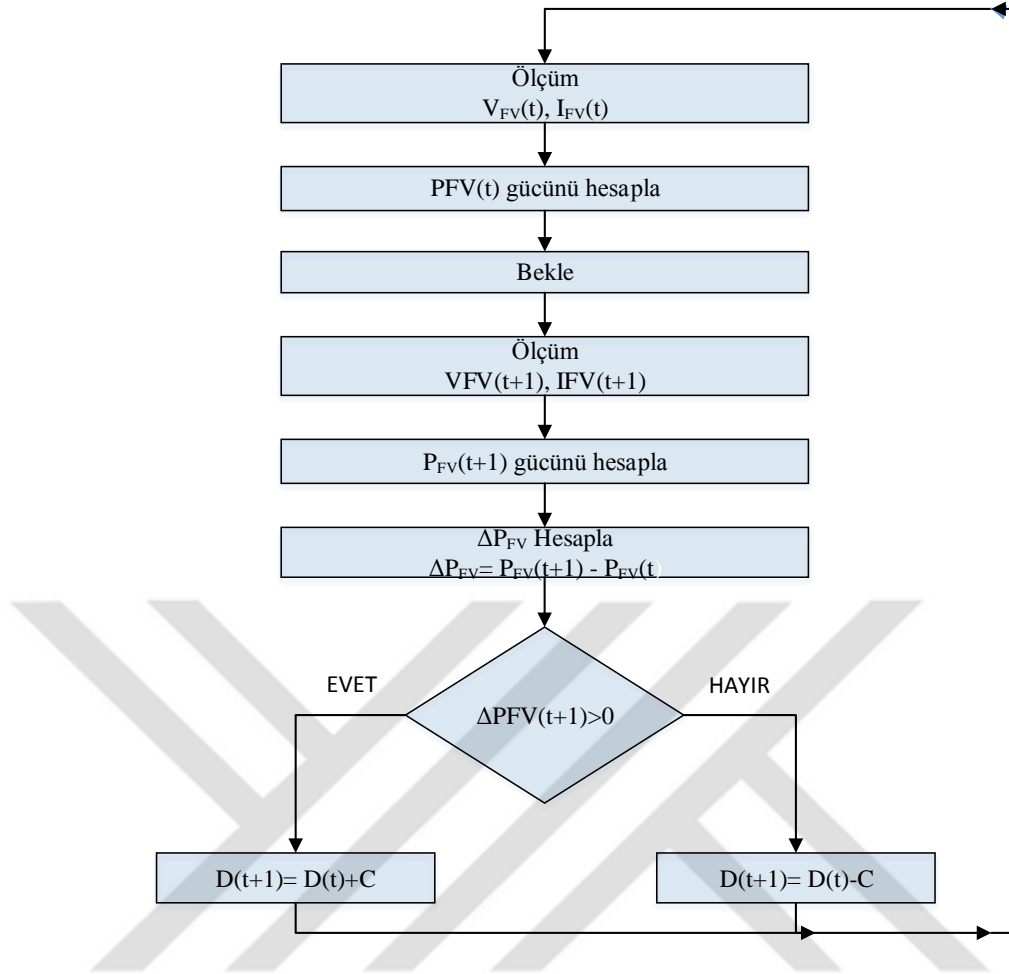
MPPT yöntemleri arasında en bilinen ve en yaygın kullanılan yöntemler Değiştir ve Gözle (P&O) ve Artırılmış İletkenlik (IC) yöntemleridir [44]. Literatürde bu iki yöntemin kıyaslanmasına dayanan çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Bunun yanında en yaygın kullanılan yöntem ise bulanık mantık algoritmalarını kullanan MPPT çalışmalarıdır.

3.1.1 Değiştir ve Gözle (P&O) yöntemi

P&O yöntemi ölüm ve kıyaslamaya dayanarak çalışır. FV sistem çıkış gücünün sıcaklık ve güneş ışığına bağlı olarak sürekli değiştiği bilinmektedir. Buradan yola çıkarak P&O yöntemi, çıkış gücünün ölçer ve bir önceki değerle kıyaslayarak maksimum gücü noktasına yaklaşma durumunu inceler.

P&O yöntemi, üzerinde çok çalışılan ve sürekli geliştirilen bir yöntemdir. Yöntemin temel çalışma mantığı Şekil 3.2’de gösterildiği gibidir.

Akış Şemasında da görüldüğü gibi temel olarak P&O yöntemi, başlangıçta FV panelin akım (I_{FV}) ve gerilimini (V_{FV}) ler. Daha sonra bu değerlere göre FV panelin gücünü hesaplar (P_{FV}). Bir evrim (t süre) sonra aynı işlemler tekrarlanır ve $P(t+1)$ gücü hesaplanır. Ölçülen bu gücü değerlerinin arasındaki farktan yola çıkılarak sistemin maksimum gücü noktasının sağında veya solunda olduğu belirlenir. Bu duruma göre algoritma DC-DC dönüştürücünün görev periyodunu arttırarak veya azaltarak sistemi maksimum gücü noktasında çalıştırır.



Şekil 3.2 : P&O MPPT yöntemi akış şeması

Şekil 3.2'deki akış şemasında da görüldüğü gibi, temel olarak P&O yöntemi, başlangıçta FV panelin akım (I_{FV}) ve gerilimini (V_{FV}) ölçer. Daha sonra bu değerlere göre FV panelin gücünü hesaplar (P_{FV}). Bir çevrim (t süre) sonra aynı işlemler tekrarlanır ve $P(t+1)$ gücü hesaplanır. Ölçülen bu güç değerlerinin arasındaki farktan yola çıkılarak, sistemin maksimum güç noktasının sağında veya solunda olduğu belirlenir. Bu duruma göre algoritma DC-DC dönüştürücünün görev periyodunu artırarak veya azaltarak sistemi maksimum güç noktasında çalıştırır.

P&O yöntemi, uygulamasındaki basitlik ve verimliliğinin yüksekliği sebebiyle avantajlı bir yöntemdir. Sadece akım ve gerilim sensörleri kullanılarak uygulanabilir. Bunun yanında sistem parametrelerine bağımlı olmaması en büyük avantajlarından biridir.

Tüm bu avantajlarının yanında, ani ışınım değişimine karşı hızlı cevap verememesi önemli bir sorundur.

3.1.1.1 P&O yöntemi ile sistem gücünün artırılması

FV hücrelerin lineer olmayan I-V karakteristik eğrilerinden yola çıkılarak, P&O yöntemi DC-DC dönüştürücü vasıtasıyla sistem gücünü artırıp azaltır. Bu durum Şekil 2.5'teki I-V karakteristik eğrisinde görülmektedir. Akım ve gerilim ölçümleri sonucunda gücün I-V karakteristik eğrisinden yola çıkılarak nasıl değiştirildiği Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : P&O algoritması özeti.

Değişim	Güçteki Değişim	Sonraki Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

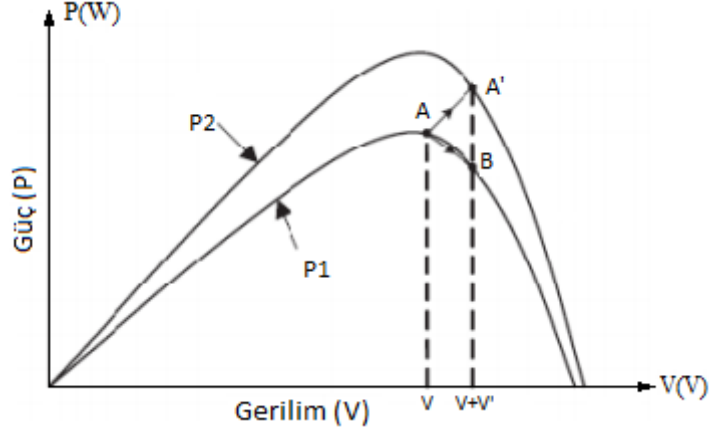
Eğer bir önceki adımda DC-DC dönüştürücünün görev periyodu arttırıldıysa ve beraberinde sistem gücü bir önceki değerine göre artış gösterdiyse, sistemin maksimum güç noktasının solunda olduğu anlaşılır ve görev döngüsü oranı arttırılmaya devam edilir. Fakat bir önceki adımda DC-DC dönüştürücü görev döngüsü oranı arttırıldıysa ve beraberinde sistem gücü bir önceki değerine göre azaldıysa, sistemin maksimum güç noktasının sağında olduğu anlaşılır ve görev periyodu azaltılır.

Önceki adımda DC-DC dönüştürücünün görev periyodu azaltıldıysa, sistem gücü bir önceki değerine göre artış gösterdiyse, sistemin maksimum güç noktasının sağında olduğu anlaşılır ve görev periyodu azaltılmaya devam eder. Eğer sistem gücü bir önceki değerine göre azaldıysa, sistemin maksimum güç noktasının solunda olduğu anlaşılır ve görev periyodu arttırılır.

3.1.1.2 P&O Yönteminde Sistemin MPP Noktasından Uzaklaşması

Şekil 3.3'te gösterildiği gibi FV sistem bazı durumlarda maksimum güç noktasından giderek uzaklaşır. Şekil 3.3'te sistemin A noktasında çalışırken atmosferik koşulların sabit olduğu kabul edilirse, DC-DC dönüştürücünün görev periyodu, çalışma noktasını B'ye getirecek ve güçteki azalma sebebiyle bir sonraki adımda ters yönde işlem yapılacaktır. Buna rağmen, ışık şiddetinin ani artması, güç eğrisini tek bir

örnekleme periyodu içinde P1 noktasından P2 noktasına getirirse, çalışma noktası A konumundan A' konumuna kayar. Bu durumda sistem, güç değerinde artış olmuş gibi davranır ve değişim aynı tutulur. Sonuç olarak çalışma noktası, maksimum güç noktasından uzaklaşır ve ışık şiddeti artmaya devam ettikçe de uzaklaşmaya devam eder.



Şekil 3.3 : P&O yönteminin MPPT noktasından uzaklaşması.

3.1.1.3 P&O Yöntemi Adım Aralığı Problemi

FV panelin P-V eğrisi göz önüne alındığında, P&O yöntemi eğri boyunca tırmanarak maksimum güç noktasına ulaşmayı hedefler ve bu nokta bir tanedir. Yöntem, P-V eğrisi üzerindeki hareketini yaparken belirli aralıkları takip eder. Adım aralığı dediğimiz bu aralıklar, sistem çalışma noktası maksimum güç noktası çevresinde olsa da, tam olarak noktayı bulamayıp, bu noktanın sağında ve solunda gezinir. Yöntemin en önemli dezavantajlarından birisi bu salınımlardır. Adım aralığını küçültmek, maksimum güç noktası çevresindeki salınımları azaltır. Fakat aynı zamanda adım aralığını küçültmek, P-V eğrisinde tırmanarak maksimum noktaya ulaşmayı geciktirir.

3.1.2 Artırılmış İletkenlik (IC) Yöntemi

Artırılmış iletkenlik (IC) yöntemi, maksimum güç noktasını matematiksel hesaplamalar yardımıyla bulur. FV sistemde P-V eğrisinin tepe noktası maksimum güç noktası olmasından dolayı sistem maksimum güç noktasındayken Denklem 3.1 yazılabilir [45].

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (3.1)$$

Bununla birlikte bir FV sistemin P-V eğrisi göz önüne alındığına eğimden yola çıkılarak, maksimum güç noktası için Denklem 3.2 yazılabilir.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \frac{dP}{dV} < 0 \quad \frac{dP}{dV} > 0 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'den yola çıkılarak Denklem 3.3 yazılabilir:

$$\frac{dP_{FV}}{dV_{FV}} = \frac{d(V_{FV}I_{FV})}{dV_{FV}} = I_{FV} + V_{FV} \frac{dI_{FV}}{dV_{FV}} = 0 \quad (3.3)$$

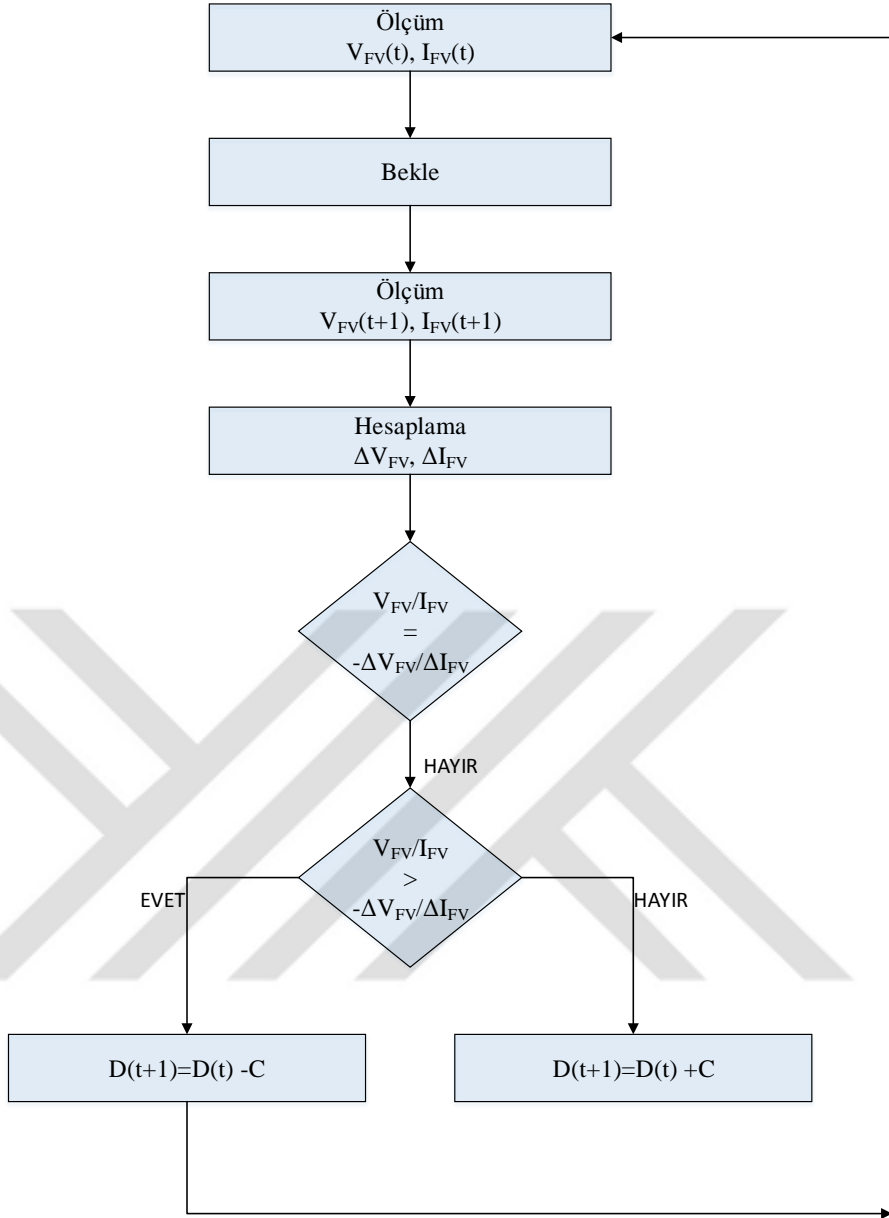
Buradan Denklem 3.4 elde edilmektedir:

$$\frac{V_{FV}}{I_{FV}} = - \frac{dV_{FV}}{dI_{FV}} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te gösterilen ifadede, eşitliğin sol tarafındaki terim anlık iletkenlik değerini, eşitliğin sağ tarafındaki terim ise artan iletkenliğin tersini ifade etmektedir. Artan iletkenlik değeri, anlık iletkenliğin belirli aralıklarla ölçülen değerindeki değişimlerine yaklaşık kabul edilirse, maksimum güç noktası için Denklem 3.5'teki bağıntı yazılır.

$$\begin{aligned} \frac{V_{FV}}{I_{FV}} &= - \frac{\Delta V_{FV}}{\Delta I_{FV}} && \text{MPP noktasında} \\ \frac{V_{FV}}{I_{FV}} &< - \frac{\Delta V_{FV}}{\Delta I_{FV}} && \text{MPP noktasının solunda} \\ \frac{V_{FV}}{I_{FV}} &> - \frac{\Delta V_{FV}}{\Delta I_{FV}} && \text{MPP noktasının sağında} \end{aligned} \quad (3.5)$$

IC yöntemi eşitliklerle belirtildiği gibi maksimum güç noktası takibi için matematiksel hesaplama kullanır. Hesaplamalarla maksimum güç noktasını belirler ve FV sistemin P-V eğrisi üzerinde tepe tırmanma algoritması olarak çalışır. IC yönteminin çalışmasını gösteren akış şeması Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : IC MPPT yöntemi akış şeması

Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, IC yöntemi başlangıçta I_{FV} ve V_{FV} değerlerini ölçmektedir. Bir örnekleme periyodu sonrasında aynı ölçüm tekrarlanmaktadır ve I_{FV} ve V_{FV} değerlerinin değişimleri (ΔI_{FV} ve ΔV_{FV}) üzerinden algoritma çalışmaktadır. Anlık iletkenlik ile artırılmış iletkenlik değeri kıyaslanarak maksimum güç noktası bulunur ve DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanının görev periyodu kontrol edilerek, sistemin maksimum güç noktasında çalıştırılması amaçlanır.

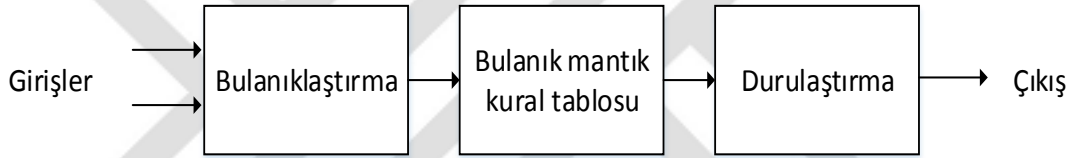
IC yöntemi, P&O yöntemine benzer şekilde, adım aralığına bağlı olarak maksimum güç noktası çevresinde salınımlar yapmaktadır. Adım aralığının büyük olması takip hızını artırırken, sistem verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanında

karmaşık bir kontrol devresi gerektirmesi IC yönteminin bir diğer dezavantajıdır [46].

3.1.3 Bulanık Mantık Kullanan MPPT Yöntemleri

Bulanık mantık, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan sistemler için basit ve verimli doğası nedeniyle, mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanıma sahiptir [47]. Kesin olmayan girdilerle çalışabilmesi, doğrusal olmayan durumlardaki yüksek verimi, karmaşık bir matematiksel model gerektirmemesi ve kolay tasarımı gibi avantajları sayesinde bulanık mantık, en verimli ve en etkili MPPT yöntemlerinden birisidir [48].

Bulanık mantık ile geliştirilen MPPT yöntemleri, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi temel olarak üç bölümden oluşur. Bunlar; bulanıklaştırma, kural tabanlı tablo oluşturulması ve durulaştırma aşamalarıdır.



Şekil 3.5 : Bulanık mantık genel blok şeması.

Bulanık mantık ile MPPT çalışmalarında, giriş değeri olarak FV sistemin istenilen parametrelerinden biri veya birkaçı seçilebilir. Bulanık mantık ile gerçekleştirilen MPPT çalışmalarında, genellikle iki giriş ve bir çıkış değeri seçilmektedir [49].

İlk aşama olan bulanıklaştırma aşamasında, FV sistem parametrelerinden veya ölçüm değerlerinden seçilen giriş değerleri, üyelik fonksiyonlarıyla birleştirilerek bulanık mantık dilsel değişkenlerine dönüştürülür. Sistem parametrelerinden seçilen giriş değerlerini bulanık mantık dilsel değişkenlerine çevirirken öncelikle her bir giriş değeri için üyelik fonksiyonarı belirlenmektedir. Üyelik fonksiyonları belirlendiğinde, bulanık mantık sistemi, gerçek zamanlı bir giriş verisini belirlenen üyelik fonksiyonuyla birlikte işleme sokarak, bulanık mantık dilsel değişkenini oluşturmaktadır.

Bulanık mantık ile MPPT yöntemi çalışmasında dilsel değişkenler olarak; negatif küçük (NS), negatif büyük (NB), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS) ve pozitif büyük (PB) değerleri kullanılmıştır. Dilsel değişkenlerin sayısının artırılması sistem verimliliğini

arttırmaktadır. Ancak bunun yanında, sistemi karmaşıklaştırmakta ve takip hızını düşürmektedir [50].

Bir bulanık mantık sisteminde üyelik fonksiyonlarının değer aralığı 0 ile 1 aralığındadır [51]. Bu değer aralığındaki değişimin her bir öge için değeri üyelik derecesi, üyelik derecelerinin değişimleri ise üyelik fonksiyonları olarak adlandırılır.

Bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminin ikinci adımı, kural tabanlı tablonun belirlenmesidir. Bu kurallar hangi durumda hangi kontrol durumunun gerçekleşeceğini belirlemektedir. Kısacası, çıkış değerini belirlemek için bulanık giriş değerlerine uygulanan kuralların olduğu bölümdür.

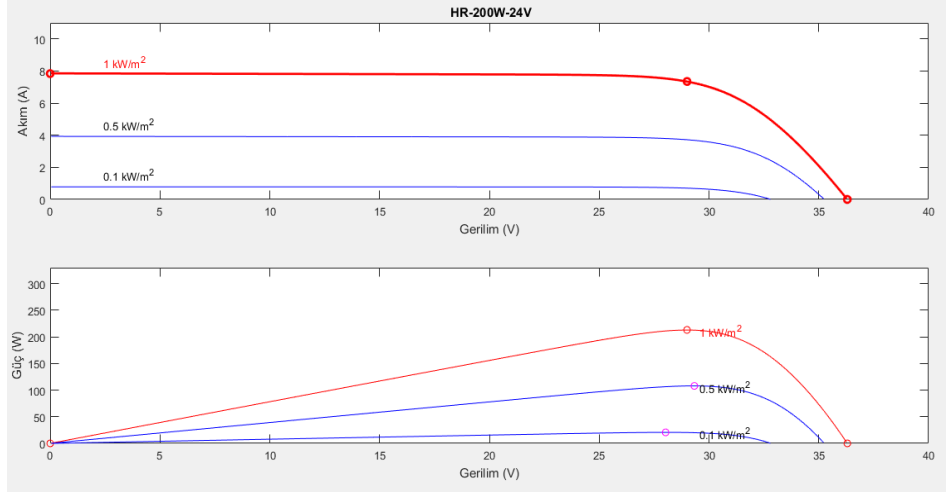
Bulanık mantık ile MPPT çalışmasının son aşaması ise durulaştırma. Bu bölümde bulanık mantık dilsel değişkenlere dönüştürülerek belirlenen kurallardan geçirilen değerler, tekrar matematiksel değişkenlere çevrilerek sistem çıkışı olarak kullanılmaktadır.

3.2 MPPT Yöntemlerinin MATLAB/Simulink ile Gerçekleştirilmesi

Bu bölümde, MATLAB/Simulink programı kullanılarak, P&O, IC ve bulanık mantık ile MPPT yöntemlerinin benzetimi yapılmış ve yöntemlerin çalışma performansları incelenmiştir. FV sistem modelinde, deneysel uygulamada kullanılan Hareon marka HR-200W-24V tip FV modül kullanılmıştır. FV modül I-V ve P-V eğrileri, ışık şiddetine bağlı olarak değişimleriyle birlikte Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Burada I, akım; V, gerilim ve P, Denklem 3.6'da hesaplandığı gibi güçtür.

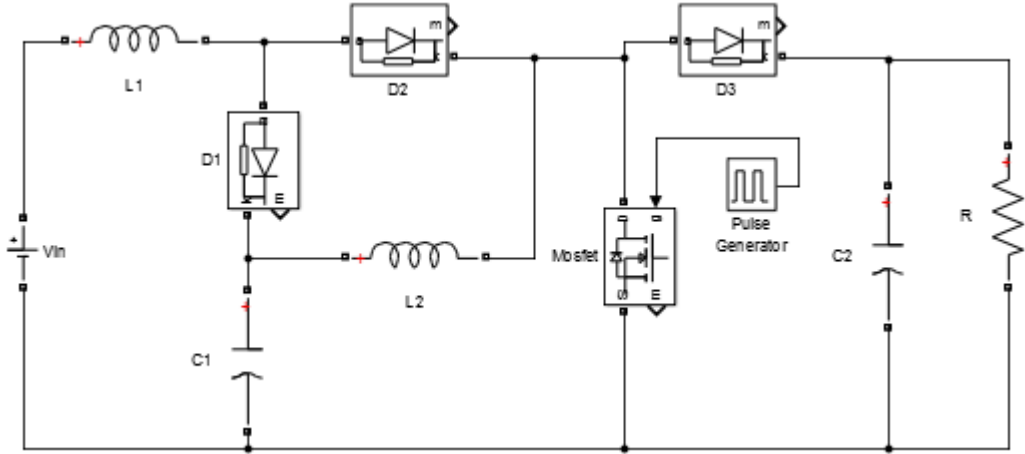
$$P = V \cdot I$$

(3.6)



Şekil 3.6 : HR-200W-24V tip FV modül karakteristik eğrileri

Önerilen DC-DC yükseltici tip dönüştürücünün MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş modeli Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

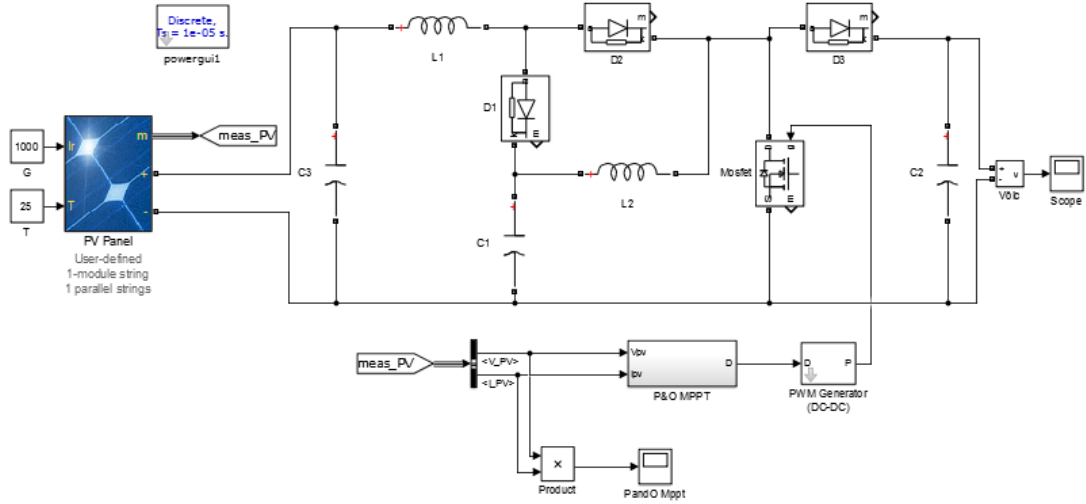


Şekil 3.7 : Önerilen DC-DC yükseltici tip dönüştürücünün modeli

Örnek çalışmada kare dalga üretici kullanılarak MOSFET anahtarlanmıştır. Bu işlemde görev periyodu oranı sabit 0,5 seçilmiştir. Devreye uygulanan anahtarlama frekansı 40 kHz’dir.

3.2.1 P&O MPPT Yöntemi Modeli

Bu bölümde, sabit adım aralıklı P&O MPPT yönteminin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen DC-DC dönüştürücü devresi MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanına uygulanan kontrol sinyali, MATLAB ortamında yazılan P&O MPPT algoritması ile belirlenmiştir. Oluşturulan model Şekil 3.8’te gösterilmiştir.



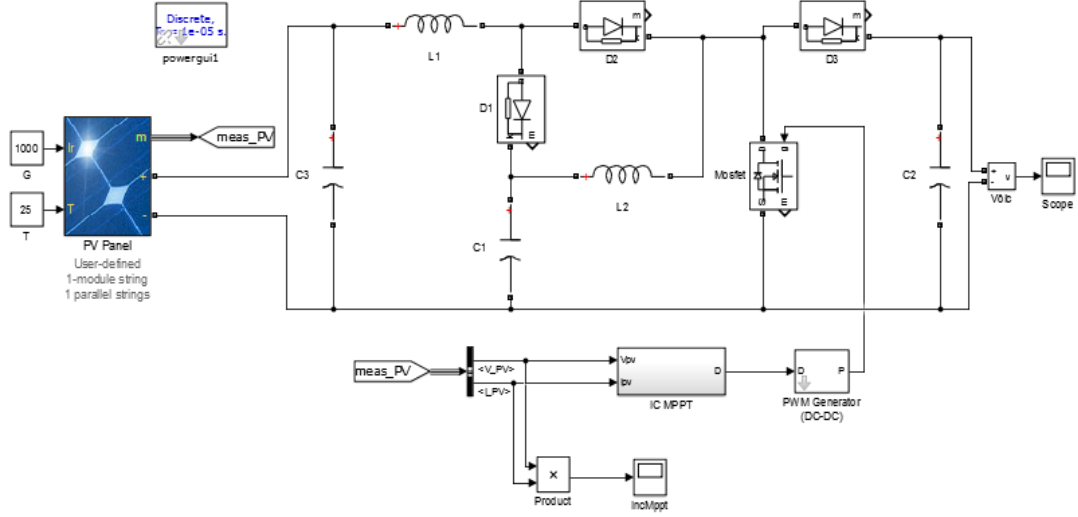
Şekil 3.8 : P&O MPPT yönteminin modeli.

MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen P&O ile MPPT çalışmasında görev periyodu oranı değeri başlangıçta 0,5 olarak belirlenmiştir. Daha sonra P&O algoritmasının belirlediği artma veya azalma işlemi, her bir örnekleme periyodunda gerçekleşmiştir. Arttırma ve azaltma işleminde adım aralığı sabit olarak belirlenmiştir.

3.2.2 IC MPPT Yöntemi Modeli

Bu bölümde sabit adım aralıklı IC MPPT yöntemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen DC-DC dönüştürücü devresi MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanına uygulanan PWM sinyali, MATLAB ortamında yazılan IC MPPT algoritması koduyla belirlenmiştir. Oluşturulan sistem Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen IC yöntemi ile MPPT çalışmasında, görev periyodu oranı değeri başlangıçta 0,5 olarak belirlenmiştir. Daha sonra IC algoritmasının belirlediği artma veya azalma işlemi her bir örnekleme periyodunda gerçekleşmiştir. Arttırma ve azaltma işleminde adım aralığı sabit olarak belirlenmiştir.

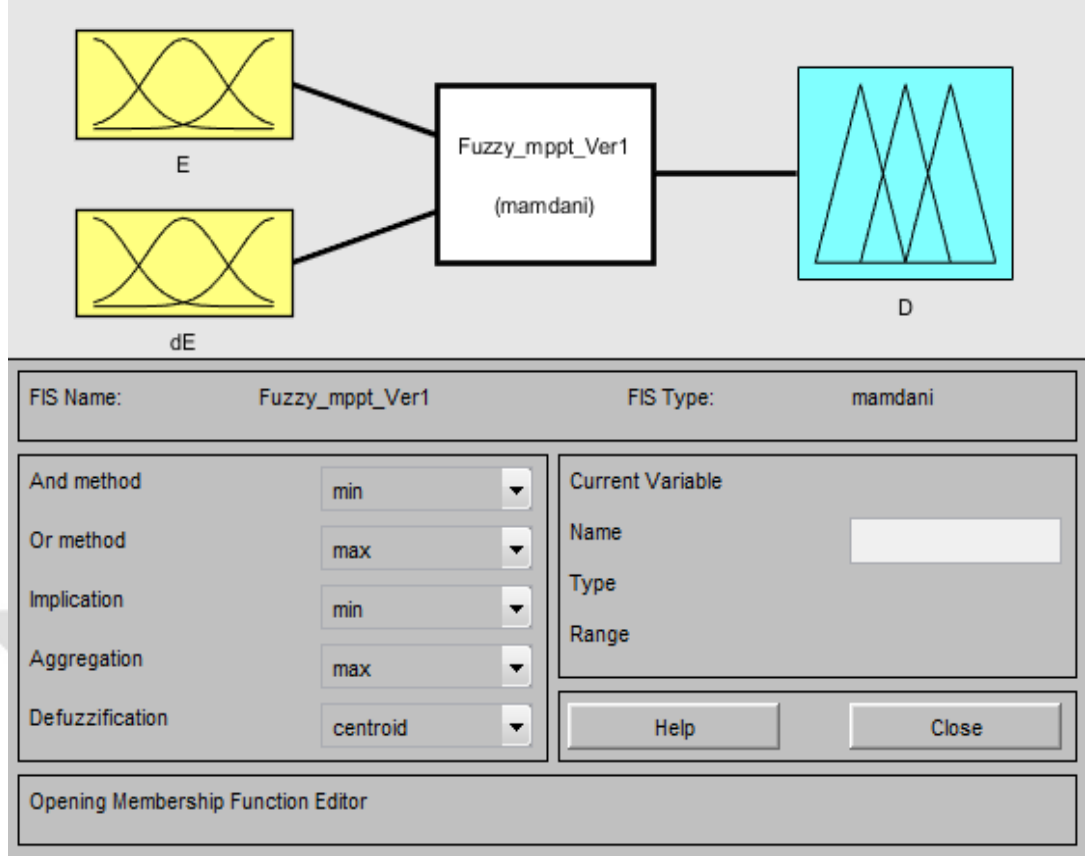


Şekil 3.9 : IC MPPT yönteminin modeli.

3.2.3 Bulanık Mantık Tabanlı MPPT yöntemi Modeli

Bu bölümde, sabit adım aralıklı bulanık mantık algoritması ile MPPT yöntemi benzetimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen DC-DC yükseltici dönüştürücü devresi modellenmiş ve MPPT yöntemi uygulanmıştır.

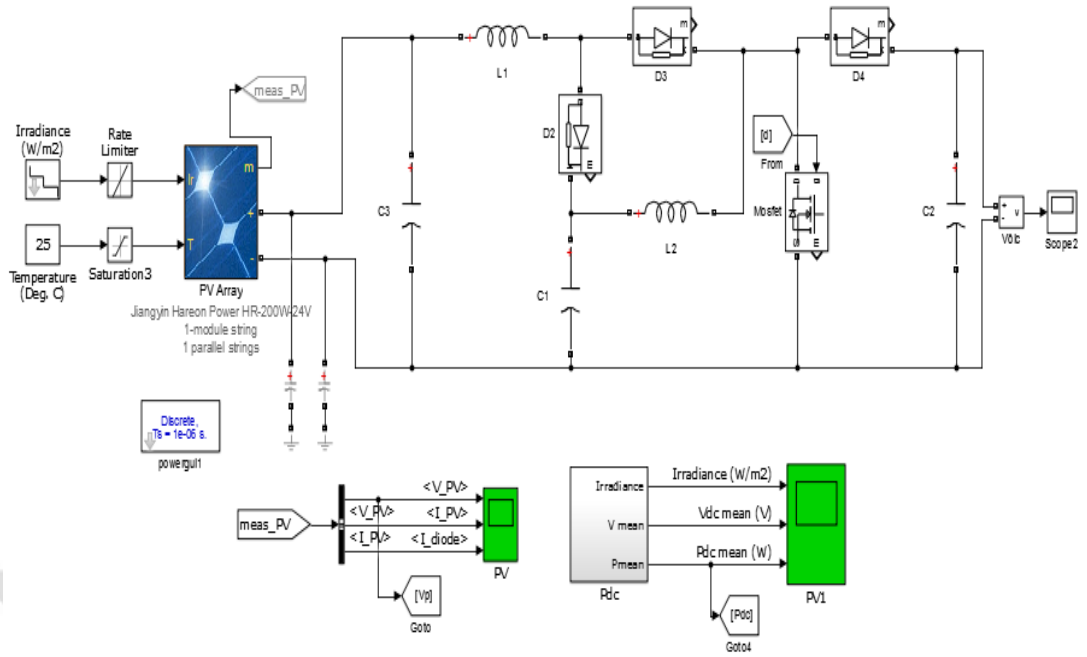
Bulanık mantık sistemi, iki giriş ve bir çıkış olarak tasarlanmıştır. Üyelik fonksiyonları üçgen üyelik fonksiyonları olarak seçilmiştir. Sistemin giriş ve çıkışlarının MATLAB arayüzündeki görünümü Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Giriş değerleri, hata (E) ve hatanın değişimi (dE) olarak tanımlanmıştır. Çıkış değeri ise sisteme uygulanacak PWM sinyalinin görev periyodudur (D).



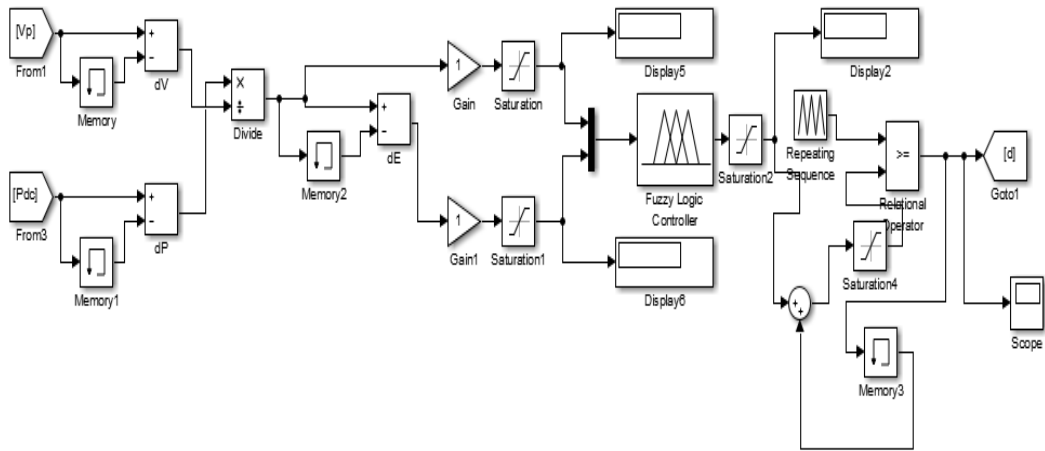
Şekil 3.10 : Bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemi giriş-çıkış değişkenleri.

Oluşturulan bulanık mantık tabanlı MPPT sistemi, FV panelden gelen akım ve gerilim bilgisinden yola çıkarak ürettiği E ve dE girişlerini, üyelik fonksiyonlarıyla birlikte bulanık mantık dilsel değişkenlerine dönüştürmektedir. Bu girişler oluşturulan kural tablosu ile birlikte sistemin karar verdiği uygun çıkış değerini vermektedir. Çıkış değeri D, modellenen DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanına uygulanır ve sistemin maksimum güç noktasında çalışması amaçlanır. Şekil 3.11, MATLAB/Simulink ortamında modellenen FV sistemi ve bulanık mantık arayüzünün sisteme uygulanmasını ayrı ayrı göstermektedir.

Şekil 3.11 (b)' de gösterildiği gibi, bulanık mantık denetleyicisi içerisinde gömülü olan bulanık mantık sistemine girişler uygulanmıştır. Çıkış değerinde üretilen “d” değeri, Şekil 3.11 (a)'da gösterildiği gibi DC-DC dönüştürücü anahtarlama elemanına uygulanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.11 : a) Bulanık mantık MPPT modeli b) Bulanık mantık MPPT denetleyicisi.

4. BULANIK MANTIK TABANLI MPPT YÖNTEMİNİN GERÇEK ZAMANLI OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu bölümde, bir önceki bölümde MATLAB/Simulink ortamında modelleri geliştirilen P&O yöntemi, IC yöntemi ve önerilen bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemlerinin gerçek zamanlı uygulaması yapılmıştır. Bursa Teknik Üniversitesi bünyesindeki, Akıllı Şebekeler Laboratuvarı'nda kurulan FV sistem kullanılarak, belirtilen yöntemlerin deneysel uygulaması ve analizi gerçekleştirilmiştir.

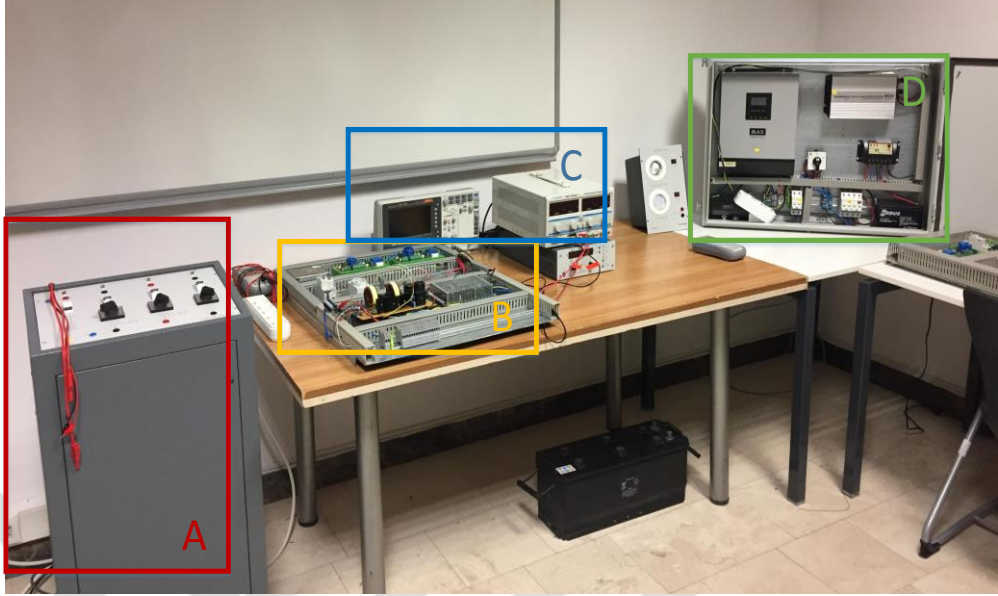
4.1 Geliştirilen Deneysel Sistem

FV sistemde, panellerden ve sensörlerden gelen verilerin okunması, ölçümlerin yapılması, okunan veri ve ölçümlerin bilgisayar ortamına akatarılması, algoritmaların çalışması ve DC-DC dönüştürücü anahtarlamasının yapılması, sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmak için gerekli olan adımlardır. Bu amaçla, tez çalışmasında gerçek zamanlı MPPT yöntemlerini geliştirebilmek ve uygulamalarını yapabilmek için laboratuvar ortamında deneysel bir sistem oluşturulmuştur.

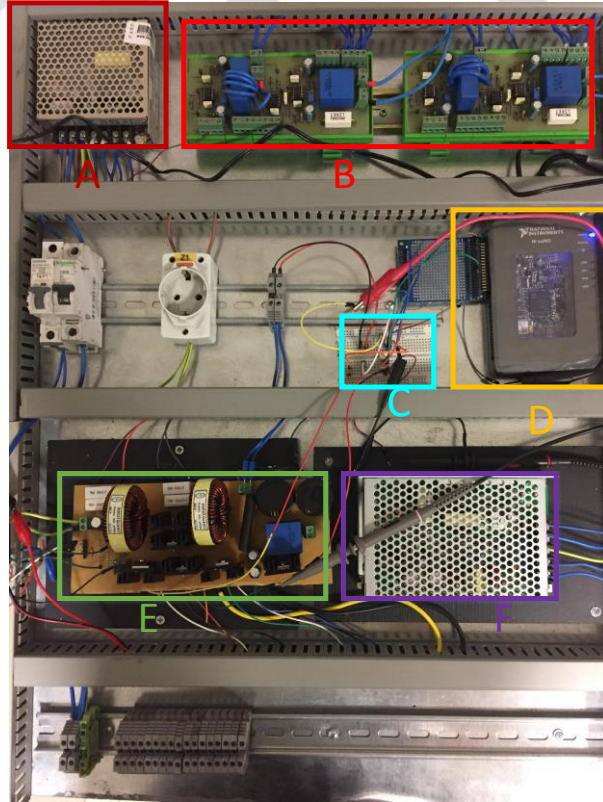
MPPT algoritmalarının gerçek zamanlı olarak geliştirilebilmesi için kurulan deneysel sistem Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de (A) ile işaretlenen bölüm yük bankını, (B) ile işaretlenen bölüm tasarlanan kontrol bloğunu, (C) ile işaretlenen bölüm DC güç kaynağı ve osiloskopu ve (D) ile işaretlenen kısım inverter ünitesini göstermektedir. Tasarlanan kontrol bloğu, deneysel sisteme entegre edilerek, FV panellerden elde edilen enerji kullanırken sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmak ve inverter ünitesinden faydalanarak güneşten gelen DC enerjiyi şebekede kullanılan AC enerjiye çevirmek amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında, Şekil 4.1'de B ile gösterilen ve MPPT yöntemlerinin FV sistemi kontrolü için tasarlanan sistemle, benzetimi gerçekleştirilen MPPT yöntemlerinin gerçek zamanlı olarak ta geliştirilebilmesine imkan sağlanmaktadır. Oluşturulan deneysel MPPT kontrol bloğu Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.2'de A harfiyle belirtilen bölüm DC güç kaynağını, B ile belirtilen bölüm akım ve gerilim ölçüm kartlarını, C ile belirtilen bölüm TLP 350 MOSFET sürücü entegresini, D ile

belirtilen bölüm NI MyRIO DAQ kartını, E ile belirtilen bölüm DC/DC dönüştürücü devresini ve F ile gösterilen bölüm +24V DC güç kaynağını göstermektedir.



Şekil 4.1 : MPPT algoritmalarının gerçek zamanlı olarak geliştirilebilmesi için kurulan deneysel sistem



Şekil 4.2 : MPPT yöntemlerinin FV sistemi kontrolü için tasarlanan sistem

4.1.1 DC güç kaynağı

Tez çalışmasında geliştirilen sistemde, +15V, -15V ve +5V gerilim çıkışlarına sahip bir DC güç kaynağı kullanılmıştır. Bu güç kaynağı, sistemde kullanılan TLP350 entegresinin +15V besleme geriliimini sağlamak için kullanılmıştır. Bunun yanında tasarımda kullanılan ölçüm kartlarının +15V, -15V ve +5V gerilim beslemesi ihtiyaçları yine DC güç kaynağından sağlanmıştır.

4.1.2 Geliştirilen ölçüm kartı

FV sistemlerde MPPT çalışmalarında, geliştirilen algoritmalar bilgisayar ortamında çalışmaktadır. Bu sebeple algoritmaların çalışması için ihtiyaç duyulan giriş değerlerinin bilgisayara aktarılması ve bilgisayarın üreteceği çıkış değerlerinin sisteme aktarılması gerekmektedir. Bu verilerin okunması ve bilgisayar ortamında kullanılması veri toplama (DAQ) kartları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, tez çalışmasında kullanılacak olan algoritmalarda giriş değerleri olarak FV panelin akımına ve gerilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Kurulan sistemde FV panellerden gelen gerilim değerleri, DAQ kart girişleri için yüksektir. Bu problemi çözebilmek için sistemde, üzerinde ölçme aralığı 0-500 V olan LV28-P tip gerilim dönüştürücü ve LA 55-P tip akım sensörü bulunan ölçüm kartı kullanılmıştır [52]. Bu ölçüm kartı gelen değerleri 0 ile 10 V arasında sınırlandırarak DAQ karta iletmektedir. DAQ kart aracılığıyla algoritmalarda kullanılacak olan verilerin bilgisayar ortamında işlenmesi sağlanmaktadır.

4.1.3 MOSFET sürücü entegresi

Geliştirilen sistemde, DAQ kart aracılığıyla okunan veriler ile çalıştırılan algoritmalar neticesinde çıkış değeri olarak, DC-DC dönüştürücü anahtarlama elemanının görev döngüsü oranı ayarlaması yapılmaktadır. Anahtarlama işlemi darbe genlik modülasyonu (PWM) sinyali ile yapılmıştır.

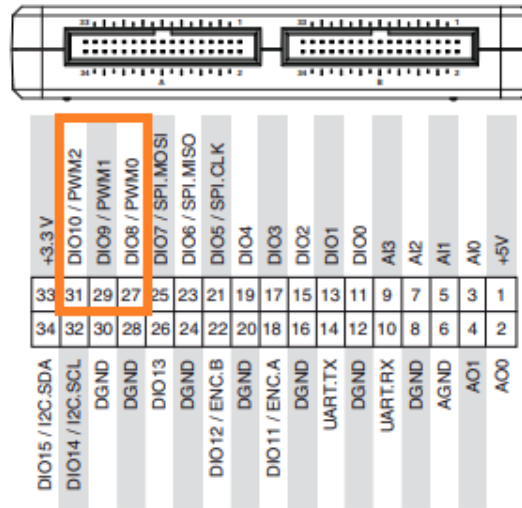
DAQ kart ile üretilen PWM sinyalinin görev periyodu, geliştirilen algoritma ile ayarlanmıştır ve DC-DC dönüştürücü devresinin anahtarlama elemanına gate sinyali olarak uygulanmıştır. Kullanılan DAQ kartın çıkışında üretilen PWM sinyalinin genlik değeri, geliştirilen sistemde kullanılan MOSFET elemanının anahtarlama için yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple TLP 350 MOSFET sürücü entegresi kullanılmış ve verimli bir sonuç elde edilmiştir.

4.1.4 Veri Toplama Kartı (DAQ)

DAQ kart, sistemdeki elektriksel verilerin bilgisayar ortamına aktarılması görevini üstlenmektedir. Bu çalışmada DAQ kart olarak, National Instruments firması tarafından geliştirilen MyRIO-1900 kartı kullanılmıştır.

MyRIO-1900, 10 analog giriş, 6 analog çıkış, 40 adet dijital giriş/çıkış portları bulunan, wi-fi ile kontrol edilebilen, bünyesinde ivme ölçer barındıran FPGA tabanlı gelişmiş bir kontrol kartıdır. Tez çalışmasında kullanılan bu kart, hızlı olmasının yanında, 100 kHz frekans değerine kadar PWM sinyali sağlayabilmektedir.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, MyRIO-1900 kartı kendi içerisinde PWM sinyali üreten çıkış portlarına sahiptir. PWM sinyalinin üretildiği dijital çıkış portları, 3,3V gerilim çıkışı üretmektedir. Deneysel sistemde kullanılan yükseltici tip DC-DC dönüştürücü devresinde anahtarlama elemanı olarak kullanılan güç MOSFET'i, MyRIO-1900 DAQ kartından alınan 3,3V genlik değerine sahip PWM sinyalle sürülemez. Bu sebeple tez çalışmasında bu portlardan alınan PWM sinyali, TLP 350 entegresi yardımıyla DC-DC dönüştürücü devresinde bulunan MOSFET'i anahtarlayarak sistemin maksimum güç noktasına ulaşması sağlanmıştır.



Şekil 4.3 : Kullanılan DAQ kart giriş-çıkış portları

4.1.5 LabVIEW Yazılımı

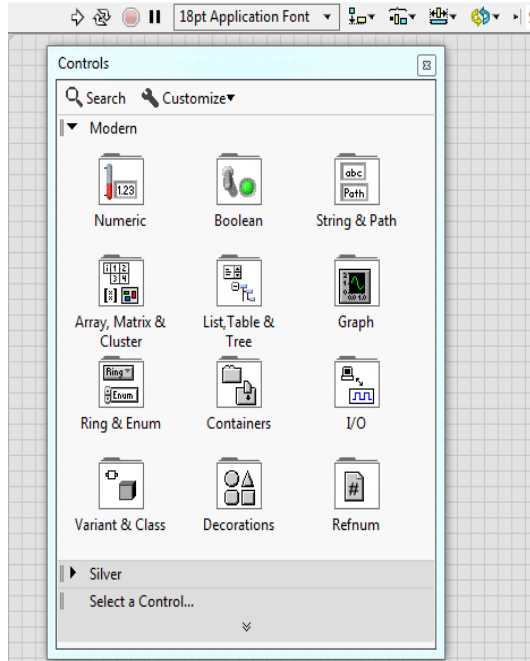
FV sistemlerde MPPT yöntemlerini gerçek zamanlı olarak uygulamak için LabVIEW yazılımı kullanılmıştır. LabVIEW, DAQ ile toplanan verilerin izlenmesine ve

işlenmesine olanak sağlayan, test ve ölçümlerde kullanılabilen, geliştirilen algoritmaları uygulayabilen, karmaşıklıktan ve zorluktan uzak, grafik programlama dili tabanlı bir program geliştirme ortamıdır.

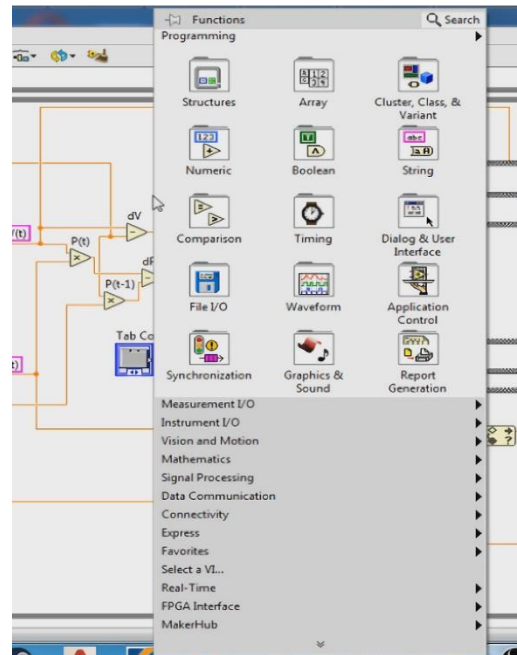
LabVIEW, veri toplama ve kontrolünde, bilimsel araştırmalarda, işlem takibinde, otomasyonda, test ve ölçümde, veri analizi ve veri sunumunda kullanılmaktadır. LabVIEW, karmaşıklıktan, zorluktan uzak güçlü bir programlama dilinin esnekliğini sağlar. Yazılım, bilgisayar ile DAQ kartı arasında veri toplama, analiz ve izleme ilişkisi kurmaktadır.

LabVIEW yazılımı, Şekil 4.4'te gösterildiği gibi ön panel ve blok diyagram olarak adlandırılan iki ana pencereden oluşmaktadır. Ön panelde, seçilebilen sayısal göstergeler, ölçekler, metreler, termometreler, çizelgeler, grafikler ve daha fazlası kullanılarak program kontrol edilebilir. Kısacası ön panel, programın kullanıldığı, kullanıcının görebildiği ara yüzü ifade etmektedir ve blok diyagramda geliştirilen yazılımın kullanıcı tarafından görülen ve kontrol edilen kısmını göstermektedir.

Blok diyagram bölümü ise algoritmanın programlandığı bölümdür. Programlama bölümünde kullanıcı, karmaşıklıktan uzak bir şekilde, basit aritmetik fonksiyonları, ileri seviyede matematiksel işlemleri ve veri analizini gerçekleştirebilmektedir. Programcı, blok diyagramda yaptığı işlemleri anında ön panelde görebilmektedir.



(a)

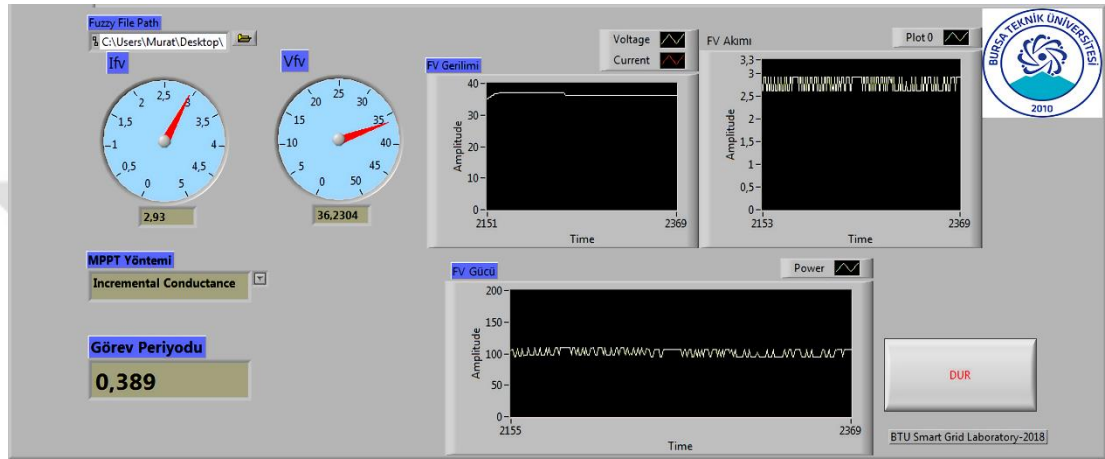


(b)

Şekil 4.4 : LabVIEW yazılımı: a)ön panel b) blok diyagramı

4.2 MPPT Yöntemlerinin Gerçek Zamanlı Olarak Geliştirilmesi

Bu bölümde, tez çalışmasında analiz edilen P&O, IC ve bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemleri, LabVIEW yazılımı ile gerçek zamanlı olarak programlanmıştır. Programlama kısmı, LabVIEW programının özelliği gereği iki bölümden oluşmaktadır. Ön panel bölümünde, program akışının ve verilerin kullanıcı tarafından gözlemlenmesi ve analiz edilmesine olanak sağlayacak şekilde program arayüzü tasarlanmıştır. Geliştirilen tasarım Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Geliştirilen MPPT kontrol arayüzü

Şekil 4.5'te gösterildiği gibi geliştirilen programın ön panelinde göstergeler ve ayarlanabilir değişkenler bulunmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan MPPT yöntemlerinde kullanılması amacıyla, DAQ kart aracılığıyla FV panellerden elde edilen akım ve gerilim değerleri ön panelde kullanıcının okuyabileceği şekilde göstergelerle gösterilmiştir. Aynı zamanda akım ve gerilim sinyal şekilleri de grafik olarak incelenebilmektedir. Bunun yanında FV panel çıkış gücünü gösteren grafik yardımıyla sistemin maksimum güç noktasına ne kadar sürede çıktığı, maksimum güç noktası çevresinde ne kadar salınım yaptığı gibi MPPT yöntemlerinin verimini gösteren veriler anlık ve gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.

Ön panel üzerinde kontrol edilebilir bölümler de kullanılmıştır. Frekans ayarlama bölümü ile sistemin çalışma frekansı gerçek zamanlı olarak ön panel üzerinden kontrol edilebilmektedir. Bu kontrol esnasında program akışı devam etmektedir. Tez çalışmasında kullanılan MPPT yöntemleri blok diyagram kısmında ayrı ayrı programlanmıştır. Ön panel kısmında ise tek bir arayüz tasarlanmıştır ve bu arayüzden Şekil 4.5'te de görülebildiği gibi MPPT yöntemi seçimi yapılabilmektedir.

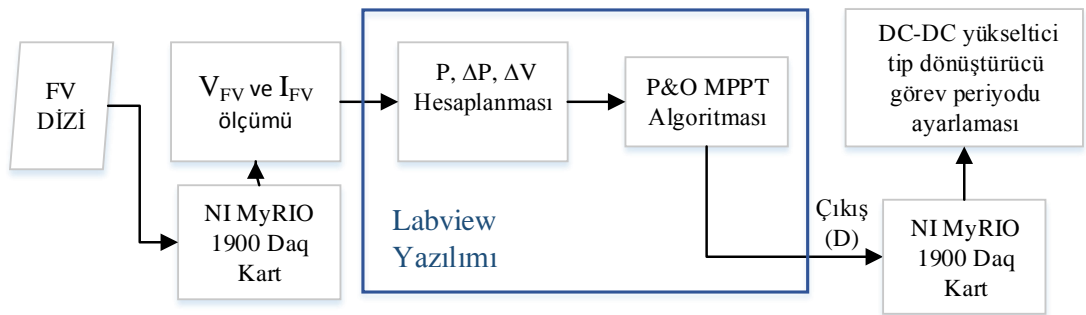
Bu seçim durumu için LabVIEW arayüzünden “combo box” seçeneğini kullanılmıştır. MPPT yöntemi olarak bulanık mantık algoritması kullanılacağından, bulanık mantık algoritmasının programlanarak gömülmüş olduğu dosyanın seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim işlemi “Fuzzy File Path” bölümünden yapılmaktadır.

Program arayüzünden okunan tüm veriler ve kontrol edilen tüm değişkenler gerçek zamanlı olarak gözlemlenmektedir. Algoritmaya veri girişi ve çıkışı NI MyRIO-1900 kartı üzerinden sağlanmaktadır.

4.2.1 P&O MPPT Yönteminin Gerçek Zamanlı Olarak Gerçekleştirilmesi

P&O MPPT yönteminin Şekil 3.2’de gösterilen akış şemasındaki adımlar tek tek LabVIEW algoritma programlama arayüzü olan blok diyagram kısmında gerçekleştirilmiştir.

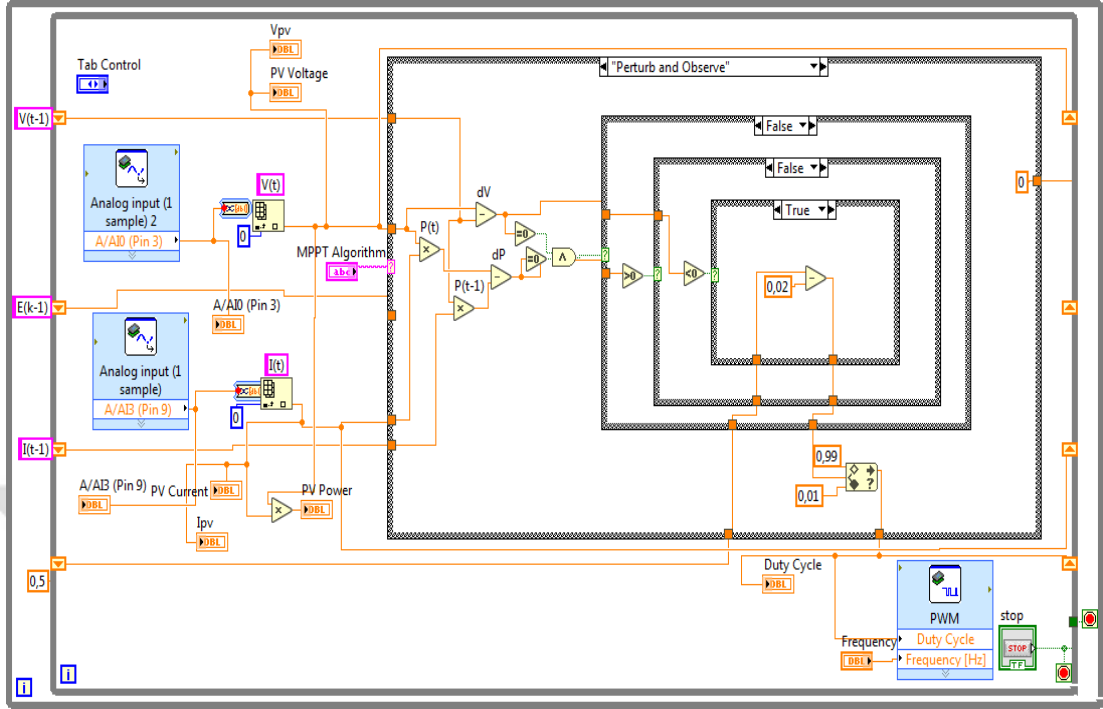
P&O yönteminin LabVIEW ile gerçekleştirilen gerçek zamanlı uygulamasının blok şeması Şekil 4.6’da gösterilmiştir. DAQ kart aracılığıyla ölçülen akım ve gerilim değerleri, blok diyagram içerisinde oluşturulan algoritma ile FV sistemin maksimum güç noktasında çalışması için gerekli görev döngüsü oranını üretir. PWM sinyal olarak gönderilen bu çıkış değeri, yine DAQ kart aracılığıyla DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elamanını kontrol etmekte ve bu işlem belirli aralıklarla tekrarlanarak devam etmektedir. Ölçülen her bir akım ve gerilim değeri karşılığında üretilen güç değeri, bir önceki çevrimde üretilen güç değeriyle kıyaslanarak maksimum güç noktası aranmaktadır.



Şekil 4.6 : P&O yöntemi gerçek zamanlı kontrol blok şeması.

Geliştirilen sistemde, blok diyagram içerisinde oluşturulan MPPT algoritması Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Önerilen sistemde, program başlangıçta görev döngüsü oranını 0,5 değeri olarak kendisi üretir. Her bir çevrimde görev döngüsü oranı, algoritma

sonucuna göre sabit bir aralıkta artırılır veya azaltılır. Algoritmanın akışındaki koşullar, LabVIEW ortamında “case” yapılarıyla gerçekleştirilmiştir.



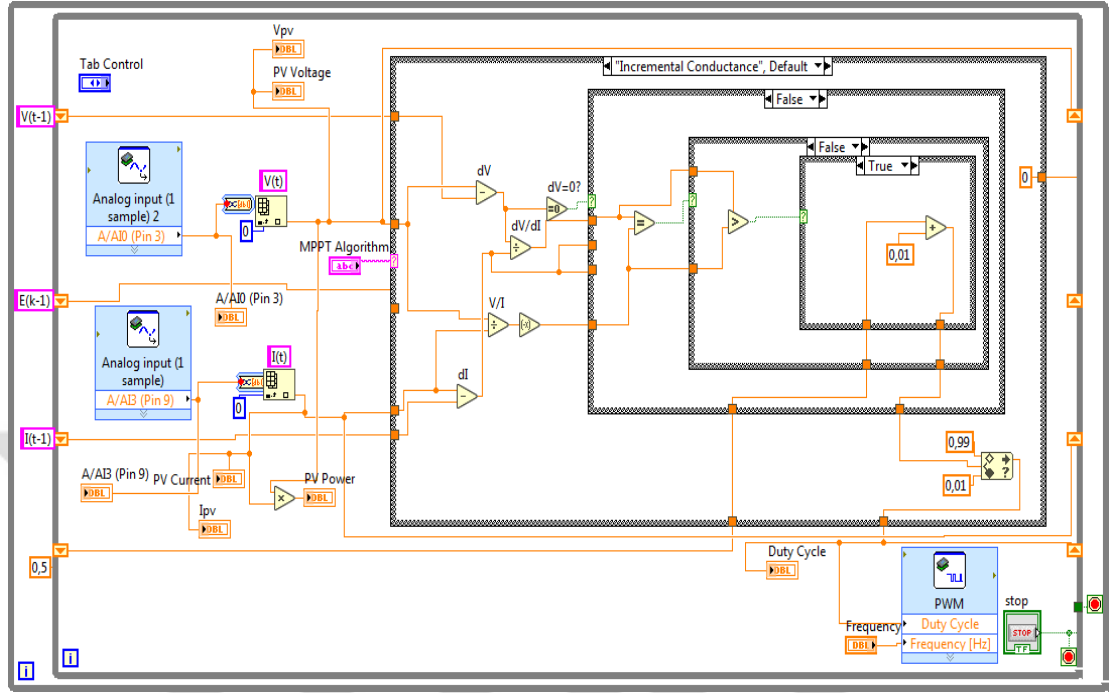
Şekil 4.7 : P&O MPPT yöntemi LabVIEW blok diyagramı.

4.2.2 IC MPPT yönteminin Gerçek Zamanlı Olarak Gerçekleştirilmesi

IC MPPT yönteminin Şekil 3.4’te gösterilen akış şemasındaki adımları, tek tek LabVIEW algoritma programlama arayüzü olan blok diyagram kısmında gerçekleştirilmiştir.

IC yönteminin LabVIEW ile gerçekleştirilen gerçek zamanlı uygulamasının blok şeması Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Algoritma giriş değişkenleri FV panel akım ve gerilimi, çıkışı ise görev döngüsü oranıdır. DAQ kart aracılığıyla ölçülen akım ve gerilim değerleri, blok diyagram içerisinde oluşturulan algoritma ile FV sistemin maksimum güç noktasında çalışması için gerekli görev döngüsü oranını üretir. PWM sinyali olarak gönderilen bu çıkış değeri, yine DAQ kart aracılığıyla DC-DC dönüştürücünün anahtarlamaya elamanını kontrol etmektedir. Ölçülen her bir akım ve gerilim değeri kaydedilir ve bir sonraki değerlerle kıyaslanmakta akım ve gerilimdeki değişimler elde edilmektedir. Anlık iletkenlik değeri ile değişimden elde edilen artan iletkenlik değerinin karşılaştırılmasına dayanan algoritma, blok diyagram ortamında çalıştırılmıştır ve sistemin maksimum güç noktasında çalışması amaçlanmıştır. Geliştirilen sistemde, blok diyagram içerisinde oluşturulan MPPT

algoritması Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Önerilen sistemde, program başlangıçta görev periyodu 0,5 değeri olarak kendisi üretir. Her bir çevrimde görev döngüsü oranı, algoritma sonucuna göre sabit bir aralıkta artırılır veya azaltılır.



Şekil 4.8 : IC MPPT yönteminin LabVIEW ile gerçekleştirilmesi

4.2.3 Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Yönteminin Gerçek Zamanlı Olarak Gerçekleştirilmesi

Bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminin gerçek zamanlı olarak uygulanması için LabVIEW yazılımı kullanılmıştır. LabVIEW yazılımı bünyesinde bulunan bulanık mantık geliştirme aracı kullanılarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

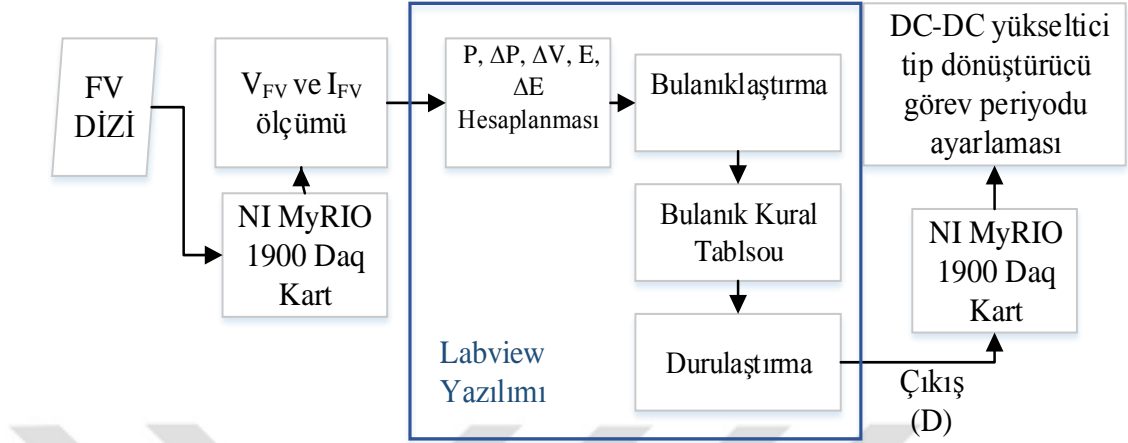
Tez çalışmasında incelenen bulanık mantık tabanlı MPPT çalışmasında, iki giriş ve bir çıkış değişkeni kullanılmıştır. Giriş değişkenleri olan hata (E), Denklem 4.1’de ve hatadaki değişim (ΔE), Denklem 4.2’de gösterilmiştir.

$$E = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (4.1)$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1) \quad (4.2)$$

Denklem 4.1’de P(k), k anındaki FV panel gücünü; P(k-1), bir önceki örnekleme periyodundaki FV panel gücünü; V(k), k anındaki FV panel gerilimini; V(k-1) ise bir önceki örnekleme periyodundaki FV panel gerilimini göstermektedir. Denklem 4.2’de ise E(k), k anındaki hatayı ifade ederken E(k-1), bir önceki örnekleme

periyodundaki hatayı göstermektedir. İncelenen sistemde çıkış değeri olarak görev periyodu oranı kullanılmıştır. Uygulanan sistemin akış şeması Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

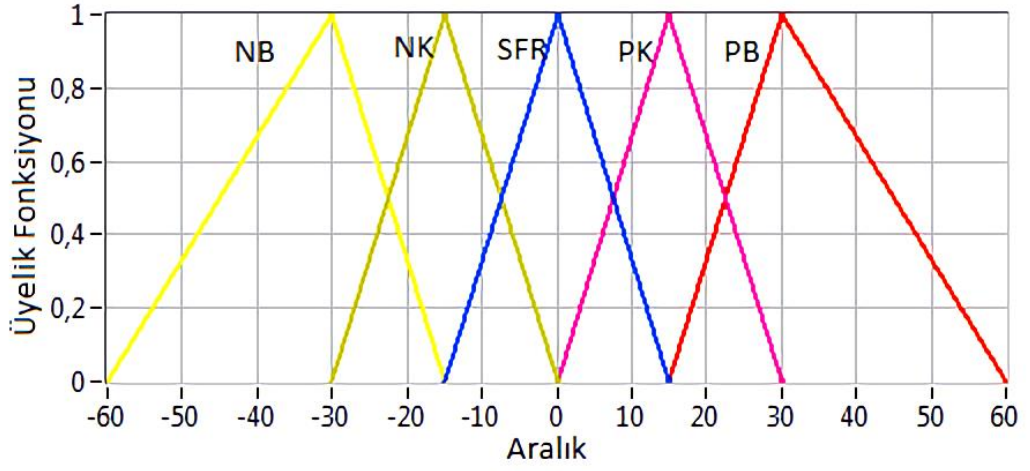


Şekil 4.9 : Bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminin gerçek zamanlı kontrol blok şeması

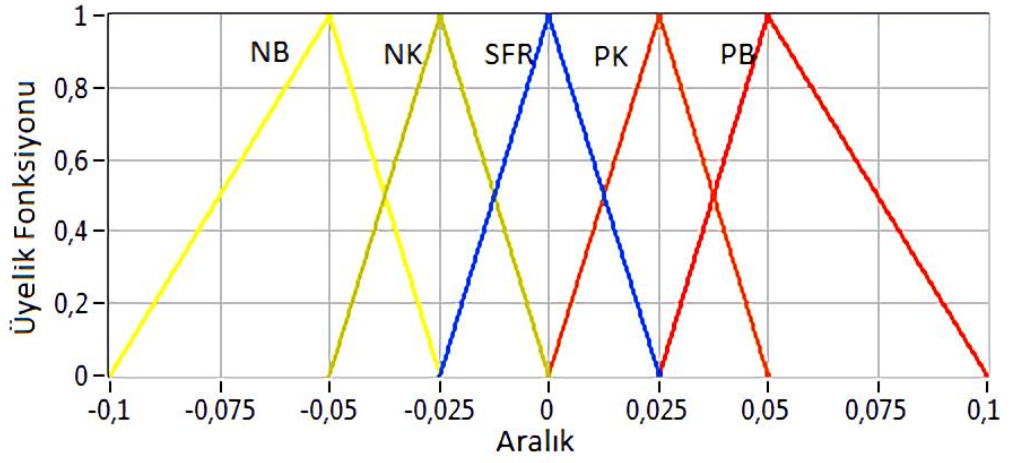
Geliştirilen bulanık mantık algoritmasında, giriş ve çıkış değerleri için üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bu giriş ve çıkış değerlerini bulanık mantık dilsel değişkenlerine dönüştürmek için beş bulanık seviye kullanılmıştır. Bu seviyeler, NB (negatif büyük), NK (negatif küçük), SFR (sıfır), PK (pozitif küçük) ve PB (pozitif büyük) olarak belirlenmiştir. Giriş ve çıkış değerleri ve üyelik fonksiyonlarının, LabVIEW ortamında bulanık mantık sistem tasarlama arayüzünde oluşturulması Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Geliştirilen sistemde iki giriş değeri olduğundan ve beş bulanık seviye kullanılmasından dolayı kural tablosunda 25 adet kural olmaktadır. Bulanık mantık algoritması tasarımında sistem verimini etkileyen en önemli nokta, kullanıcı tarafından tasarlanan kural tabanlı tablodur. FV sistemin, karakteristik P-V eğrisi üzerinde maksimum güç noktasının sağında veya solunda olması durumunun belirlenmesi, kural tabanlı tabloya dayanarak gerçekleşir. Oluşturulan bulanık mantık kural tablosu Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

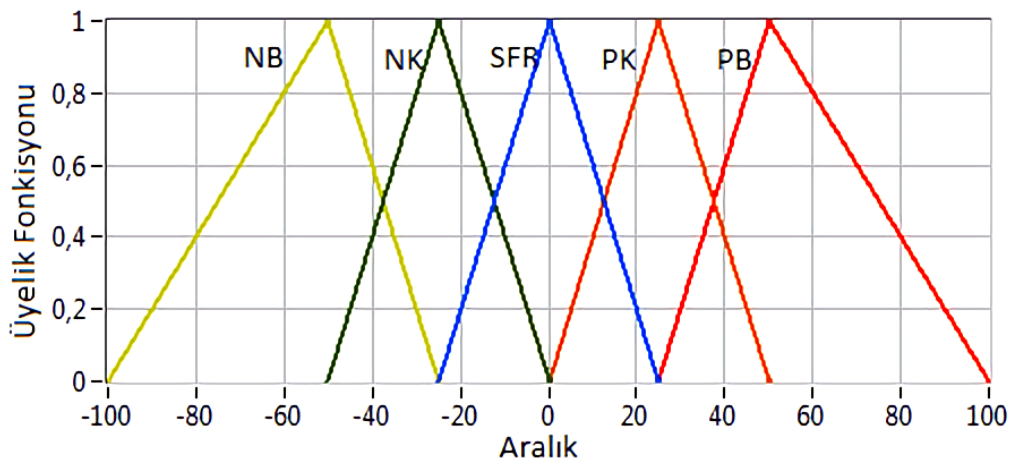
Çizelge 4.1 'de gösterilen kural tablosu incelendiğinde, giriş değişkenleri olan E ve ΔE için kullanılan bulanık mantık dilsel değişkenleri görülmektedir. Geliştirilen bulanık mantık algoritması "eğer – öyleyse (IF THEN RULES)" kuralına göre çalışmaktadır. Tabloya göre, eğer E girişi NS ve ΔE girişi PK ise çıkış değeri PK olmaktadır.



(a)



b)



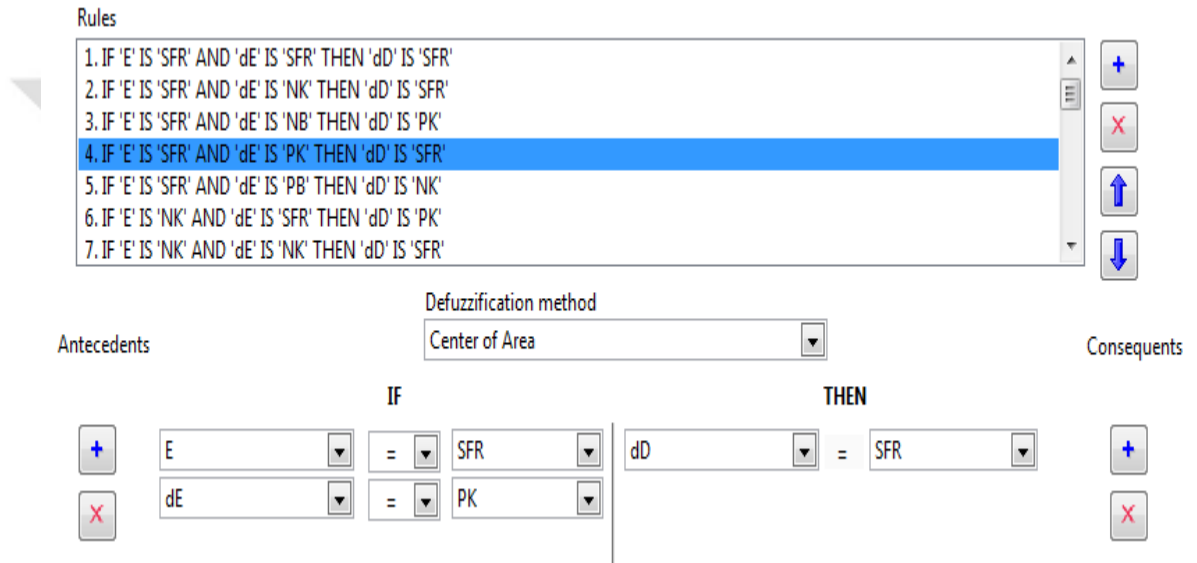
c)

Şekil 4.10 : LabVIEW bulanık mantık arayüzünde MPPT yöntemi giriş ve çıkış değişkenleri: a) Giriş E, b) Giriş dE, c) Çıkış D

Çizelge 4.1 : Bulanık mantık kural tablosu.

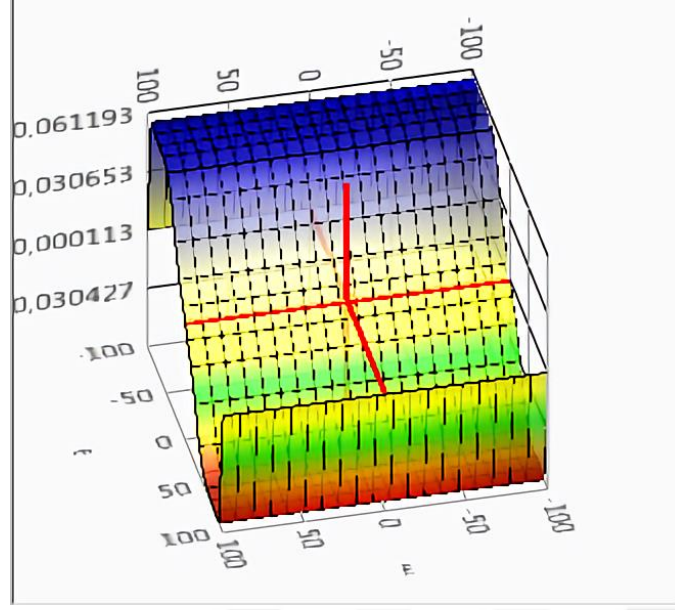
E/ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	SFR	SFR	PB	PB	PB
NK	SFR	SFR	PK	PK	PK
SFR	PK	SFR	SFR	SFR	NK
PK	NK	NK	NK	SFR	SFR
PB	NB	NB	NB	SFR	SFR

LabVIEW yazılımında bulanık mantık sistem tasarımı arayüzünde oluşturulan kurallar Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



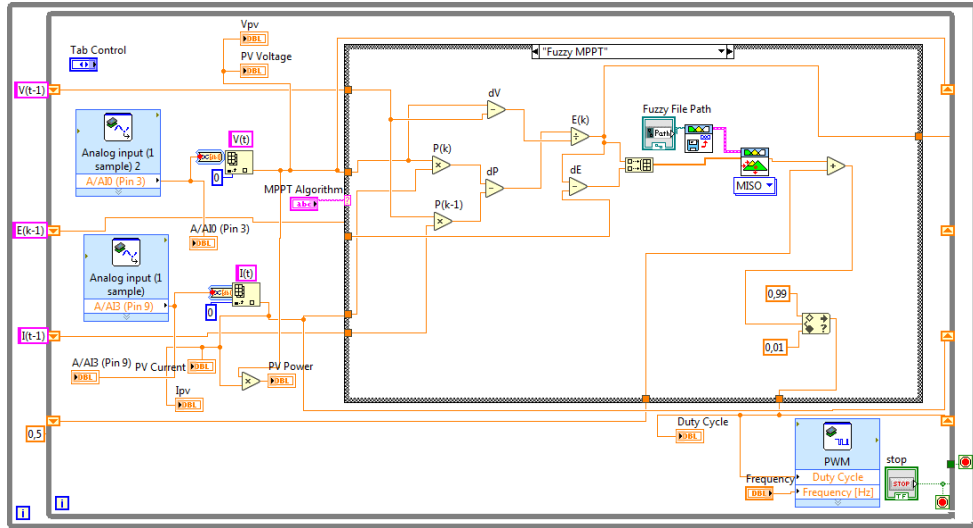
Şekil 4.11 : LabVIEW arayüzünde bulanık mantık ile MPPT yöntemi kuralları

LabVIEW ortamında, DAQ kart aracılığıyla toplanan FV panel akım ve gerilim verisinden elde edilen E ve ΔE girişleri, bulanık mantık algoritmasına sokulmaktadır. Daha sonra oluşturulan bulanık mantık kurallarına göre üretilen çıkış değeri, DC-DC dönüştürücüyü anahtarlayarak, sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmayı amaçlamaktadır. Oluşturulan bulanık mantık sistemi test edildiğinde, değerlerin çalışma aralığı şekil 4.12’de gösterilmiştir. Örnekleme periyodu sonucunda kaydedilen çıkış değeri (görev periyodu), bir sonraki çevrimde referans olur ve algoritma sonucuna göre tekrar arttırılıp/azaltılıp bir sonraki görev periyodu oranı belirlenmiş olmaktadır. Bu sistem ile birlikte istenilen giriş değerlerine karşılık oluşturulan kural tablosu ve üyelik fonksiyonlarının sağlayacağı çıkış değeri görülebilmektedir.



Şekil 4.12 : LabVIEW arayüzünde bulanık mantık girişlerine karşılık gelen çıkış değerlerinin görünümü

LabVIEW ortamında bulanık mantık arayüzü yardımıyla oluşturulan sisteme, DAQ kart ile elde edilen giriş değerlerinin verilmesi ve yine DAQ kart yardımıyla çıkış değerinin FV sisteme uygulanması için blok diyagram bölümünde MPPT programının tasarımı, Şekil 4.13'te gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.13 : Bulanık mantık ile LabVIEW ortamında geliştirilen MPPT yöntemine ait blok diyagramı

MPPT kontrol değişkeni olan D değeri başlangıç koşullarında 0,5 olarak sisteme girilmiş, bulanık mantık algoritmasıyla bu değer artırılarak veya azaltılarak maksimum güç noktası takibi yapılmıştır.

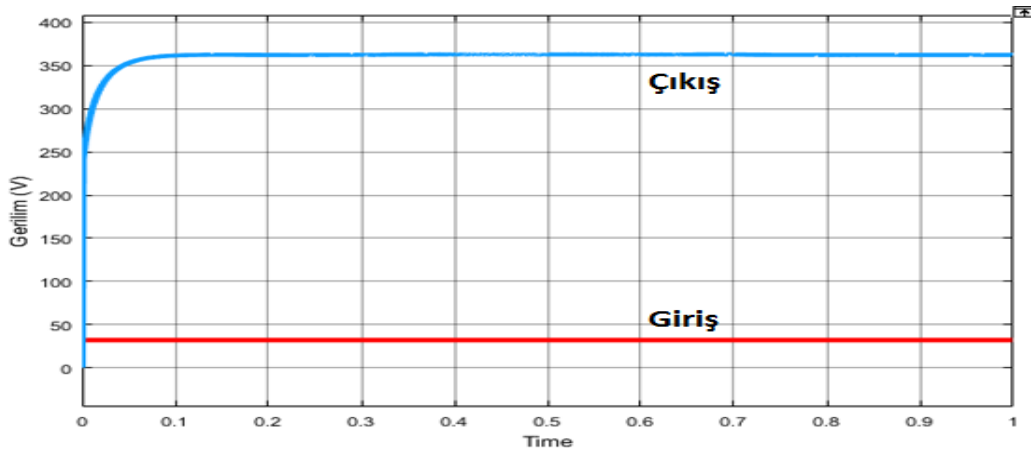
5. SONUÇLAR

Bu bölümde, tez çalışmasında gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelenmiştir. FV sistemlerde MPPT çalışmalarında sıkça kullanılan P&O , IC ve bulanık mantık yöntemlerinin ayrı ayrı MATLAB/Simulink ortamında benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, Bursa Teknik Üniversitesi Akıllı Şebekeler Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneysel FV sistem kullanılarak, geliştirilen kontrol bloğuyla MPPT yöntemleri gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Benzetim sonuçları ve gerçek zamanlı uygulama sonuçları ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

5.1 Benzetim Sonuçları

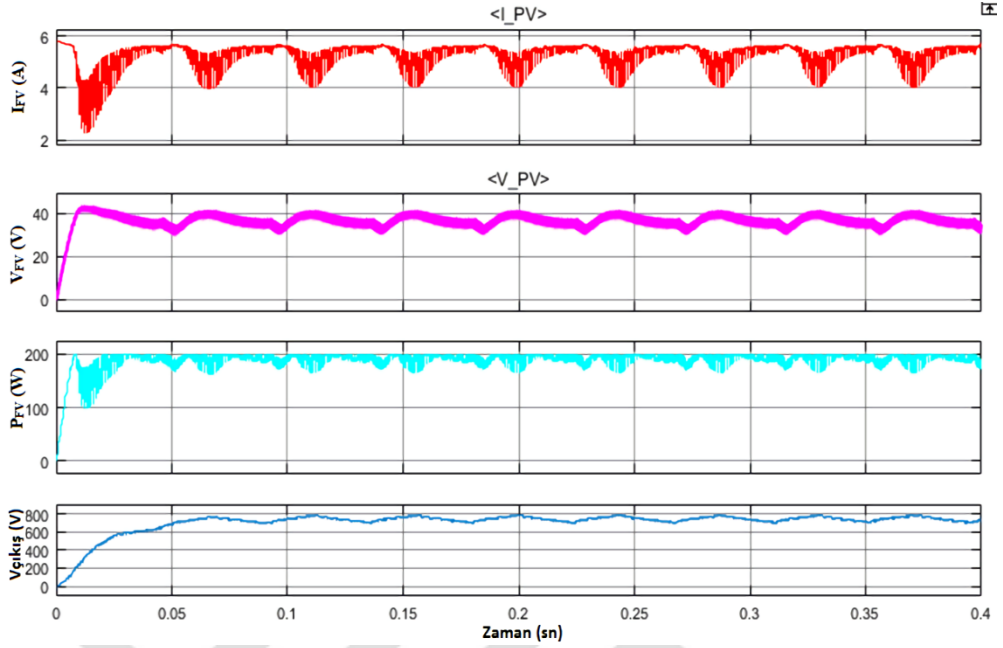
FV sistemlerde MPPT yöntemlerinin benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan yüksek kazançlı DC-DC yükseltici dönüştürücü devresi MATLAB/ Simulink ortamında modellenmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan DC-DC yükseltici tip dönüştürücü MATLAB modelinin giriş ve çıkış gerilim değerleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir. DC-DC dönüştürücünün modelinde, girişe sabit 32 V DC değeri uygulanmıştır. Anahtarlama elemanına uygulanan PWM sinyalin görev periyodu oranı, %70 olarak sabitlenmiştir. Bu koşullar altında devre, çıkışta gerilim değerini 370 V DC seviyelerine yükseltmiştir.



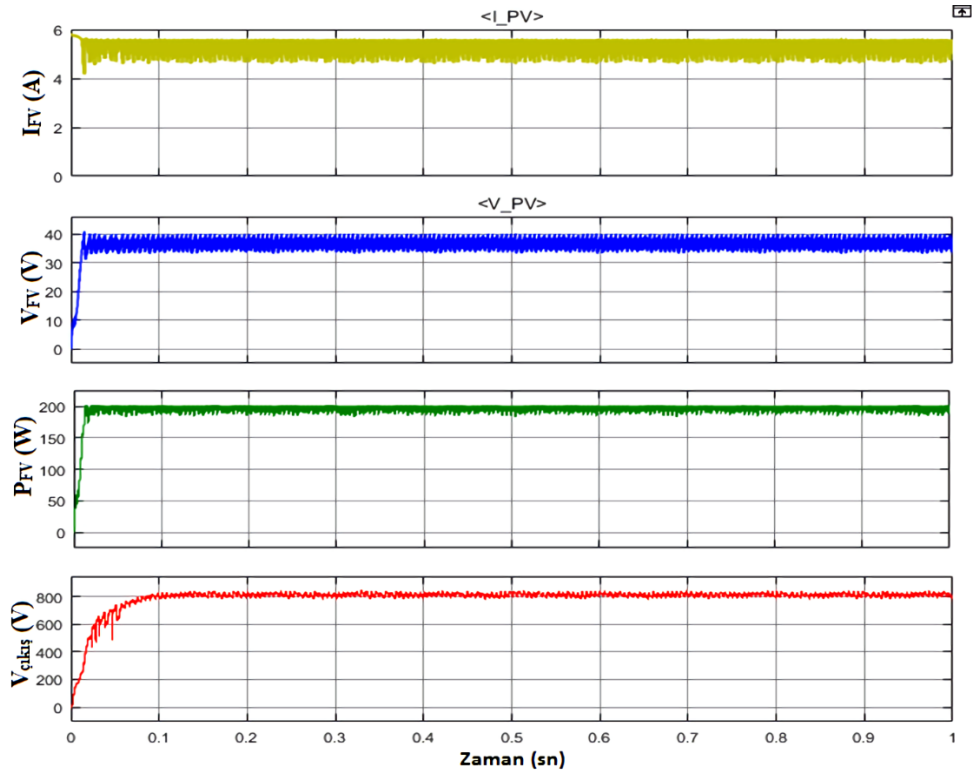
Şekil 5.1: Önerilen dönüştürücünün MATLAB ortamında benzetimi

P&O MPPT yöntemi ile gerçekleştirilen benzetim çalışmasında şekil 5.2'deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.2 : P&O MPPT yöntemi çıkış değerleri

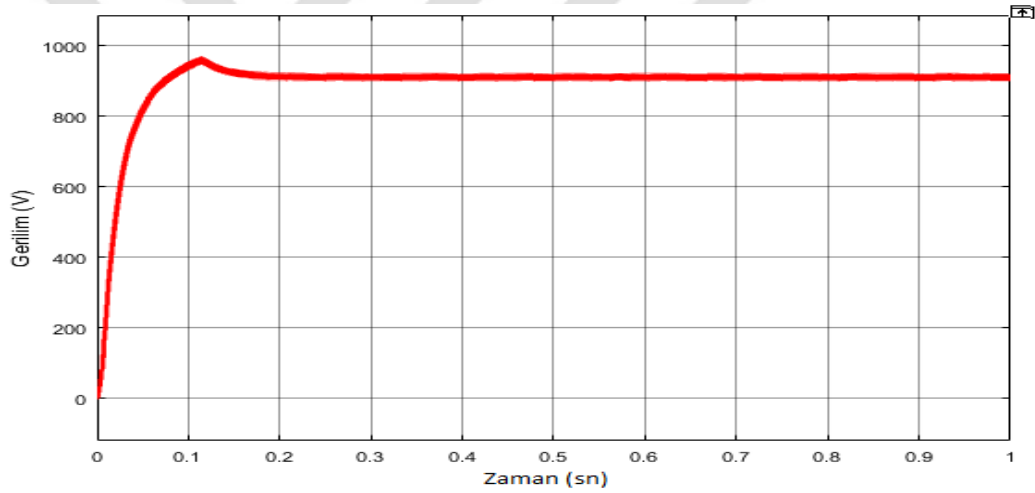
IC ile MPPT yöntemi, P&O yöntemi gibi yaygın kullanılmaktadır. IC ile MPPT yöntemi kullanılarak MATLAB/Simulink ortamında elde edilen sonuçlar Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



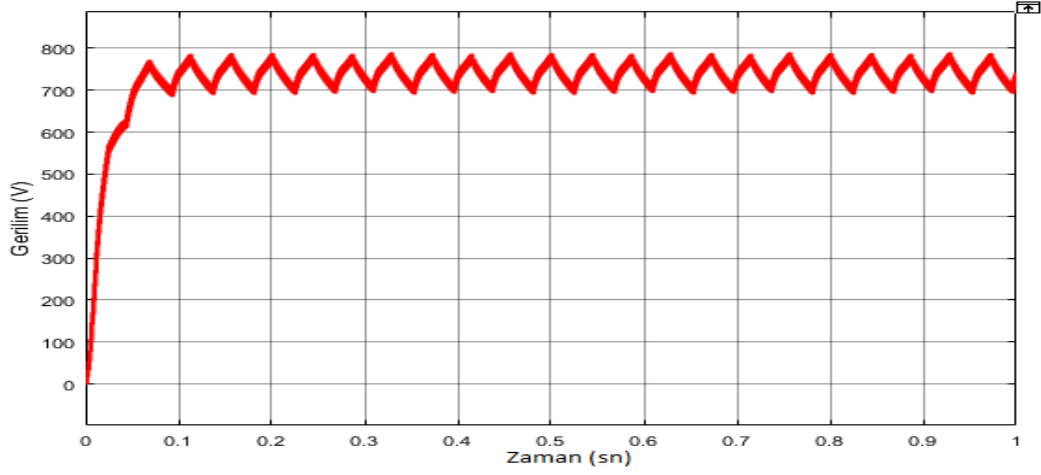
Şekil 5.3 : IC MPPT yöntemi çıkış değerleri

Aynı şartlar altında, sabit ışık şiddeti ve sıcaklık sağlandığında P&O ve IC yöntemleri, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te görüldüğü gibi benzer verimlilikte çalışmaktadırlar. Bu iki yöntemde kullanılan algoritmalar tepe tırmanma (hill-climbing) algoritmaları olduğundan ve adım aralıkları ile ilk çevrim görev döngüsü oranları aynı seçildiğinden, elde edilen FV panel gücü verisi ve MPPT yöntem verimi yaklaşıktır.

Modellenen sistemde, bu iki yöntemin en önemli sorunu olan adım aralığı problemini gözlemleyebilmek için farklı adım aralıklarında çalıştırılmıştır. Modellenen P&O MPPT yönteminde, bir önceki çevrimdeki görev periyodu değeriyle, belirlenen adım aralığı değeri toplanıp veya çıkartılıp yeni görev periyodu değeri elde edilir. Görev periyodunun artmasının veya azalmasının miktarını belirleyen adım aralığı, bu modelde 0,0007 seçilmiş, ikinci durumda ise adım aralığı 0,001 seçilmiştir. Bu durumda sistemin verdiği tepki Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



(a)



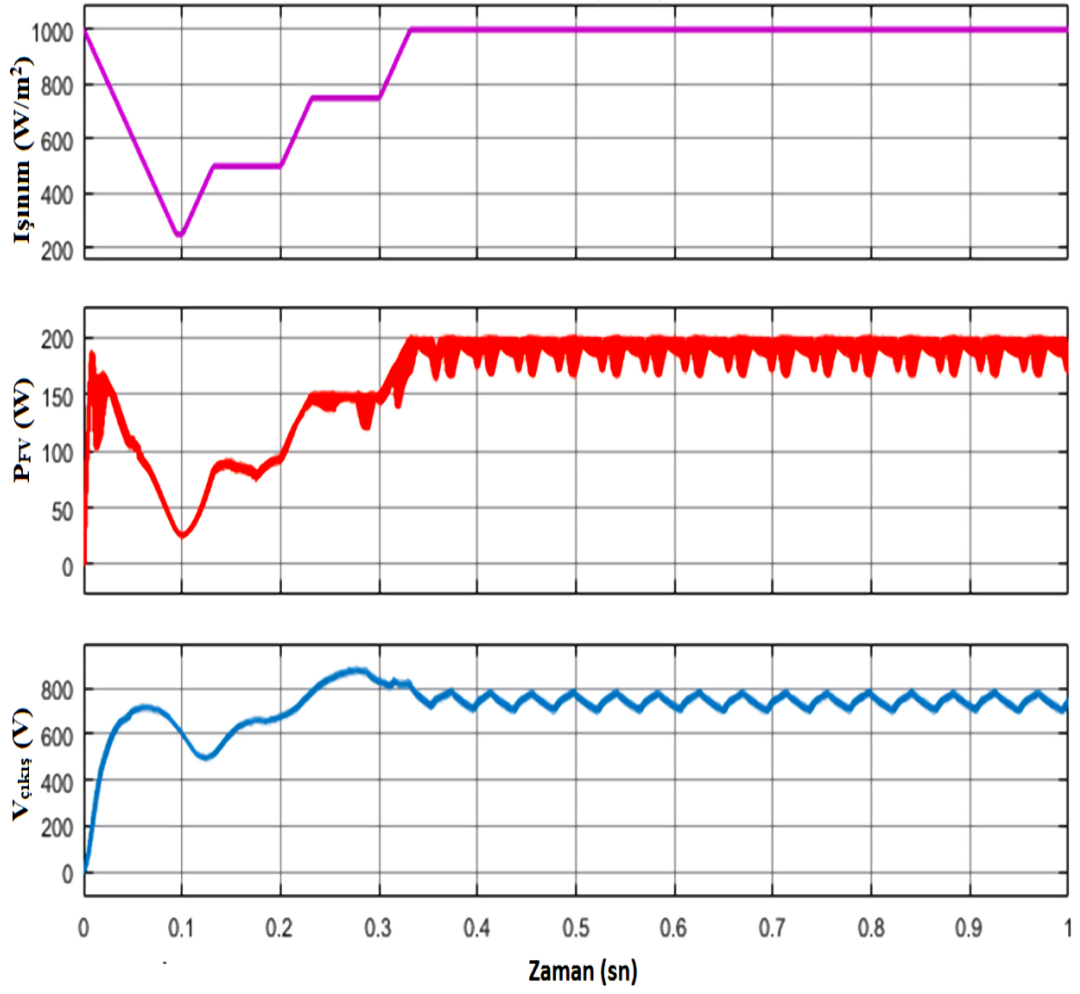
(b)

Şekil 5.4 : P&O MPPT yöntemi adım aralığı etkisi: **a)** Adım aralığı 0,0007 **b)** Adım aralığı 0,001

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi adım aralığındaki değişim, MPPT algoritmalarında takip hızını doğrudan etkilemektedir. Birinci durumda uygulanan daha küçük adım aralığında, algoritmanın maksimum güç noktasını yakalaması yaklaşık 0,15 sn olurken, ikinci durumda uygulanan daha büyük adım aralığı değeriyle (0,001) MPPT algoritması maksimum güç noktasını yaklaşık 0,1 sn'de yakalamıştır.

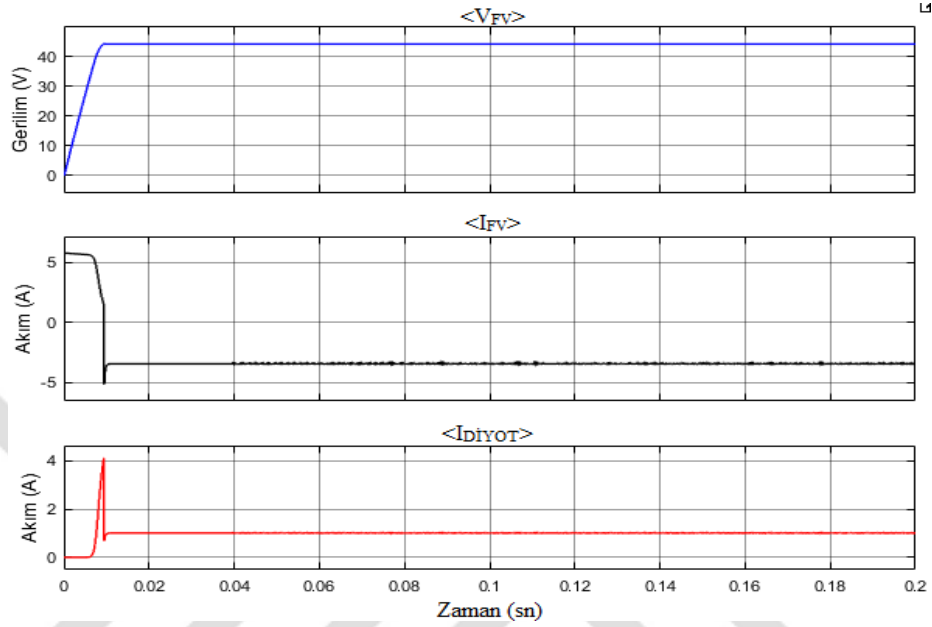
Adım aralığının büyütülmesi takip hızını artırmaktadır. Fakat bu avantajının yanında, adım aralığını arttırmak, maksimum güç noktası etrafındaki salınımları arttıracığından sistem verimliliğini olumsuz etkilemektedir.

FV sistemlerde MPPT çalışmalarını etkileyen faktörlerin başında ışınım şiddeti gelmektedir. Işık şiddetindeki artış, sistemden alınan gücün artması anlamına gelmektedir. Bu durum Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Şekil 5.5'te P&O ile MPPT uygulamasının farklı ışık şiddetlerindeki davranışı gözlemlenmektedir.



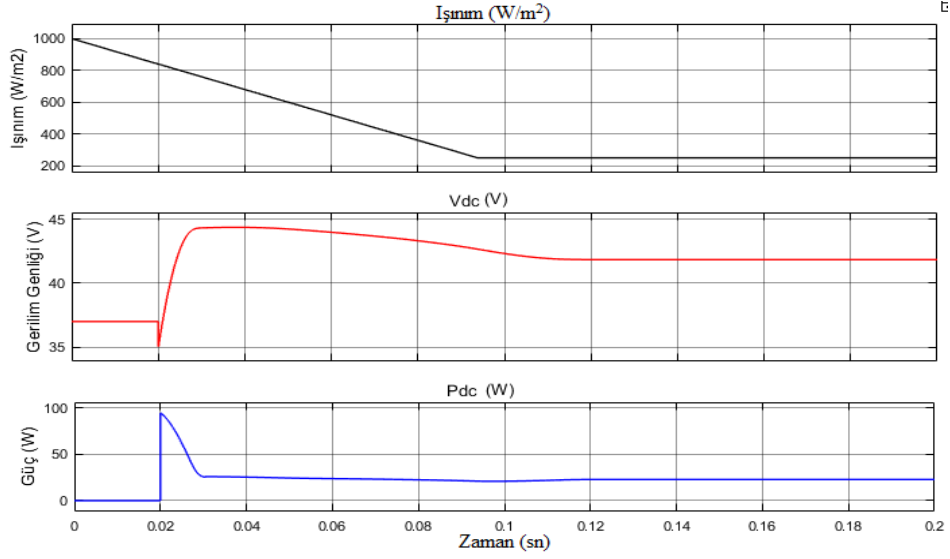
Şekil 5.5 : FV sistemin ışık şiddetindeki değişime cevabı

Önerilen bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminin MATLAB/Simulink ortamında benzetim çalışması gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Sabit atmosferik koşullar (1000 W/m^2 ışınım ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık) altında elde edilen FV panel çıkış gerilim ve akımı Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



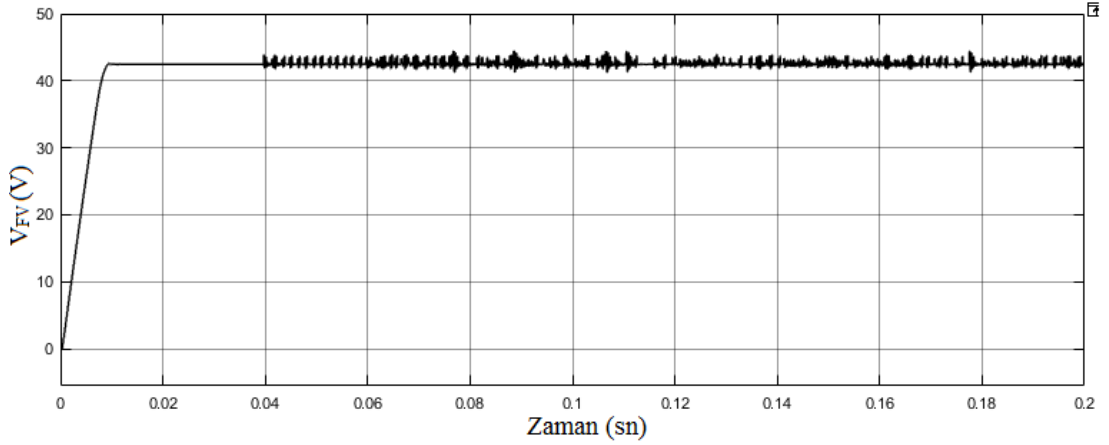
Şekil 5.6 : Bulanık mantık tabanlı MPPT FV panel çıkış değerleri (Sabit dış koşullar)

Şekil 5.6 incelendiğinde, FV geriliminin P&O ve IC yöntemlerine kıyasla maksimum güç noktası çevresindeki salınımlarının az olduğu gözlemlenmiştir. Işınım şiddetindeki değişimler doğrudan FV panel akımını etkilediğinden, değişken ışınım şiddeti altında, önerilen modelin cevabı incelenmiştir. Bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminde FV gücünün değişken ışınım şiddeti altındaki davranışı Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Bulanık mantık tabanlı MPPT FV panel çıkış değerleri (Değişken ışınım şiddeti)

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi ışınım şiddetindeki azalma doğrudan panel akımını azaltarak çıkış gücünü düşürmektedir. Şekil 5.8’de önerilen bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemi uygulanan PV sistemin panel çıkış geriliminin maksimum güç noktasını yakalama hızı görülmektedir. Maksimum güç noktası etrafındaki salınımlar P&O ve IC yöntemleriyle karşılaştırıldığında oldukça azdır.



Şekil 5.8 : Bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemi PV panel çıkış gerilimi

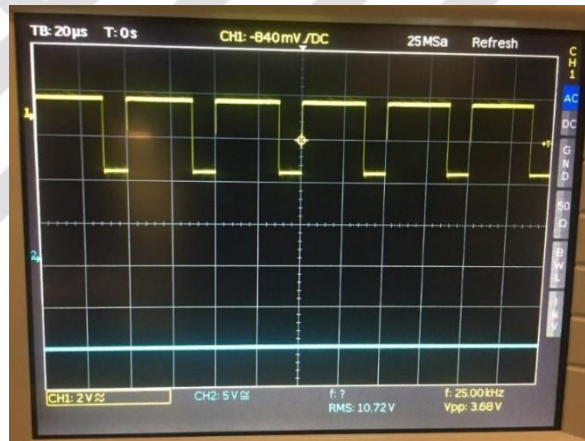
5.2 Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde, geliştirilen deneysel MPPT kontrol sistemi kullanılarak oluşturulan FV sistemde, MPPT sistemlerinin incelenmesi çalışmasından elde edilen gerçek zamanlı sonuçlar sunulmuştur.

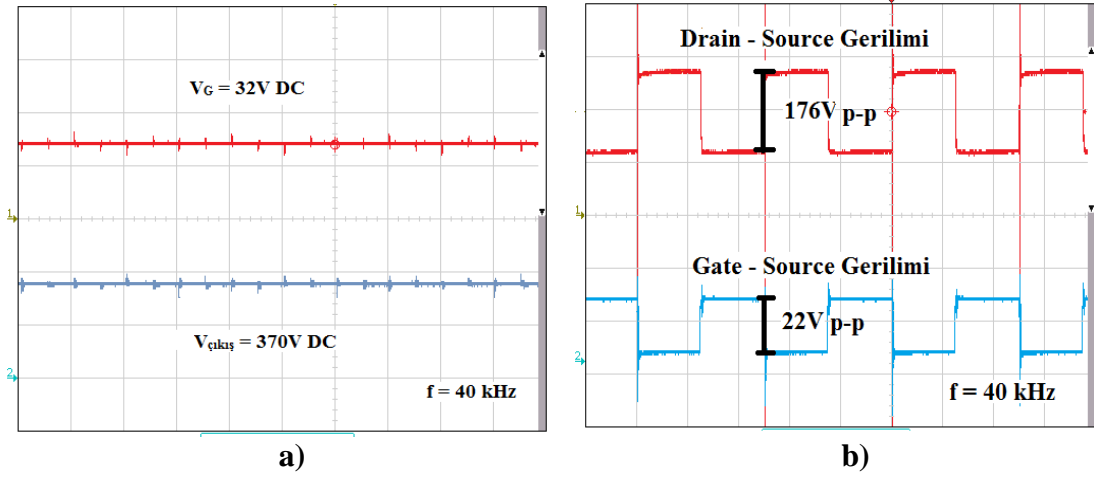
FV sistemde MPPT yöntemlerinin incelenmesi, PWM sinyaller yardımıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada PWM sinyali, NI MyRIO-1900 DAQ kartından üretilmiştir. LabVIEW yazılımı aracılığıyla kontrol edilen kartta, PWM sinyal çıkış portları bulunmaktadır ve bu portlar kullanılarak üretilen PWM sinyalin osiloskop görüntüsü Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Şekil 5.9’da gözlemlendiği gibi, üretilen sinyalin V_{pp} (tepe gerilimi) değeri 3,68 V olarak ölçülmüştür. FV sistemde kullanılan güç MOSFET’ini anahtarlama yetmeyeceğinden, sistemde TLP 350 mosfet sürücü entegresi kullanılmıştır.

DC-DC dönüştürücü devresinin kazancını gösteren osiloskop ölçümü ve devrede kullanılan MOSFET’in gate-source ve drain-source gerilimleri Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi girişten uygulanan 32 V değerindeki DC gerilim, çalışmada kullanılan DC-DC dönüştürücü devresiyle 370 V DC seviyelerine yükseltilmiştir. Sistemde anahtarlama frekansı 40 kHz olarak kullanılmıştır.

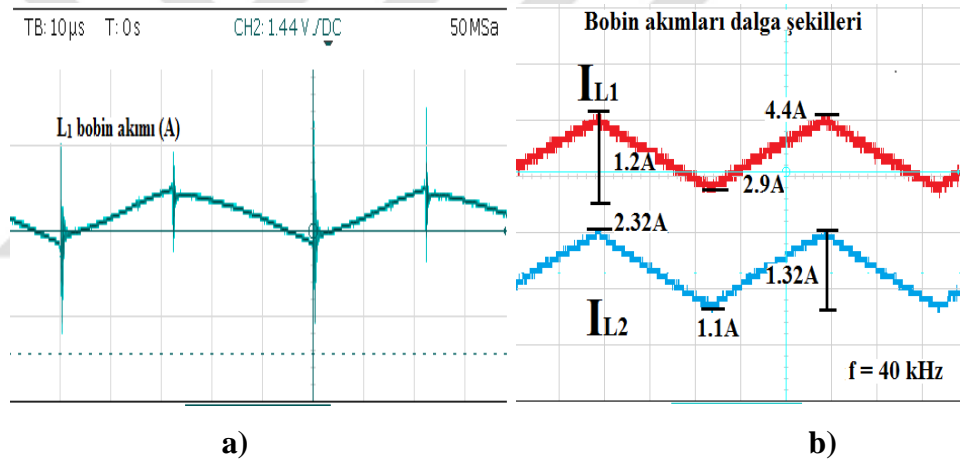


Şekil 5.9 : NI MyRIO-1900 ile üretilen PWM sinyali



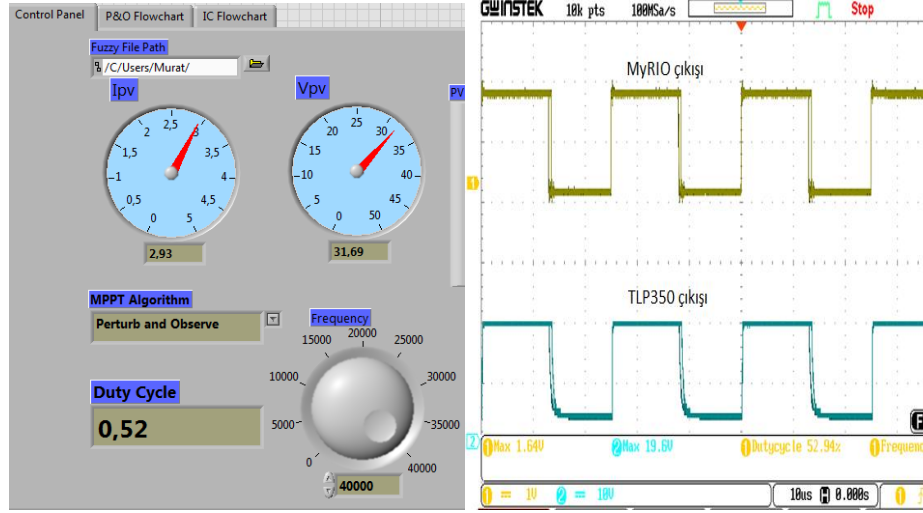
Şekil 5.10 : DC-DC dönüştürücü çıkışları : a) Giriş-çıkış gerilimleri b) MOSFET gate-source ve drain-source gerilimleri

DC-DC dönüştürücü devresinde, L_1 bobin akımının dalga şekilleri ve L_1 , L_2 bobin akımları dalga şekilleri ile akım değerleri Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Bobin akımları : a) L_1 bobin akımı dalga şekilleri b) L_1 ve L_2 bobin akımları dalga şekilleri ve değerleri

P&O ile MPPT yöntemi LabVIEW ile gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır ve sonuçlar incelenmiştir. Algoritmanın ürettiği görev periyodu değerinin LabVIEW arayüzündeki görüntüsü ve osiloskop ölçüm sonucu Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

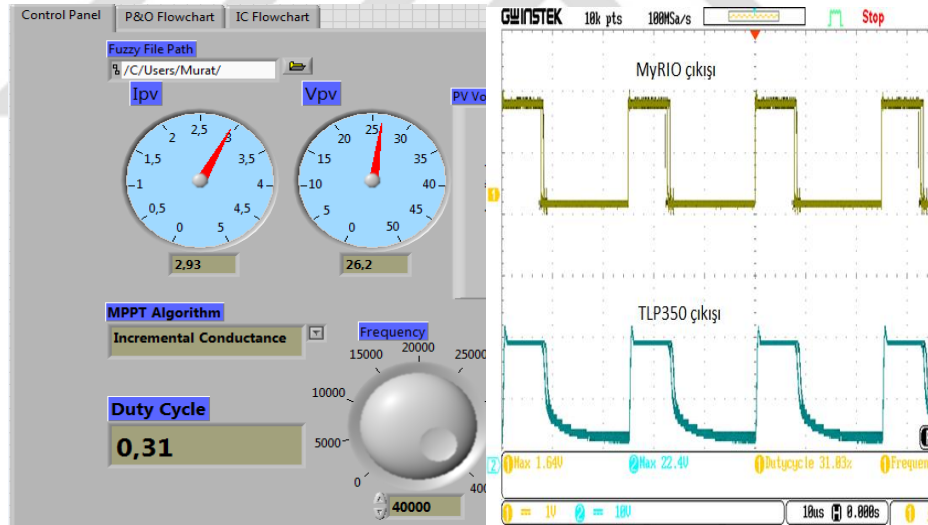


(a)

(b)

Şekil 5.12 : P&O ile MPPT yöntemi çıkışı : a) LabVIEW arayüzü b) Osiloskop

IC ile MPPT yöntemi LabVIEW ile gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır ve sonuçlar incelenmiştir. Algoritmanın ürettiği görev periyodu değerinin LabVIEW arayüzündeki görüntüsü ve osiloskop ölçüm sonucu Şekil 5.13’da gösterilmiştir.

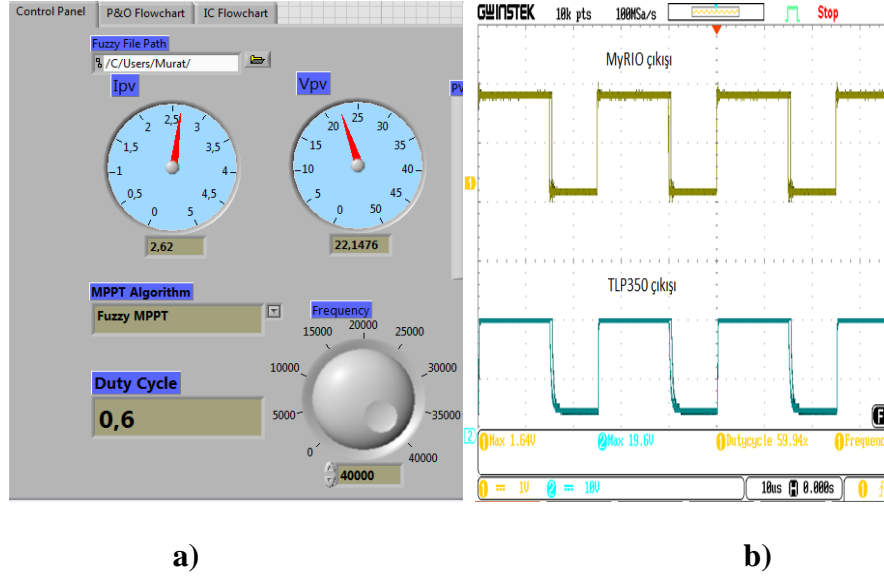


(a)

(b)

Şekil 5.13 : IC ile MPPT yöntemi çıkışı : a) LabVIEW arayüzü b) Osiloskop çıktısı

Bulanık mantık tabanlı MPPT yöntemi LabVIEW ile gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır ve sonuçlar incelenmiştir. Algoritmanın ürettiği görev periyodu değerinin LabVIEW arayüzündeki görüntüsü ve osiloskop ölçüm sonucu Şekil 5.14’da gösterilmiştir. Sistemde anahtarlama frekansı 40 kHz değerindedir.



Şekil 5.14 : Bulanık mantık kontrollü MPPT yöntemi gerçek zamanlı cevabı a) LabVIEW arayüzü b) Osiloskop çıktısı

Şekil 5.14'te gözlemlendiği gibi elde edilen sinyallerde, sarı renkle gösterilen sinyal DAQ kart çıkışında üretilen sinyali, mavi renkle gösterilen sinyal ise DAQ çıkışındaki sinyalin TLP 350 MOSFET sürücü entegresiyle yükseltilmiş halini göstermektedir. Görüldüğü gibi çalışma anında D değeri %59,94 olarak üretilmiştir.

Deneysel çalışmalar ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilen MPPT yöntemlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, önerilen bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminin P&O ve IC yöntemiyle kıyaslandığında, maksimum güç noktasını yakalama hızının daha çabuk olduğu ve maksimum güç noktası çevresindeki salınımlarının daha küçük olduğu görülmüştür. Mevcut yöntemlerin hızlı değişen atmosferik koşullara cevap verememesi problemi, bulanık mantık tabanlı MPPT yönteminde bulunmamaktadır. Çizelge 5.1'de önerilen yöntem ile incelenen diğer yöntemlerin bir karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 5.1 : MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması

MPPT Yöntemi	MPPT Yakalama Hızı (s)	Verim (%)
P&O	0,21	98,45
IC	0,20	98,56
Önerilen Yöntem	0,11	99.14

KAYNAKLAR

- [1] **Yılmaz A.**, (2018). *Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik (FV) Sistemlerin Mevcut Elektrik Şebekesi ile Entegrasyonu ve Güç Sistemine Etkileri* (Yüksek lisans tezi). Bursa Teknik üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [2] **Noman, A. M., Addoweesh, K. E., Mashaly, H. M.**, (2012). A fuzzy logic control method for MPPT of FV systems, *In IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 874-880, IEEE.
- [3] **Erdoğan, Y., Dinçler, T., Kuncan, M., & Ertunç, H. M.**, (2014). Güneş panelleri için yüksek verimli maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) tasarımı, *Türk Otomatik Kontrol Toplantısı*, Kocaeli-Türkiye, 1055-1060.
- [4] **Çelik, Ö., & Teke, A.**, (2017). A Hybrid MPPT method for grid connected photovoltaic systems under rapidly changing atmospheric conditions, *Electric Power Systems Research*, 152, 194-210.
- [5] **Reisi, A. R., Moradi, M. H., & Jamasb, S.**, (2013). Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 433-443
- [6] **Joshi, P., & Arora, S.**, (2017). Maximum power point tracking methodologies for solar FV systems—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1154-1177.
- [7] **Santos, J. L., Antunes, F., Chehab, A., & Cruz, C.**, (2006). A maximum power point tracker for FV systems using a high performance boost converter, *Solar Energy*, 80(7), 772-778.
- [8] **Çelik Ö.**, (2015). *A Nover Hybrid MPPT Method for Grid Connected Photovoltaic Systems wwith Partial Shading Conditions* (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Doğal ve uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Adana.
- [9] **Karami, N., Moubayed, N., & Outbib, R.**, (2017). General review and classification of different MPPT Techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1-18.
- [10] **Yu, G. J., Jung, Y. S., Choi, J. Y., & Kim, G. S.**, (2004). A novel two-mode MPPT control algorithm based on comparative study of existing algorithms, *Solar Energy*, 76(4), 455-463.
- [11] **Tafticht, T., & Agbossou, K.**, (2004). Development of a MPPT method for photovoltaic systems, *In Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004* (IEEE Cat. No. 04CH37513), IEEE, 1123-1126.
- [12] **Kim, Y., Jo, H., & Kim, D.**, (1996). A new peak power tracker for cost-effective photovoltaic power system, *In IECEC 96. Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Vol. 3, 1673-1678, IEEE.

- [13] **Shmilovitz, D.**, (2005). On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters, *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, 152(2), 239-248.
- [14] **Kangal, H.**, (2008). *Fotovoltaik Sistem Analizi ve Labview tabanlı MPPT Simülasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] **Boukezata, B., Chaoui, A., Gaubert, J. P., Hachemi, M.**, (2016). An improved fuzzy logic control MPPT based P&O method to solve fast irradiation change problem, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(4), 043505.
- [16] **Gaga, A., Errahimi, F., & Es-Sbai, N.**, (2014). Design and implementation of MPPT solar system based on the enhanced P&O algorithm using Labview, *In 2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 203-208, IEEE.
- [17] **Abdelsalam, A. K., Massoud, A. M., Ahmed, S., & Enjeti, P. N.**, (2011). High-performance adaptive perturb and observe MPPT technique for photovoltaic-based microgrids, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1010-1021.
- [18] **Khaehintung, N., Wiangtong, T., & Sirisuk, P.**, (2006). FPGA implementation of MPPT using variable step-size P&O algorithm for FV applications, *In 2006 International Symposium on Communications and Information Technologies*, 212-215, IEEE.
- [19] **Piegari, L., & Rizzo, R.**, (2010). Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking, *IET Renewable Power Generation*, 4(4), 317-328.
- [20] **Husain, M. A., Tariq, A., Hameed, S., Arif, M. S. B., & Jain, A.**, (2017). Comparative assessment of maximum power point tracking procedures for photovoltaic systems, *Green Energy & Environment*, 2(1), 5-17.
- [21] **Brambilla, A., Gambarara, M., Garutti, A., & Ronchi, F.**, (1999). New approach to photovoltaic arrays maximum power point tracking, *In 30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 632-637, IEEE.
- [22] **Danandeh, M. A.**, (2018). Comparative and comprehensive review of maximum power point tracking methods for FV cells, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2743-2767.
- [23] **Hiyama, T., Kouzuma, S., Imakubo, T., & Ortmeyer, T. H.**, (1995). Evaluation of neural network based real time maximum power tracking controller for FV system, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 10(3), 543-548.
- [24] **Hiyama, T., & Kitabayashi, K.**, (1997). Neural network based estimation of maximum power generation from FV module using environmental information, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 12(3), 241-247.
- [25] **Islam, M. A., & Kabir, M. A.**, (2011). Neural network based maximum power point tracking of photovoltaic arrays, *In TENCON 2011-2011 IEEE Region 10 Conference*, 79-82, IEEE.
- [26] **Al-Amoudi, A., & Zhang, L.**, (2000). Application of radial basis function networks for solar-array modelling and maximum power-point prediction, *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 147(5), 310-316.

- [27] Jiang, L. L., Srivatsan, R., & Maskell, D. L., (2018). Computational intelligence techniques for maximum power point tracking in FV systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 85, 14-45.
- [28] Kermadi, M., & Berkouk, E. M., (2017). Artificial intelligence-based maximum power point tracking controllers for Photovoltaic systems: Comparative study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 369-386.
- [29] Won, C. Y., Kim, D. H., Kim, S. C., Kim, W. S., & Kim, H. S., (1994). A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller, *In Proceedings of 1994 Power Electronics Specialist Conference-PESC'94*, 396-403, IEEE.
- [30] Simoes, M. G., & Franceschetti, N. N., (1999). Fuzzy optimisation-based control of a solar array system, *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, 146(5), 552-558.
- [31] Çakmak R., (2012). *Fotovoltaik Güç Üretim Sistemleri İçin Bulanık Mantık Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi* (Yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [32] Yilmaz, U., Kircay, A., & Borekci, S., (2018). FV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 994-1001.
- [33] Zou, X., Tao, F., Jiang, P., Gu, S., Qiao, K., Zuo, Y., & Xu, L., (2016). A new approach for data processing in supply chain network based on FPGA, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(1-4), 249-260.
- [34] Ghassami, A. A., Sadeghzadeh, S. M., & Soleimani, A., (2013). A high performance maximum power point tracker for FV systems, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 237-243.
- [35] Dorofte, C., Borup, U., & Blaabjerg, F., (2005). 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.
- [36] Amrouche, B., Belhamel, M., & Guessoum, A., (2007). Artificial intelligence based P&O MPPT method for photovoltaic systems, *Revue des Energies Renouvelables ICRESD-07 Tlemcen*, 11-16.
- [37] Bahgat, A. B. G., Helwa, N. H., Ahmad, G. E., & El Shenawy, E. T., (2005). Maximum power point tracking controller for FV systems using neural networks, *Renewable Energy*, 30(8), 1257-1268.
- [38] Ramaprabha, R., & Mathur, B. L., (2011). Intelligent controller based maximum power point tracking for solar FV system, *International Journal of Computer Applications*, 12(10), 37-41.
- [39] Larbes, C., Cheikh, S. A., Obeidi, T., & Zerguerras, A., (2009). Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system, *Renewable energy*, 34(10), 2093-2100.
- [40] Fıratoğlu, Z. A., Yeşilata, B., (2003). Maksimum güç noktası izleyicili fotovoltaik sistemlerin optimum dizayn ve çalışma koşullarının araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 147-158.

- [41] Nedumgatt, J. J., Jayakrishnan, K. B., Umashankar, S., Vijayakumar, D., & Kothari, D. P., (2011). Perturb and observe MPPT algorithm for solar FV systems-modeling and simulation, *In 2011 Annual IEEE India Conference*, 1-6, IEEE.
- [42] Patii, R., & Anantwar, H., (2017). Comparitive analysis of fuzzy based MPPT for buck and boost converter topologies for FV application, *In 2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)*, 1479-1484, IEEE.
- [43] Hohm, D. P., Ropp, M. E., (2000). Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed, *In Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE*, 1699-1702, IEEE.
- [44] Jordehi, A. R., (2016). Maximum power point tracking in photovoltaic (FV) systems: A review of different approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1127-1138.
- [45] Shahid, H., Kamran, M., Mehmood, Z., Saleem, M. Y., Mudassar, M., & Haider, K., (2018). Implementation of the novel temperature controller and incremental conductance MPPT algorithm for indoor photovoltaic system, *Solar Energy*, 163, 235-242
- [46] Kuo, Y. C., Liang, T. J., & Chen, J. F., (2001). Novel maximum-power-point-tracking controller for photovoltaic energy conversion system, *IEEE transactions on industrial electronics*, 48(3), 594-601.
- [47] Na, W., Chen, P., & Kim, J., (2017). An improvement of a Fuzzy Logic-Controlled maximum power point tracking algorithm for photovoltaic applications, *Applied sciences*, 7(4), 326.
- [48] Selman, N. H., & Mahmood, J. R., (2016). Comparison between perturb & observe incremental conductance and fuzzy logic MPPT techniques at different weather conditions, *International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology*, 5(7).
- [49] ESRAM, T., & Chapman, P. L., (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques, *IEEE Transactions on energy conversion*, 22(2), 439-449.
- [50] Al Nabulsi, A., & Dhaouadi, R., (2012). Efficiency optimization of a DSP-based standalone FV system using fuzzy logic and dual-MPPT control, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 8(3), 573-584.
- [51] Chung, F. L., & Lee, T., (1994). A fuzzy learning model for membership function estimation and pattern classification, *In Proceedings of 1994 IEEE 3rd International Fuzzy Systems*, 426-431, IEEE.
- [52] Bayrak G., (2013). *Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin tasarımı ve Farklı Şebeke Koşulları Altında Analizi* (Doktora tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Murat BAYRAM
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.10.1992 / İzmit
E-posta : murat.bayram.4161@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği