T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOKAK AYDINLATMASI İÇİN PV BESLEMELİ YÜKSEK VERİMLİ LED SÜRÜCÜ DEVRESİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Ünal YILMAZ

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ŞANLIURFA
2016

Doç.Dr. Ali KIRÇAY danışmanlığında Ünal YILMAZ'ın hazırladığı '**Sokak Aydınlatması İçin PV Beslemeli Yüksek Verimli LED Sürücü Devresi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi'** konulu bu çalışma 11/07/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Ali KIRÇAY .....

Üye :Yrd. Doç. Dr. Mehmet Hadi SUZER .....

Üye :Doç. Dr. Selim BÖREKCİ .....

Bu Tezin Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No:15145

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
1.1. PV Panel 3
1.1.1. Solar Hücrenin Çalışma Prensibi 3
1.1.2. PV Panellerin Elektriksel Karakteristikleri 7
1.2. PV Panellerde Maksimum Güç Noktası 11
1.2.1.Gözlemle&Değiştir Metodu (P&O) 11
1.2.2. Artan İletkenlik Metodu 13
1.2.3.Sabit Gerilim Metodu (Constant-Voltage, CV) 15
1.2.4. Kısa devre akımı uyartı metodu (Short-Current Pulse Method, SC) 16
1.2.5. Bulanık Mantık ile MPPT 16
1.3. LED Aydınlatma 19
1.3.1. LED'lerin Karakteristikleri 20
1.3.2. LED Sürücü Devreleri 22
1.3.3. Pasif Akım Kontrolü 23
1.3.4. Doğrusal Kontrol Yöntemi 23
1.4. Anahtarlı Led Sürme Devreler 25
1.4.1.Yükseltici (Boost converter) Dönüştürücü 26
1.4.1.1. Anahtar İletimde İken Devre Analizi 27
1.4.1.2. Anahtar iletim dışı iken devre analizi 28
1.4.2. Düşürücü Dönüştürücü (Buck converter) 30
1.4.3. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost Converter) Dönüştürücü 33
1.4.4. Flyback Dönüştürücü 36
1.4.5. SEPIC Dönüştürücü (Single-Ended-Primary-İnductor-Converter) 38
1.5. PI Denetleyici İle Dönüştürücü Kontrolü 40
1.5.1. P (Proportional) Kontrolcüsü 40
1.5.2. P-I (Proportional-integral) Kontrolcüsü 41
1.5.3. P-D (proportional- derivative) Kontrolcüsü 41
1.5.4. P-I-D (Proportional-integral-derivative) Kontrolcüsü 41
1.5.5. PID Kontrol Metodları 42
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 46
3. MATERYAL ve YÖNTEM 49
3.1. Materyal 49
3.1.1. PV Beslemeli SEPİC Dönüştürücü ve P&O, IC, FLC MPPT Algoritmalarının Değişen Sıcaklık Ve Işınım Altında Karşılaştırılması 49
3.1.2. PV Panelin karakteristiğinin belirlenmesi 50
3.2. Yöntem 53
3.2.1. PV panelin En Büyük Güç Noktasını Takip Eden MPPT Algoritmalarının Tasarımı 53
3.2.2. Değiştir Gözlemle (P&O) MPPT Algoritmasının Tasarlanması 54
3.2.3. Artan İletkenlik (IC) MPPT Algoritmasının Tasarlanması 55
3.2.4. Bulanık Mantık (FLC) MPPT Algoritmasının Tasarlanması 57
3.3. Elde Edilen Veriler ve Sistemin Matlab/Simulinkte Tasarımı 61
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 62
4.1. Araştırma Bulguları ve Tartışma (1.Çalışma) 65
4.2. PV beslemeli Flyback dönüştürücüyü Sabit Gerilim (Constant Voltage) MPPT metodu ile Farklı Sıcaklık ve Işınım Altında akü şarj sistemi 65
4.2.1. Solar Hücrelerin Seri Bağlanarak PV Panel Elde Edilmesi ve Karakteristik Özelliklerin Belirtilmesi 66

4.2.2. PI Denetleyici tasarımı 69
4.2.3. DA-DA Flyback dönüştürücü benzetim modeli 70
4.2.4 Batarya Karakteristik Benzetim Modelleri 71
4.3. Araştırma Bulguları ve Tartışma (2.Çalışma) 72
4.4. PV System Yüksek Verimli Sokak Aydınlatmasının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi 77
4.5. Solar hücrelerden PV panel 78
4.6. Bulanık Mantık ile MPPT 79
4.6.1. Artırıcı (boost) Dönüştürücü 81
4.6.2. Azaltıcı (buck) Dönüştürücü 82
4.6.3. PI Denetleyici tasarımı 83
4.7. Araştırma Bulguları (3.Çalışma) 83
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 92
5.1. Sonuçlar 92
5.2. Öneriler 92
KAYNAKLAR 94
ÖZGEÇMİŞ 97

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SOKAK AYDINLATMASI İÇİN PV BESLEMELİ YÜKSEK VERİMLİ LED SÜRÜCÜ DEVRESİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Ünal YILMAZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Ali KIRÇAY
Yıl: 2016, Sayfa:108

Son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmeler ile birlikte artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların azalması ve çevre kirliği gibi etkenler bilim dünyasını yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Azalan maliyeti, çevreye zarar vermeyişi ve güneşin olduğu her yerde enerji üretebiliyor oluşu fotovoltaik (PV) sistemlere olan ilgiyi oldukça artırmıştır. PV (fotovoltaik) sistemlerden elde edilen enerji sabit değildir, sıcaklık ve ışınım gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir. PV panellerden üretilen enerjiyi en üst seviyeye çıkarabilmek için literatürde birçok MPPT (Maksimum Güç Noktası Tarama) algoritması tanımlanmıştır. MPPT sistemleri, PV panellerden alınan akım ve gerilim değerlerini işleyerek sistemin maksimum güçte çalışması için gerekli olan gerilim değerlerini tespit eder ve DA-DA (Doğru-Akım) dönüştürücüler yardımıyla sisteme uygular. Enerji ihtiyacının artması, var olan enerji daha verimli kullanmayı zorunlu kılmıştır. Dünyada üretilen enerjinin yaklaşık %20'si aydınlatma için kullanıldığı öngörülmektedir, bu oran oldukça yüksektir. Aydınlatma enerjisini daha verimli kullanabilmek açısından LED (ışık yayan diyot) teknolojisi kullanılmaktadır. LED'ler yapılarından dolayı çalışmaya başladıklarında yüksek akım çekmek isterler, yüksek akım aynı zamanda sıcaklığı artırdığından dolayı bu durum LED verimini düşürmekte ve bir süre sonra LED'lerin bozulmasına sebep olmaktadır. LED akımını uygun değerlerde tutabilmek için LED sürücü devrelerinin kullanılması gerekmektedir. Hem PV panellerden elde edilen enerjiyi en üst seviyeye çıkarmak hem de üretilen enerjiyi daha verimli kullanmak adına bu tez çalışmasında üç farklı sistem MATLAB/Simulink programı kullanılarak tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Birinci çalışmada üç farklı MPPT algoritmasının; Değiştir&Gözlemle (P&O), Artan İletkenlik (IC), ve Bulanık Mantık (FLC), performansları farklı sıcaklık ve farklı ışınım değerleri altında test edilmiştir. MPPT algoritmaları SEPIC (Single-Ended-primary-Inductor-Converter) dönüştürücü kullanılarak tasarlanmış olup elde edilen güç miktarları kaydedilerek karşılaştırma yapılmıştır. İkinci çalışmada ise PV sistemlerde Sabit Gerilim (CV) algoritması farklı ışınım ve farklı sıcaklık değerleri altında Flyback dönüştürücüye uygulanarak çıkış gerilimi sabit tutulmaya çalışılmış ve lityum-ion batarya şarj edilmiştir. Son çalışmada ise değişken ışınım ve sıcaklık değerlerinde iyi sonuç verdiği gözlemlenen Bulanık mantık ile tasarlanan MPPT algoritması artırıcı (boost) dönüştürücüye uygulanmış olup Akü şarj edilmiştir. PI denetleyici ise boost (artırıcı) dönüştürücüden sonra elde edilen yüksek gerilim değerini LED aydınlatma devresinin çalıştığı gerilim değerine düşürebilmek için azaltıcı (buck) dönüştürücüye uygulanarak LED aydınlatma sistemi için uygun akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: PV panel, DA-DA dönüştürücüler, Maksimum güç noktası izleyici (MPPT), LED sürücü devreleri, PI kontrol

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN AND CONSTRUCTION HIGH EFFICIENCY PV SOURCED LED DRIVER CIRCUIT FOR STREET ILLUMINANCE

Ünal YILMAZ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali KIRÇAY
Year: 2016, Page:108

In recent years, increasing energy needs by development of technology, reduction of fossil fuels and increasing environmental pollution lead science world to renewable energy sources. The advantages like Reducing cost, doesn't harm to environment and producing energy anywhere sunlight exist, make the photovoltaic panels very attractive. The power and voltage of PV panels are nonlinear, they are depends on tempearature and irradiance. To get maximum power from PV panel there are many MPPT algorithm in literature. MPPT algorithm gets current and voltage at the polarity of PV panels and regulate duty cycle of DC-DC converters, to operate PV panel at maximum power point. Using energy efficiently is as important as producing energy. Nearly %20 of the energy in the world is used for illumination. To use energy more efficiently, LEDs are preferred for illumination. The LEDs can pull high current when switch on, this condition cause increasing temperature of LEDs, decreasing the efficiency and also it may cause broken of LEDs, because of that, current and voltage of LEDs must be controlled by LED drivers. To get maximum Energy from PV panels and to use produced energy efficiently, in this research three different studies designed and constructed in MATLAB/Simulink. At first study, the performance of three different MPPT algorithms which are Perturb&Observe, Incremental Conductance (IC) and Fuzzy Logic (FLC) MPPT algorithms compared under variable temperature and irradiance, The MPPT algorithms applied to SEPİC converter and compared the load power for three MPPT algorithms. At the second study, the Constant Voltage (CV) algorithm applied to flyback converter to get high energy from PV panel also to get available voltage for charging the li-ion battery under variable temperature and irradiance. At the latest study, the Fuzzy Logic MPPT algorithm (which performing well under variable temperature and irradiance), applied the boost converter under variable irradiance and at constant temperature to charge battery with available voltage and current. The voltage of PV panel increased after boost converter so buck converter controlled by PI control to decrease the voltage after boost converter and provide appropriate voltage and current for LED illuminance system.

KEY WORDS: PV panels, DC-DC Converters, Maximum Power Point Tracking (MPPT), LED Drivers, PI control

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması aşamalarında bilgi ve birikimlerinden yararlandığım danışman hocam sayın Doç.Dr. Ali KIRÇAY'a (Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği) ve sayın Doç.Dr. Selim BÖREKCİ'ye (Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği) teşekkür ederim. Değerli mesai arkadaşlarım, Arş. Gör. Fatma Zuhal ADALAR'a, Arş. Gör. Taner KARSLI'ya, Arş. Gör. Uğur HARMANCI'ya (Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği), Öğr. Gör. Ruknettin IŞIK'a (Harran Üniversitesi Birecik Meslek Yüksekokulu), teşvik ve katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım. Ayrıca bu tez çalışmasını maddi olarak destekleyen HÜBAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Solar hücre yük taşıyıcıları ... 3
Şekil 1.2. Solar Hücrenin Eşdeğer Devresi ... 4
Şekil 1.3. Belli bir ışınım ve sabit sıcaklık için PV dizinin (a) I – V, (b) P – V karakteristikleri ... 7
Şekil 1.4. PV hücrelerden PV panel oluşumu ... 8
Şekil 1.5. PV panelin Güç-Gerilim karakteristiği (a) Akım-Gerilim karakteristiği (b), ... 9
Şekil 1.6. PV panelin Akım-Gerilim karakteristiği (a), Güç-Gerilim karakteristiği (b) ... 10
Şekil 1.7. PV Panel Güç-gerilim karakteristiği ... 12
Şekil 1.8. P&O algoritmasının akış diyagramı ... 13
Şekil 1.9. PV panel Güç-Gerilim Karakteristiği ... 14
Şekil 1.10. Artan iletkenlik metodu akış diyagramı ... 15
Şekil 1.11. (a) Klasik bulanık küme (b) Üçgensel bulanık küme (c) Çan eğrisi bulanık küme (d) Gaussian bulanık küme ... 17
Şekil 1.12. Bulanık Mantık Denetleyicisi kapalı halka kontrol sistemi ... 17
Şekil 1.13. PV panel güç-gerilim karakteristiği ... 18
Şekil 1.14.LED Akım-Gerilim karakteristiği ... 20
Şekil 1.15. LED Verim-Zaman karakteristiği ... 21
Şekil 1.16. LED Akım-Işık şiddeti karakteristiği (Gürbüz, 2012) ... 21
Şekil 1.17. LED Işık Akısı-Sıcaklık Karakteristiği ... 22
Şekil 1.18. Direnç ile Akım Sınırlama ... 23
Şekil 1.19. LM317 ile LED sürme devresi ... 24
Şekil 1.20. (a) Anahtar kapalı (iletimde) (b) Anahtar açık (iletim yok) ... 25
Şekil 1.21. (a) Yükseltici Dönüştürücü, (b) Anahtar iletmde, (c) Anahtar iletim dışı ... 27
Şekil 1.22. (a) Bobin gerilimi (b) Diyot akımı (c) Bobin akımı (d) Kapasitör akımı ... 28
Şekil 1.23. Düşürücü dönüştürücü (a), Anahtar iletimde iken eşdeğer devre (b) Anahtar iletim dışı (c) ... 31
Şekil 1.24. (a) Düşürücü-yükseltici dönüştürücü, (b) Anahtar kapalı (c) Anahtar açık ... 34
Şekil 1.25. (a) Flyback dönüştürücü, (b) Anahtar iletimde iken, (c) Anahtar iletim dışı ... 37
Şekil 1.26. SEPİC dönüştürücü ... 38
Şekil 1.27. PID denetleyicisinin dönüştürücüye uygulanışı ... 40
Şekil 1.28. PID kontrol geri bildirim sistemi ... 41
Şekil 1.29. Ziegler Nichols Metodu için Cevap Eğrisi ... 43
Şekil 3.1. PV panel karakteristiğinin belirlenmesi için oluşturulan benzetim modeli ... 51
Şekil 3.2. I-V karakteristik eğrisi değişken ışınım (a), P-V karakteristik eğrisi değişken ışınım (b), P-V karaktersistik eğrisi değiken sıcaklık (c), I-V karakteristik eğrisi değişken sıcaklık (d) ... 53
Şekil 3.3. MPPT algoritmasının devreye uygulanışı ... 54
Şekil 3.4. P&O MPPT algoritması Matlab/Simulink ... 55
Şekil 3.5. PV panelin P-V karakteristik eğrisi ... 56
Şekil 3.6. Artan iletkenlik metodunun gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink ... 57
Şekil 3.7.PV panelin P-V karakteristik eğrisi ... 58
Şekil 3.8. CE (FLC MPPT hata değişim oranı) ... 59
Şekil 3.9. E (FLC MPPT hata oranı) ... 60
Şekil 3.10. dD (FLC MPPT çıkış) ... 60
Şekil 3.11. FLC MPPT metodunun gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink ... 60
Şekil 3.12. MPPT Sistemi ve SEPİC dönüştürücü Matlab/Simulink ... 61
Şekil 4.1. Sıcaklığın zamana göre değişimi ... 62
Şekil 4.2. Işınımın zamana göre değişimi ... 62
Şekil 4.3. Güç-Gerilim karakteristiğinde meydana gelen değişim ... 63
Şekil 4.4. MPPT algoritmaları ve Güç miktarı ... 63
Şekil 4.5. SEPİC dönüştürücü çıkış gerilimi ... 64
Şekil 4.6. SEPİC dönüştürücü giriş gerilimi (PV panel gerilimi) ... 64
Şekil 4.7. Solar hücrelerden PV panel elde edilmesi ... 66

Şekil 4.8. PV panel karakteristik devresi benzetim modeli 67
Şekil 4.9. PV panel karakteristik (a) P-V sabit sıcaklık (b) I-V sabit sıcaklık (c) P-V sabit ışınım (c) I-V sabit ışınım 69
Şekil 4.10. PI denetleyici Matlab/Simulink 69
Şekil 4.11. DA-DA flyback dönüştürücü Matlab/Simulink 70
Şekil 4.12. Batarya şarj ünitesi (BCU) Matlab/Simulink 71
Şekil 4.13. Batarya şarj durumu (BCU) Matlab/Simulink 72
Şekil 4.14. PV panel sıcaklık değerleri 73
Şekil 4.15. PV panel ışınım değerleri 73
Şekil 4.16. PV panel P-V karakteristik eğrileri 74
Şekil 4.17. PV panel gerilim değerleri 74
Şekil 4.18. Flyback dönüştürücü çıkış gerilimi 75
Şekil 4.19. Flyback dönüştürücü çıkış gücü 75
Şekil 4.20. Li-ion batarya elektriksel değerleri 76
Şekil 4.21. PV beslemeli Flyback dönüştürücülü şarj sistemi Sistem 76
Şekil 4.22. PV beslemeli Flyback dönüştürücülü yüksek verimli sürücü devresi 77
Şekil 4.23. PV beslemeli yüksek verimli sokak aydınlatması 78
Şekil 4.24. PV panel P-V karakteristiği 79
Şekil 4.25. PV panel I-V karakteristiği 79
Şekil 4.26. FLC üyelik fonksiyonu MPPT (CE) 80
Şekil 4.27. FLC üyelik fonksiyonu MPPT (E) 80
Şekil 4.28. FLC üyelik fonksiyonu MPPT (dD) 80
Şekil 4.29. FLC MPPT metodunun gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink 81
Şekil 4.30. Artırıcı (boost) dönüştürücünün gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink 82
Şekil 4.31. Azaltıcı (buck) dönüştürücünün gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink 82
Şekil 4.32. PI denetleyici Matlab/Simulink 83
Şekil 4.33. PV Panel ışınım değeri Matlab/Simulink 84
Şekil 4.34. PV Panel sıcaklık değeri Matlab/Simulink 84
Şekil 4.35. PV Panel P-V karakteristik değerleri Matlab/Simulink 85
Şekil 4.36. PV Panel ve artırıcı dönüştürücü güç Matlab/Simulink 85
Şekil 4.37. Boost dönüştürücü görev çevrimi Matlab/Simulink 86
Şekil 4.38. Buck dönüştürücü gerilimi Matlab/Simulink 86
Şekil 4.39. Buck Dönüştürücü yük Gücü Matlab/Simulink 87
Şekil 4.40. Boost Dönüştürücü yük Gerilimi Matlab/Simulink 88
Şekil 4.41. PV Panel Gerilimi Matlab/Simulink 88
Şekil 4.42. Li-ion batarya şarj durumu Matlab/Simulink 89
Şekil 4.43. Sokak Aydınlatması için LED dizisi Matlab/Simulink 89
Şekil 4.44. FLC MPPT boost dönüştürücü batarya şarj sistemi Matlab/Simulink 90
Şekil 4.45. Batarya beslemeli LED Sokak aydınlatması Matlab/Simulink 90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Bulanık Mantık Kural Tablosu 19
Çizelge 1.2. Işık Kaynaklarının Verim Karşılaştırılması 20
Çizelge 1.3. PID kontrol karakteristiklerinin sisteme etkisi 42
Çizelge 1.4. PID kontrol Parametreleri (ZG) 43
Çizelge 1.5. PID kontrol Parametreleri-(DZG) 44
Çizelge 3.1. PV panel elektriksel özellikleri ve eşdeğer devre elemanları (STC şartlarında-1000w/m2, 25^{o}C) 50
Çizelge 3.2. Benzetimi yapılan PV panelin farklı sıcaklık ve farklı ışımalardaki MPP noktalarının değişimi 53
Çizelge 3.3.Bulanık mantık denetleyici için oluşturulan kural tablosu 59
Çizelge 3.4. DA-DA SEPİC dönüştürücü devre elemanları 61
Çizelge 4.1. MPPT Algoritmalarının verim karşılaştırılması 65
Çizelge 4.2. PV panel elektriksel özellikleri ve eşdeğer devre elemanları (STC şartlarında-1000w/m2, 25^{o}C) 67
Çizelge 4.3. PI denetleyici kazanç değerleri 70
Çizelge 4.4. Flyback dönüştürücü devre değerleri 71
Çizelge 4.5. Sistem verimliliğinin dört farklı durum için incelenmesi 77
Çizelge 4.6. Bulanık Mantık Kural Tablosu 81
Çizelge 4.7. Tasarlanan sistemin elektriksel değerleri 91

SİMGELER DİZİNİ

AC	Alternatif Akım
D	Görev Periyodu
DA	Doğru Akım
FF	Doldurma Faktörü
FLC	Bulanık Mantık Denetleyici
G	Işınım Şiddeti
HC	Tepeye Tırmanma Algoritması
I – V	Fotovoltaik Dizinin Akım Gerilim Eğrisi
I	Fotovoltaik Dizi Akımı
I_0	Diyot Doyum Akımı
I_D	Diyot Akımı
I_{MPP}	Fotovoltaik Dizinin En Büyük Güç Noktasındaki Akımı
IC	Artan İletkenlik Algoritması
I_{PH}	Foton Akımı
I_{SC}	Solar Hücre Kısa Devre Akımı
K	Boltzmann Katsayısı
K_I	Akım Sıcaklık Katsayısı
K_V	Gerilim Sıcaklık Katsayısı
MPP	En Büyük Güç Noktası
MPPT	En Büyük Güç noktası tarama
N_P	Paralel Bağlı Hücre Sayısı
N_S	Seri Bağlı Hücre Sayısı
P – V	Fotovoltaik panel Güç-Gerilim Eğrisi
P	Fotovoltaik Panelin Ürettiği Güç
P&O	Değiştir ve Gözlemle Algoritması
P_{MAX}	Fotovoltaik panelin Üretebileceği En Büyük Güç
PV	Fotovoltaik
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
R_P	Fotovoltaik Hücrenin Paralel Direnci
R_S	Fotovoltaik Hücrenin Seri Direnci
STC	Standart Test Koşulları
T_C	Fotovoltaik Hücre Sıcaklığı
t_{off}	Darbe Genişlik Modülasyonu Kapalı Süresi
t_{on}	Darbe Genişlik Modülasyonu Açık Süresi
V	Fotovoltaik Dizi Gerilimi
V_{MPP}	Fotovoltaik Dizinin En Büyük Güç Noktasındaki Gerilimi
V_{OC}	Fotovoltaik Dizinin Açık Devre Gerilimi
V_{th}	Fotovoltaik Hücre Termal Gerilimi
iC	Kondansatör Akımı (A)
VL	Bobin Gerilimi (V)
V	Kondansatör Gerilimi (V)
If	Led Akımı
Vf	Led Gerilimi (V)
f	Frekans
PI	Oransal integral
i	Bobin Akımı (A)

1. GİRİŞ

Özellikle son yıllarda, hayatın neredeyse her alanında etkisini çok daha fazla hissettiren teknolojik gelişmeler, bilim dünyasını yeni arayışlara yöneltmiştir, şüphesiz bunların başında artan enerji ihtiyacını karşılama arayışı gelmektedir. Fosil yakıtların (petrol, kömür, doğalgaz) giderek azalması ayrıca kullanıldığında çevreye CO_2 gazı ve diğer zararlı maddeleri salması, hem canlılar için hem de çevre için ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu tehditlerin başında iklim değişiklikleri, buzulların erimeye başlaması, deniz seviyesinde meydana gelen artışlar ve ozon tabakasında oluşan tahribatlar gelmektedir. Fosil yakıtların yanı sıra nükleer enerji de alternatif enerji olarak birçok ülke tarafından kullanılmaktadır. Nükleer santrallerde uranyumun fisyon tepkimesi sonucu ortaya çıkan yüksek ısı elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılmaktadır. Fakat nükleer enerji konusunda yetişmiş eleman sayısının azlığı, nükleer atıkların depolanması, güvenlik koşullarının zorluğu gibi sorunlar, bunun yanı sıra 1986 yılında Ukrayna'daki Çernobil reaktöründe meydana gelen patlama ve 2011 yılında Japonya'da fukuşima I nükleer santral kazası gibi felaketler de nükleer enerjinin tam anlamıyla uygun enerji olmadığını açıkça göstermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları (Güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, gel-git ve akıntı enerjisi) fosil atıklardan elde edilen enerjiden farklı olarak doğaya çok az etki etmelerinden ve gaz salınımı yapmadıklarından dolayı temiz enerji kaynakları olarak ta adlandırılırlar (Mertens, 2014). Dünya birincil enerji kaynaklarında fosil yakıtların payı yüzde 81 iken 2035 yılına kadar geçen sürede öngörülen pay yüzde 63'e kadar düşebileceği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzdeki payı yüzde 14 iken 2035 yılına kadar geçen sürede ulaşabileceği oran yüzde 26 olarak öngörülmektedir (Anonim, 2015). Yenilenebilir enerji kaynaklarında en fazla dikkat çeken alanlardan biri ise solar enerji (fotovoltaik); hidroelektrik, rüzgar ve dalga enerjisi güneşin tetiklediği iklim değişikliklerinden etkilenirken, PV paneller güneş ışımalarını doğrudan elektrik enerjisine çevirebilirler. Bu durum bilim dünyasında oldukça ilgi uyandırmıştır (Prudhvi ve Sai, 2012). Günümüzde PV panel fiyatlarının yüksek oluşu, veriminin düşük oluşu, çıkış gücü ve akımının doğrusal olmayışı gibi dezavantajları mevcuttur

(Altın, 2016). Fotovoltaik (PV) panellerden üretilen elektrik enerjisi, Güneş ışınımı ve sıcaklık ile değişmektedir. Sıcaklık ve ışınımın değişmesiyle akım ve gerilim arasındaki oran değişmektedir, her ışınım ve sıcaklık değeri için PV panelden elde edilebilecek en yüksek güç değeri farklıdır (Isaloo ve Amiri, 2010). PV panelden herhangi bir koşulda elde edilebilecek en yüksek güç miktarına o panelin maksimum güç noktası (MPP) denmektedir. PV panelleri maksimum güç noktasında çalıştırmak için farklı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler kolaylık, kesinlik, tepki zamanı, fiyat ve diğer faktörlerden dolayı farklılık göstermektedirler (Altın, 2016). Bu sistemler maximum güç noktası izleyicisi (Maximum Power Point Tracker - MPPT) olarak adlandırılır. Bunlardan bazıları; Değiştir&Gözlemle (Perturb & Observe - P&O), (Agarval, 2014) Tepe Tırmanma (Hill climbing - HC), Artan iletkenlik (Incremental Conductance - IC)(Selvan, 2013), Bulanık Mantık (Fuzzy Logic Control- FLC) (Cheng ve ark., 2015) yöntemleridir. Enerji üretimi kadar önemli bir diğer konu ise enerjinin verimli kullanılmasıdır. Dünya genelinde aydınlatma için kullanılan enerji miktarı toplam enerjinin yaklaşık %18'i olarak bilinmektedir (Gürbüz, 2012). Enerji tüketiminin hızla artması ve enerji kaynaklarının sınırlı oluşu aydınlatma için harcanan enerji veriminin önemini artırmıştır. Aydınlatma veriminden kasıt çalışma güvenliği ve konforu aksatmadan enerji tasarrufu sağlamaktır (Kaya, 2014). Yarı iletken teknolojisinin aydınlatmada kullanılması ile birlikte LED (light emitting diode) teknolojisi insanlığın kullanımına sunulmuştur.

LED aydınlatmaları; yüksek verimlilik, düşük enerji tüketimi, yoğun ışık yayılımı, uzun ömür, karartma yapılabilme, dayanıklılık, küçük boyut gibi özelliklere sahiptir. LED teknolojisinin son yıllarda hızla ilerlemesi beraberinde yeni nesil LED üretimini sağladı. Yeni nesil LED'ler kullanım alanlarına göre güç LED, yüksek güçlü LED, yüksek parlak LED ve çok yüksek parlak LED olarak sınıflandırılabilir (Gürbüz, 2012). Yeni nesil LED'lerin güç LED olarak adlandırılmasının sebebi yüksek akımlarla sürülmesidir. Yüksek akım aynı zamanda LED'lerin jonksiyon sıcaklığını artırmakta ve bu durum LED verimliliğini düşürmektedir ayrıca jonksiyon sıcaklığı belli bir değerin üzerine çıkması durumunda LED'ler bozularak kullanılmaz hale gelir bu yüzden LED'ler akım sınırlamalı sürücü devrelerle kullanılmalıdır (Gürbüz, 2012).

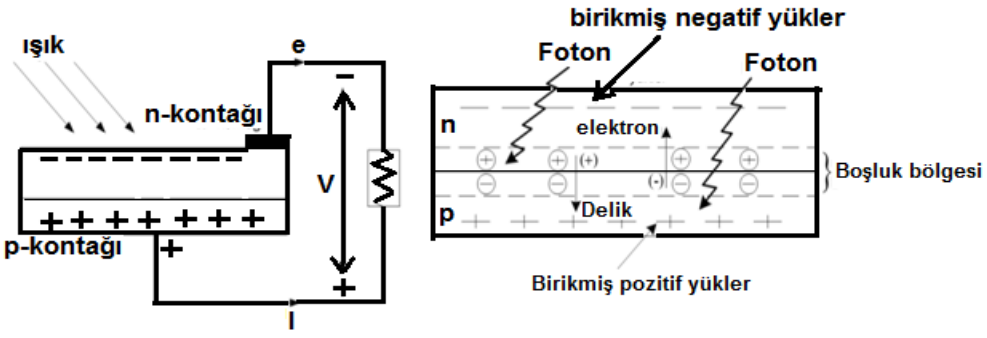
PV panellerden elde edilen enerjiyi en üst seviyeye çıkarmak ve üretilen enerjiyi daha verimli kullanmak adına bu tez çalışmasında üç farklı sistem yapılmıştır. Birinci çalışmada üç farklı MPPT algoritması; Değiştir&Gözlemle (P&O), Artan İletkenlik (IC), ve Bulanık Mantık (FLC), MPPT algoritmaları farklı sıcaklık ve farklı ışınım altında SEPİC dönüştürücü kullanılarak tasarlanmış olup elde edilen güç miktarları karşılaştırılmıştır. İkinci çalışmada ise PV sistemlerde Sabit Gerilim (CV) MPPT algoritması farklı ışınım ve farklı sıcaklık değerleri altında Flyback dönüştürücüye uygulanarak çıkış gücü ve çıkış gerilimi sabit tutulmaya çalışılmış, aynı zamanda değişen sıcaklık ve ışınım miktarının enerji oranını nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Son çalışmada Bulanık mantık MPPT algoritması ile artırıcı (boost) dönüştürücü kullanılmış olup Akü şarj edilmiş, PI denetleyiciyle azaltıcı (buck) dönüştürücü kullanılarak LED aydınlatma sisteminin akım ve gerilim değerleri sabit tutulmuştur.

1.1. PV Panel

En basit haliyle güneş ışınlarında var olan enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yapılardır. PV panelleri anlayabilmek için solar hücrelerin yapısını kavramak oldukça önemlidir.

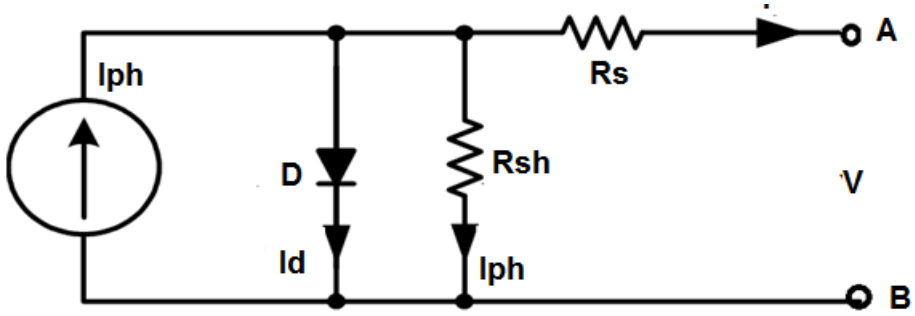
1.1.1. Solar Hücrenin Çalışma Prensibi

Solar hücrenin çalışma prensibi klasik p-n jonksiyonlu diyot ile çok benzerdir ışık p-n yapısının jonksiyon bölgesinde soğrulurken foton enerjisi kullanılan malzemenin elektron yapısına katılır ve jonksiyon kısmanda yük taşıyıcıları oluşur. Şekil 1.1.'de solar hücre yapısı ve yük taşıyıcıları gösterilmiştir (Işık, 2015).



Şekil 1.1. Solar hücre yük taşıyıcıları

Jonksiyon bölgesindeki taşıyıcılar bir potansiyel oluşturarak harici devreden akım akmasını sağlar ve $P=I^2.R$ büyüklüğüne bir güç elektrik enerjisine dönüştürülür ve geriye kalan foton gücü ise devredeki sıcaklığın artmasına sebep olur. Solar hücrenin eşdeğer devre şeması şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Solar Hücrenin Eşdeğer Devresi

Eşdeğer devrede iki direnç bir diyot ve akım kaynağı bulunur, seri direnç (Rs) PV hücredeki metalden, kontaklardan ve akımın aktığı bölümde meydana gelen kayıpları temsil ederken paralel direnç (Rsh) ve ise meydana gelen sızıntı akımını temsil eder. Paralel direncin büyüklüğü seri dirençten çok daha büyüktür (Noman ve Ark., 2012). Bir PV panelin sahip olduğu akım gerilim karakteristiği denklem (1.1) ve denklem (1.2)'de gösterilmiştir

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot (e^{(\frac{V+IRs}{ns+Vth})} - 1) - \frac{V+IRs}{Rsh} \quad (1.1)$$

$$V_{th} = \frac{A \cdot k \cdot Tstc}{q} \quad (1.2)$$

I=PV panelin çıkış akımı, V= PV panelin çıkış gerilimi, Iph= PV panelden elde edilen akım, Io= diyotun ters doyum akımı, k= boltzmann sabiti (1.380×10^{-23} J/K), q=bir elektron yükü (1.602×10^{-19} C) ifade eder. Ayrıca Rs= seri direnç Rsh= paralel direnç ve Tstc= Standart Test Durumu (STC[1]) sıcaklığı ifade etmektedir (Sera ve

[1] Güneş ışınımının 1 000 W/m^2, ortam sıcaklığının 25 ^{0}C ve hava kütlesinin 1.5 olduğu ortam koşulları (Standart Test Condition – STC)

Ark., 2007). Diyotun doyum akımının (Io) ve PV panelden elde edilen akımın (Iph) değişimleri denklem (1.3) ve denklem (1.4)'te gösterilmiştir.

Diyotun doyum akımı;

$$I_0 = (I_{SC} - \frac{V_{oc} - I_{sc} \cdot Rs}{R_{sh}}) \cdot e^{\frac{V_{oc}}{ns \cdot Vt}} \quad (1.3)$$

PV panelden elde edilen akım ise;

$$I_{ph} = I_0 \cdot e^{\frac{V_{oc}}{ns \cdot V_t}} + \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (1.4)$$

PV panelden elde edilen akım ve gerilim doğrusal değildir ve çevresel faktörlerden etkilenmektedir. En önemli çevresel faktörler ise ışıma ve sıcaklıktır. PV panelin akım ve geriliminin ışıma ve sıcaklıktan etkilenme durumu aşağıdaki denklemlerde (Sera ve Ark., 2007) gösterilmiştir. Kısa devre akımı ve PV panel akımı ışıma ile doğru orantılı olarak değiştiği varsayılabilir;

$$I_{sc}(G) = I_{sc} \cdot G$$
$$I_{ph}(G) = I_{ph} \cdot G \quad (1.5)$$

Isc = kısa devre akımı, Iph= PV panelden elde edilen akım ve G ışıma sayısı (W/m2) Açık devre geriliminin (Voc) sıcaklık ve ışıma ile değişmesi ise denklem (2.6)'da gösterilmiştir (Sera ve Ark., 2007).

$$V_{oc}(G) = \ln(\frac{I_{ph}(G) \cdot R_{sh} - V_{oc}(G)}{I_0 R_{sh}}) \cdot nsVt \quad (1.6)$$

Sıcaklık artışı kısa devre akımını az da olsa artırırken açık devre gerilimini azaltmaktadır. Denklem (1.7) ve denklem (1.8)'de sıcaklığın akım ve gerilim üzerindeki etkisi ifade edilmiştir (Sera ve Ark., 2007).

$$V_{oc}(T) = V_{oc} + k_v(T - T_{stc}) \quad (1.7)$$

$$I_{sc}(T) = I_{sc}(1 + \frac{ki}{100}(T - T_{stc}) \quad (1.8)$$

k_v =açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı(V/^{0}C), k_i =kısa devre akımı sıcaklık katsayısı(A/^{0}C)

Bir PV hücrenin sıcaklığı ışımaya ve ortam sıcaklığına bağlıdır.

$$T_C = T_{Ortam} + (T_{NOCT} - 20).\frac{G}{G_{NOCT}} \quad (1.9)$$

Denklem (1.9)'da belirtildiği üzere; T_{Ortam}: ortamın sıcaklığını (^{0}C), T_{NOCT}: NOCT[2] deki hücre sıcaklığını (^{0}C) ve G_{NOCT}: 800 W/m^2 NOCT deki ışınımı ifade etmektedir (Işık, 2015).

Bir PV hücreden elde edilebilecek güç miktarı oldukça düşüktür bundan dolayı PV hücreler seri veya paralel bağlanarak istenen güç ve gerilim elde edilmeye çalışılır. Seri bağlanan hücreler sistemin gerilim miktarını artırırken paralel bağlanan hücreler ise akım miktarını artırmaktadır. PV hücreler seri veya paralel bağlanarak PV modülleri, modüller ise seri veya parellel bağlanarak PV panelleri, paneller ise seri veya paralel bağlanarak PV dizileri oluştururlar. N_S seri bağlı hücre ve N_P paralel bağlı kol sayısı olmak üzere, $N_S \times N_P$ tane hücreden oluşmuş bir PV dizinin akım ve gerilimi arasındaki ilişki Denklem (1.10)'da ifade edilmiştir (Işık, 2015).

$$I = N_P.I_{PH} - N_P.I_0\left[\exp\left(\frac{V + I.(N_S/N_P).R_S}{N_S.a.V_{th}}\right) - 1\right] - \frac{V + I.(N_S/N_P).R_S}{(N_S/N_P).R_P} \quad (1.10)$$

Sabit sıcaklık ve belirli bir ışıma miktarında bir PV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri üç önemli noktaya bağlıdır.

- Kısa devre akımı (Isc), PV panelin pozitif ve negatif kutuplarından elde edilebilecek en büyük akım miktarıdır. Bu noktada gerilim değeri sıfırdır (Vpv=0)

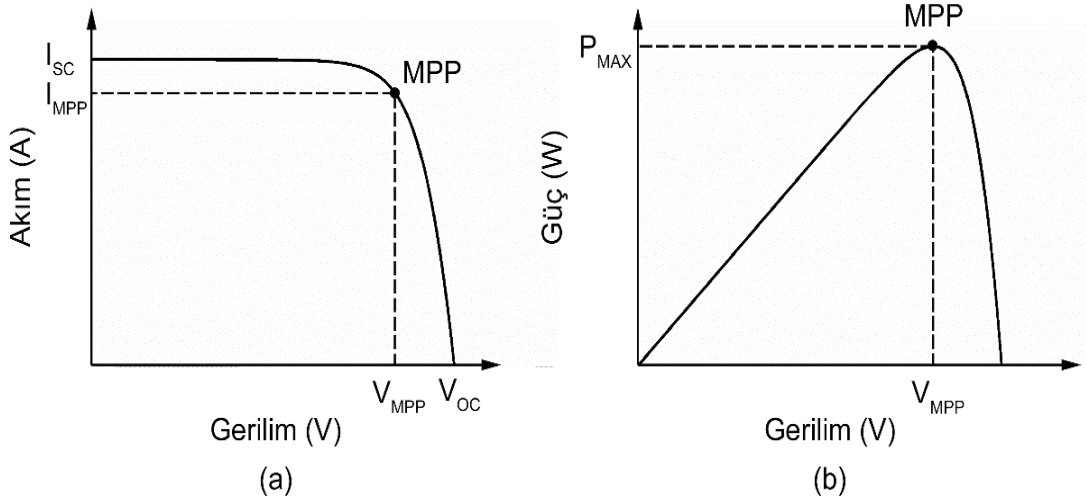
[2] Güneş ışınımının 800 W/m^2, olduğu, ortam sıcaklığının 20 ^{0}C olduğu ve rüzgar hızının 1 m/s olduğu ortam koşuluna (Nominal Operating Cell Temperature – NOCT) denir

- Açık devre gerilimi (Voc), PV panelin pozitif ve negatif kutupları arasında elde edilebilecek en büyük gerilim değerini ifade eder. Bu noktada akım değeri sıfırdır (Ipv=0)
- Maksimum güç noktası (MPP) PV panelden elde edilebilecek en büyük güç (Pmax) miktarının elde edildiği nokta ve PV panelin en verimli çalıştığı noktadır (Bendib ve Ark., 2015).

$$P_{\max} = V_{mpp} \cdot I_{mpp} \tag{1.11}$$

Vmpp = maksimum güç noktasındaki gerilim, Impp=maksimum güç noktasındaki akımı ifade etmektedir. Bir PV panelin sabit sıcaklık ve belli bir ışınım değeri için sahip olduğu akım - gerilim (I-V) ve güç - gerilim (P-V) karakteristikleri Şekil 1.3.'te gösterilmiştir. Bir PV panelin maksimum güç noktasına ne kadar yakın olduğunu gösteren yapı ise dolum oranı (Fill Factor- FF) ise (Işık, 2015);

$$FF = \frac{V_{MPP}.I_{MPP}}{V_{OC}.I_{SC}} = \frac{P_{MAX}}{V_{OC}.I_{SC}} \tag{1.12}$$

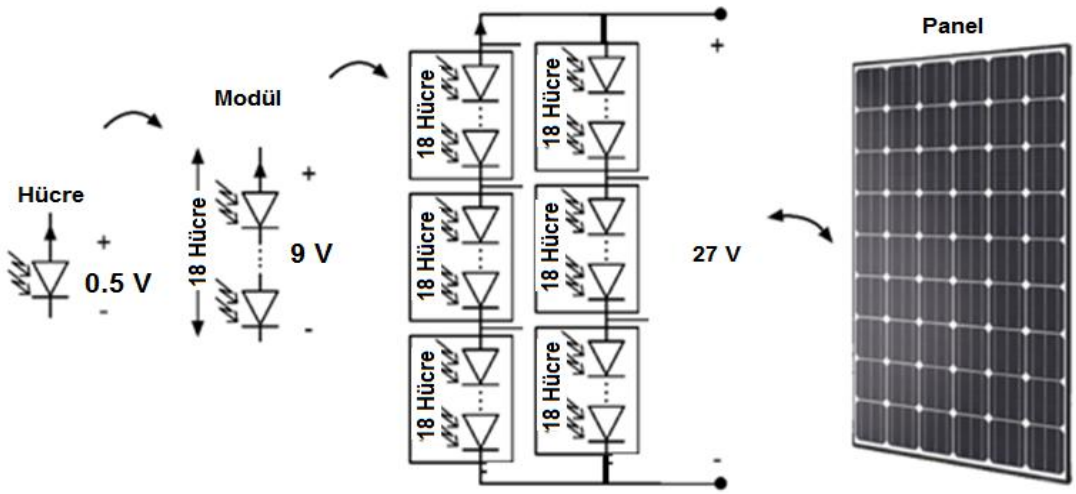


Şekil 1.3. Belli bir ışınım ve sabit sıcaklık için PV dizinin (a) I – V, (b) P – V karakteristikleri

1.1.2. PV Panellerin Elektriksel Karakteristikleri

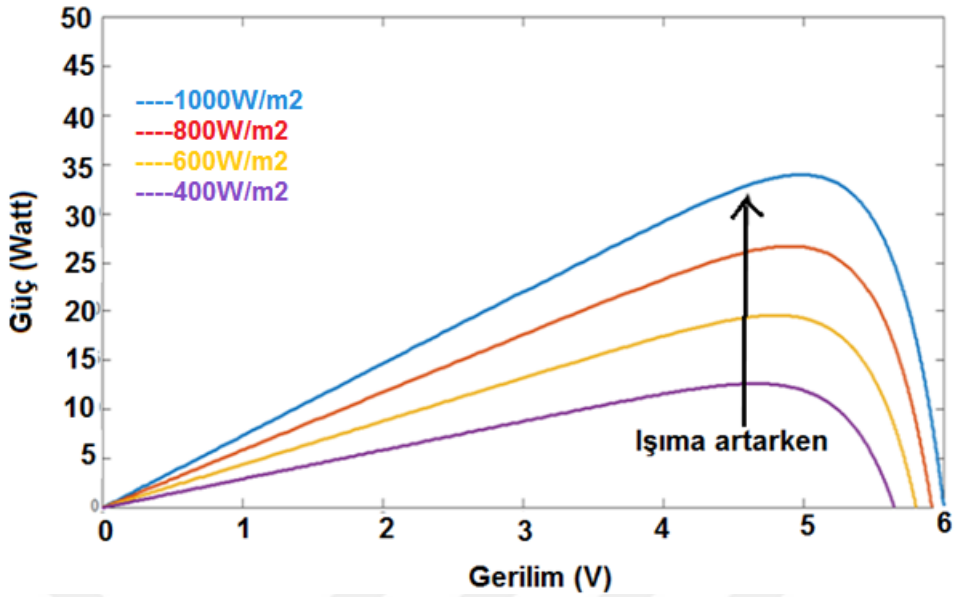
PV hücrelerden elde edilen gerilim ve güç değerleri oldukça düşüktür, yüksek güç ve gerilim değerlerine ihtiyaç duyulan devreler için PV hücreler paralel veya seri bağlanarak PV modülleri ve PV modüller de paralel veya seri bağlanarak PV

panelleri oluşturmaktadır. Şekil 1.4.'te solar hücrelerden PV panel oluşumu gösterilmiştir.

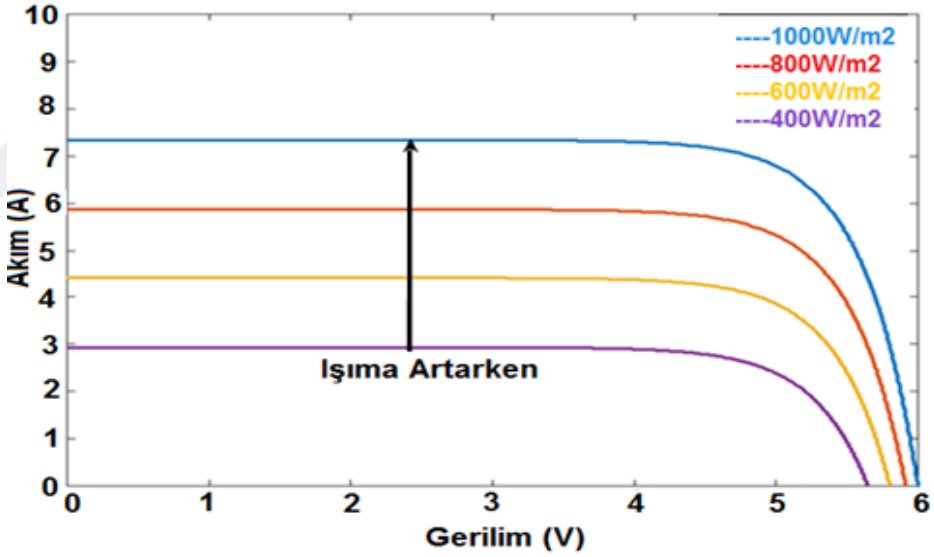


Şekil 1.4. PV hücrelerden PV panel oluşumu

PV panellerden elde edilen akım ve gerilim sabit değildir. Işıma ve sıcaklığa göre PV panellerden elde edilen güç miktarı değişmektedir. Sıcaklık artışı kısa devre akımını az da olsa artırırken açık devre gerilimini oldukça azaltmakta ve bu durumda PV panellerden elde edilen güç miktarı da azalmaktadır. Işıma ile PV panel akımı doğru orantılı olarak değişmektedir. PV panellerin akım gerilim ve güç gerilim karakteristiklerinin sıcaklığa göre değişimi Şekil 1.5. ve Şekil 1.6.'da gösterilmiştir.



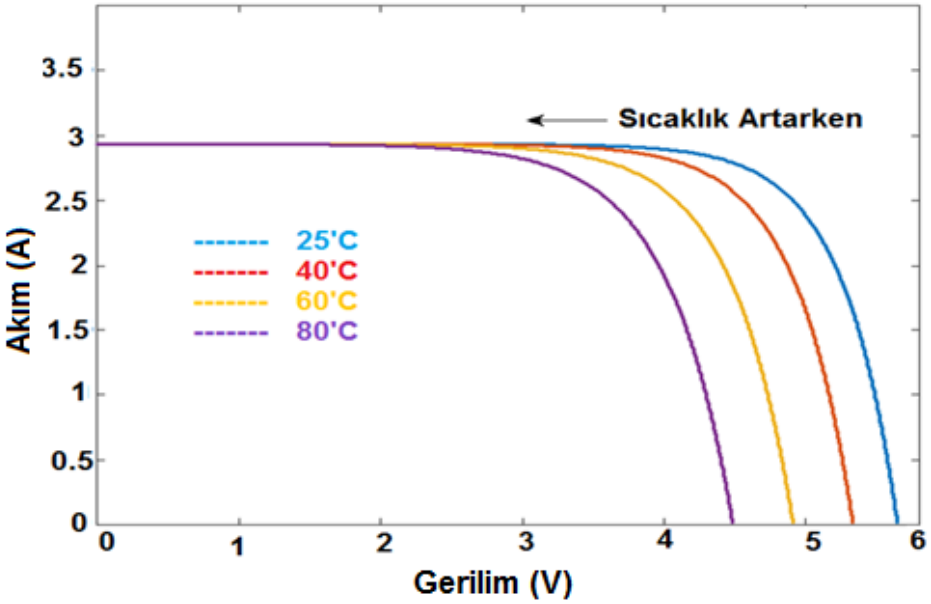
(a)



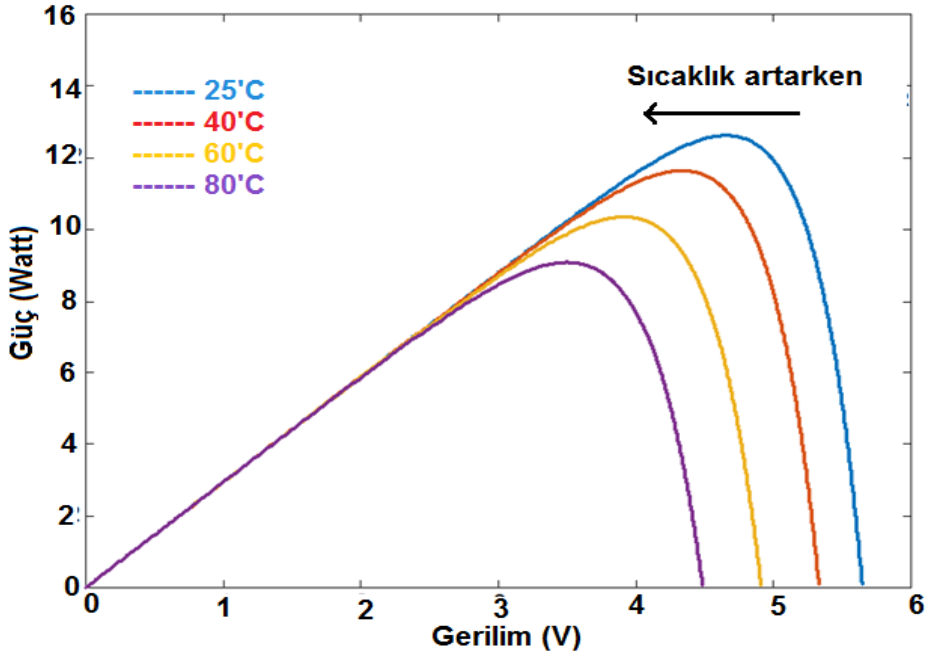
(b)

Şekil 1.5. PV panelin Güç-Gerilim karakteristiği (a) Akım-Gerilim karakteristiği (b),

Şekil 1.6.'da 10 Adet seri bağlanmış bir PV modülün sabit 25°C sıcaklıktaki ve farklı ışımalardaki (400W/m2-1000W/m2) akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1.6. PV panelin Akım-Gerilim karakteristiği (a), Güç-Gerilim karakteristiği (b)

Şekil 1.6.'da 10 Adet seri bağlanmış bir PV modülün sabit ışımada (1000 W/m2) ve farklı sıcaklıklarda (25^{o}C-80^{o}C) akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri gösterilmiştir.

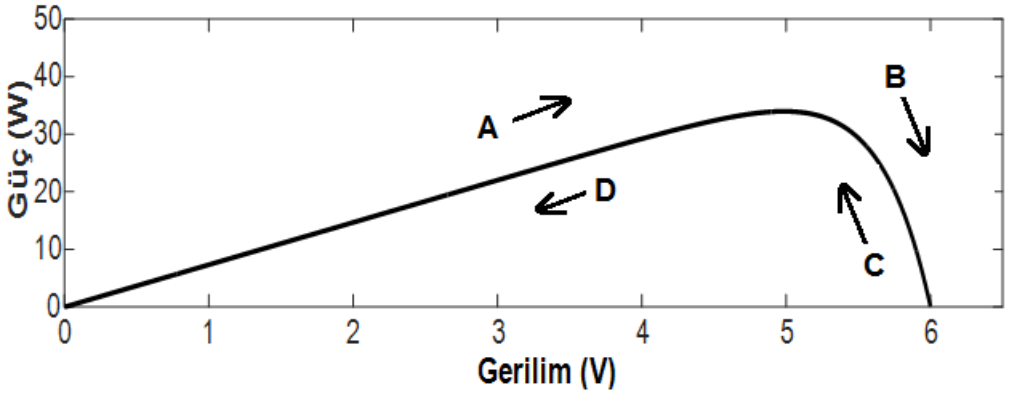
1.2. PV Panellerde Maksimum Güç Noktası

Solar enerji en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Fakat solar enerjinin iki önemli problemi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi solar enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülme oranı yani verimi düşüktür(%9-%18), bir diğer sorun ise PV panellerin akım ve gerilim karakteristiği ışınım ve sıcaklığa bağlı olduğundan doğrusal değildir (Faranda ve ark., 2008). Durum böyle olunca her sıcaklık ve ışınım miktarına göre sadece bir maksimum güç noktası bulunmaktadır. Işınım ve sıcaklık miktarı değiştikçe PV panelin maksimum güç noktası da değişmektedir. PV panellerden maksimum güç elde edilecek yerler hesaplamalarla ve çeşitli algoritmalarla belirlenebilir. Maksimum güç noktası takibi (MPPT-Maximum power point) yapan sistemlerin amacı PV panelleri maksimum güçte çalıştırabilmektir (Faranda ve ark., 2008).

Literatürde birçok MPPT tekniği tanımlanmıştır bunlardan bazıları; Değiştir-Gözlemle (P&O), Artan İletkenlik (Incremental-Conductance, IC), Yapay sinir ağları (Artifical neural network, AFN), Bulanık mantık metodu (fuzzy logic method, FLC), Tepe Tırmanma (Hill Climb, HC), bu teknikler birçok açıdan; (uygulanabilirlik, kolaylık, tepki hızı, fiyat gibi) farklılık göstermektedir. Bu tekniklerden en yaygın kullanılanlar; P&O ve IC metodlarıdır. Kullanım sebepleri ise kolay uygulanabilir olmasıdır (Dolara ve ark., 2009).

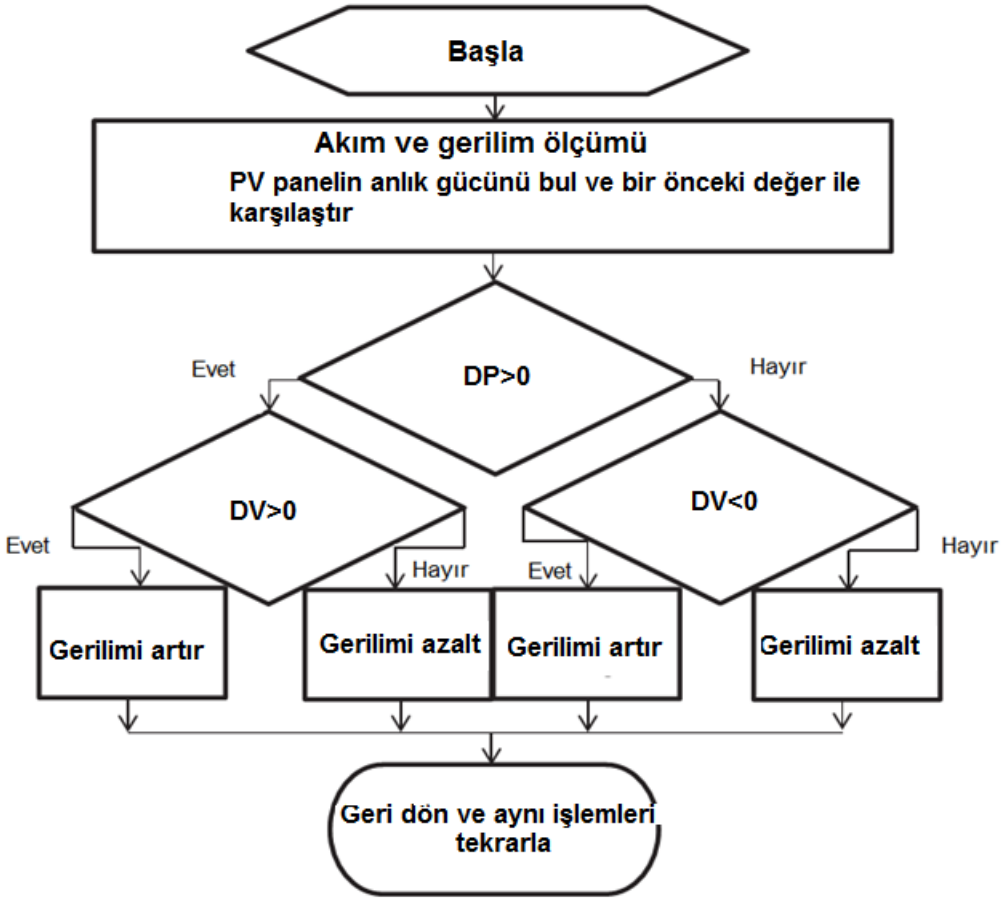
1.2.1.Gözlemle&Değiştir Metodu (P&O)

Kolay uygulanabilme ve PV panel karakteristiğinden bağımsız olarak çalışma gibi avantajlarından dolayı en fazla kullanılan MPPT algoritmasıdır. P&O algoritmasının uygulanması için; önce PV panelin akım ve gerilimi (i_{pv}, v_{pv}) ölçülür, daha sonra gücü tespit edilir (P_{pv}). PV panelin gerilimi değiştiğinde gücünün de değişebildiğinden dolayı, gerilim değişiminde güç tekrar ölçülür ve eğer güç bir önceki değerden büyük ise gerilim aynı yönde da-da (doğru akım) dönüştürücünün görev çevrimi değiştirilerek artırılır. Her adımda PV panel gücüne bakılır eğer $\Delta P > 0$ ise gerilim aynı yönde eğer $\Delta P < 0$ ise gerilim zıt yönde değiştirilir (Jiang, 2014). Şekil 1.7.'de P&O metodunun işlemi gösterilmiştir.



Şekil 1.7. PV Panel Güç-gerilim karakteristiği

Şekil 1.7. 'de görüldüğü üzere, eğer gerilim arttığında Güç artarsa (Şekil 1.7A) o halde gerilim aynı yönde artırılmaya çalışılıp, güç maximum güç noktasına yakınlaştırılmaya çalışılır. Eğer gerilim arttığı halde güç azalırsa (Şekil 1.7B) o halde gerilim azaltılmaya çalışılır. Eğer gerilim azaldığı halde güç artarsa (Şekil 1.7C) o halde gerilim azaltılmaya devam edilir. Eğer gerilim azaltılmaya devam edilir ve ve güçte azalırsa (Şekil 1.7D) o halde gerilim artırılmaya çalışılır (Jiyang, 2014). Şekil 1.8.'de P&O akış diyagramını daha açık bir şekilde göstermiştir.



Şekil 1.8. P&O algoritmasının akış diyagramı

1.2.2. Artan İletkenlik Metodu

Bilindiği üzere iletkenlik, direncin tam olarak karşıtıdır.

$G = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$ Artan iletkenlik metodunun temeli iletkenliğin türevi alınarak maksimum güç noktasına yakınlaşmayı hedefler (Masood ve ark., 2014). Şekil 1.9.'da gösterilen PV panelin güç gerilim karakteristiğine bakılırsa maksimum güç noktasında eğimin sıfır olduğu görülecektir. Artan iletkenlik metodunda ise sürekli iletkenlik karşılaştırılması yapılır. Eğer gücün gerilime göre türevi alınırsa;

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(I \cdot V)}{d(V)} = I + V \cdot \frac{d(I)}{d(V)} = I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \tag{1.13}$$

Maksimum güç noktası için akım ve gerilim oranı (Şekil 1.9);

$$I + V\frac{\Delta I}{\Delta V} = 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{-I}{V} \tag{1.14}$$

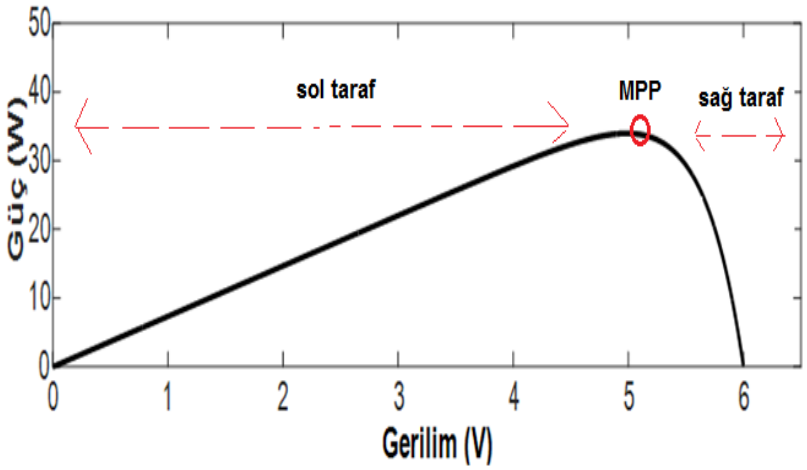
Maksimum güç noktasının sol tarafı için akım ve gerilim oranı (Şekil 1.9) ;

$$I + V\frac{\Delta I}{\Delta V} > 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} > \frac{-I}{V} \tag{1.15}$$

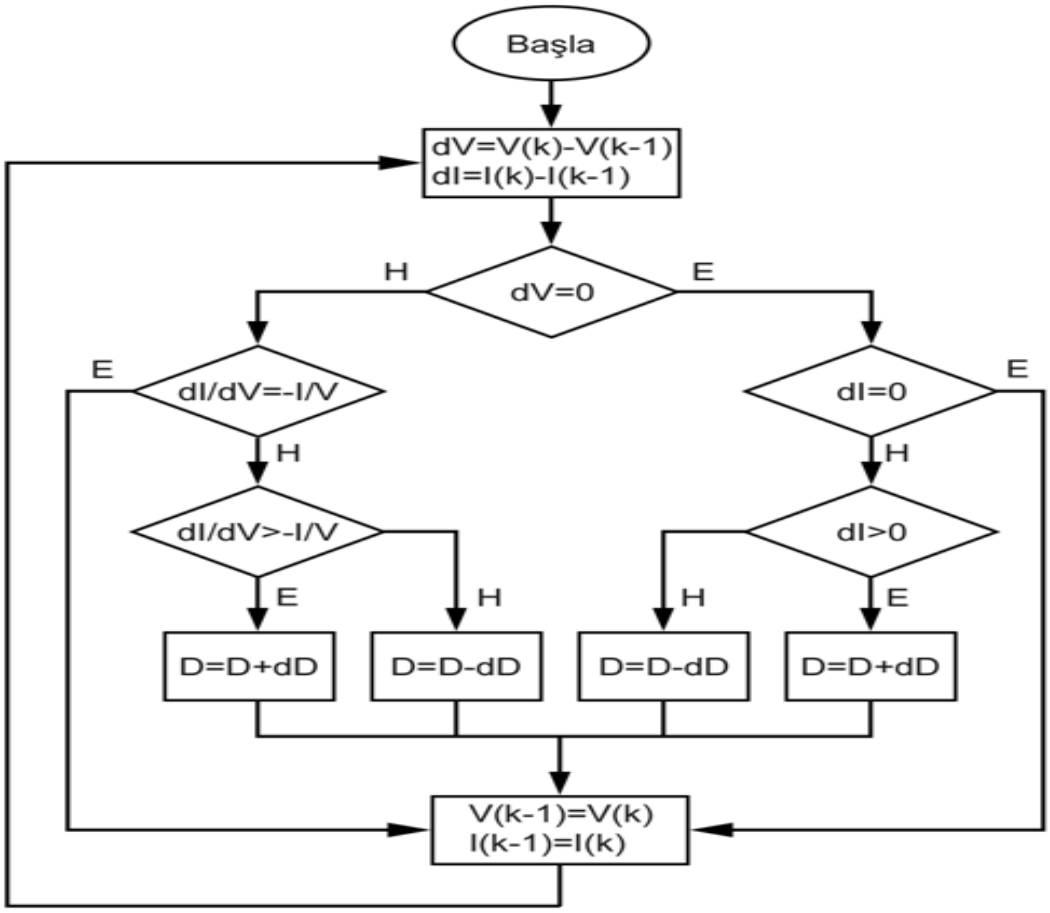
Maksimum güç noktasının sağ tarafı için akım ve gerilim oranı (şekil 1.9) ;

$$I + V\frac{\Delta I}{\Delta V} < 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} < \frac{-I}{V} \tag{1.16}$$

Artan iletkenlik algoritmasında akım ve gerilim değerleri bir önceki akım ve gerilim değerleriyle karşılaştırılarak maksimum güç noktası bulunur (Keskin ve ark., 2014). Artan iletkenlik algoritması P&O algoritmasından biraz daha karmaşık olsa da P&O algoritmasından daha iyi sonuç verdiği söylenebilir ayrıca P&O algoritmasından çok daha hızlı bir şekilde değişen ışınım şartlarına tepki verip maksimum güç noktasını yakalamaya çalışır (Masood ve ark., 2014). Artan iletkenlik metodunun akış diyagramı Şekil 1.10.'da verilmiştir. H=hayır, E=evet, D= görev çevrimidir.



Şekil 1.9. PV panel Güç-Gerilim Karakteristiği



Şekil 1.10. Artan iletkenlik metodu akış diyagramı

1.2.3. Sabit Gerilim Metodu (Constant-Voltage, CV)

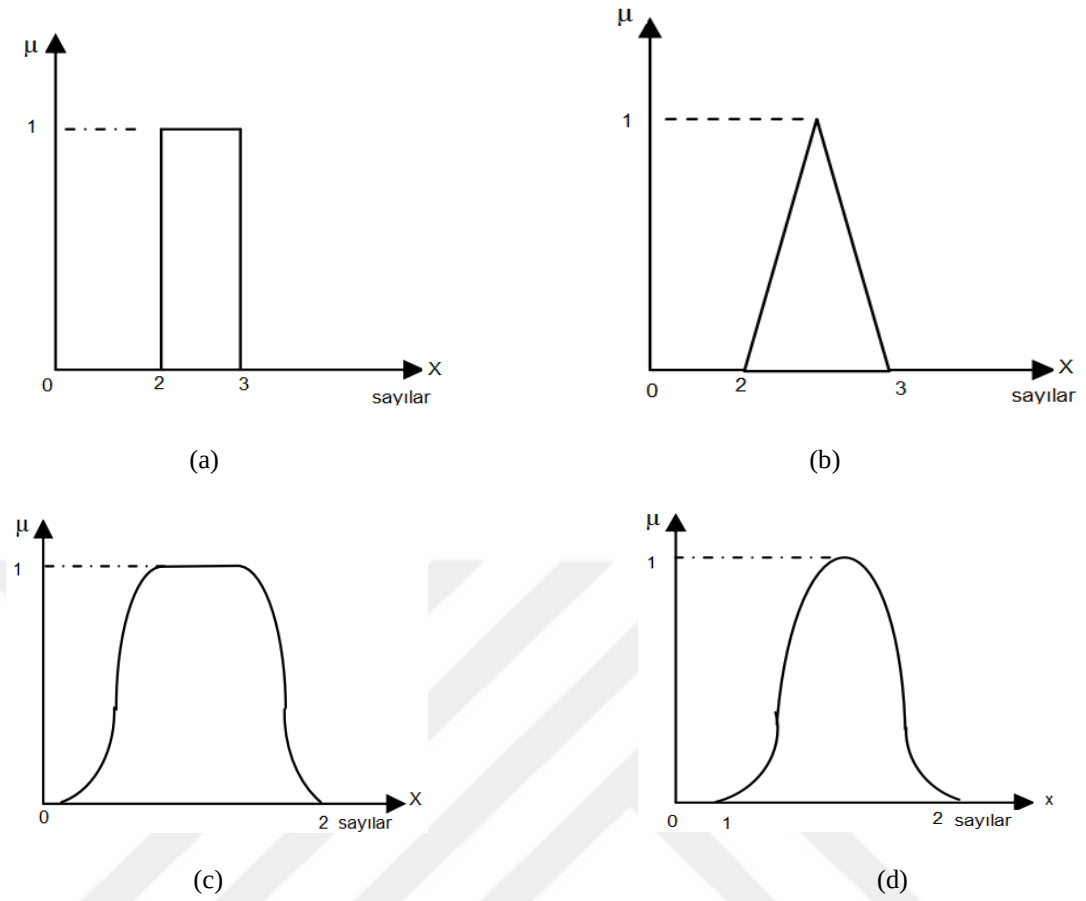
Sabit gerilim metodu en kolay uygulanabilen Maksimum güç noktası arama metodlarından biridir. PV paneller maksimum güç noktasına yakın yerlere getirilip gerilim ölçümü yapılır ve bu gerilim daha önce güç-gerilim karakteristiği çıkarılmış PV panelin gerilimi ile karşılaştırılır. Bu metod ışınım ve sıcaklıkta meydana gelen değişimleri ayrı önemser ve referans olarak belirlediği gerilim (Vref) maksimum güç noktasına yeteri kadar yakın olduğunu kabul eder. CV metodunda PV panel gerilimi dışında herhangi bir girişe (input) ihtiyaç yoktur. CV MPPT algoritması genellikle PV panelden alınan gerilim değeri PI control sistemi ile düzenlenir ve dönüştürücünün görev çevrimi (Duty-cycle) ayarlanarak PV panelin maksimum güçte çalışması amaçlanır. CV metodu düşük ışınım değerlerinde P&O ve IC metodundan çok daha iyi sonuçlar verebilir (Faranda ve ark., 2008).

1.2.4. Kısa devre akımı uyartı metodu (Short-Current Pulse Method, SC)

Kısa devre akım metodunda maksimum güç noktasına ulaşmak için devredeki akım bir güç dönüştürücüsüne verilir. Sistemdeki akım I_{op} ile kısa devre akımı I_{sc} arasında farklı ışımalarda bir oran olduğu belirtilir. $\mathbf{I_{op} = k \cdot I_{SC}}$ Burada; Isc= kısa devre akımı, k matematiksel bir oran, Iop=sistemdeki akım. Aradaki oran bulunursa kısa devre akımından sistemdeki akım çabuk bulunur. Sıcaklığın 0°C ile 60°C arasında olduğu durumlarda denklem %92 oranında doğruluk vermektedir. Bu metod ta önemli olan kısa devre akımın belirlenmesidir. Kısa devre akımı da PV panele paralel bir anahtar bağlanarak elde edilebilir. Kısa devre akımı bulunurken devrede bir gerilimin olmadığı ve enerji harcanmadığı göz ardı edilmemelidir. Bu metod da tıpkı sabit gerilim metodunda olduğu gibi referans gerilimi tanımlanır ve PI kontrol ile gerilim düzenlenir (Faranda ve ark., 2008).

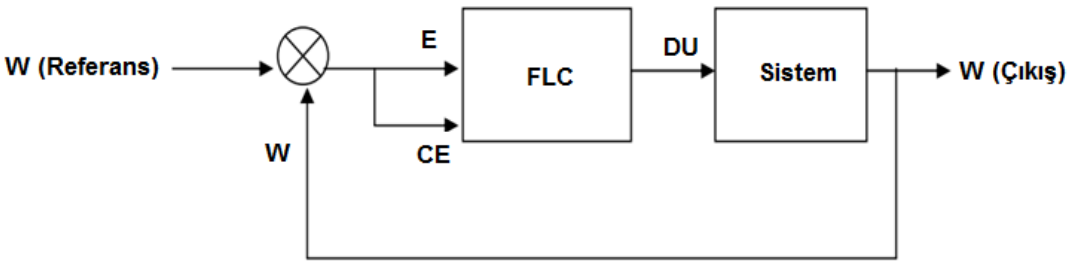
1.2.5. Bulanık Mantık ile MPPT

Dünyadaki bazı olayların matematiksel olarak ifade edilmesi ya çok zor yada imkansızdır. Cismin ısı kaybetmesi, kapasitörün şarj ve deşarj olayı gibi doğrusal olmayan birçok olayı matematiksel modellemek oldukça zordur, doğrusal olmayan ve matematiksel olarak ifade edilmesi zor olan olguları çok daha basitleştirerek servise sunan bir yapıdır. Bulanık küme kavramında ise; geleneksel küme kavramında bir eleman için kümenin elemanıdır veya kümenin elemanı değildir yani bir kümenin elemanı ise "1" kümenin elemanı değilse "0" mantığından çok bir elemanın bir küme için üyelik derecesi 1 ile 0 arasında belirtilir. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları şekil 1.11.'de gösterilmiştir (Anonim, 2000).



Şekil 1.11. (a) Klasik bulanık küme (b) Üçgensel bulanık küme (c) Çan eğrisi bulanık küme (d) Gaussian bulanık küme

Üyelik fonksiyonlarının sayısına ve şekline dair hiçbir kısıtlama yoktur. Şekil 1.11.'de en çok kullanılan şekiller verilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinin kapalı çevrimi Şekil 1.12.' de gösterilmiştir. Sistem değişkenlerinde meydana gelen hata (E) iken hatada meydana gelen değişim oranı ise (CE) olarak ifade edilmektedir. Bulanık mantık denetleyicisi ise DU olarak çıkış vermektedir (Anonim, 2000).



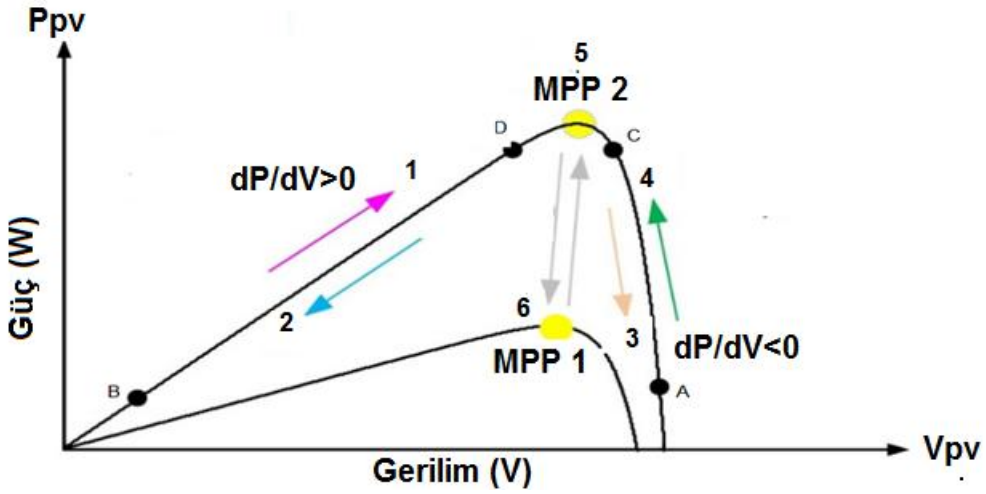
Şekil 1.12. Bulanık Mantık Denetleyicisi kapalı halka kontrol sistemi

Bulanık mantık ile MPPT metodunda PV panelde meydana gelen gerilim değişimi DV_{pv} ve güç değişimi DP_{pv} bulanık mantık kontrolcüsünün girişleri olacak şekilde ayarlanır bulanık mantık için üyelik fonksiyonlarının şekil seçimi tamamıyla tasarlayıcına bağlıdır Şekil 1.11.'deki herhangi bir yapıyı seçebilir. Bulanık mantık kontrolcüsü için kural tablosundaki değerler genellikle 5 değerlikli veya 7 değerlikli seçilir bunlar; sıfır (S), pozitif büyük (PB), pozitif orta (PO), pozitif küçük (PK), negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NK), olarak seçilir. Bulanık mantık kontrolcüsü için oluşturulabilecek 5 değerlikli kural tablosu çizelge 1.1.'de gösterilmiştir. Sistem değişkenlerinde meydana gelen hata (E) iken hatada meydana gelen değişim oranı ise (CE) olarak ifade edilmiş ve denklem (1.17) ve denklem (1.18)'de belirtilmiştir (Cheng ve ark., 2015).

$$E = \frac{\Delta P_{pv}}{\Delta V_{pv}} = \frac{P_k - P_{k-1}}{V_k - V_{k-1}} \tag{1.17}$$

$$CE = E_k - E_{k-1} \tag{1.18}$$

PV paneller için klasik gerilim- güç karakteristiği Şekil 1.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. PV panel güç-gerilim karakteristiği

Şekil 1.13.'te gösterildiği üzere, eğer güç ve gerilimde meydana gelen değişim oranı 0'dan büyük ise ve gerilimde meydana gelen değişim 0'dan büyük ise sistemin 1 yönünde hareket etmesi gerekir yani gerilimi artırması gerekir. Eğer değişim oranı 0'dan küçük ise sistem 4 yöndeki oku takip ederek gerilimi azaltması gerekir. Eğer

türev 0'dan büyük ve toplam gerilim değişimi 0'dan küçük ise yani 2 yönünde hareket ediyorsa sistemin gerilimini artırılması gerek yani 1 yönünde hareket etmesi gerekir. Eğer sistemin gerilim değişimi 0'dan büyük ve güç değişim oranı/ gerilim değişim oranı 0'dan küçük ise yani 3 yönünde hareket ediyor ise gerilimin azaltılması gerek yani sistemin 4 yönünde hareket ettirilmesi gerekir. Eğer güç değişim oranı/gerilim değişim oranı 0 ise ve gerilim değişimi 0 a çok yakın bir değer ise o halde gerilimin değiştirilmemesi gerek yani sistemin 5 kısmında sabitlenmesi gerekir. Eğer sistemde sıcaklık artar veya ışınım azalırsa o halde maksimum güç noktası MPP2 noktasından MPP1 noktasına doğru değişim gösterebilir ve bu durumda yapılan bütün işlemleri, yeni maksimum güç noktası olan MPP1 noktası için tekrarlaması gerekir. (Cheng ve ark., 2015)

Çizelge 1.1. Bulanık Mantık Kural Tablosu

E/CE → / ↓	PB	PK	S	NK	NB
PB	KURAL 1	KURAL 6	KURAL 11	KURAL 16	KURAL 21
PK	KURAL 2	KURAL 7	KURAL 12	KURAL 17	KURAL 22
S	KURAL 3	KURAL 8	KURAL 13	KURAL 18	KURAL 23
NK	KURAL 4	KURAL 9	KURAL 14	KURAL 19	KURAL 24
NB	KURAL 5	KURAL 10	KURAL 15	KURAL 20	KURAL 25

1.3. LED Aydınlatma

Günümüzde üretilen toplam enerjinin yaklaşık üçte biri aydınlatma için kullanılmaktadır. Neredeyse yüzyıldır aydınlanma teknolojisinin büyük bölümü akkor lambalardan oluşmaktadır fakat watt başına oluşturdukları düşük lümen, ortaya çıkan fazla sıcaklık ve fazla güç tüketimi, akkor lambaların aydınlatma için yetersiz olduğunu gözler önüne sermiştir (Mehta ve ark., 2008). Üretilen enerjinin büyük bir kısmının aydınlatma için harcanması ve verimsiz aydınlatma kaynaklarının kullanılması bilim dünyasını yeni arayışlara sürüklemiş ve LED teknolojisi insanlığın kullanımına sunulmuştur. LED'ler p-tipi ve n-tipi yarı iletken maddelerden oluşmuş

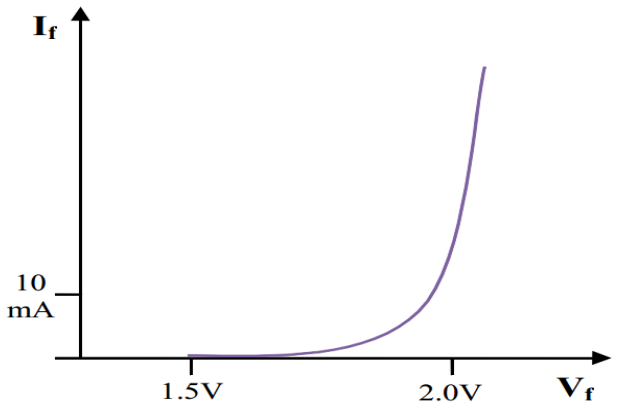
diyot olmakla beraber, diyotlardan farklı olarak p-n jonksiyon bölgelerinden yaydıkları foton aracılığıyla ışık oluştururlar. LED'ler boyutları küçük, sağlam, uzun ömürlü (yaklaşık 100.000 saat) ve geleneksel floresan lambalar gibi zehirli maddeler bulundurmadıklarından bilim dünyasının oldukça ilgisini çekmiştir. LED'ler aynı zamanda karartma kontrolüne imkan sağladıklarından dolayı insanlar için uygun ışık seviyesine çekilebilir buda aynı zamanda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir (Chiu ve ark., 2010). Çizelge 1.2.'de farklı ışık kaynaklarının verimlilik karşılaştırılması yapılmıştır (Gürbüz, 2012).

Çizelge 1.2. Işık Kaynaklarının Verim Karşılaştırılması

Aydınlatma tipi	Aydınlık verimi (lm/W)	Güç verimi (%)
Tungsten lamba	12.6-17.5	1.9-2.6
Flüoresan lamba	45-60	6.6-8.5
Halojen lamba	16-25	2.3-3.6
Xenon ark lamba	50-55	7.3-8
Ultra yüksek perf. Lamba	58-65	7.5-9
LED	55-60	10

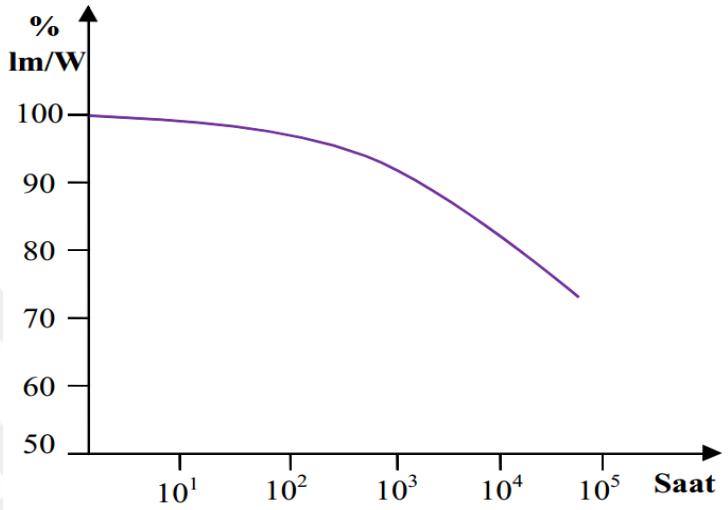
1.3.1. LED'lerin Karakteristikleri

LED'ler genel olarak 10mA değerinde bir akım ve 1.5 volt değerindeki bir gerilimden sonra iletime geçip, ışık yaymaya başlarlar. Akım gerilim karakteristikleri geleneksel diyotlarla neredeyse aynıdır. Şekil 1.14.'te bir LED in akım gerilim karakteristiği gösterilmiştir (Gürbüz, 2012).



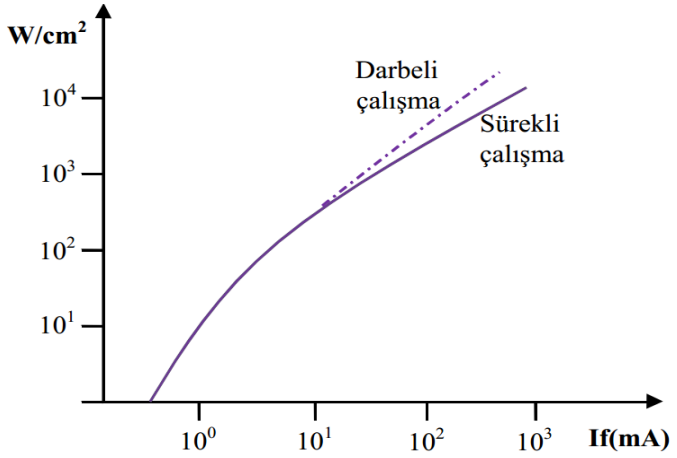
Şekil 1.14.LED Akım-Gerilim karakteristiği

LED'lerin verimlilikleri watt başına ürettikleri toplam ışık miktarıyla ölçülür (lm/watt). LED'lerin verimlilikleri zamanla düşmektedir ve LED verimi yüzde 50'nin altına düştüğünde artık LED ömrünü tamamlamıştır. Şekil 1.15.'te LED'lerin verimliliğinin normal şartlarda (I=100mA, Sıcaklık=25°C) zamanla değişimi gösterilmiştir (Gürbüz, 2012).



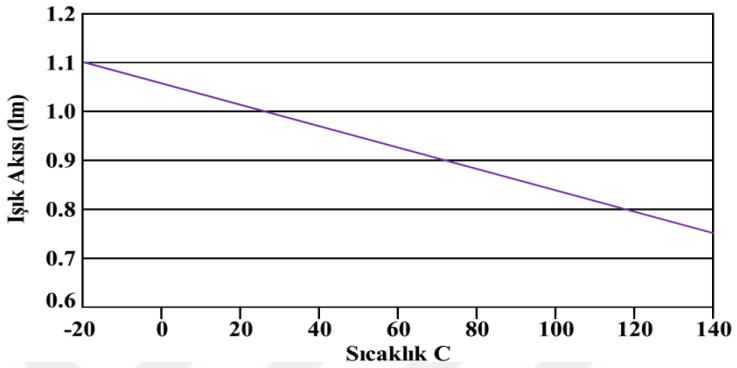
Şekil 1.15. LED Verim-Zaman karakteristiği

Üzerinden geçen akımın büyüklüğüne göre LED'lerin yaydığı ışık şiddeti doğru orantılı olarak değişmektedir. Fakat akım şiddeti LED'lerin eşik değerini aşarsa bir süre sonra LED aşırı ısınarak bozulur ve ömrünü tamamlamış olur. Şekil 1.16.'da LED'lerin Akım -Işık şiddeti karakteristiği gösterilmiştir (Gürbüz, 2012).



Şekil 1.16. LED Akım-Işık şiddeti karakteristiği (Gürbüz, 2012)

LED'ler sabit akımla çalışmalarına rağmen ortam sıcaklığının değişmesi, diyotların karakteristiğinden dolayı, LED'lerin etkinlik faktörlerini değiştirebilir değişebilir ve LED'lerin yapıldığı maddelere göre yüzde 3 ile yüzde 7 arasında değişkenlik gösterebilir. Şekil 1.17.'de sıcaklık ve akım şiddeti arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Gürbüz, 2012).



Şekil 1.17. LED Işık Akısı-Sıcaklık Karakteristiği

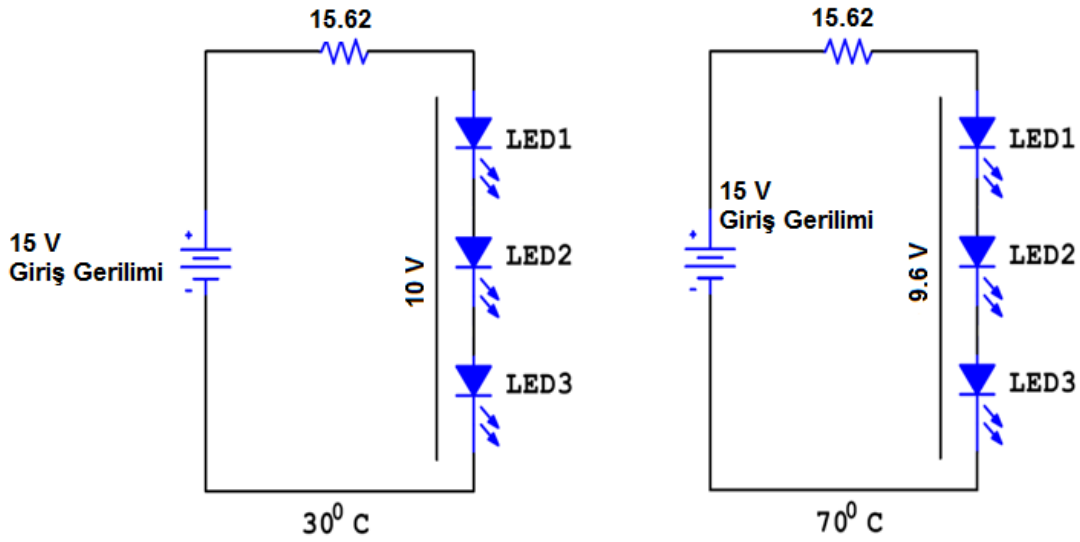
1.3.2. LED Sürücü Devreleri

Özellikle son yıllarda LED'lerin güç ve verimliliklerinin artmasından dolayı LED'ler; standart LED ve güç LED olmak üzere iki ana gurupta incelenebilmektedir. Güç LED'ler ise kendi aralarında yüksek güçlü LED (High Power LED), yüksek parlak LED (High Brightness LED) ve çok yüksek parlak LED (Ultra High Brightness LED) olarak gruplandırılabilirler. LED teknolojisinde meydana önemli gelişmeler LED parlaklık verimliklerini oldukça etkilemiş ve bu verimlilik 100 lm/watt gibi değerlere ulaştırmıştır. En sık kullanılan güç LED'leri 350 mA ile sürülebilen LED'leridir. Bunun dışında 700 mA ve 1A ile sürülebilen güç LED'ler mevcuttur. Standart düşük güçlü LED'ler genellikle 20 mA akımla çalıştırılırlar, Güç LED'leri sabit akımla sürülmeleri gerekmektedir aksi durumda yapılarından dolayı fazla akım çekebilmekte ve bunla orantılı olarak ta sıcaklıkları artabilmektedir, bu durum LED'lerin ömrünü kısaltmaktadır (Winder, 2008).

1.3.3. Pasif Akım Kontrolü

Pasif akım kontrolü LED'lere seri şekilde direnç bağlanarak akım sınırlandırılmaya çalışılır. Küçük güçlü LED'ler için basit bir sınırlama yöntemi olabilir fakat burada kaybolan güç oranı fazla olduğundan pek verimli değildir. Şekil 1.18.'de basit bir örnek gösterilmiştir.

Şekil 1.18.'de görülen devrede gerilimi 15 volt olan bir gerilim kaynağı 3 adet LED'i beslemektedir LED'lerin ileri yön gerilimleri 30°C sıcaklıkta 3.32 volt iken direnç üzerinden geçen akım 0.32 A olmaktadır 70°C sıcaklıkta LED lerin ileri yön gerilimi 3.2 volta düşerken direnç üzerinden geçen akım 0.38 amper olmaktadır ve LED'lerin akım 0.32 amperden 0.38 ampere çıkmaktadır. Bu durumda LED sıcaklığı artmakta ve bir süre sonra LED'ler bozulabilmektedir (Gürbüz, 2012).

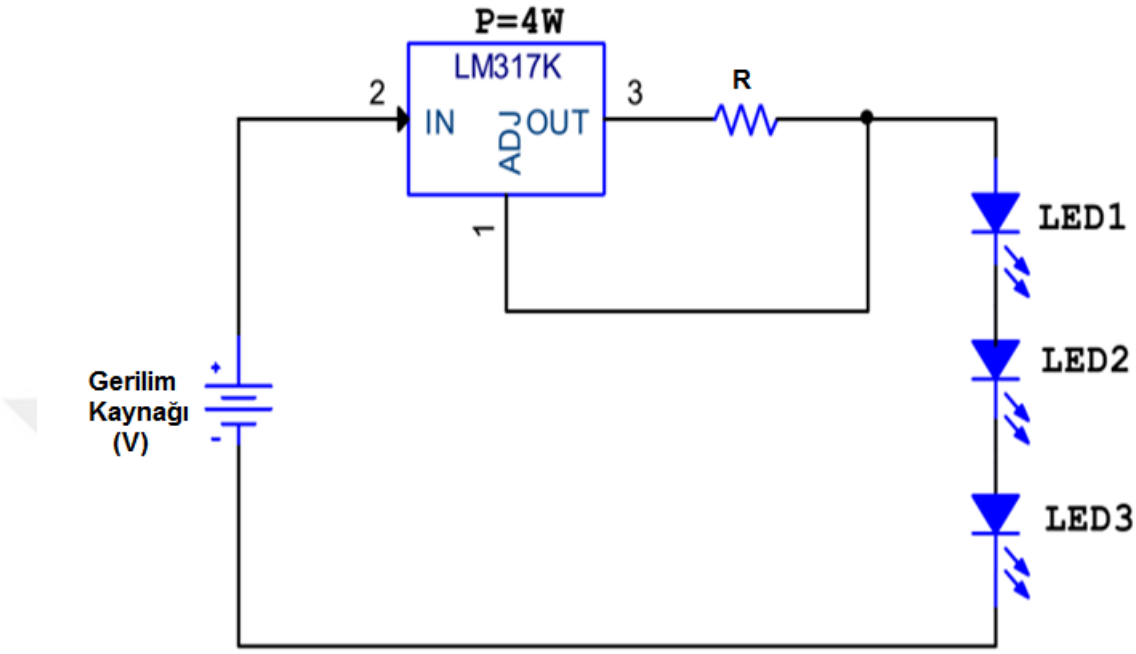


Şekil 1.18. Direnç ile Akım Sınırlama

1.3.4. Doğrusal Kontrol Yöntemi

Doğrusal kontrol yönteminde LM317 gerilim regülatörü kullanılabilir. Bu yöntem genellikle küçük güçlü LED aydınlatma devresini sürmek için kullanılır. LED'lerin gövde sıcaklığı artsa bile üzerinden geçen akım değişmeyeceğinden sıcaklıkta fazla artış gözlemlenmez, fakat LM317 regülatör devresi yaklaşık 4W'lık bir güç harcadığından dolayı 3 adet 1W'lık LED devresini sürmek için bu oldukça

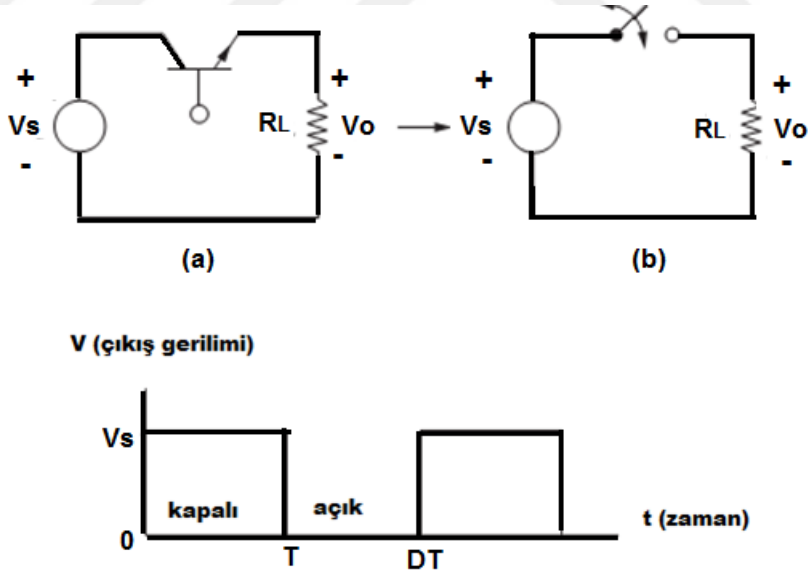
büyük bir kayıptır. Şekil 1.19.'da LM317 ile sürülen 3 adet 1W LED devresi görülmektedir (Gürbüz, 2012).



Şekil 1.19. LM317 ile LED sürme devresi

1.4. Anahtarlı Led Sürme Devreler

PV panelden elde edilen gerilim ve güç değerleri sıcaklık ve ışıma ile değiştiğinden dolayı sabit değildir, DA-DA dönüştürücüler kullanılarak hem gerilim seviyesi değiştirilebilir hem de daha tutarlı güç elde edilebilir. Yaygın olarak anahtarlamalı güç kaynakları olan elektronik devrelerde, kullanılan dönüştürücüler aynı zamanda istenilen gücü elde etmek amacıyla güneş enerji sistemlerinde kullanılmaktadır. PV panel MPPT uygulamalarında ise MPPT algoritmasının uygulandığı bölüm dönüştürücülerdir (Zadey ve Dutt, 2013). Dönüştürücü devrelerinde kullanılan MOSFET, IGBT, BJT gibi transistörler elektronik anahtar gibi ya tamamıyla iletimde ya da iletim dışı olarak çalışırlar. Anahtarların açık veya kapalı olma süreleri kontrol edilerek çıkış gerilimi ayarlanabilir (Hart, 2011). Şekil 1.20.'de basit bir anahtarlama devresi gösterilerek anahtarlamanın gerilime etkisi gösterilmiştir. Literatürde birçok dönüştürücü çeşidi vardır. Bu bölümde; yükseltici dönüştürücü (boost), düşürücü dönüştürücü (buck), düşürücü-yükseltici dönüştürücü (buck-boost), flyback ve SEPİC dönüştürücüler analiz edilmiştir.



Şekil 1.20. (a) Anahtar kapalı (iletimde) (b) Anahtar açık (iletim yok)

Anahtar iletimde iken giriş gerilimi ile çıkış gerilimi eşit, anahtar iletimden çıktığı anda çıkış gerilimi 0'a düşmektedir. Anahtarın açık olma süresinin anahtarlama perioduna oranı ise görev döngüsünü (duty cuycle-D) vermektedir. Çıkış gerilimi ise (Hart, 2011);

$$V_o = \frac{1}{T}\int_0^T V_O(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{DT} V_S dt = V_s \cdot D \qquad (1.19)$$

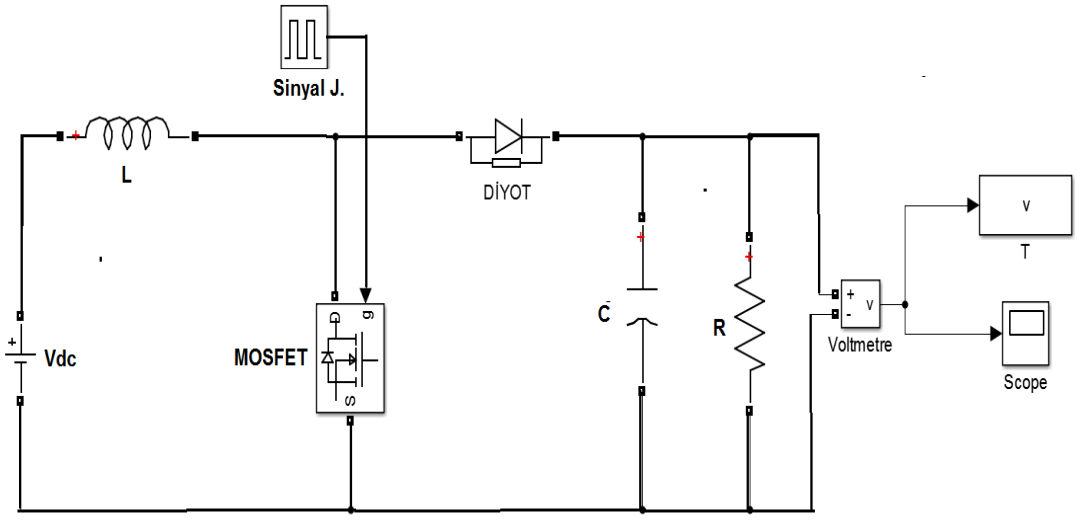
V_o=çıkış gerilimi, V_s=giriş gerilimi, T= anahtarlama süresi (Periyot), D=görev döngüsü, denklemde görüldüğü gibi anahtarlama süresini kontrol edilerek çıkış gerilimi ayarlanabilir.

$$D = \frac{t_k}{t_a + t_k} = \frac{t_k}{T} \qquad (1.20)$$

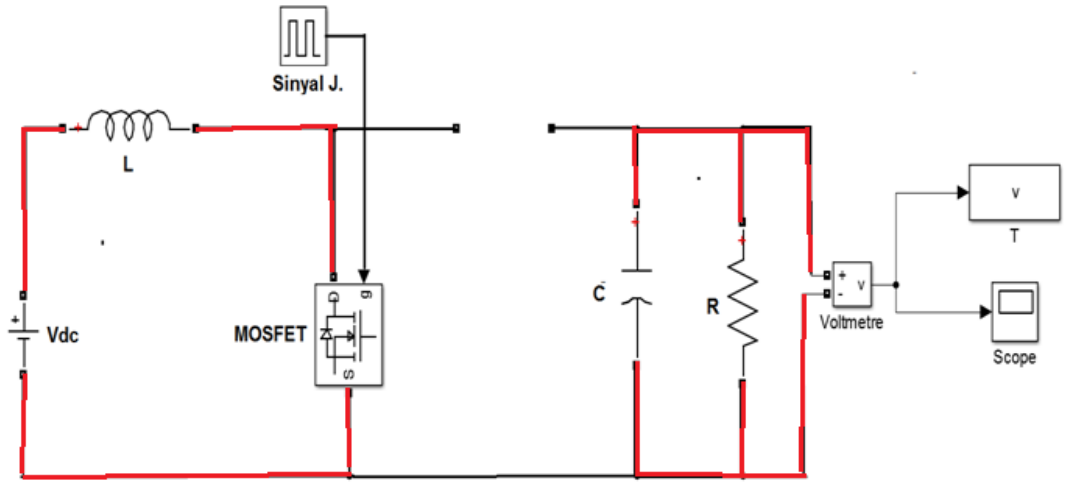
D = görev döngüsü, t_k anahtarın iletimde olduğu süre, t_a anahtarın iletimde olmadığı süre, T= anahtarlama süresi.

1.4.1.Yükseltici (Boost converter) Dönüştürücü

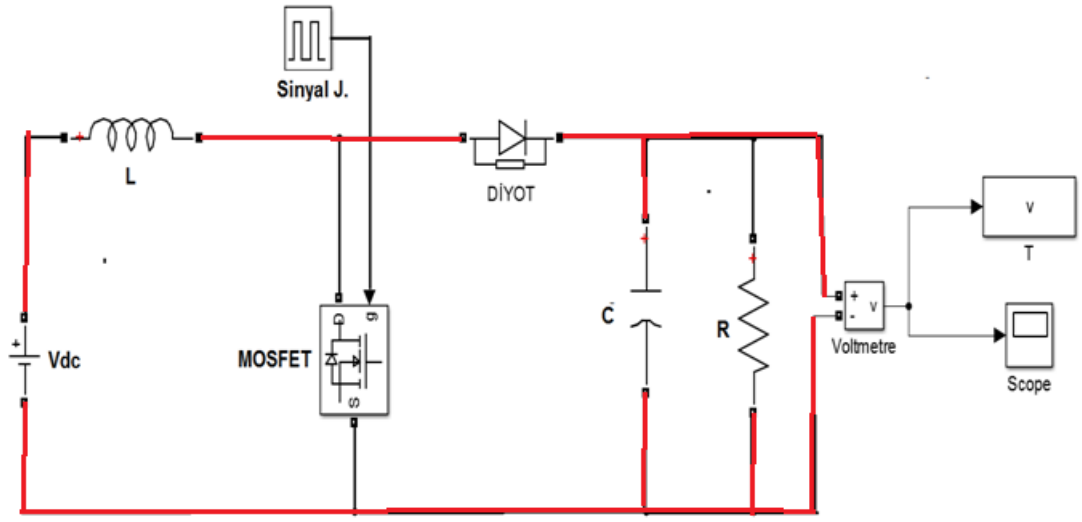
Giriş geriliminin çıkış geriliminden daha düşük olduğu dönüştürücülere yükseltici dönüştürücüler denir. Şekil 1.21.'de yükseltici dönüştürücü devresi gösterilmiş ve devre elemanlarının seçim parametreleri gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.21. (a) Yükseltici Dönüştürücü, (b) Anahtar iletmde, (c) Anahtar iletim dışı

1.4.1.1. Anahtar İletimde İken Devre Analizi

Anahtar kapalı konumda (Şekil 1.21b) iken diode ters ön gerilim (reverse bias) haline gelir ve diyot üzerinden bir iletim gerçekleşmez, Kirchoff gerilim yasası uygulanırsa (Hart, 2011);

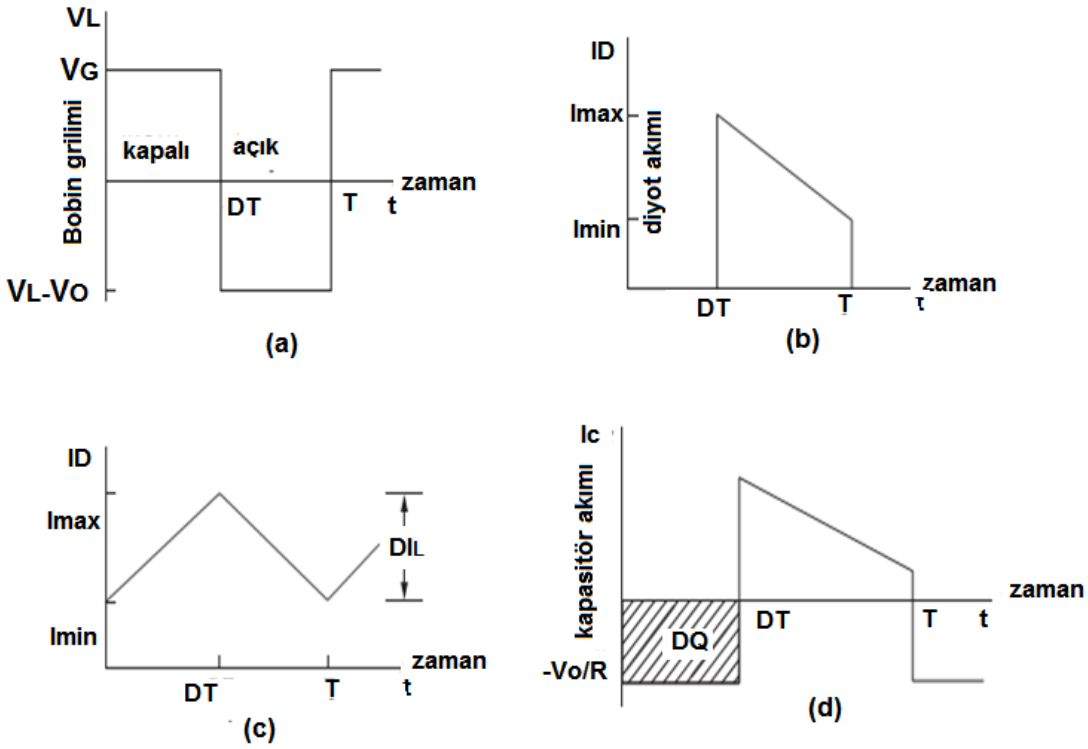
$$V_B = V_G = L\frac{di_L}{dt} \quad \text{veya} \quad \frac{V_G}{L} = \frac{di_L}{dt} \tag{1.21}$$

V_B = bobin gerilimi, V_G =giriş gerilimi (DC kaynak), i_L =bobin akımı, L= bobin indüktans değeri

Akımda meydana gelen değişim oranı sabittir. Bu yüzden anahtar kapalı iken (Şekil 1.21c) akım doğrusal olarak artmaktadır. Bobin akımında meydana gelen değişim (Hart, 2011)

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{\Delta T} = \frac{V_S}{L} \tag{1.22}$$

$$(\Delta i_L)_{kapali} = \frac{V_G \cdot D \cdot T}{L} \tag{1.23}$$



Şekil 1.22. (a) Bobin gerilimi (b) Diyot akımı (c) Bobin akımı (d) Kapasitör akımı

1.4.1.2. Anahtar iletim dışı iken devre analizi

Anahtar açık iken (Şekil 1.21c) bobin akımında anlık değişmeler meydana gelmez ve diyot iletime geçer. Bu durumda çıkış geriliminin (Vo) sabit olduğu kabul edilerek, bobin gerilimi (Hart, 2011);

$$V_L = V_G - V_o = L \cdot \frac{di_L}{dt} \tag{1.24}$$

$$L \cdot \frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_O}{L}$$

Bobin akımında meydana gelen değişim oranı sabittir bu yüzden akım doğrusal olarak değişmektedir. Anahtar açık iken bobin akımında meydana gelen değişim;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta_t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_O}{L}$$

Akım analizi için;

$$\Delta i_L(açik) = \frac{V_s - V_O \cdot (1-D)T}{L} \tag{1.25}$$

Kararlı durumda (steady-state) bobin üzerindeki net değişimin sıfır olması gerekmektedir.

Denklem (1.23) ve denklem (1.25) kullanılarak

$$\Delta i_L(açik) + \Delta i_L(kapali) = 0 \tag{1.26}$$

$$\frac{V_G \cdot DT}{L} + \frac{(V_G - V_O) \cdot (1-D)T}{L} = 0$$

Çözümleme yapılırsa;

$$V_G \cdot (D + 1 - D) - V_O(1-D) = 0$$

$$V_O = \frac{V_G}{1-D}$$

Gerekli güç adımları izlenirse, Bobinin en küçük değeri;

$$L_{\min} = \frac{D \cdot (1-D)^2 \cdot R}{2 \cdot f} \tag{1.27}$$

f=anahtarlama frekansı, R=direnç değeri, D= görev çevrimi

İşlemler yapılırken çıkış gerilimin sabit olduğu varsayılırdı fakat pratikte çıkış geriliminde bir miktar dalgalanmalar olacaktır. Tepeden tepeye (peak-to-peak) gerilim dalgalanmasının hesaplanması için kapasitör şarj durumu (Hart, 2011);

$$\Delta Q = \left(\frac{V_O}{R}\right) \cdot DT = C\Delta V_0 \tag{1.28}$$

Gerilim dalgalanması için;

$$\Delta V_0 = \frac{V_0 \cdot D \cdot T}{R \cdot C} = \frac{V_0 \cdot D}{R \cdot C \cdot f}$$

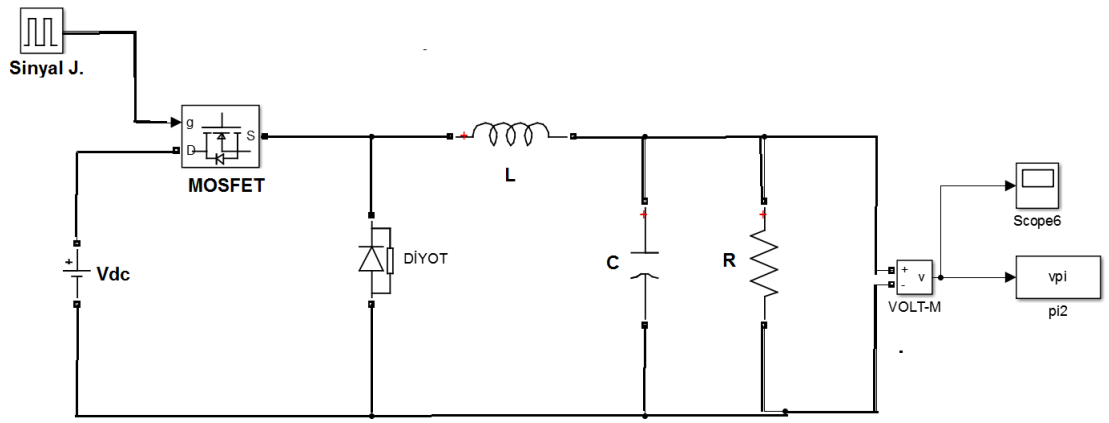
Buradan kapasitör değeri;

$$C = \frac{D}{R \cdot (\Delta V_0 / V_0) \cdot f} \tag{1.29}$$

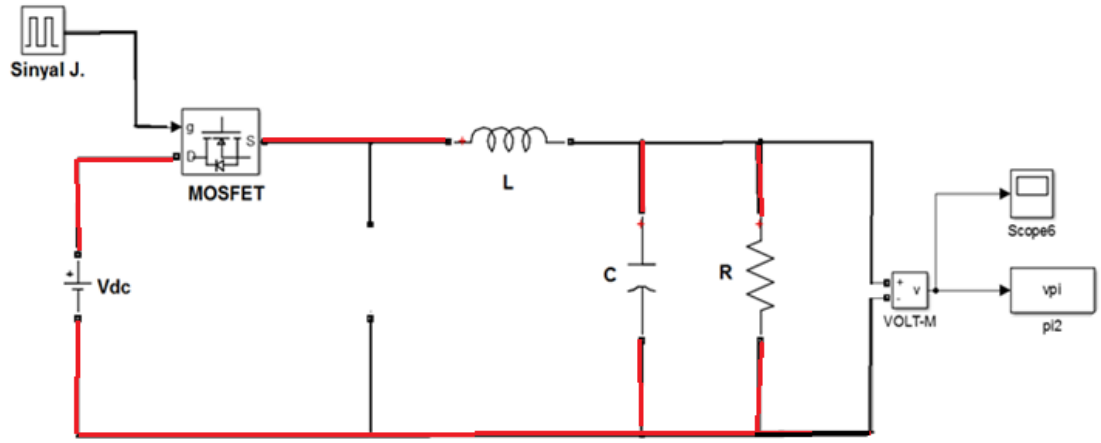
Denklemde; f=anahtarlama frekansı, ΔV_0 =çıkış gerilim dalgalanması, ΔQ = kapasitör şarj durumu

1.4.2. Düşürücü Dönüştürücü (Buck converter)

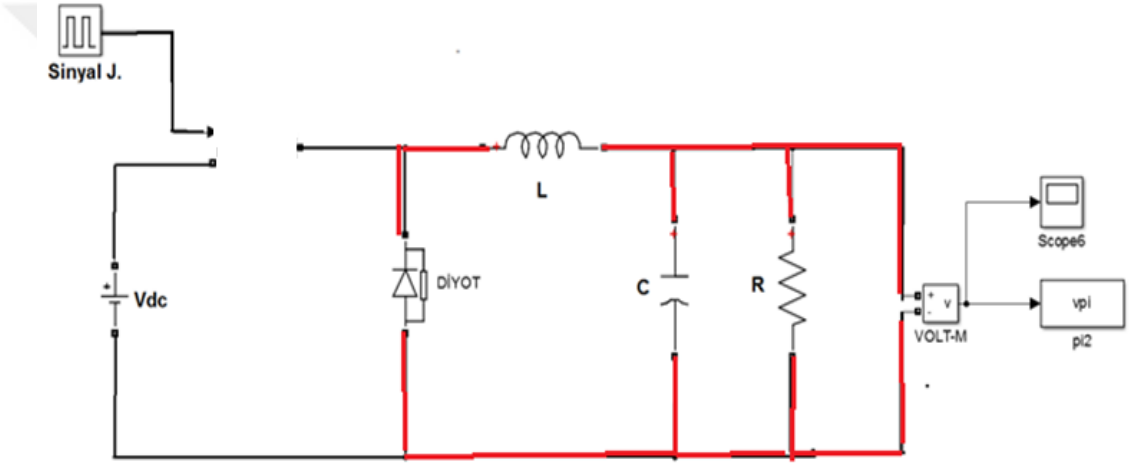
Giriş geriliminin çıkış geriliminden daha yüksek olduğu dönüştürücülerdir. Düşük gerilimli elektronik devrelerde uygun gerilim ve akım değerlerini ayarlamak için kullanılır. Şekil 1.23.'te düşürücü dönüştürücü gösterilmiş ve devre analizi yapılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.23. Düşürücü dönüştürücü (a), Anahtar iletimde iken eşdeğer devre (b) Anahtar iletim dışı (c)

1.4.2.1. Anahtar Kapalı İken Devre Analizi

Anahtar iletimde iken (şekil 1.23b) bobin üzerinden geçen akım elektromanyetik alan oluştururken diyot iletim dışı olur (reverse bias) bobin üzerinde pozitif bir gerilim indüklenir ve bobinden geçen akım artar, bobin yük için bir akım kaynağı gibi davranır (AbduAllah ve ark., 2014).

Bobin üzerinde indüklenen gerilim

$$v_L = V_G - V_O = L \cdot \frac{di_L}{d_t} \tag{1.30}$$

Düzenleme yapılırsa;

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_G - V_O}{L}$$

Akımın türevi pozitif ve sabit olduğundan, akım doğrusal bir şekilde artmaktadır. Bu durumda;

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_G - V_O}{L}$$

Düzenleme yapılırsa;

$$(\Delta i_L)_{kapali} = (\frac{V_o - V_G}{L})DT \quad (1.31)$$

1.4.2.2. Anahtar Açık İken Devre Analizi

Anahtar açık konumda iken diyot iletime geçer ve bobin elektromanyetik alan oluştururken kapasitör elektrik alan oluşturur. Bobin akımı doğrusal olarak düşer. kapasitör alçak geçiren filtre gibi davranarak çıkış gerilim dalgalanmalarını sönümler ve bobin akımı diyot üzerinden akmaya başlar (AbduAllah ve ark., 2014).

Anahtar kapalı konumda iken bobin gerilimi;

$$V_L = -V_O = L \cdot \frac{di_L}{d_t} \quad (1.32)$$

Düzenleme yapılırsa;

$$\frac{-V_O}{L} = \frac{di_L}{d_t}$$

Türev negatif sabit olduğundan akım doğrusal bir şekilde azalır.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D) \cdot T} = \frac{-V_O}{L}$$

Düzenleme yapılırsa;

$$(\Delta i_L)_{acik} = -(1-D)\cdot T\cdot(\frac{V_O}{L}) \quad (1.33)$$

Kararlı durumda (steady-state) anahtarlama süresi boyunca bobin akımında meydana gelen net değişim sıfırdır, bu yüzden; (Hart, 2011)

$$(\Delta i_L)_{acik} + (\Delta i_L)_{kapali} = 0$$

Denklem (1.31) ve denklem (1.33) kullanılırsa

$$(\frac{V_G - V_O}{L}).DT - (\frac{V_O}{L}).(1-D)T = 0$$

Çözümleme yapılırsa;

$$V_G \cdot D = V_O \quad (1.34)$$

Seçilmesi gereken bobin değeri;

$$L_{\min} = \frac{(1-D)\cdot R}{2f} \quad (1.35)$$

Seçilmesi gereken kapasitör değeri;

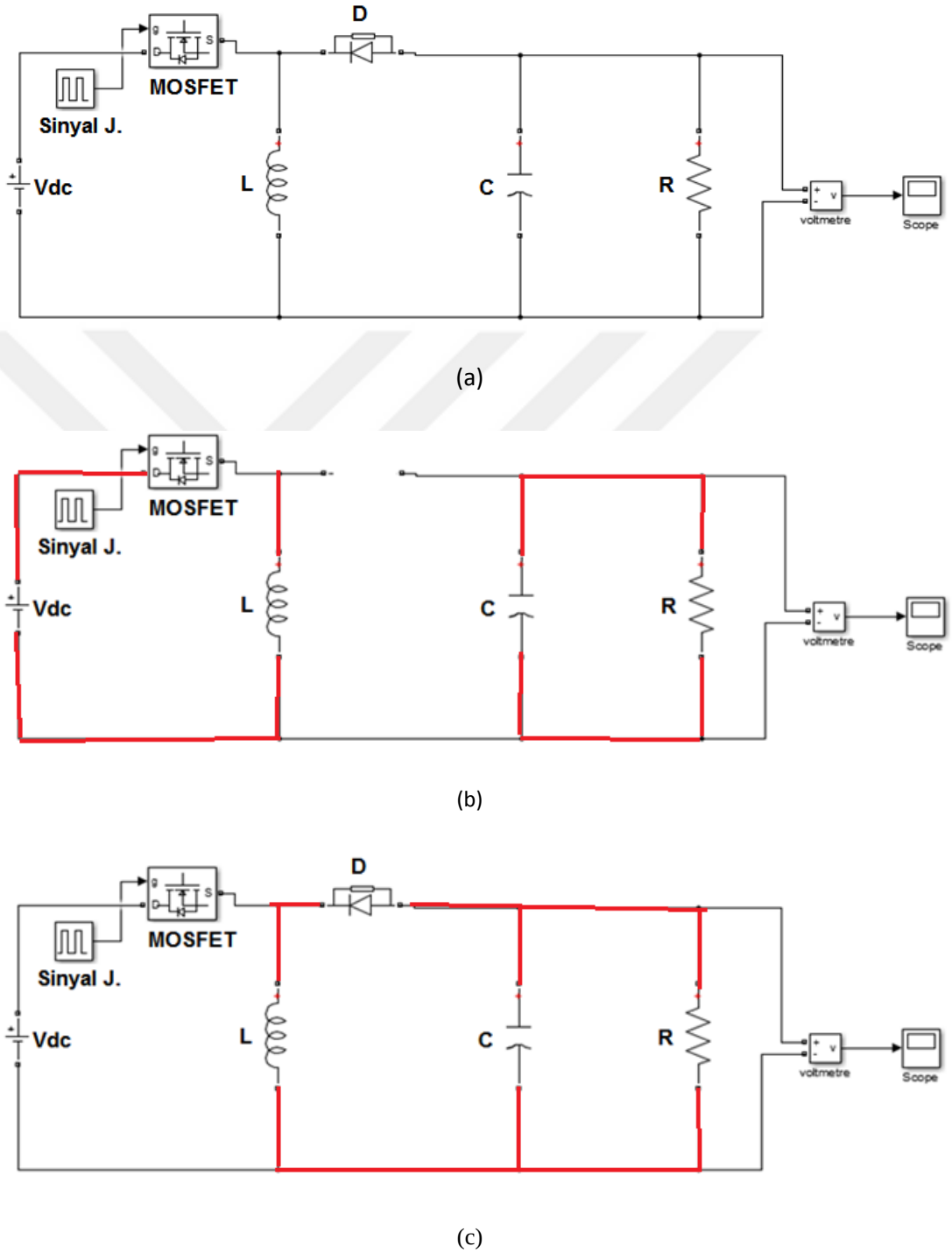
$$C = \frac{1-D}{8L(\Delta V_O / V_O)\cdot f^2} \quad (1.36)$$

Denklemler için; Vo=çıkış gerilimi, VG=giriş gerilimi, L= Bobin, C=kapasitör, D=görev çevrimi, DVo=çıkış gerilim dalgalanması (ripple voltage).

1.4.3. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost Converter) Dönüştürücü

Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüler görev oranının (duty cycle) büyüklüğüne, yani anahtarlama periyodunda anahtarın açık ve kapalı olduğu süreye göre hem düşürücü hem de yükseltici dönüştürücü özelliği gösterir. Görev oranı 0,5 ten büyük ise yükseltici dönüştürücü görev oranı 0,5 ten küçük ise düşürücü dönüştürücü görev

oranı 0,5 ise çıkış ve giriş gerilimleri eşit olur. Fakat her üç durumda da giriş polaritesi ile çıkış polaritesi bir birine ters olur. Şekil 1.24.'te düşürücü-yükseltici dönüştürücü gösterilmiş ve analizi yapılmıştır.



Şekil 1.24. (a) Düşürücü-yükseltici dönüştürücü, (b) Anahtar kapalı (c) Anahtar açık

1.4.3.1. Anahtar Kapalı iken devre analizi

Anahtar kapalıyken, (Şekil 1.24b), diyot iletim dışı olur ve bobin üzerindeki gerilim giriş gerilimine eşit olur (Anonim, 2013).

$$V_L = V_G = L \cdot \frac{di_L}{d_t} \tag{1.37}$$

Bobin akımındaki değişme oranı sabit olduğundan, bobin akımı doğrusal olarak artmaktadır.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{\Delta T} = \frac{V_G}{L},$$

Anahtar kapalı konumda olduğundan;

$$(\Delta i_L)_{kapali} = \frac{V_G \cdot D \cdot T}{L} \tag{1.38}$$

1.4.3.2. Anahtar Açık İken Devre Analizi

Anahtar açıldığında bobin akımında ani bir değişme olmaz ve diyot iletim durumunu geçer, yüke doğru bir enerji akışı olur. Bu durumda bobin üzerindeki gerilim (Hart, 2011);

$$V_L = V_O = \frac{di_L}{dt} \tag{1.39}$$

Bobin akımındaki değişim oranı sabittir;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D) \cdot T} = \frac{V_O}{L}$$

Anahtar açık konumda olduğu için;

$$(\Delta i_L)_{acik} = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T}{L} \tag{1.40}$$

Kararlı durum (steady-state) için bobin akımında meydana gelen net değişim sıfırdır (Hart, 2011).

$$(\Delta i_L)_{acik} + (\Delta i_L)_{kapali} = 0$$

Denklem (1.38) ve denklem (1.40) veriler toplanırsa;

$$\frac{V_G \cdot D \cdot T}{L} + \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T}{L} = 0$$

Düzenleme yapılırsa;

$$V_O = -\frac{V_G \cdot D}{1-D} \tag{1.41}$$

Seçilebilecek en küçük bobin değeri;

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 \cdot R}{2f} \tag{1.42}$$

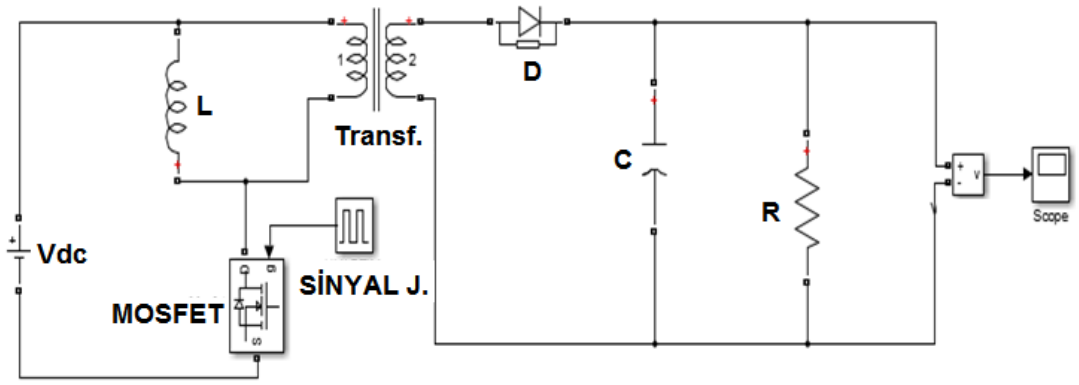
Seçilebilecek kapasitör değeri;

$$C = \frac{V_O \cdot D}{\Delta V_O \cdot R \cdot f} \tag{1.43}$$

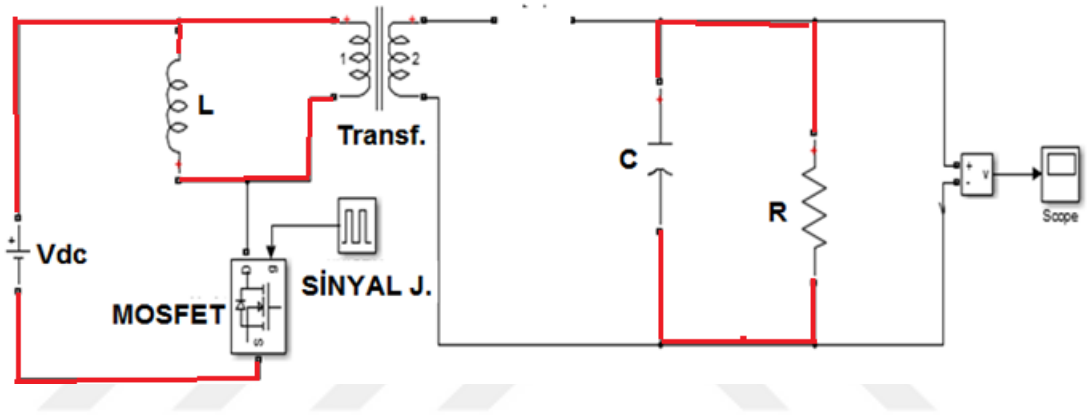
f=anahtarlama frekansı, C=kapasitör değeri, L= bobin değeri, R= direnç değeri, D=görev oranı, DVo= çıkış gerilimindeki dalgalanma (ripple voltage), T= Anahtarlama periyodu, VG= giriş gerilimi,

1.4.4. Flyback Dönüştürücü

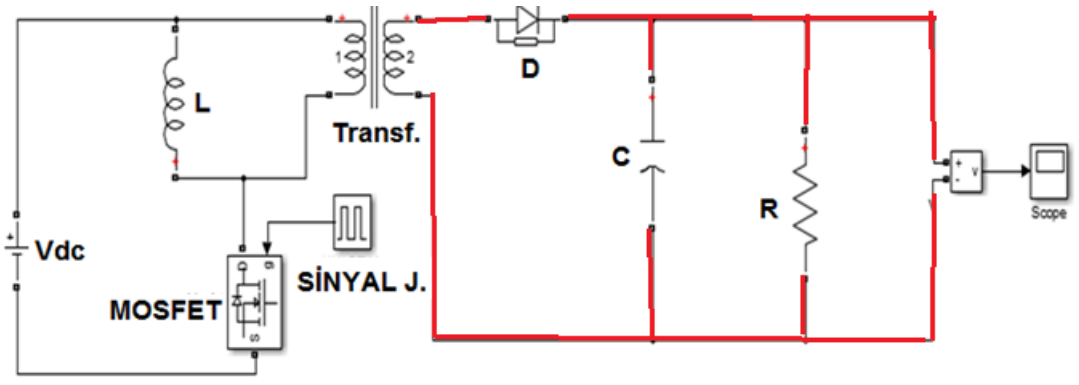
Flyback dönüştürücülerin devre mantığı düşürücü-yükseltici dönüştürücüler ile aynıdır fakat flyback dönüştürücülerde bobin yerine devre izolasyonu sağlayan transformatör bağlanır ve bu transformatörün dönüştürme oranı ayarlanarak çıkış gerilimi düzenlenebilir. Flyback dönüştürücülerde daha düşük güçlü devrelerde tercih edilir.(50watt tan 100 watt a kadar), (Çoruh ve ark., 2010). Şekil 1.25.'te flyback dönüştürücü devresi gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.25. (a) Flyback dönüştürücü, (b) Anahtar iletimde iken, (c) Anahtar iletim dışı

Bobinler üzerindeki net gerilim değişimi sıfırdır. (Coruh ve ark., 2010)

$$(V_{dc} - V_{DS}) \cdot t_{acik} = (V_O + V_d) \cdot t_{kapali} \cdot n \tag{1.44}$$

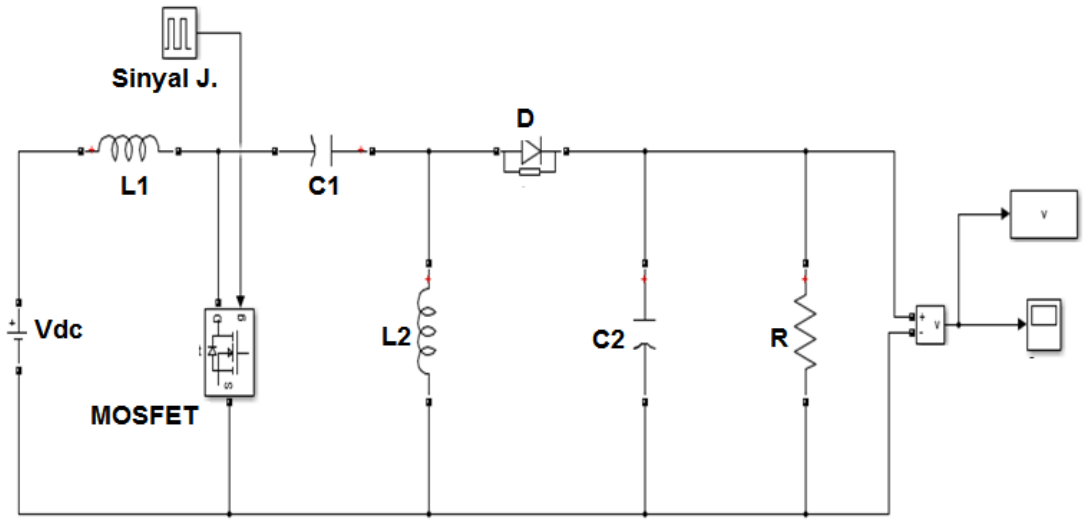
Düzenleme yapılırsa

$$\frac{D}{1-D} = \frac{(V_{dc} - V_{DS}) \cdot n}{V_O + V_d} \tag{1.45}$$

Vdc=Giriş gerilimi, Vd= Diyot ileri yön gerilimi, n=sarım sayısı oranı Vds=Anahtarlama gerilimi, Vo=çıkış gerilimi

1.4.5. SEPIC Dönüştürücü (Single-Ended-Primary-İnductor-Converter)

SEPIC dönüştürücülerin çalışma prensibi Buck-Boost dönüştürücüler ile benzerdir. Dönüştürücünün çıkışında elde edilen gerilim, görev oranının (Duty cycle) büyüklüğüne göre giriş geriliminden büyük, küçük veya eşit olabilir (D<0.5 ise giriş çıkıştan büyük, D>0.5 ise giriş çıkıştan küçük, D=0.5 ise giriş ve çıkış eşit). Buck-Boost dönüştürücülerden farklı olarak çıkış gerilimi ile giriş geriliminin polaritesi aynıdır. Şekil 1.26.'da SEPİC dönüştürücü devresi gösterilmiştir (Sangeetha ve Joseph, 2016).



Şekil 1.26. SEPİC dönüştürücü

Sürekli iletim durumu için görev çevrimi (Duty cycle) (Anonim, 2013)

$$D = \frac{V_{out} + V_d}{V_{in} + V_{out} + V_d} \tag{1.46}$$

Bobin değerleri ise (Anonim, 2013);

$$L_1 = L_2 = \frac{V_{in}}{\Delta I_L \cdot f_{sw}} \cdot D \tag{1.47}$$

Kapasitör değerleri için (ilk kapasitör değeri)

$$C_1 = \frac{I_{out} \cdot D}{\Delta V_{C1} \cdot f_{sw}} \tag{1.48}$$

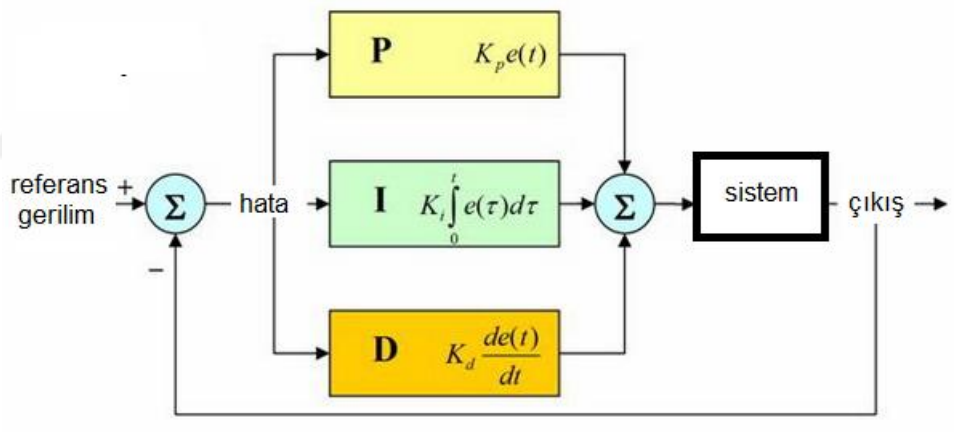
Çıkış kapasitör değeri (Anonim, 2013);

$$C_2 \geq \frac{I_{out} \cdot D}{\Delta V_r \cdot 0.5 \cdot f_{sw}} \tag{1.49}$$

f_{sw}= Anahtarlama frekansı, Vr=dalgalanma gerilimi, Iout=çıkış akımı, Vin=giriş gerilimi, Vout=çıkış gerilimi

1.5. PI Denetleyici İle Dönüştürücü Kontrolü

PV panellerden elde edilen gerilim ve güç değerleri güneşten gelen ışıma ve sıcaklıkla ile değişim göstermektedir. PV panellerle birlikte kullanılan anahtarlamalı DA-DA dönüştürücüler sistemin kararlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle şebeke bağlantısız sistemlerde akülerin şarj edilebilmesi için gerilim değerinin belli bir değerde ve sabit tutulması gerekmektedir, böylece hem akünün şarj edilme olayı kolaylaşmış olur hem de sistemden elde edilen verim artmış olur. (Öztürk ve Alkan, 2013) kapalı çevrim PID kontrol kolay uygulanabilme ve elde edilen etkili sonuçlardan dolayı endüstride uzun yıllardır kullanılmaktadır. Anahtarlamalı DA-DA dönüştürücülerin anahtarlama kısmına (Mosfet, IGBT..) gelen sinyal PI veya PID kontrol ile ayarlayarak çıkış geriliminin belli bir değerde, sabit olması sağlanır. Şekil 1.27.'de PID denetleyicisinin dönüştürücüye uygulanışı gösterilmiştir (Li ve Jiang, 2011)



Şekil 1.27. PID denetleyicisinin dönüştürücüye uygulanışı

1.5.1. P (Proportional) Kontrolcüsü

P kontrolcüsü genellikle sisteme uygulanan ilk basamaktır ve kararlı durum hatasını (steady-state error) en aza düşürmek için kullanılır. Oransal kazanç olan Kp artırılırsa sistemin kararlı durum hatası azalacaktır, fakat hiçbir zaman hatayı yok etmede tek başına yeterli değildir (Anonim, 2016).

1.5.2. P-I (Proportional-integral) Kontrolcüsü

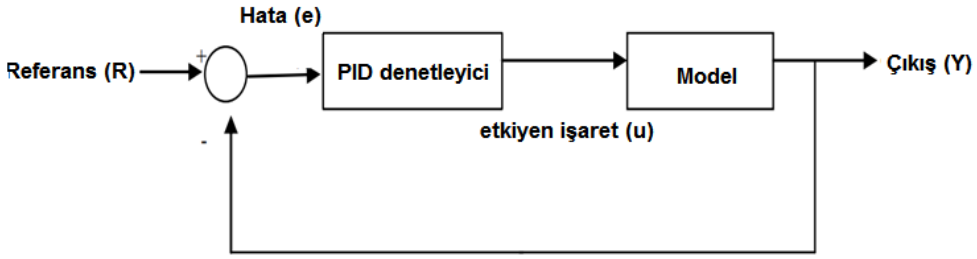
P-I kontrolcüsü P kontrolcüsünün yok etmeye çalıştığı ve tek başına yetersiz kaldığı kararlı durum hatasını yok etmek için kullanılır fakat P-I kontrolcüsünün bir dezavantajı var ki sistemin karalı duruma geliş süresi biraz uzundur. Bundan dolayı sürenin çok önemli olmadığı sistemlerde kullanılması daha etkili olmasını sağlayabilir (Anonim, 2016).

1.5.3. P-D (proportional- derivative) Kontrolcüsü

P-D kontrolcüsü tamamıyla sistemin kararlılığını korumak için uygulanan kontrol yöntemidir bir sonraki adımda meydana gelebilecek hatayı belirleyebildiği için çok çabuk tepki verir ve sistemin tepki süresini kısaltır (Anonim, 2016).

1.5.4. P-I-D (Proportional-integral-derivative) Kontrolcüsü

Öncekilerden daha gelişmiş kontrol mekanizması, karalı durum hatasının sıfır olduğu, hızlı tepki süresine sahip, dalgalanmayı mümkün olduğunca azaltan ve yüksek kararlılık sağlayan kontrolcüdür. Genellikle birden fazla basamağa sahip sistemlerde kullanılır. PID kontrol geri bildirim sistemi Şekil 1.28.'de gösterilmiştir (Anonim, 2016).



Şekil 1.28. PID kontrol geri bildirim sistemi

PID kontrolcüsü için transfer fonksiyonu denklem (1.50)'de belirtilmiştir (Meshram ve Kanojiya, 2012).

$$K_P + K_I \cdot \frac{1}{s} + K_d.s = \frac{K_d \cdot s^2 + K_P \cdot s + K_I}{s} \quad (1.50)$$

Denklemde Kp=oransal kazanç, Ki=integral kazanç, Kd= türevsel kazanç

Denklem (1.50), Şekil 1.28.'deki sisteme uygulanırsa meydana gelen hata (e), çıkış (Y) ile referans (R) arasındaki farkı temsil eder. Hata sinyali PID kontrolcüsüne gönderilir. Etkiyen işaret (u), hata sinyalinin Kp oransal katı, türevinin Kd katı ve integralinin Ki katı alınarak elde edilir. Denklem (1.51)'de (u) sinyalinin eşitliği gösterilmiştir. (Meshram ve Kanojiya, 2012)

$$u = K_P \cdot e + K_I \int e \cdot dt + K_d \cdot \frac{de}{dt} \quad (1.51)$$

PID kontrol kazanç değerlerinin kapalı sisteme etkisi Çizelge 1.3.'te gösterilmiştir. Tablodaki değerler bağımlı olduğu için biri değiştiğinde ötekinin de etkisi değişebilir bu yüzden tablodaki değerler referans alınarak gösterilmiştir kesin değildir (Meshram ve Kanojiya, 2012).

Çizelge 1.3. PID kontrol karakteristiklerinin sisteme etkisi

Denetleyici	**Yükselme zamanı**	**Aşma**	**Yatışma zamanı**	**Kalıcı durum hatası**
Kp	Kısalır	Artar	Az değişir	Azalır
Ki	Kısalır	Artar	Artar	Ortadan kalkar
Kd	Az değişir	Azalır	Azalır	Az değişir

1.5.5. PID Kontrol Metodları

PID kontrol uygulamalarında sistemin daha hızlı ve daha karalı bir şekilde tepki vermesi için çeşitli metodlar geliştirilmiştir.

1.5.5.1 Geleneksel Ziegler-Nichols Method

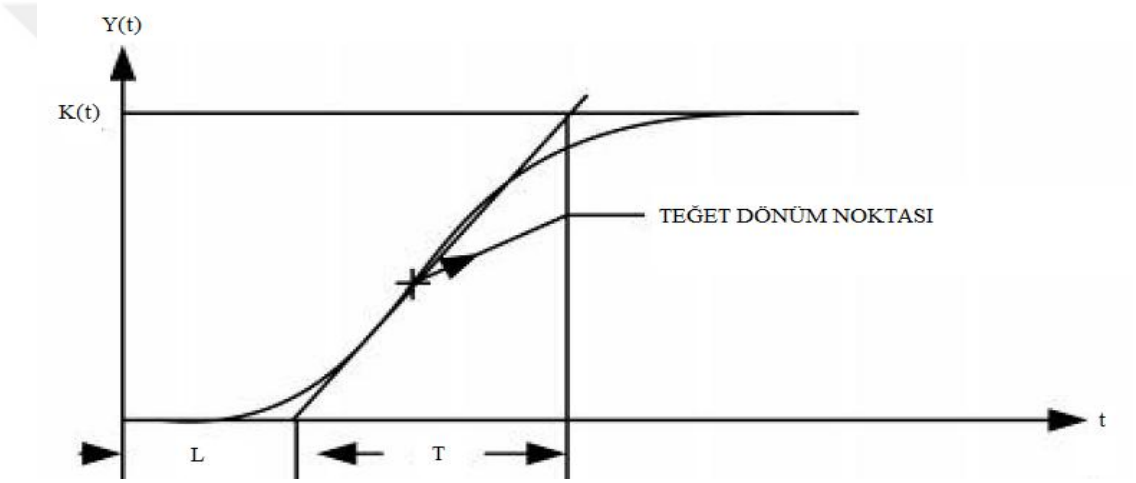
Geleneksel metodun toplam sisteme uygulanması için basamak tepkileri Şekil 1.29.'da gösterilmiştir. Şekilde gösterilen yapı genelde birinci dereceden sitemlerin

basamak cevabıdır. L gecikme cevabı, T ise zaman sabitini temsil etmektedir, bu iki parametreyi bulmak için basamak cevabına bir teğet çizilir ve bu teğetin dönüm noktası zaman eksenini ve kararlılık durumunu kesmeyecek şekilde belirlenir (Meshram ve Kanojiya, 2012).

Sistemin modeli denklem (1.52)'de gösterilmiştir.

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-sL}}{T \cdot S + 1} \tag{1.52}$$

Bu denkleme göre Ziegler - Nichols metodu aşağıdaki gibi belirlenir.



Şekil 1.29. Ziegler Nichols Metodu için Cevap Eğrisi

Gerçek zamanlı süreç kontrolü (process control) sistemlerinin birçoğu denklem (1.52)'de gösterildiği gibi modellenebilir. Eğer modellenemeyen sistemler olursa bu durumda yaklaşık model çıkartılır ve Şekil 1.29.'da gösterilen L,K,T, 'a' gibi değerleri (a=k*L/T, K(t)=referans değeri) Çizelge 1.4.'te Ziegler Nichols metodu PID kontrol katsayıları gösterilmiştir (Anonim, 2016).

Çizelge 1.4. PID kontrol Parametreleri (ZG)

Kontrol Tipi	Kp	Ti	Td
P	T/L		
PI	0.9*T/L	L/0,3	
PID	1.2*T/L	2*L	0.5*L

Avantajlar (Anonim, 2016);

- ✓ Kolay uygulanabilen bir yöntemdir sadece oransal kazanç Kp değiştirilerek gözlem yapılır
- ✓ Dinamik bir sisteme uygulanır, sistemin büyük resmini gösterir ve sistem cevabı daha kolay gözlemlenebilir.

Dezavantajlar;

- ➢ Uzun zaman dilimine ihtiyaç duyulabilir
- ➢ Bazı durumlarda kazanç sıkıntılı olabilir sistem kararlılık durumunu aşabilir

1.5.5.2. Değiştirilmiş Ziegler Nichols Yöntemi

Değiştirilmiş Ziegler Nichols metodu CHR (Chien-Hrones-Resvick) algoritmasını kullanarak ayarlama noktasına vurgu yapmaktadır. Bu yöntem daha çok tepki hızı ve kararlılık noktasını aşma gibi verilere ağırlık vermekte olup, Ziegler Nichols metodu ile ortak noktası T zaman sabiti bu metot da kullanılmıştır (Meshram ve Kanojiya, 2012). Sistem parametreleri Çizelge 1.5.'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.5. PID kontrol Parametreleri-(DZG)

Kontrol Tipi	Kp	Ti	Td
P	0.7/a		
PI	0.6/a	T	
PID	0.95/a	1.4*T	0.47*T

Şekil 1.29.'da T ve a değerleri gösterilmiştir. Ayrıca integral kazancı Ki=Kp/Ti ve türev kazancıda Kd=Kp*Td olarak belirtilir.

1.5.5.3.Manual Tunning Metod

Manual Tunning Metodu sistem parametrelerini sürekli değiştirerek sistemin tepkisi gözlemlenir ve sistemin en kararlı halini bulunmaya çalışılır. Sistemin en kararlı hali bulununcaya kadar Kp, Ki, Kd sistem kazançları değiştirilerek gözlem yapılır. Sistemde hiçbir dalgalanma olmadığı varsayılarak integral kazancı Ki ve türev kazancı Kd, minimum değere (0)'a çekilir ve oransal kazanç Kp ise maksimum değere (100)'e çekilir. Daha sonra Ki yavaş yavaş artırılmaya çalışılır, dalgalanma

olduğu görülene kadar. Dalgalanma olduğunda Ki azaltılıp Kp artırılmaya çalışılır sistem en karalı hale gelinceye kadar bu işlem sürmeye devam eder. Bu metot için hem oldukça zamana hem de çok sayıda deney tekrarına ihtiyaç vardır. (Li ve Jiang, 2011)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hua ve Shen (1998), PV sistemlerde farklı MPPT algoritmalarını DSP ile kontrol ederek farklı ışınım altında test etmişlerdir. MPPT algoritmaları dışında üç farklı DA-DA dönüştürücü kullanarak sistemi ayrı ayrı gerçeklemeye çalışmışlar ve çalışma sonuçlarını grafik ve tablo halinde göstermişlerdir.

Esram ve Chapman (2007), Şebeke bağlantılı PV sistemlerde artan iletkenlik (IC-incremental conductance) ve bulanık mantık (FLC) MPPT algoritmaları denenmiş ve artırıcı (boost) dönüştürücü kullanılarak sistemin verilerini tablo ve grafikler halinde göstermişlerdir.

Dupuis ve ark. (2008), LED aydınlatmanın yaklaşık 60 yıllık tarihsel gelişimi araştırılmış olup 2008 yılına kadar meydana gelen değişiklikleri detaylı bir şekilde anlatmaya çalışmışlardır.

Chiu ve ark. (2010), Düşük güçlü aydınlatma için yüksek verimli ve karartma yapılabilir LED aydınlatma çalışması yapmışlar. Sistemde SEPİC dönüştürücü kullanılarak güç faktörü düzeltmesi yapılmaya çalışılmış olup sistemde meydana gelen kayıplar incelenmiştir. Ayrıca sistemde elde edilen sonuçları grafikler halinde göstermişlerdir.

Li ve Ye (2010), DA-DA azaltıcı (buck) dönüştürücüyü kayma (sliding) mod'ta analiz edip PID denetleyici ile dönüştürücüyü kontrol etmişler. Sistem sonuçlarını grafikler halinde göstermeye çalışmışlardır.

Çoruh ve ark. (2010), DA-DA flyback dönüştürücünün matematiksel modellemesini yapmış ayrıca sürekli zamanlı ayrık zamanlı ve kritik çalışma zamanlı olarak sistemi test etmiş olup, sistem sonuçlarını grafikler halinde göstermişlerdir.

Noman ve ark. (2012), PV sistemlerde bulanık mantık (FLC) MPPT algoritması ve değiştir&gözlemle (P&O) MPPT algoritması farklı ışınım ve farklı sıcaklık altında azaltıcı-artırıcı (buck-boost) DA-DA dönüştürücü ile test edilmiş ve Matlab/Simulink'te test sonuçları başarılı bir şekilde gösterilmiştir.

Lal ve ark.(2012), PV sistemlerden düşük maliyette ve maksimum güç elde edebilmek için üç farklı MPPT algoritmasının tepki sürelerini, ortalama elde edilen güçlerini ve dalgalanma genliklerini karşılaştırmış ve karşılaştırma sonuçlarını tablo halinde göstermiştir.

Faranda ve Leva (2013), PV sistemlerde farklı MPPT algoritmalarını 14 farklı ışınım altında karşılaştırmışlardır. MPPT tekniklerinin maliyet ve enerji verimliliği açısından karşılaştırma sonuçlarını göstermişlerdir. Yaptıkları çalışmayı Matlab/Simulink'te gerçekleştirmişlerdir.

Selvan (2013), PV sistemlerde verimlilik artışı için artan iletkenlik MPPT algoritmasını farklı ışınım altında artırıcı (boost) DA-DA dönüştürücü kullanarak Matlab/Simulink'te gerçekleştirmeye çalışmış ve çalışma sonuçlarını grafikler halinde göstermiştir.

Huynh ve ark. (2013), PV sistemlerde verimlilik artışı için geleneksel değiştir&gözlemle MPPT algoritmasının yanı sıra iyileştirilmiş değiştir&gözlemle algoritma çalışması yapmışlardır, farklı ışınım ve farklı sıcaklık uygulayarak sistemi test edilmiş ve sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir.

Amit ve Kumar (2013), DA-DA flayback dönüştürücü gömülü sistemler ile kontrol edilerek %80 varan bir verimlilik elde edilmiş, ayrıca sistem gerçek hayatta yapılmış olup sistem sonuçları grafikler halinde gösterilmeye çalışılmıştır.

Vieira ve Mota (2013), Yüksek verimli şebeke bağlantısız PV beslemeli LED aydınlatma sistemi tasarlanmıştır. Kullanılan SEPİC dönüştürücü PI kontrol ve değiştir gözlemle MPPT algoritması ile denetlenmiş olup sistem gerçek hayatta yapılmıştır. Sistem sonuçlarını grafikler halinde göstermeye çalışmışlardır.

Dogra ve Pal (2014), DA-DA flyback dönüştürücü kullanılarak sabit bir çıkış elde etmeye çalışmışlardır. Kapalı çevrim kontrol sistemi ile flyback dönüştürücünün anahtarlama (MOSFET) i kontrol edilerek çalışma yapılmış ayrıca sistem sonuçları Matlab yardımıyla grafikler halinde sunulmuştur.

Agarval (2014), PV sistemlerde verimlilik artırımı için değiştir&gözlemle ve artan iletkenlik MPPT algoritmaları farklı ışınım altında azaltıcı-artırıcı (buck-boost) DA-DA dönüştürücü kullanarak Matlab/simulink'te test edilmiş ve test sonuçları grafikler halinde gösterilmiştir.

Keskin ve Ark.(2014), PV sistemlerde iki farklı (artan iletkenlik ve değiştir&gözlemle) MPPT algoritmalarını karşılatırmış olup Matlab simülasyon sonuçlarını göstermişler bunun yanı sıra devreyi gerçek hayatta kurup verileri grafik halinde göstermişler.

Bendib ve ark. (2015), PV sistemlerde geleneksel MPPT algoritmaların (değiştir&gözlemle, artan iletkenlik) yanı sıra geliştirilmiş MPPT algoritmaları (bulanık mantık, FLC) farklı ışınım ve sıcaklık altında Matlab/Simulink'te test edilmiş ve test sonuçları gösterilmiştir.

Cheng ve ark. (2015), PV sistemlerde bulanık mantık (FLC) MPPT algoritmasının optimizasyonu yapılmış ve yapılan optimizasyonu hem gerçek hayatta hem de Matlab/simulink'te geleneksel değiştir&gözlemle ve geleneksek bulanık mantık MPPT (FLC) algoritmasıyla karşılaştırılmış ve sonuçları başarılı bir şekilde grafikler halinde göstermişlerdir.

Peng ve ark. (2015), PV sistemlerde değiştir&gözlemle (P&O) MPPT algoritmasının 3 farklı şeklini, artırıcı (boost) dönüştürücü kullanarak karşılaştırma yapıp karşılaştırma sonuçlarını göstermiştir.

Sangeetha ve Joseph (2016), PV sistemlerde verimliliği artırmak için kullanılan Geleneksel artan iletkenlik (IC) MPPT algoritmasında iyileştirme yapılmaya çalışılmış ve geliştirilen (IC) MPPT algoritması hem SEPİC hem de artırıcı (boost) DA-DA dönüştürücü ile test edilmiş ve sonuçlar grafik halinde gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde PV beslemeli yüksek verimli LED sürücü devresi tasarımını gerçekleştirmek için bir birini destekleyen üç farklı çalışma yapılmıştır. İlk çalışma PV panelden maksimum güç elde edebilmek için geliştirilen üç farklı MPPT algoritması; Artan iletkenlik (Incremental Conductance), Değiştir&Gözlemle (Perturbation&Observation-P&O) ve bulanık mantık (fuzzy logic-FLC) MPPT algoritmaları PV beslemeli SEPİC dönüştürücüye uygulanarak farklı sıcaklık ve farklı ışımalarda bu üç algoritmanın verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır. İkinci çalışmada ise sabit gerilim (Constant voltage-CV) algoritması PV beslemeli flyback dönüştürücüye uygulanıp farklı sıcaklık ve farklı ışımalarda sistemin verdiği tepki gözlemlenmiştir. Son çalışmada ise PV beslemeli sokak aydınlatması için bulanık mantık MPPT algoritması artırıcı (boost) dönüştürücüye uygulanıp akü şarj edilmiş, şarj edilen akü ile önce artırıcı ve sonra azaltıcı (Buck) dönüştürücü beslenmiş ve azaltıcı (buck) dönüştürücü PI denetleyici ile kontrol edilerek yük için uygun akım ve gerilim değerleri sağlanmıştır.

3.1.1. PV Beslemeli SEPİC Dönüştürücü ve P&O, IC, FLC MPPT Algoritmalarının Değişen Sıcaklık Ve Işınım Altında Karşılaştırılması

Bu çalışma PV sistem SEPİC dönüştürücü ve üç farklı MPPT algoritmasının (P&O, IC, FLC) farklı ışınım (1000w/m2 ile 800w/m2) ve farklı sıcaklıklarda (25^{o}C ile 50^{o}C) karşılaştırmaları yapılmıştır. PV panelden elde edilen akım ve gerilim doğrusal olmadığı, ışınım ve sıcaklık değişmesiyle PV panelden elde edilen gerilim ve güç değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir. Gerilim ve güç değerlerinde meydana gelen değişim aynı zamanda PV panelin maksimum güç noktasında da değişmelere neden olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 3.1.'de kullanılan PV panelin STC koşullarında elektriksel değerleri verilmiş olup Şekil 3.1.'de PV panelin karakteristiğinin belirlenmesi için benzetim modeli gösterilmiştir. PV sistemler PV panel ve DA-DA dönüştürücülerden oluşmaktadır. SEPİC dönüştürücünün hem artırıcı hem azaltıcı olarak görev yapabilmesi ve çıkış geriliminin polaritesi ile PV

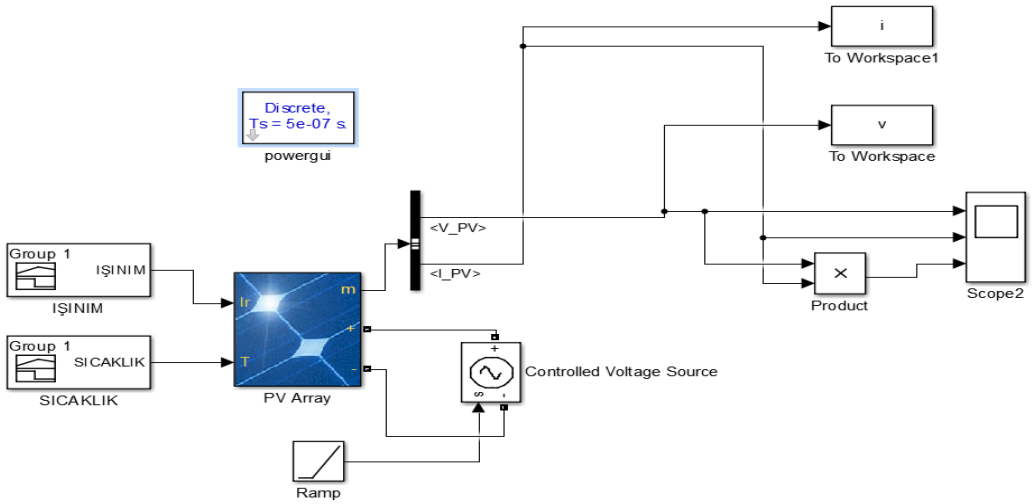
panelden elde edilen gerilimin polaritesi aynı olduğundan bu çalışmada SEPİC dönüştürücü kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. PV panel elektriksel özellikleri ve eşdeğer devre elemanları (STC şartlarında-1000w/m2, 25^{o}C)

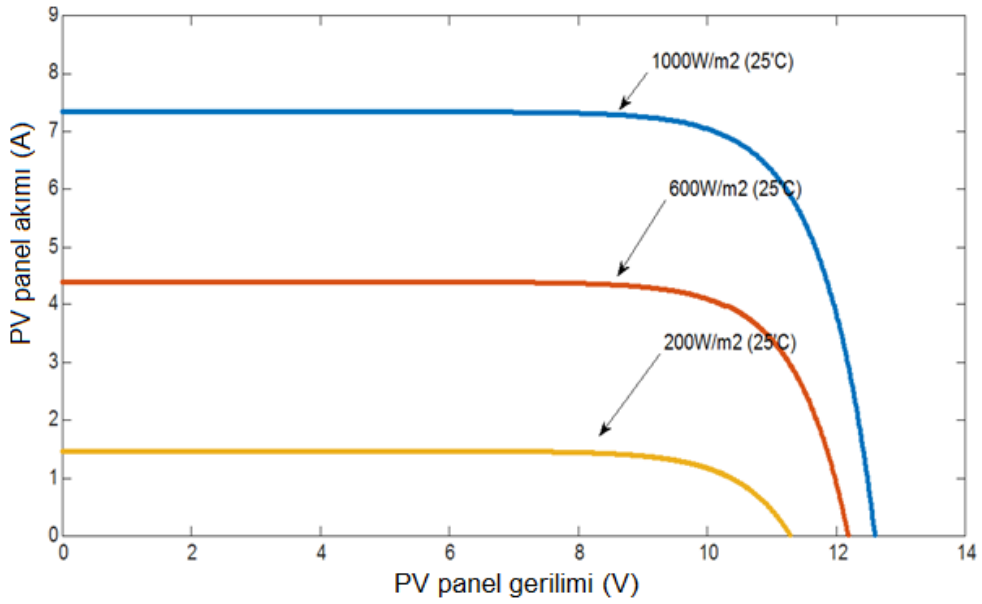
PV panel Maksimum güç noktası (MPP)	70 W
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{MPP}	17.5 V
Maksimum güç noktasındaki akım, I_{MPP}	4 A
PV panel Açık devre gerilimi, V_{OC}	24 V
PV panel Kısa devre akımı, I_{SC}	4.3 A
Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı	0.102
Seri bağlı hücre sayısı	20
Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı	-0.36099
Foton akımı, IL	4.3392 A
Diyot doyum akımı, I0	1.5963×10^{-10} A
Diyot idealite faktörü	1.9453
Paralel direnç, R_P	355.6328 Ω
Seri direnç, R_S	0.9213 Ω

3.1.2. PV Panelin karakteristiğinin belirlenmesi

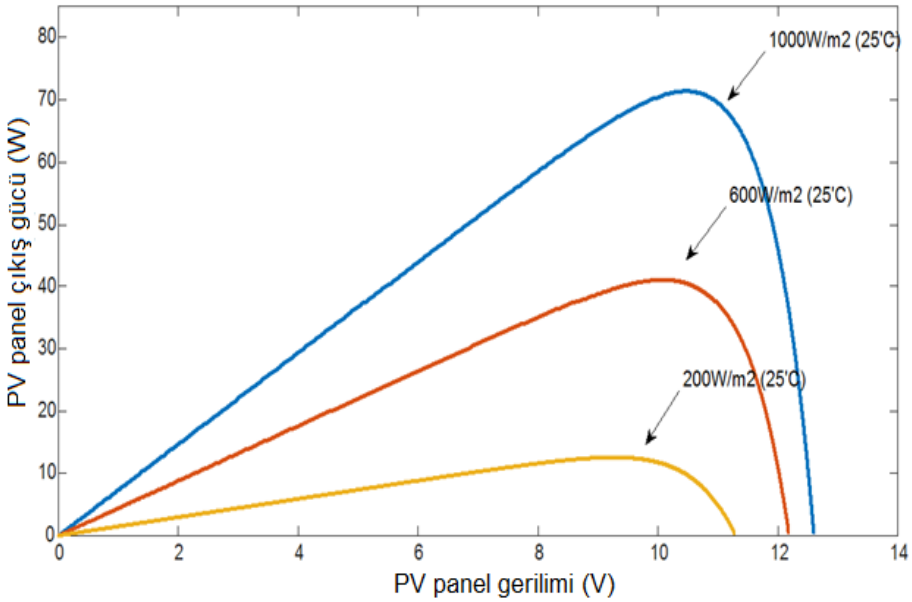
PV panelin karakteristiğinin belirlenmesi için Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi Matlab/Simulink'te benzetim modeli gerçekleştirilmiştir. PV panelin çıkış polaritesine elektronik yük bağlanmış ve bu yükün değeri PV panel açık devre gerilimine gelene kadar rampa sinyali ile artırılmıştır. Sıcaklık ile değişen karakteristik değerleri için ışınım değeri sabit 1000w/m2 olarak alınırken ışınım ile değişen değerler için sıcaklık sabit 25^{o}C olarak alınmıştır.



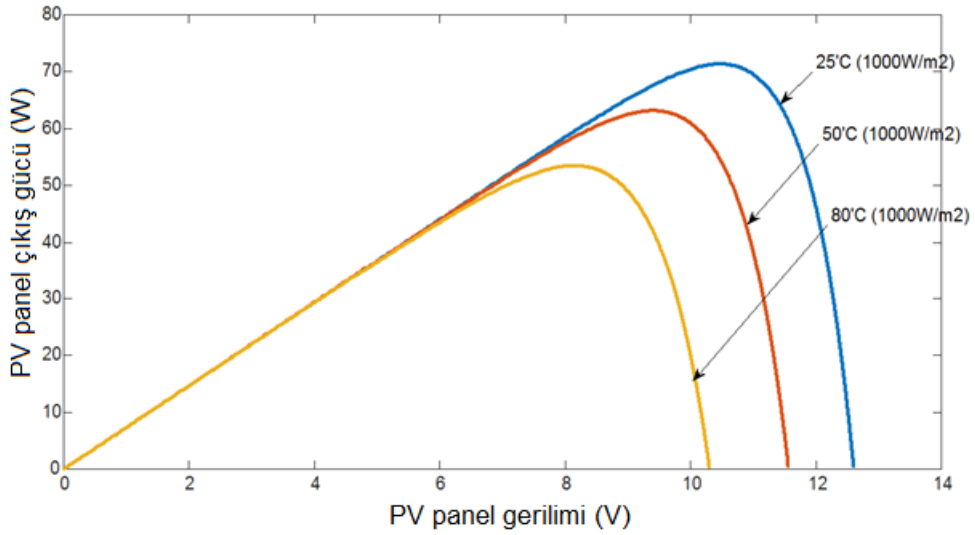
Şekil 3.1. PV panel karakteristiğinin belirlenmesi için oluşturulan benzetim modeli



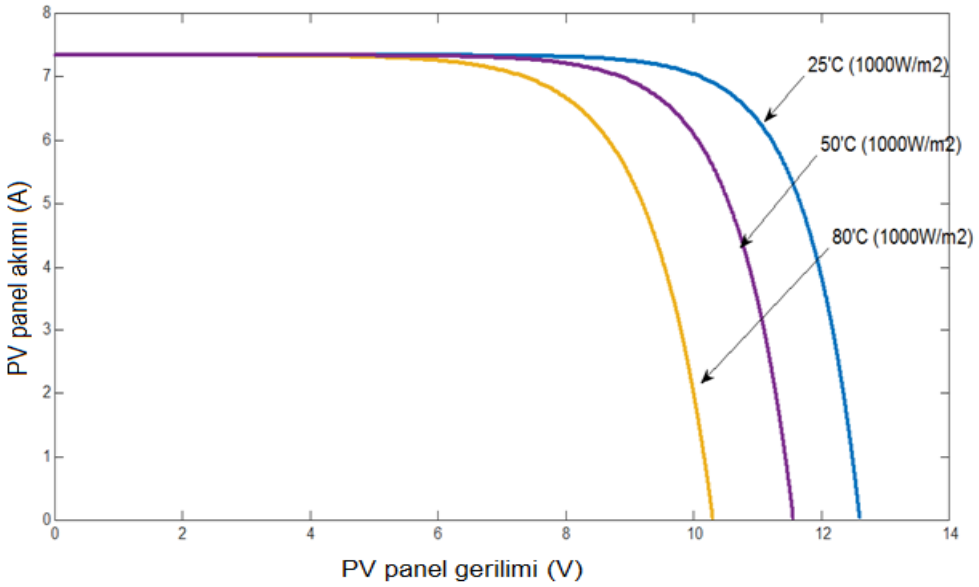
(a)


1000W/m2 (25'C)
600W/m2 (25'C)
200W/m2 (25'C)
PV panel çıkış gücü (W)
PV panel gerilimi (V)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
2
4
6
8
10
12
14

(b)


25'C (1000W/m2)
50'C (1000W/m2)
80'C (1000W/m2)
PV panel çıkış gücü (W)
PV panel gerilimi (V)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
2
4
6
8
10
12
14

(c)



(d)

Şekil 3.2. I-V karakteristik eğrisi değişken ışınım (a), P-V karakteristik eğrisi değişken ışınım (b), P-V karaktersistik eğrisi değiken sıcaklık (c), I-V karakteristik eğrisi değişken sıcaklık (d)

Farklı ışınım ve sıcaklıklarda PV panelin maksimum güç noktasındaki değişim çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Benzetimi yapılan PV panelin farklı sıcaklık ve farklı ışımalardaki MPP noktalarının değişimi

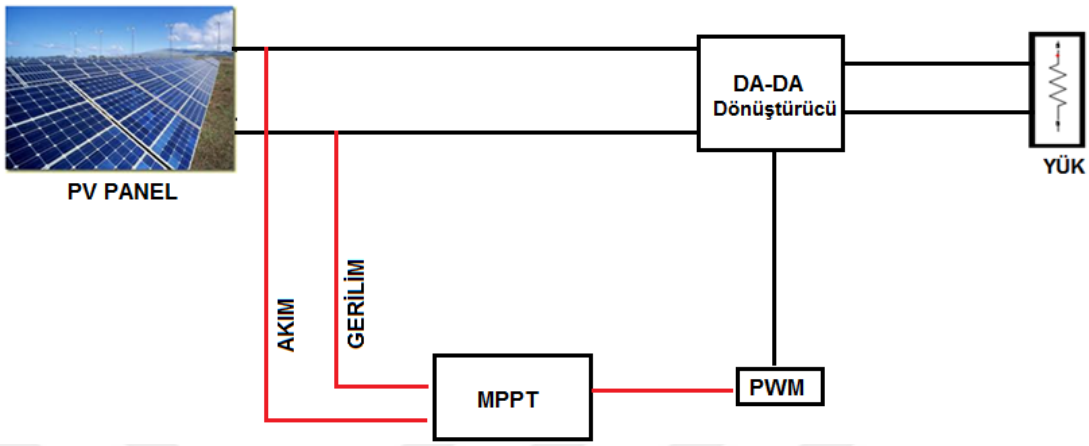
En Büyük Güç Noktası	Işınım (W/m^2)	Sıcaklık (^oC)	PV Çıkış Gücü (W) (MPP)
P_1	1 000	25	70
P_2	800	25	61.5
P_3	1000	50	58.7
P_4	800	50	54.2

3.2. Yöntem

3.2.1. PV panelin En Büyük Güç Noktasını Takip Eden MPPT Algoritmalarının Tasarımı

Farklı ışınım ve sıcaklıklarda PV panelin en büyük güç noktasını izleyen MPPT algoritmaları tasarlanmış olup, MPPT algoritmaları PV panelden aldıkları gerilim ve akım değerlerini işleyerek DA-DA dönüştürücünün anahtarlama (MOSFET) kısmına uygulamış ve PWM sinyalinin görev çevrimini (duty cycle) en

büyük güç noktasına göre ayarlamaya çalışmıştır. Şekil 3.3.'te devrenin uygulanışını gösteren yapı gösterilmiştir.

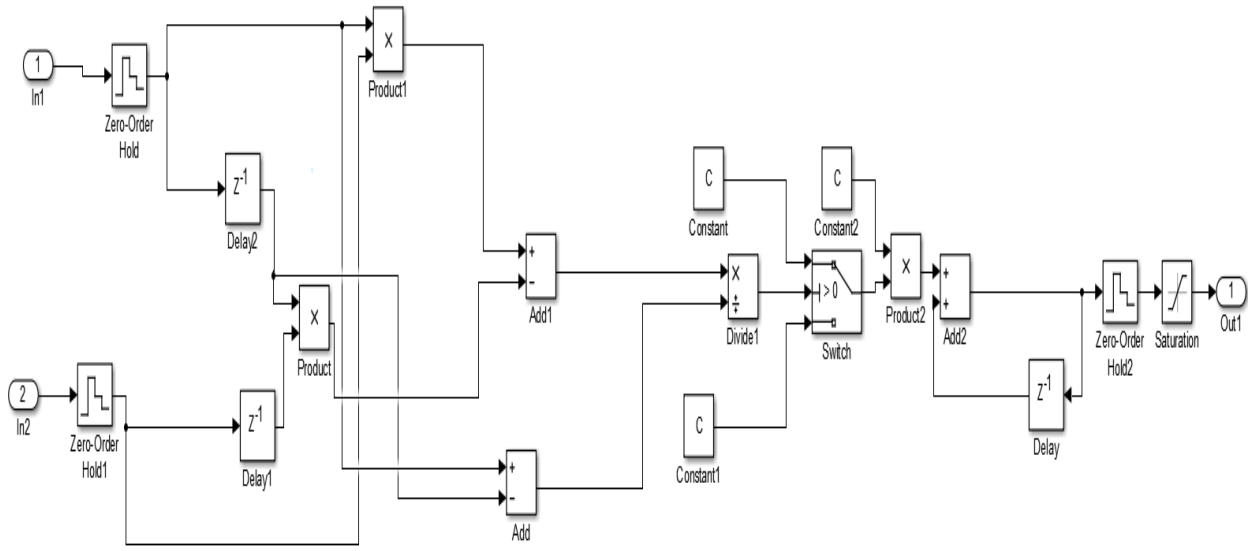


Şekil 3.3. MPPT algoritmasının devreye uygulanışı

3.2.2. Değiştir Gözlemle (P&O) MPPT Algoritmasının Tasarlanması

P&O MPPT algoritmasında PV panelin terminal gerilimi değiştirilerek elde edilen güç bir önceki güç ile karşılaştırılır, eğer elde edilen güç bir önceki güçten daha büyük ise gerilim aynı yönde artırılmaya çalışılır. Eğer elde edilen güç bir önceki güçten daha küçük ise gerilim azaltılmaya çalışılır eğer elde edilen güç bir önceki güce eşit ise en büyük güç noktasına ulaşılmıştır. Bu gerilim değiştirme işlemi sürekli olarak tekrarlanır. P&O MPPT algoritmasının en büyük dezavantajı maksimum güç noktasının çevresinde sürekli tarama yapar bu işlem az da olsa güç kaybına sebep olmaktadır.

P&O MPPT algoritmasının Matlab/Simulink'te tasarımı Şekil 3.4.'te gösterilmiştir. PV panelden elde edilen akım ve gerilim değerleri MPPT sistemine gelir. Akım ve gerilim bir örnekleme zamanından geçtikten sonra çarpılarak anlık güç bulunur. Aynı zamanda akım ve gerilime aynı oranda bir gecikme uygulanarak çarpılır ve gücün bir önceki değeri bulunmuş olur. Güç ve gücün bir önceki değerinin farkı alınır. Anlık gerilim ve gecikmeye uğrayan gerilimin farkı alınarak bölme işlemi yapılır.

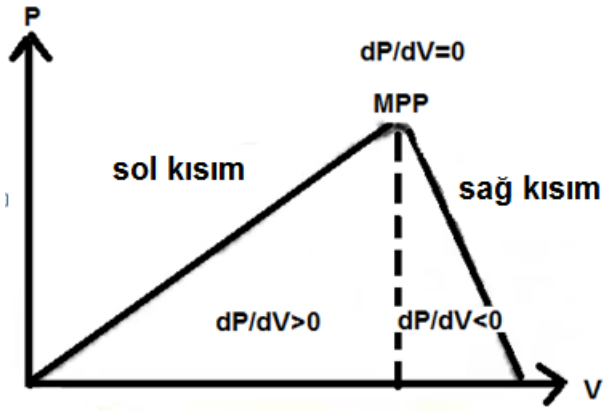


Şekil 3.4. P&O MPPT algoritması Matlab/Simulink

Böylece PV panelin P-V karakteristiğine göre yapılmış olan işlem en büyük güç değerinin sağında mı yoksa solunda mı olduğunu belirtir. Eğer sağında ise gerilimi azaltmak için negatif yönde bir değer verilir eğer solunda ise gerilimi artırmak için pozitif yönde bir değer verilerek çıkışta görev çevrim olarak DA-DA dönüştürücünün anahtarlama (MOSFET) kısmına gönderilir.

3.2.3. Artan İletkenlik (IC) MPPT Algoritmasının Tasarlanması

Artan iletken metodunda, işlem yapılabilmesi için PV panel terminallerinden elde edilen akım ve gerilim gereklidir (Ipv, Vpv). Akım ve gerilimden sonra güç hesaplanır (P=Ipv*Vpv). Şekil 3.5.'te görüldüğü üzere MPP noktasında eğrinin eğimi sıfır (dP/dV=0) iken eğrinin sağında negatif (dP/dV<0)ve eğrinin solunda pozitif (dP/dV>0)olmaktadır.



Şekil 3.5. PV panelin P-V karakteristik eğrisi

Artan iletkenlik için matematiksel eşitlikler verilecek olursa (Selvan, S.D., 2013);

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(I \cdot V)}{dV} = I + V.\frac{dI}{dV} \tag{3.1}$$

Sol kısım için

$$\frac{dP}{dV} > 0 \Rightarrow \frac{dI}{dV} > \frac{-I}{V} \text{ , gerilim artırılmalı } \Delta V = +\delta \tag{3.2}$$

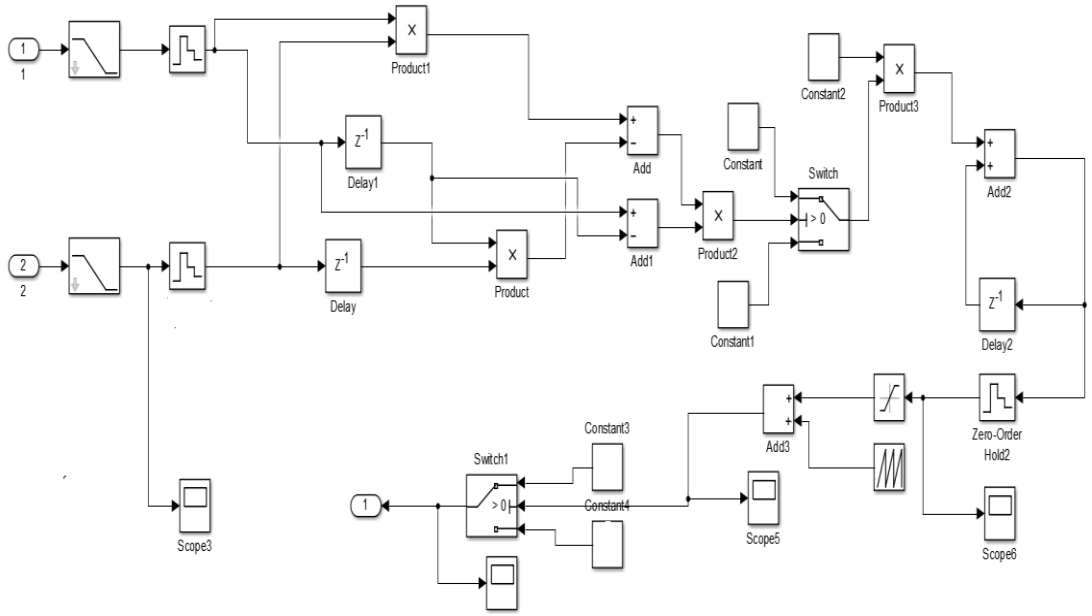
Sağ kısım için

$$\frac{dP}{dV} < 0 \Rightarrow \frac{dI}{dV} < \frac{-I}{V} \text{ , gerilim azaltılmalı } \Delta V = -\delta \tag{3.3}$$

Maksimum noktada

$$\frac{dP}{dV} = 0 \Rightarrow \frac{dI}{dV} + \frac{I}{V} = 0 \text{ , gerilim değişmemeli } \Delta V = 0 \tag{3.4}$$

Matematiksel ifadeler açıklanacak olursa; gücün gerilime göre türevi alındığında eğer pozitif çıkıyorsa eğrinin solunda olduğu belirlenir ve gerilim artırılır, eğer negatif çıkarsa eğrinin sağında olduğu belirlenir ve gerilim azaltılır. Eğer türev sıfır çıkarsa o halde maksimum güç noktasına ulaşılmıştır ve gerilim değiştirilmez. Şekil 3.6.'da Artan İletkenlik metodunun Matlab/simulink'te gerçekleştirilen algoritması gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Artan iletkenlik metodunun gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink

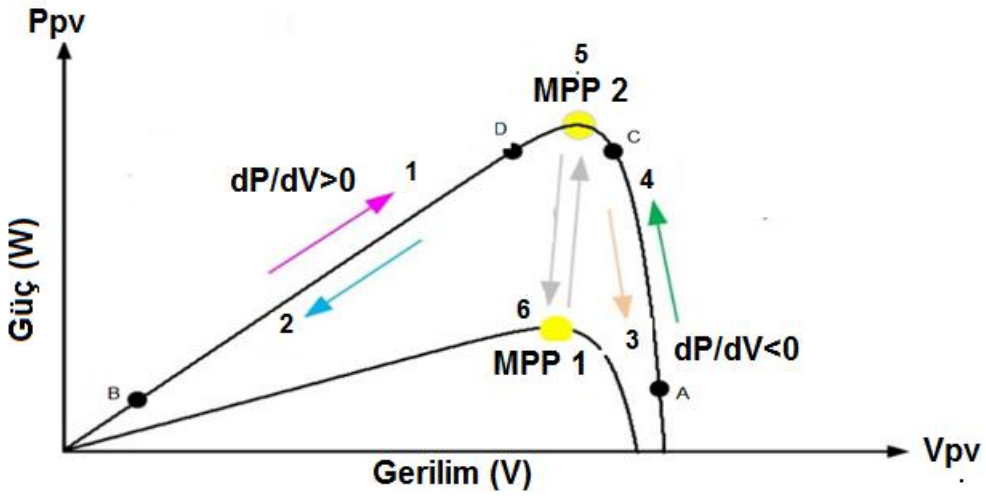
3.2.4. Bulanık Mantık (FLC) MPPT Algoritmasının Tasarlanması

Bulanık mantık ile MPPT algoritması gerçekleştirmek diğer algoritmalara göre karmaşık olsa da sağlamakta olduğu avantajlar vardır. Bulanık mantık ile MPPT algoritması için sistemin modelini doğrudan bilmek gerekmez. Bulanık mantık algoritmasının giriş kısmı sistemde meydana gelen hata oranı (E) ve hata oranında meydana gelen değişim oranı ise (CE) olarak belirlenir ve çıkış ise DA-DA dönüştürücüsünün görev çevrimi (Duty cycle) olur.

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{P_k - P_{k-1}}{V_k - V_{k-1}} \tag{3.5}$$

$$CE = E_k - E_{k-1} \tag{3.6}$$

Denklem (3.5) ve denklem (3.6)' da gösterildiği gibi; Pk= PV panel gücü, Pk-1= PV panelin bir önceki hesaplanan gücü, Vk= PV panel gerilimi ve Vk-1=PV panelin bir önceki adımda hesaplanan gerilimi. Şekil 3.7.'de PV panelin güç-gerilim karakteristiği verilmiş olup FLC MPPT yönteminde üyelik fonksiyonlarının oluşturulması için izlenilmesi gereken adımlar gösterilmiştir.



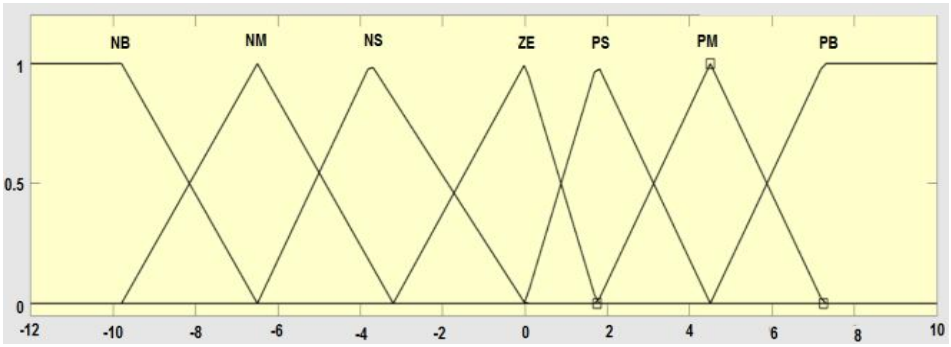
Şekil 3.7. PV panelin P-V karakteristik eğrisi

Şekil 3.7.'e göre eğer $\Delta P/\Delta V$ oranının pozitif ve ΔV de pozitif olursa eğrinin sol tarafında (B) olduğunun ve gerilimin artırılması gerektiği belirtilir (pembe ok). Eğer $\Delta P/\Delta V$ oranı negatif ve ΔV oranı pozitif ise o halde eğrinin sağ bölgesinde (A) olduğunu ve gerilimin azaltılması gerektiği belirtilir (yeşil ok). Eğer $\Delta P/\Delta V$ oranı pozitif ve ΔV negatif olursa o halde eğrinin sol kısmında ve yeşil ok yönünde gidildiği anlamına gelir ve gerilimin azaltılması gerekir. A, B, C, D noktaları ise gerilim değişiminin az yada çok olması gerektiğini belirten noktalardır. Eğer A noktasında ise gerilim çok artırılması gerekirken D noktasında gerilimin az artırılması gerekmektedir. C noktasında gerilim az azaltılmalı iken A noktasında ise çok artırılmalıdır. Bu durumlara göre oluşturulan kural tablosu Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir. NS=Negatif küçük, NM=negatif orta, NB= Negatif büyük, ZE= Sıfır, PS= Pozitif küçük, PM= Pozitif orta, PB=Pozitif büyük

Çizelge 3.3.Bulanık mantık denetleyici için oluşturulan kural tablosu

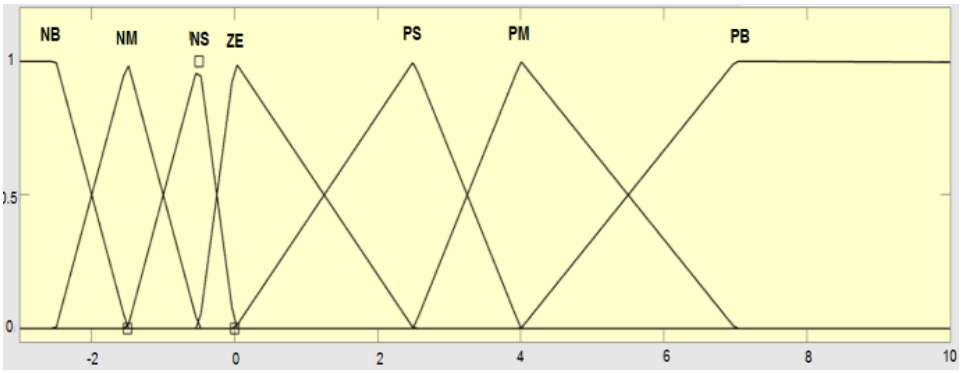
E/CE	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
PB	ZE	ZE	ZE	NB	NB	NB	NB
PM	ZE	ZE	ZE	NM	NM	NM	NM
PS	ZE	ZE	ZE	NS	NS	NM	NM
ZE	NS	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PS
NS	PM	PM	PS	NS	ZE	PS	ZE
NM	PM	PM	PM	PB	ZE	ZE	NS
NB	PB	PM	PM	PB	ZE	ZE	ZE

Şekil 3.8., 3.9 ve 3.10'da bulanık mantık denetleyici için oluşturulan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Şekil 3.8.'de hata payında meydana gelen değişim oranına göre oluşturulmuş üyelik fonksiyonunun değişim aralığı [-12 10]



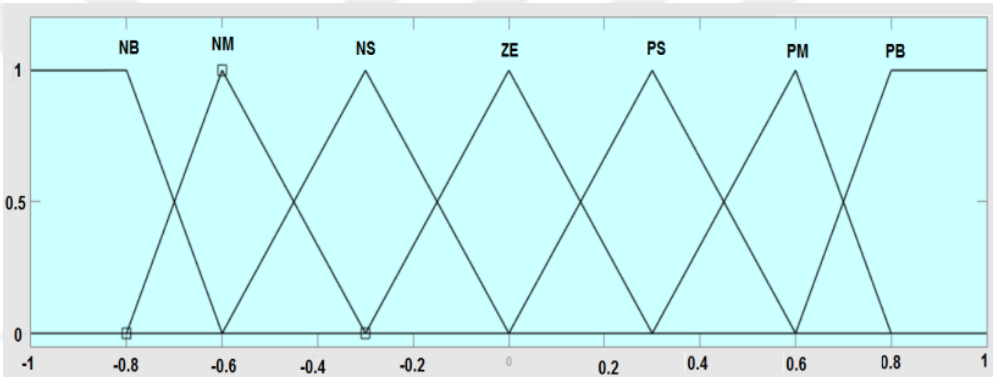
Şekil 3.8. CE (FLC MPPT hata değişim oranı)

Şekil 3.9.'da hata payın göre oluşturulmuş üyelik fonksiyonunun değişim aralığı [-2 10]



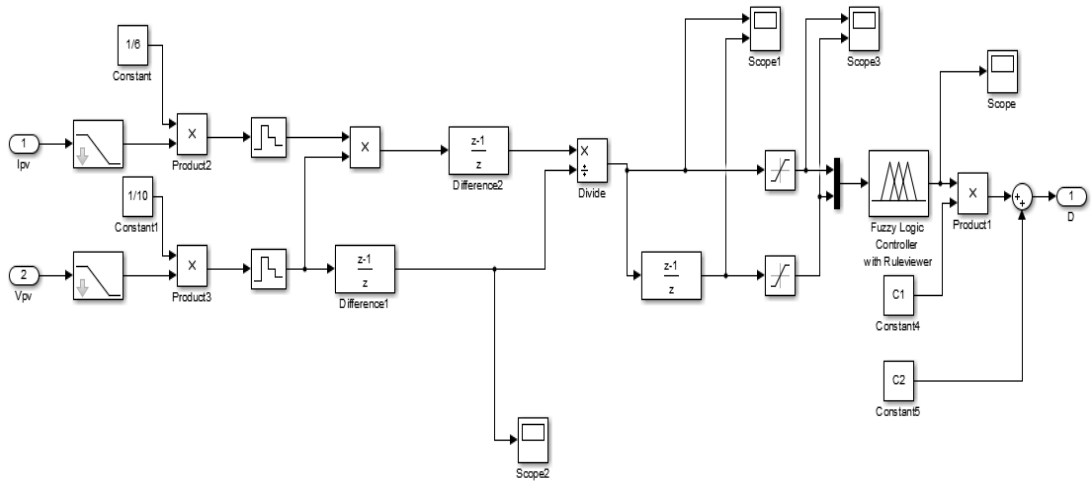
Şekil 3.9. E (FLC MPPT hata oranı)

Şekil 3.10.'da Bulanık mantık denetleyicisinin çıkışı yani DA-DA dönüştürücüye verilen kısım için üyelik fonksiyonunun değişim aralığı [-1 1]



Şekil 3.10. dD (FLC MPPT çıkış)

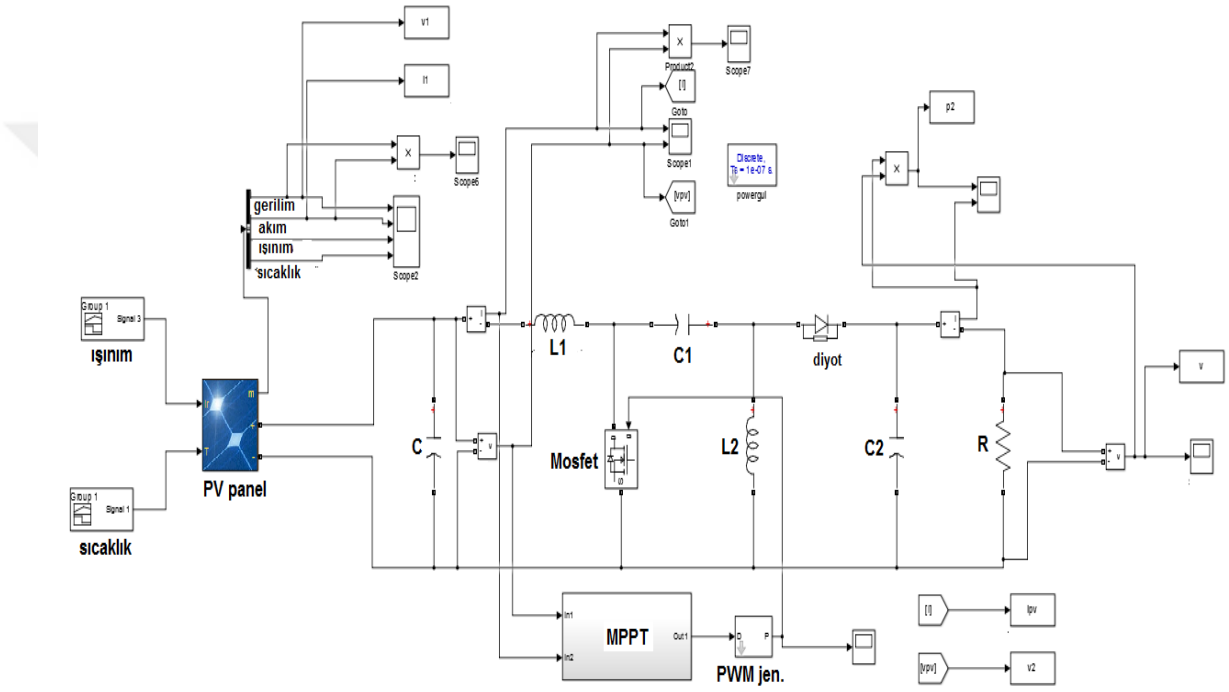
Şekil 3.11.'de FLC MPPT algoritmasının Matlab/Simulink'te oluşturulan benzetim modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.11. FLC MPPT metodunun gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink

3.3. Elde Edilen Veriler ve Sistemin Matlab/Simulinkte Tasarımı

PV panelden elde edilen gerilim ve güç değerlerinin düzenlenmesi için SEPİC dönüştürücü kullanılmıştır. SEPİC dönüştürücünün Matlab/Simulink'te tasarımı Şekil 3.12.'de gösterilmiştir. Çizelge 3.4'te ise SEPİC dönüştürücünün devre eleman değerleri verilmiştir.



Şekil 3.12. MPPT Sistemi ve SEPİC dönüştürücü Matlab/Simulink

Çizelge 3.4. DA-DA SEPİC dönüştürücü devre elemanları

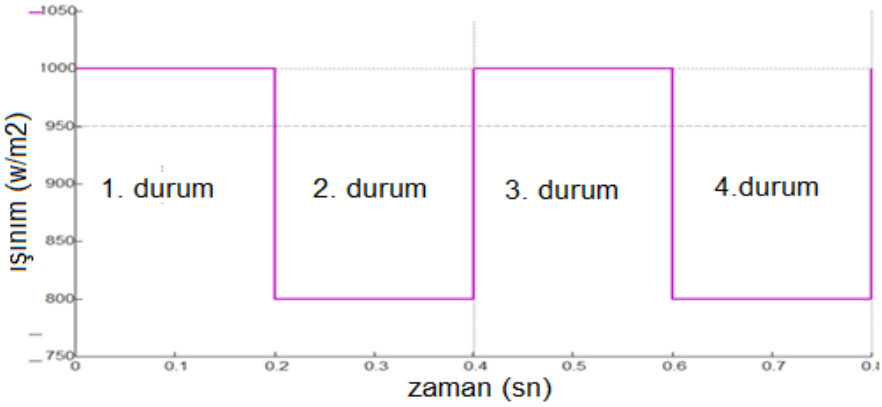
Sembol	Değer
$L1$	80µH
C	1µF
$C1$	120µF
$C2$	1500µF
$L2$	86µH

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde Matlab/Simulink'te yapılan benzetim sonuçları verilecektir. Matlab/Simulink'te sinyal jeneratöründen ışıma ve sıcaklık 4 farklı durum için ayarlanmıştır. Şekil 4.1 ve 4.2.'de ışınım ve sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

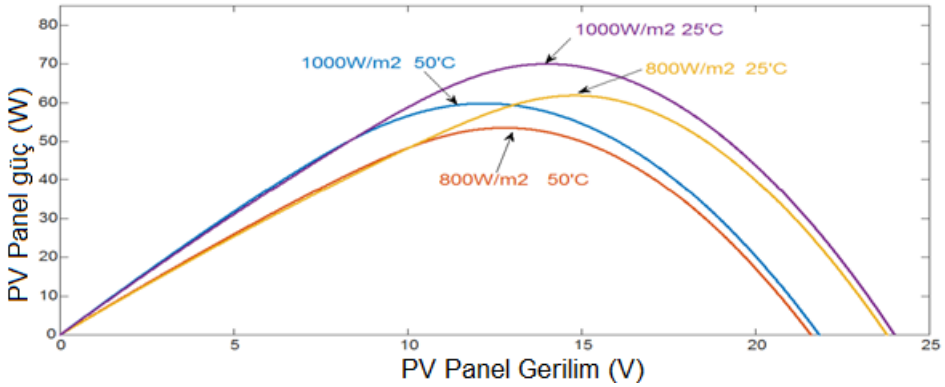


Şekil 4.1. Sıcaklığın zamana göre değişimi



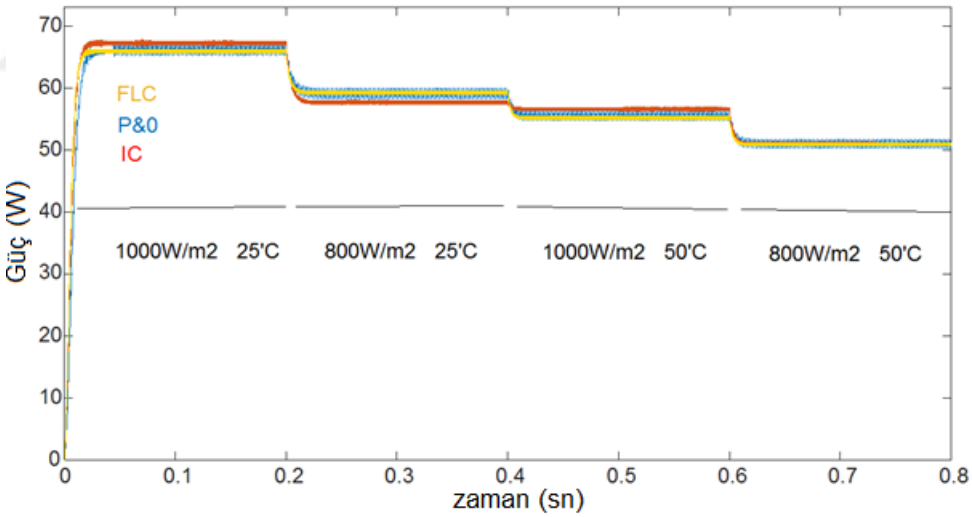
Şekil 4.2. Işınımın zamana göre değişimi

Dört farklı durumda PV panelin güç ve gerilim karakteristiğinde meydana gelen değişim ve aynı zamanda PV panelin maksimum güç noktasındaki değişim şekil 4.3.'te verilmiştir.



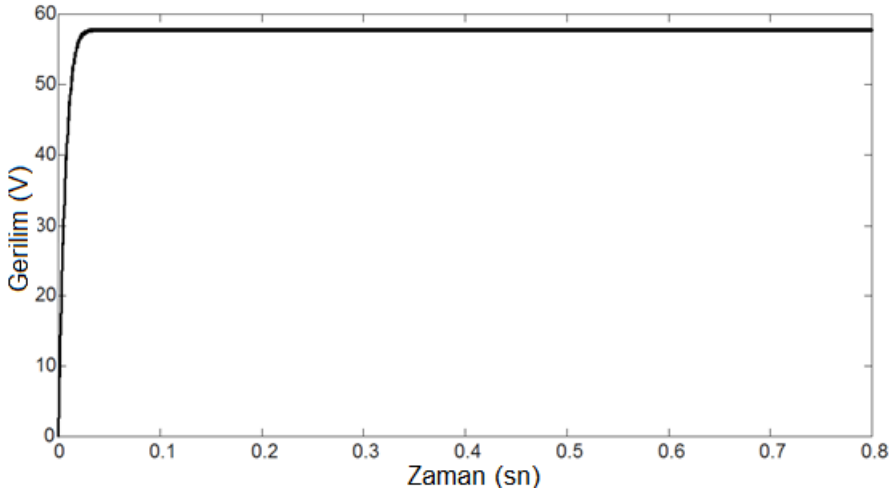
Şekil 4.3. Güç-Gerilim karakteristiğinde meydana gelen değişim

Üç farklı MPPT algoritmasının dört farklı durumda uygulandığı PV sistemde DA-DA SEPİC dönüştürücüden elde edilen güç değerleri Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. IC MPPT metodu düşük sıcaklık ve yüksek ışınımda en iyi etkiyi gösterirken, daha düşük ışıma değerlerinde P&O ve FLC MPPT algoritmaları IC algoritmasından daha iyi sonuç vermektedir. P&O MPPT algoritması maksimum güç noktasında sürekli arama yaparken FLC algoritması daha tutarlı sonuç vermektedir.

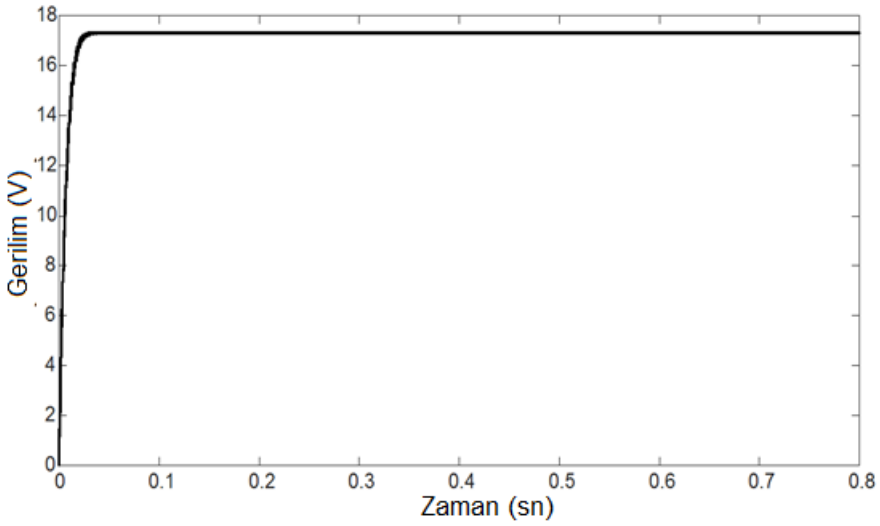


Şekil 4.4. MPPT algoritmaları ve Güç miktarı

Şekil 4.5 ve 4.6.'da SEPİC dönüştürücünün STC koşullarında giriş ve çıkış gerilimleri gösterilmiştir.(STC= 1000W/m2, 25^{o}C)



Şekil 4.5. SEPİC dönüştürücü çıkış gerilimi



Şekil 4.6. SEPİC dönüştürücü giriş gerilimi (PV panel gerilimi)

Çizelge 4.1.'de Üç farklı MPPT algoritmasından elde edilen sonuçlar ve yüzdelik oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. MPPT Algoritmalarının verim karşılaştırılması

Sıcaklık	Işınım	PV (MPP)	IC (MPP)	Yüzde(%)	P&O (MPP)	Yüzde(%)	FLC (MPP)	Yüzde (%)
25 (°C)	1000 (W/m2)	70 W	67.4 W	96.286%	66.1 W-66.8 W	94.42%-95.4%	66.5	95%
25(°C)	800 (W/m2)	60.5 W	57.1 W	94.380%	58.7 W-59.2 W	97.02%-97.8%	58.9	97.4%
50(°C)	1000 (W/m2)	57.6 W	55.8 W	96.875%	54.3 W-55.1 W	94.3%-95.7%	54.8	95.2%
50(°C)	800 (W/m2)	52.8 W	51.3 W	97.16%	50.9 W-51.6 W	96.4%-97.7%	51.27	97.1%

4.1. Araştırma Bulguları ve Tartışma (1.Çalışma)

Bu çalışmada PV panel üç farklı MPPT algoritması, farklı çevre koşulları için 800W/m2 ile 1000W/m2 arasında ışınım verilere ve sıcaklık ise 25^{o}C ile 50^{o}C arasında değişen sıcaklık verilerek ölçüm yapılmıştır. DA-DA dönüştürücü olarak SEPİC dönüştürücü kullanılmıştır. STC koşullarında SEPİC dönüştürücünün giriş gerilimi yani PV panel polaritelerinden elde edilen gerilim 17.5 (V) iken çıkış gerilimi 57.8 (V) olarak ölçülmüştür. Şekil 4.3'te görüldüğü üzere farklı ışınım ve farklı sıcaklık değerlerinde PV panelden elde edilen güç değişmekte olduğu gibi PV panelin maksimum güç noktası da değişmektedir. Değişen maksimum güç noktalarını yakalayabilmek için geliştirilen algoritmaların performansları Şekil 4.4 ve Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Düşük sıcaklık ve yüksek ışınımda en ideal MPPT algoritması IC iken, düşük ışınım ve düşük sıcaklıklarda FLC algoritması daha iyi sonuç verebilmektedir. P&O algoritması ve FLC algoritmasının verdiği tepkiler birbirine yakın iken P&O algoritması MPP noktasında salınım yaptığından dolayı az da olsa güç kaybı meydana gelmektedir.

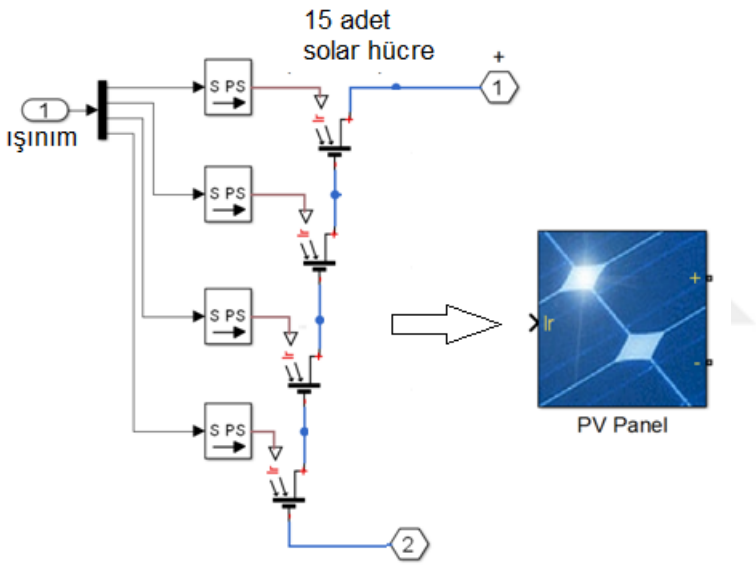
4.2. PV beslemeli Flyback dönüştürücüyü Sabit Gerilim (Constant Voltage) MPPT metodu ile Farklı Sıcaklık ve Işınım Altında akü şarj sistemi

Bu çalışmada PV hücrelerin seri olarak bağlanmasıyla elde edilen PV panel beslemeli Flyback dönüştürücü kullanılmış MPPT algoritması olarak sabit gerilim (CV) MPPT algoritması uygulanarak farklı sıcaklık (25^{o}C-40^{o}C) ve farklı ışınım

değerleri (800W/m2-1000W/m2) altında lityum-iyon akü şarj edilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

4.2.1. Solar Hücrelerin Seri Bağlanarak PV Panel Elde Edilmesi ve Karakteristik Özelliklerin Belirtilmesi

Solar hücrelerden elde edilen gerilim ve güç değerleri oldukça küçük olduğu için bu çalışmada 15 adet solar hücreler seri bağlanarak PV panel elde edilmiştir. Şekil 4.7.'de solar hücrelerden PV panel elde etme yöntemi gösterilmiştir. Matlab/Simulink'te simscape kütüphanesinden alınan solar hücreler yine aynı kütüphaneden alınan sps dönüştürücüleri kullanılmıştır. Işınım değeri ise sinyal jeneratörü tarafından devreye verilmiştir.



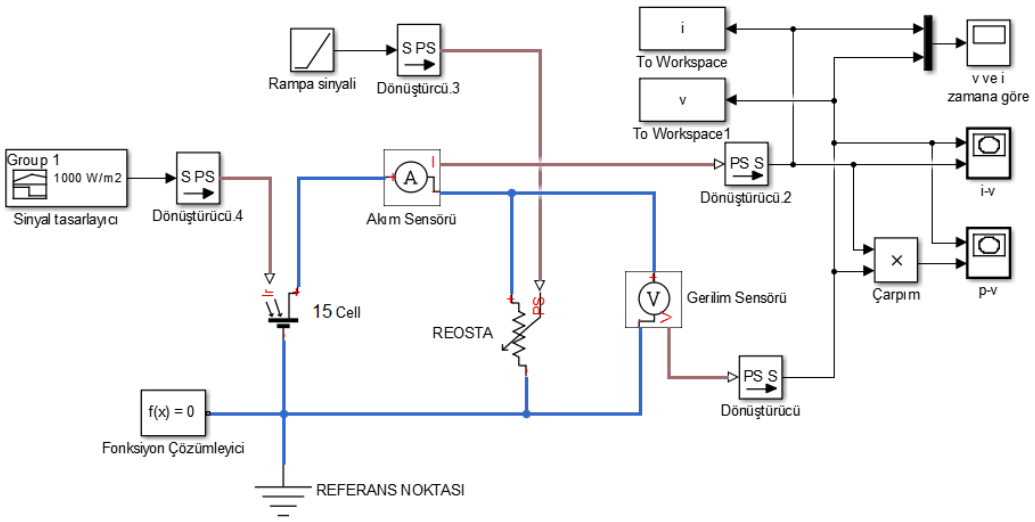
Şekil 4.7. Solar hücrelerden PV panel elde edilmesi

Çizelge 4.2.'de solar hücrelerden elde edilen PV panelin elektriksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. PV panel elektriksel özellikleri ve eşdeğer devre elemanları (STC şartlarında-1000w/m2, 25°C)

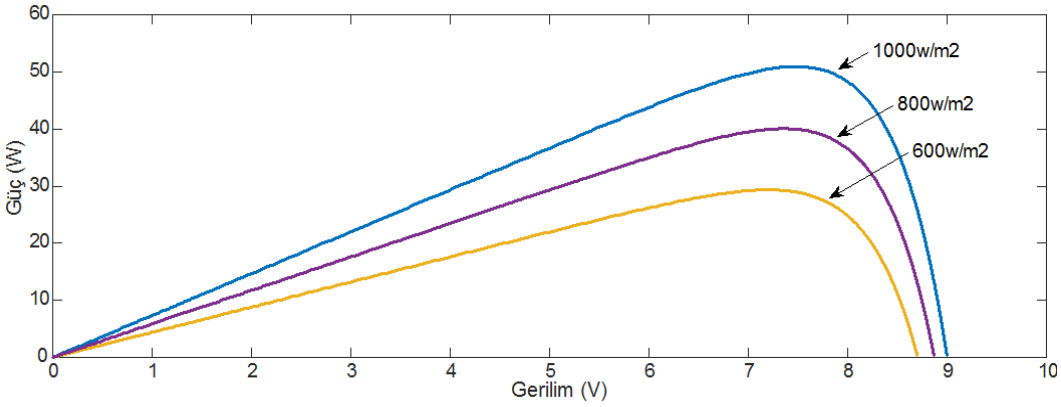
PV panel Maksimum güç noktası (MPP)	51.5 W
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{MPP}	8.2 V
Maksimum güç noktasındaki akım, I_{MPP}	6.28 A
PV panel Açık devre gerilimi, V_{OC}	9.5 V
PV panel Kısa devre akımı, I_{SC}	6.62 A
Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı	-0.32 %/^{0}C
Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı	0.102
Seri bağlı hücre sayısı	15

Şekil 4.8.'de solar hücrelerden elde edilmiş PV panelin karakteristik özelliklerinin tespiti için Matlab/Simulink'te yapılmış benzetim modeli gösterilmiştir. 15 adet hücre simscape kütüphanesinden alınıp seri olarak bağlanmıştır sinyal tasarlayıcısından ışınım değeri 1000w/m2 olarak verilmiş ve sıcaklık 25°C ayarlanmıştır. Rampa sinyalinden değişken dirence yüksek bir değer verilip açık devre olana kadar artırılmıştır akım ve gerilim sensörlerinden alınan değerler çarpılarak PV panel gücü elde edilmiştir.

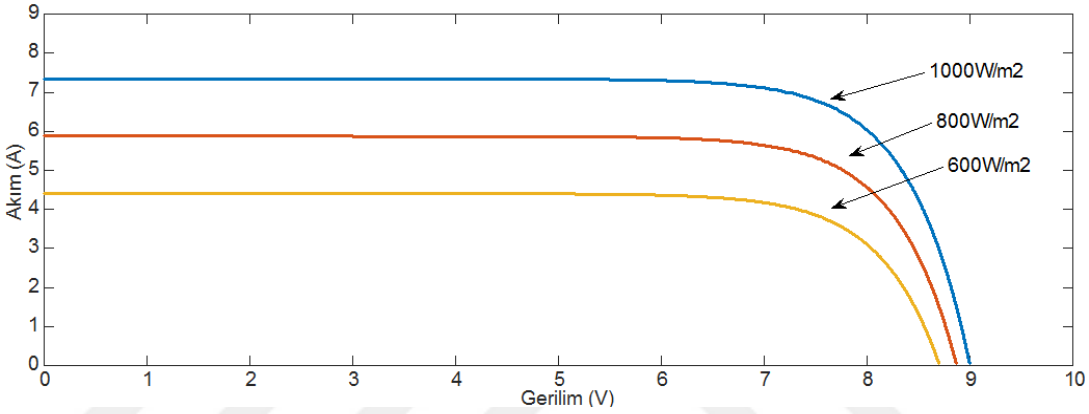


Şekil 4.8. PV panel karakteristik devresi benzetim modeli

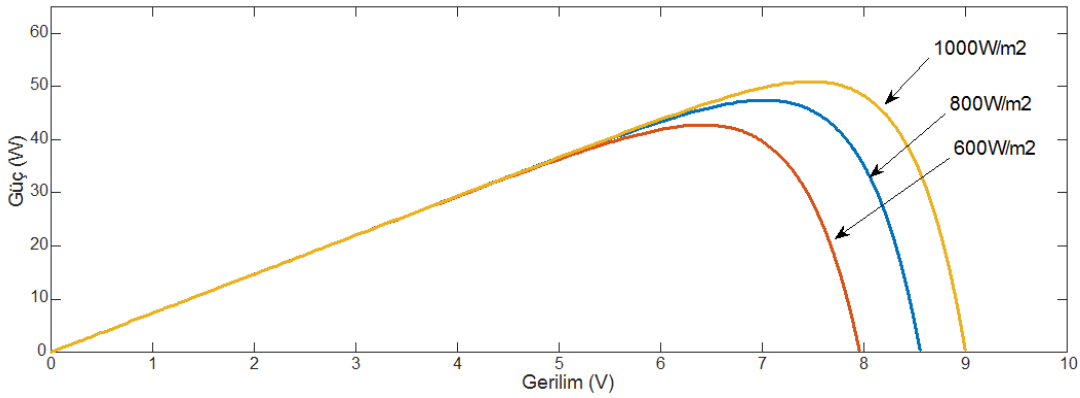
Şekil 4.9.'da PV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri farklı sıcaklık ve farklı ışımalar altında gösterilmiştir


Güç (W)
Gerilim (V)
1000w/m2
800w/m2
600w/m2

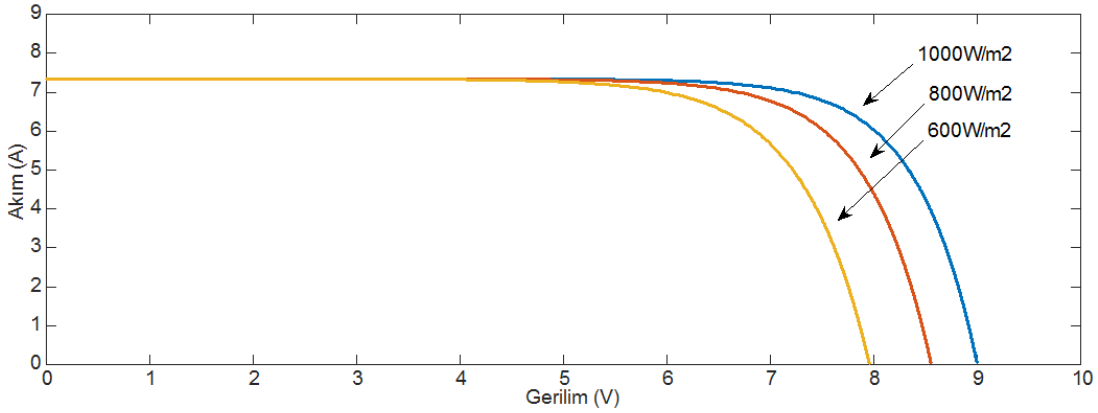
(a)


Akım (A)
Gerilim (V)
1000W/m2
800W/m2
600W/m2

(b)


Güç (W)
Gerilim (V)
1000W/m2
800W/m2
600W/m2

(c)

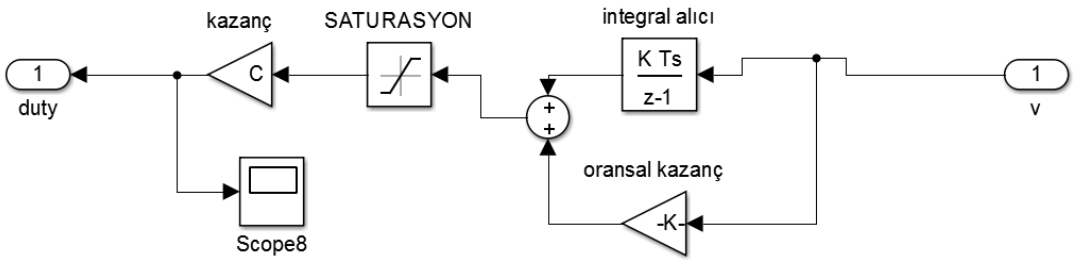


(d)

Şekil 4.9. PV panel karakteristik (a) P-V sabit sıcaklık (b) I-V sabit sıcaklık (c) P-V sabit ışınım (c) I-V sabit ışınım

4.2.2. PI Denetleyici tasarımı

DA-DA flyback dönüştürücünün anahtarlama (MOSFET)'ine uygulanan görev çevrimi (Duty cycle) ayarlaması yapmak için PI denetleyici tasarlanır. Bu çalışmada Manual Tunning (Manual olarak ayarlama) metodu kullanılmıştır. Şekil 4.10.'da PI denetleyicinin Matlab/Simulink'te tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 4.10. PI denetleyici Matlab/Simulink

Şekil 4.10.'daki sistem anlatılacak olunursa DA-DA Flyback dönüştürücünün çıkışından elde edilen gerilimin integrali alınır ve bir integral kazancıyla çarpılır. Aynı zamanda oransal kazanç diye sabit bir değerle çarpılarak iki değer toplanır ve doyum aralığı belirlenerek tekrar bir kazançla çarpılarak DA-DA dönüştürücünün anahtar (MOSFET) kısmına gönderilir ve işlem süresi boyunca bu olay tekrarlanır. Pİ denetleyicide Kp ve Ki (oransal kazanç ve integral kazanç) değerlerinin bulunabilmesi için Kp ye maksimum değer (100) verilerek Ki ye ise en küçük değer

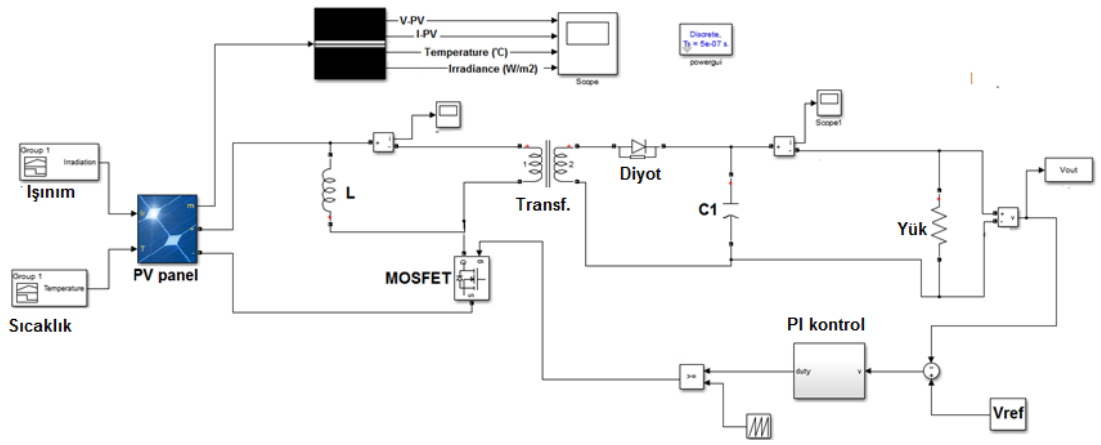
(0) verilerek sistemin verdiği tepki gözlemlenir. Daha sonra Ki yavaş yavaş artırılır ve Kp ise buna göre azaltılarak sistemin kararlı duruma geldiği an gözlemlenir bu yönteme Manual ayarlama (Manual Tunning) yöntemi denir. Çizelge 4.3.'te Pİ denetleyicinin değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. PI denetleyici kazanç değerleri

Kontrol Tipi	Kp	Ki	Doyum aralığı
PI	0.695	112.385	0-1

4.2.3. DA-DA Flyback dönüştürücü benzetim modeli

Bu çalışmada PV panelden alınan gerilim ve gücü düzenlemek için flyback dönüştürücü kullanılmıştır. Flyback dönüştürücü azaltıcı-artırıcı dönüştürücü ailesinden olmakla beraber dönüştürücüde bobin yerine transformatörün kullanılmış böylece bu sayede kullanılan yük ve kaynak arasında yalıtım sağlanmış aynı zamanda transformatörün dönüştürme oranı sayesinde giriş çıkış gerilimleri ayarlanmıştır. Şekil 4.11.'de flyback dönüştürücü ile yapılan sistem devresinin Matlab/Simulink'te yapılan benzetim modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.11. DA-DA flyback dönüştürücü Matlab/Simulink

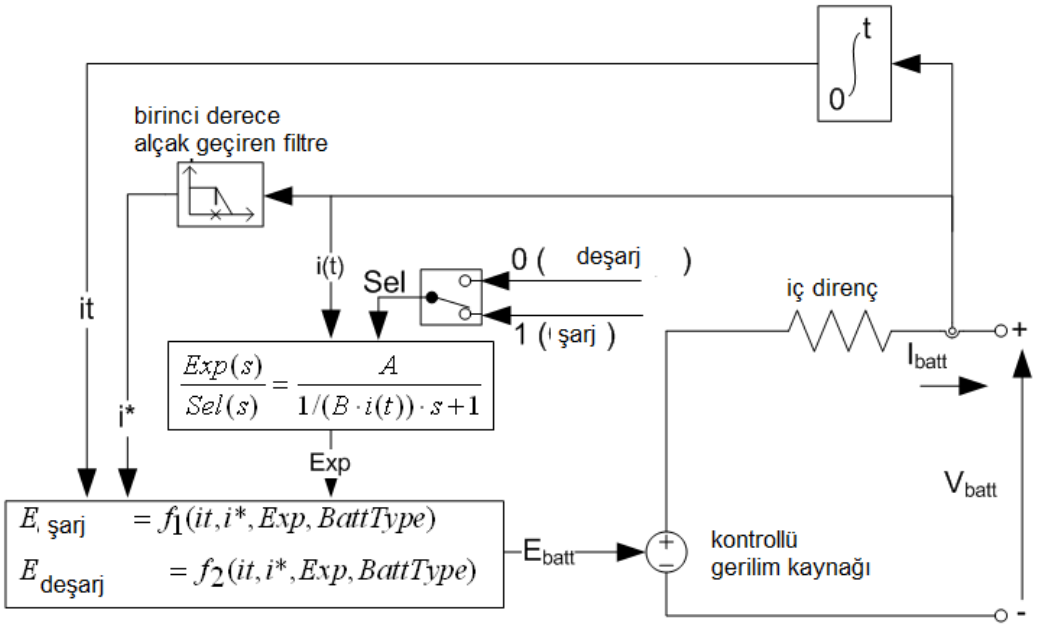
Çizelge 4.4.'te DA-DA flyback dönüştürücüsünün devre eleman değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Flyback dönüştürücü devre değerleri

Devre elemanı	Değerlik
L_1	150µH
C(kapasitör)	150µF
f(Mosfet frekansı)	40kHz
N (dönüştürme oranı)	9/20
P(PV panel gücü)	52W

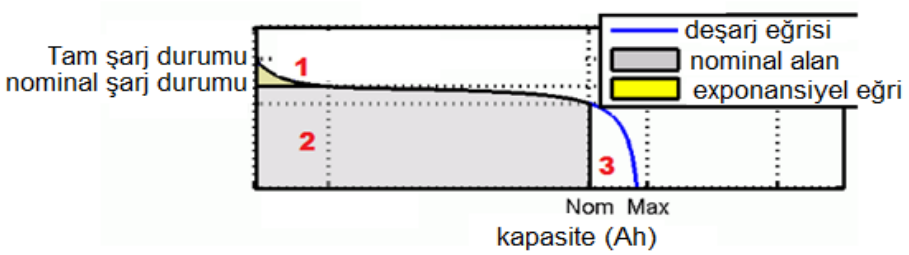
4.2.4 Batarya Karakteristik Benzetim Modelleri

PV paneller sadece gün ışığında enerji üretebildikleri için gün batımından sonra üretilen enerjiyi kullanabilmek adına gün boyunca bataryalar şarj edilir. Bu çalışmada Li-ion batarya kullanılmıştır. Li-ion batarya özelliklerinden bahsedilecek olursa yüksek enerji ve güç yoğunluğu, uzun süre arıza çıkartmaması ve çevre dostu oldukları için tercih edilirler. Şekil 4.12.'de batarya şarj ünitesi devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Batarya şarj ünitesi (BCU) Matlab/Simulink

Şekil 4.13'te Matlab/simulink'te yapılan batarya deşarj durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Batarya şarj durumu (BCU) Matlab/Simulink

Şekil 4.13.'teki durum anlatılacak olunursa;1 ile gösterilen alan exponansiyel olarak gerilim düşümünü ifade etmektedir ve farklı bataryalar için değişkenlik göstermektedir. 2 ile gösterilen alan nominal gerilim değerde batarya şarj olurken meydana gelen gerilim değerini belirtmekte 3 ile gösterilen alan ise deşarj olma durumunda gerilimin ani düşüşünü göstermektedir.

4.3. Araştırma Bulguları Ve Tartışma (2.Çalışma)

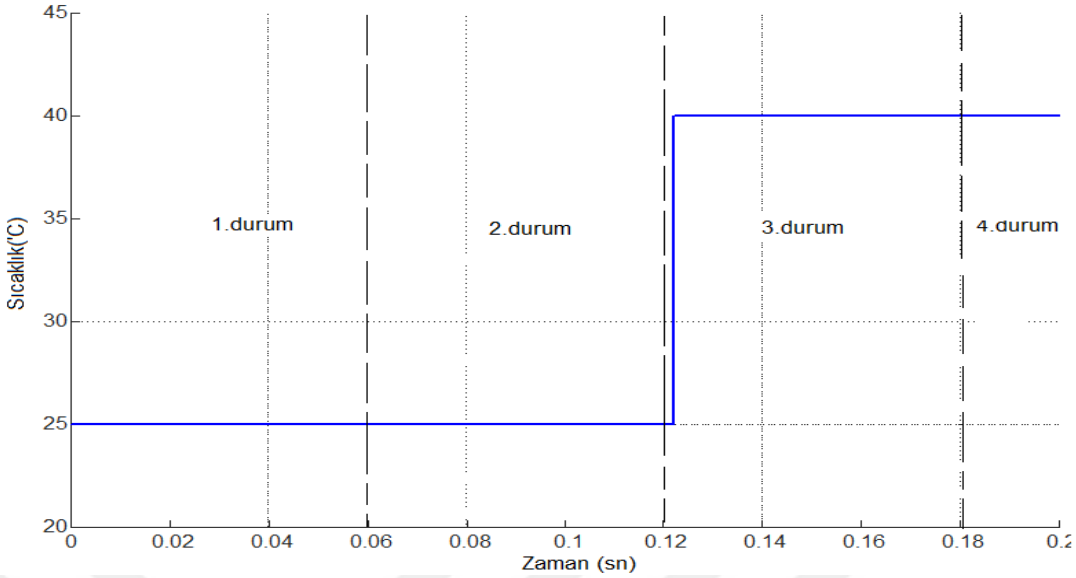
Bu çalışmada PV beslemeli flyback dönüştürücü sabit gerilim MPPT tekniğiyle kontrol edilmiş olup farklı sıcaklık (25^{o}C-40^{o}C) ve farklı ışıma (800w/m2-1000w/m2) altında sistemin verdiği tepki ve batarya şarj durumu gözlemlenmiştir. Bu sistemin amacı farklı ışınım ve farklı sıcaklık durumlarda çıkış gerilimi ve çıkış gücünü sabit tutmaya çalışmaktır. Yüksek ışıma ve düşük sıcaklıkta sistemin MPP noktasına göre güç verimi %80 civarında iken düşük ışıma ve yüksek sıcaklıkta sistemin verimi %95-97 arasında değişmektedir. Sistemden elde edilen veriler aşağıdaki şekillerde daha detaylı olarak anlatılmaktadır. Şekil 4.14 ve 4.15.'te dört farklı durum ışınım ve sıcaklık değerleri verilmiştir.

1.durum sıcaklık (25^{o}C) ışınım (1000W/m2)

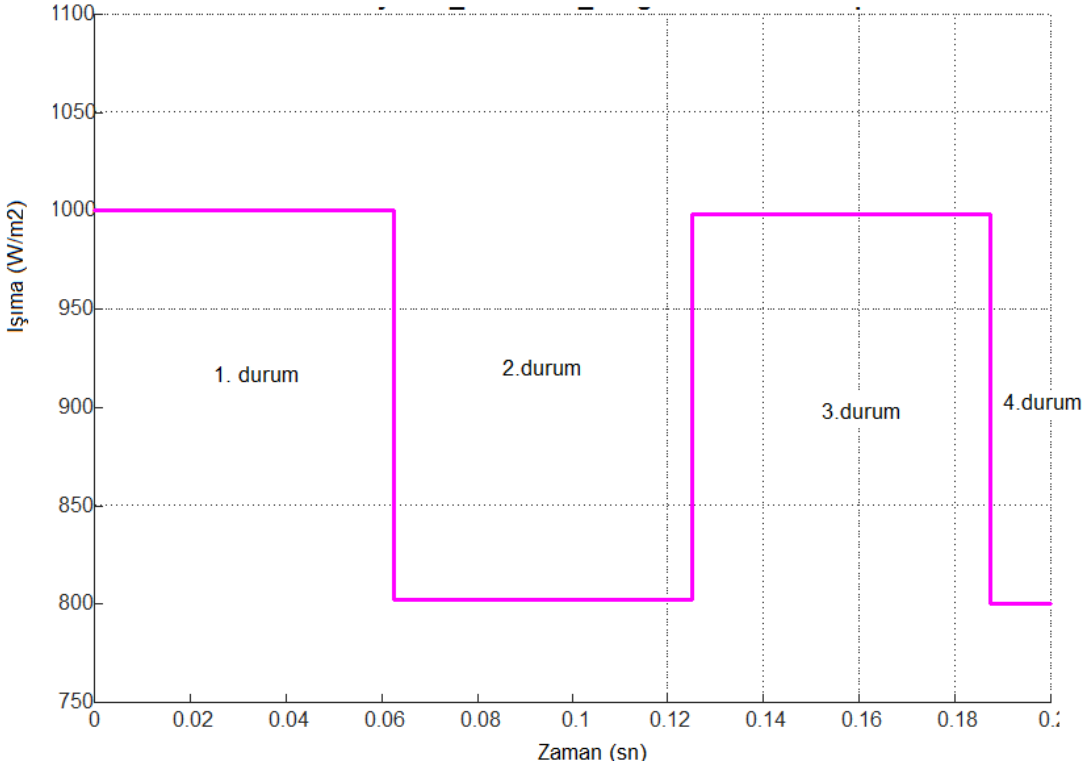
2.durum sıcaklık (25^{o}C) ışınım (800W/m2)

3. durum sıcaklık (40^{o}C) ışınım (1000W/m2)

4. durum sıcaklık (40^{o}C) ışınım (800W/m2)

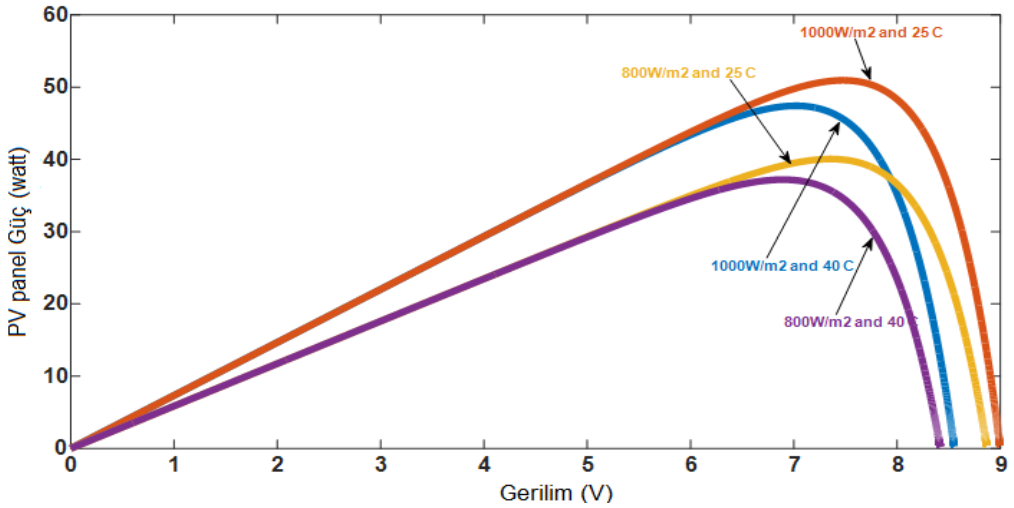


Şekil 4.14. PV panel sıcaklık değerleri



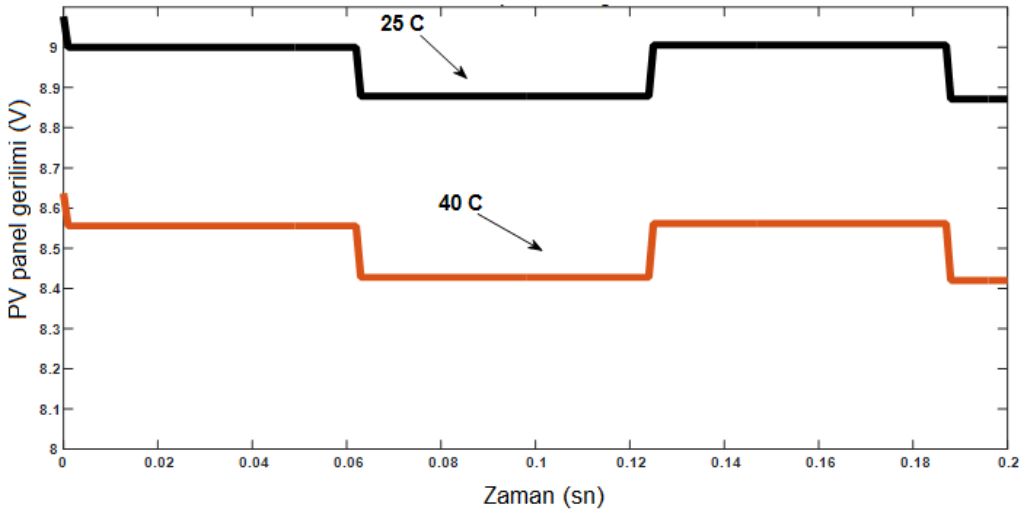
Şekil 4.15. PV panel ışınım değerleri

Şekil 4.16.'da PV panel gerilim ve güç karakteristiğinin farklı sıcaklık ve farklı ışınım altında değerleri gösterilmiştir.



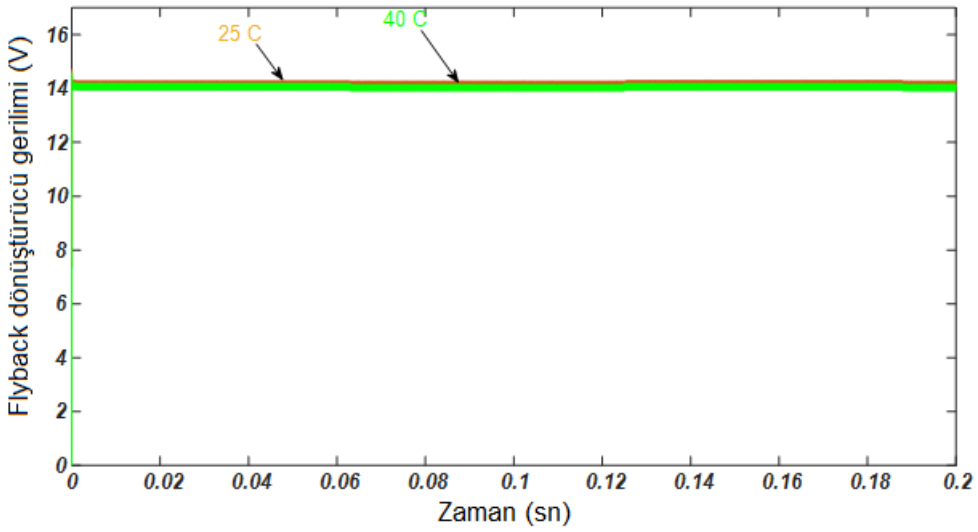
Şekil 4.16. PV panel P-V karakteristik eğrileri

Şekil 4.17.'de farklı ışınım ve farklı sıcaklık altında PV panel terminallerinden elde edilen gerilim değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Işınımın artması PV panel gerilimini artırırken sıcaklığın artması gerilim değerini azaltmıştır.



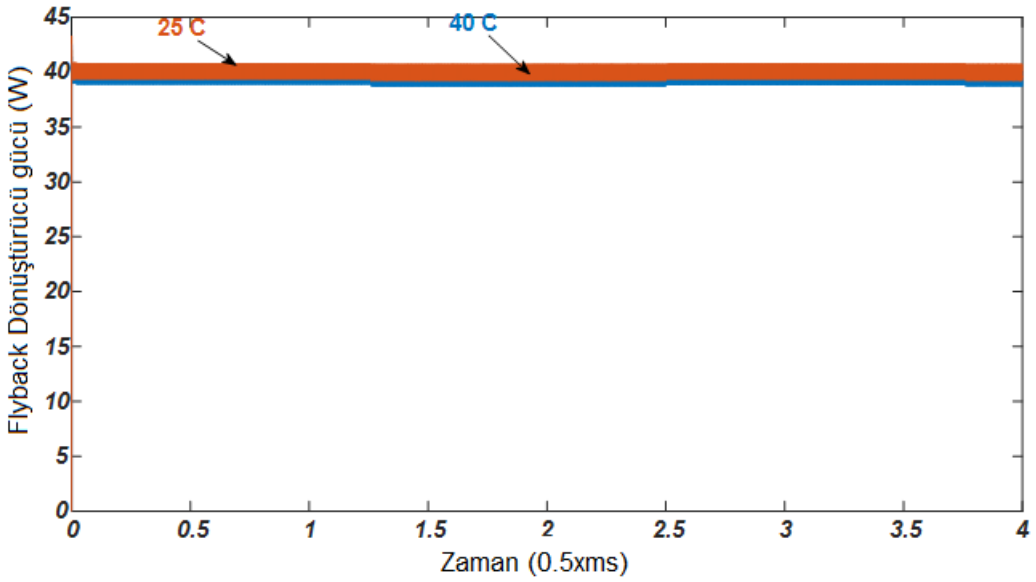
Şekil 4.17. PV panel gerilim değerleri

Şekil 4.18.'de Flyback dönüştürücüden elde edilen gerilim değerleri verilmiştir. PV panel geriliminin ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak değişmesine rağmen Flyback dönüştürücünün PI denetleyici ile kontrol edilmesinden dolayı çıkış geriliminde pek fazla değişim gözlemlenmemiştir.



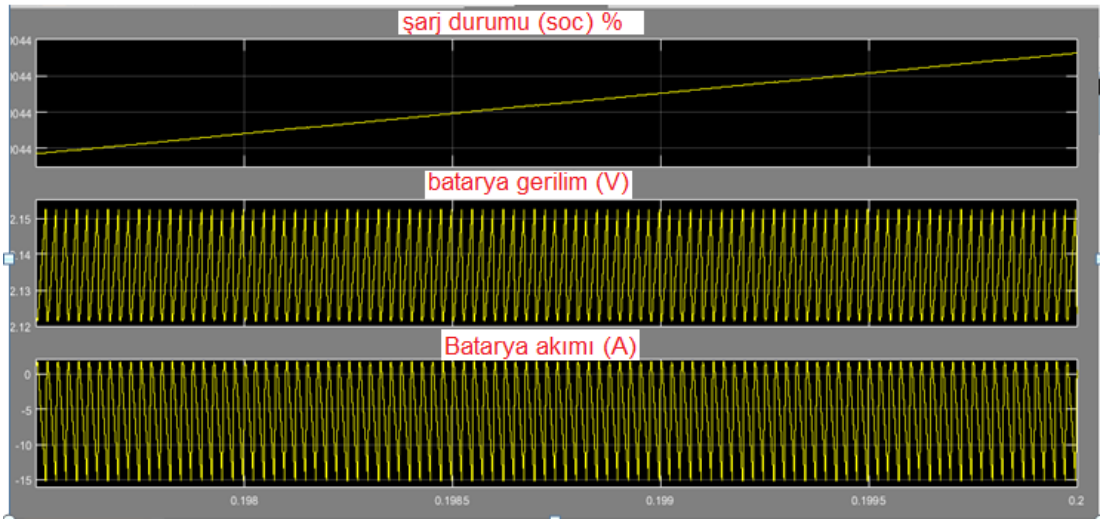
Şekil 4.18. Flyback dönüştürücü çıkış gerilimi

Şekil 4.19.'da PV Flyback dönüştürücüden elde edilen çıkış gücü gösterilmiştir. Çizelge 4.5.'te PV panel MPP noktası ile Flyback dönüştürücüden elde edilen çıkış gücü karşılaştırılmış olup değerler daha açık bir şekilde gösterilmiştir



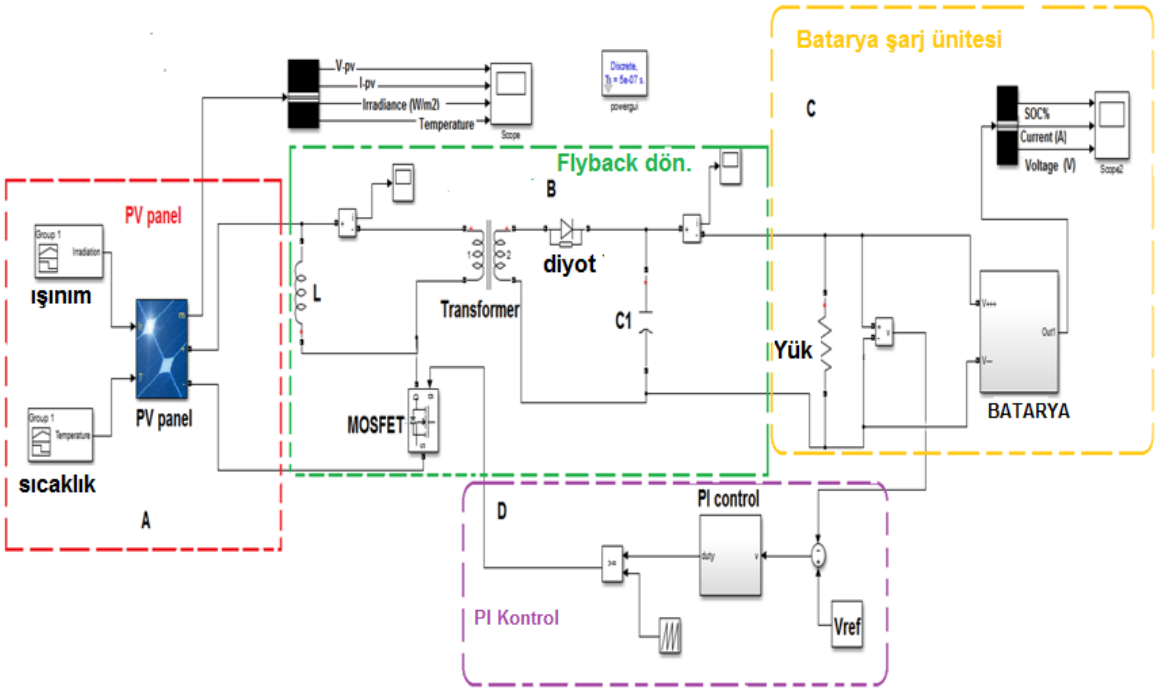
Şekil 4.19. Flyback dönüştürücü çıkış gücü

Şekil 4.20.'de Batarya gerilimi batarya akımı ve şarj durumu (state of charge-soc%) gösterilmiştir.

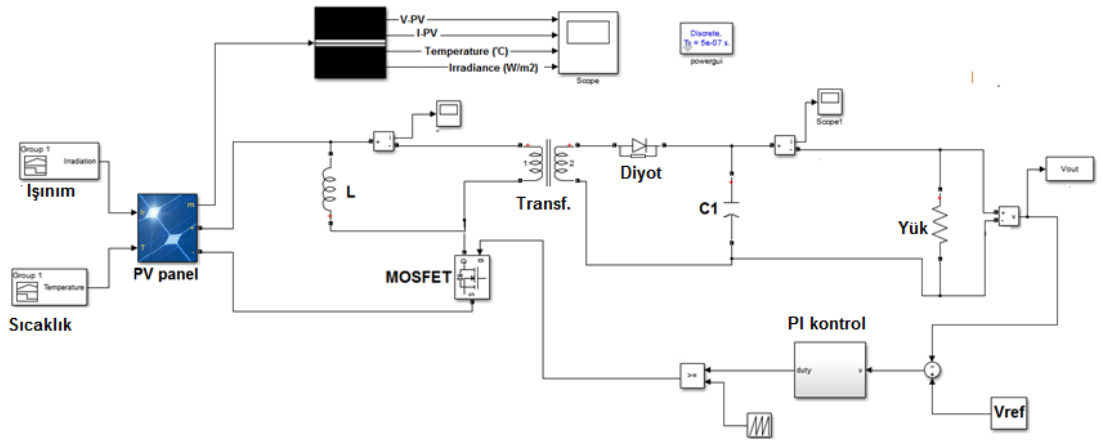


Şekil 4.20. Li-ion batarya elektriksel değerleri

Şekil 4.21 ve 4.22.'de Matlab/Simulink'te yapılan sistem gösterilmiştir.



Şekil 4.21. PV beslemeli Flyback dönüştürücülü şarj sistemi Sistem



Şekil 4.22. PV beslemeli Flyback dönüştürücülü yüksek verimli sürücü devresi

Çizelge 4.5.'te sistemin MPP noktasına göre çıkışta elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılması yapılmış olup Matlab/Simulink'te tasarlanan bu sistemin en uygun çalışma değerleri araştırılmıştır

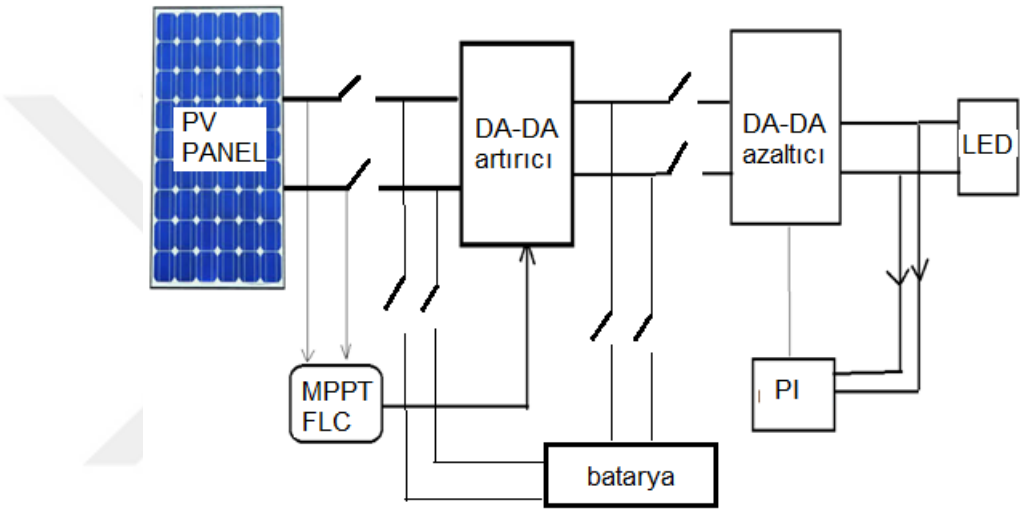
Çizelge 4.5. Sistem verimliliğinin dört farklı durum için incelenmesi

Işınım ve sıcaklık değerleri	PV panel MPP Gücü	Flyback dönüştürücü çıkış Gücü	Verimlilik %
1.durum (1000W/m2 -25°C)	52 W	42.2 W	%81.15
2.durum (800W/m2 -25°C)	42.5 W	39.1 W	%95.13
3.durum(1000W/m2 -40°C)	47.5 W	40.9 W	%86.1
4.durum(800W/m2 -40°C)	39.5 W	38.7 W	%97.9

4.4. PV System Yüksek Verimli Sokak Aydınlatmasının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi (3.çalışma)

Bu çalışmada bulanık mantık MPPT tekniğiyle artırıcı (Boost) dönüştürücü kontrol edilerek PV panelin maksimum güçte çalışması sağlanmaya çalışılmış olup batarya şarj işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sıcaklık sabit ve 25°C değerde iken ışınım 1000W/m2 ile 700W/m2 arasında değişmektedir. Batarya şarj işleminden sonra PI denetleyici ile azaltıcı dönüştürücü kontrol edilerek çıkış akımı ve gücü sabit tutulmaya çalışmıştır. Son işlem olarak şarj edilen batarya enerjisi önce artırıcı sonrada azaltıcı dönüştürücüden geçirtilerek sabit akım ve sabit gerilim ile LED

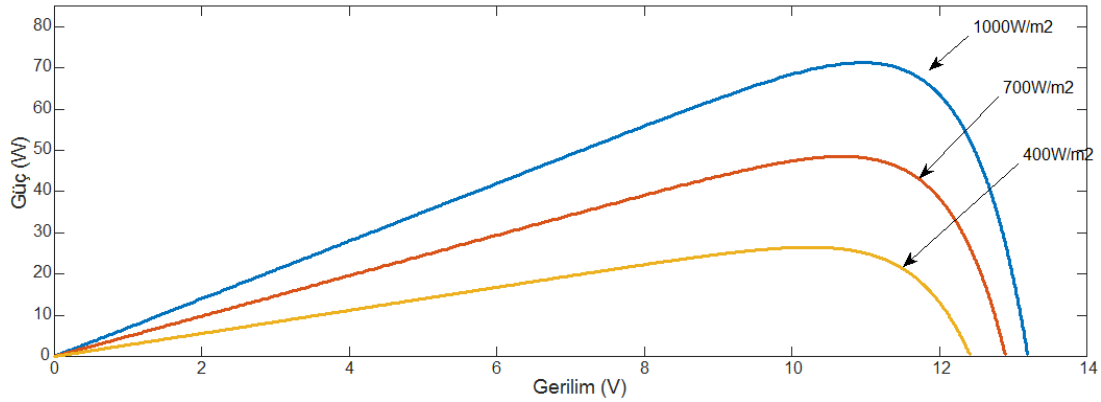
aydınlatma beslenmiştir. LED aydınlatma elemanlarının yapısal özelliklerinden dolayı ilk çalışma anında fazla akım çekmektedirler. Fazla akım aynı zamanda sıcaklığı da artırdığından dolayı LED'ler bu durumdan olumsuz etkilendiklerinden verimleri düşmekte hatta sıcaklık belli bir seviyenin üzerine çıkarsa LED'ler ömürlerini tüketmektedirler. Bu çalışmada hem PV panelden bulanık mantık MPPT tekniğiyle maksimum verim alınmaya çalışılmış hem de PI denetleyici yardımıyla LED'ler için uygun akım ve gerilimle çalıştırılmıştır. Şekil 4.23.'te sistemin benzetim modeli gösterilmiştir.



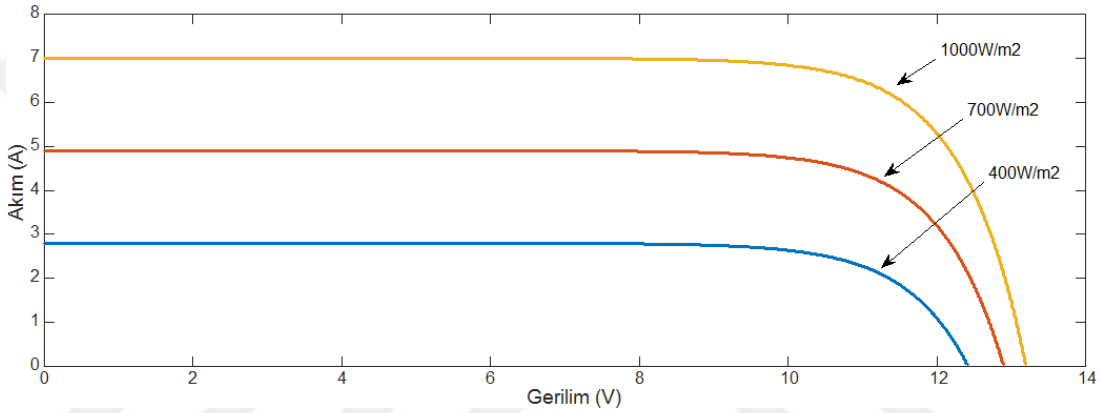
Şekil 4.23. PV beslemeli yüksek verimli sokak aydınlatması

4.5. Solar hücrelerden PV panel

Önceki çalışmalarda solar hücrelerden PV panel oluşumu anlatıldığı için bu bölümde kullanılan PV panelin karakteristik özelliklerinden bahsedilecektir. Bu çalışmada 22 adet hücre seri bağlanarak PV panel oluşturulmuştur. PV panelin karakteristik eğrileri Şekil 4.24 ve 4.25.'te gösterilmektedir.



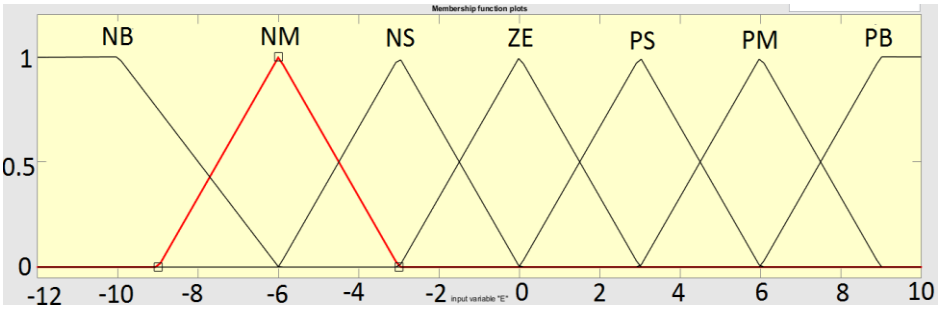
Şekil 4.24. PV panel P-V karakteristiği



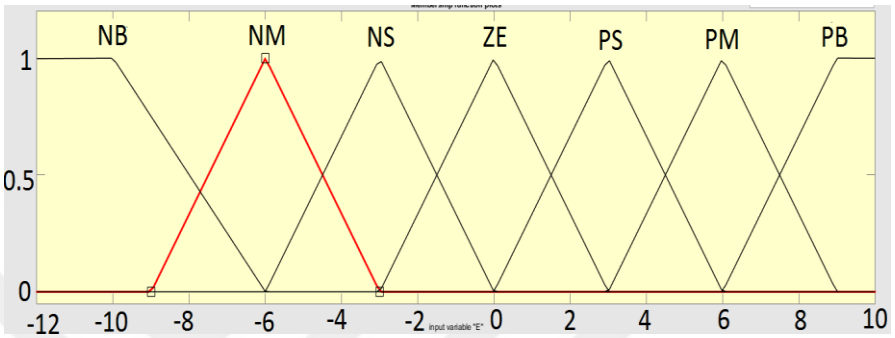
Şekil 4.25. PV panel I-V karakteristiği

4.6. Bulanık Mantık ile MPPT

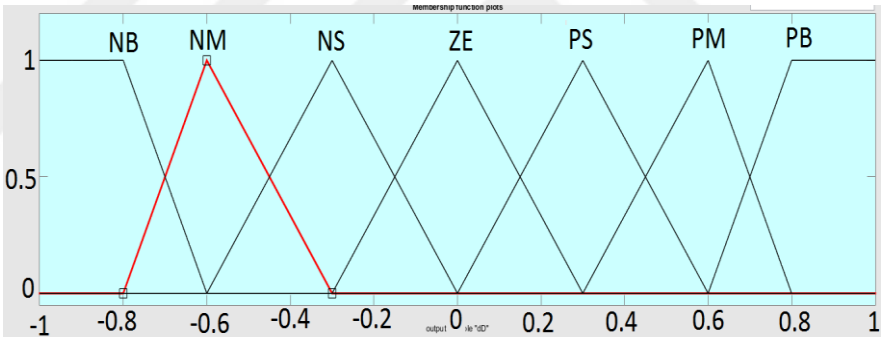
Önceki çalışmalarda bulanık mantık ile MPPT yöntemi anlatıldığından bu bölümde yapılan MPPT sistemin üyelik fonksiyonları ve kural tablosu verilecektir. Şekil 4.26 - 4.28.'de bulanık mantık (FLC) MPPT yöntemi için tasarlanan üyelik fonksiyonları ve Çizelge 4.6.'da kural tablosu gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonları için NB (negatif büyük), NM(negatif orta), NS (negatif küçük), ZE (sıfır), PS(pozitif küçük), PM(pozitif orta), PB (pozitif büyük). Bulanık mantık MPPT için 'E' ve 'CE' giriş sinyali iken, dD çıkış sinyali olarak DA-DA boost dönüştürücü için (çevrim oranı-duty cycle)'ı belirtmektedir. E [-12 10], CE [-2 2], dD [-1 1].



Şekil 4.26. FLC üyelik fonksiyonu MPPT (CE)



Şekil 4.27. FLC üyelik fonksiyonu MPPT (E)



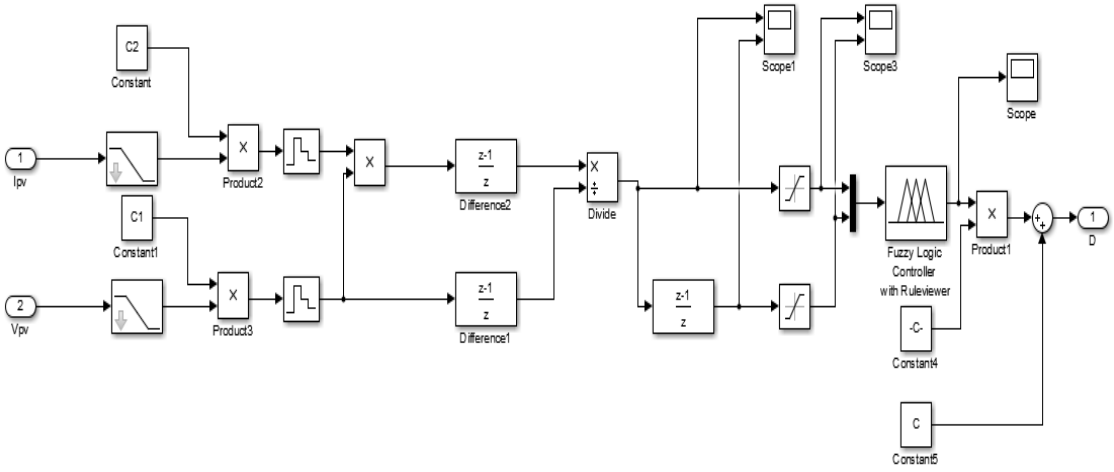
Şekil 4.28. FLC üyelik fonksiyonu MPPT (dD)

Çizelge 4.6.'da FLC bulanık mantık MPPT yöntemi için kural tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.6. Bulanık Mantık Kural Tablosu

E/CE	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
PB	ZE	ZE	ZE	NB	NB	NB	NB
PM	ZE	ZE	ZE	NM	NM	NM	NM
PS	ZE	ZE	ZE	NS	NS	NM	NM
ZE	NS	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PS
NS	PM	PM	PS	NS	ZE	PS	ZE
NM	PM	PM	PM	PB	ZE	ZE	NS
NB	PB	PM	PM	PB	ZE	ZE	ZE

Şekil 4.29.'da FLC MPPT tekniğinin Matlab/Simulink'te tasarımı gösterilmektedir.

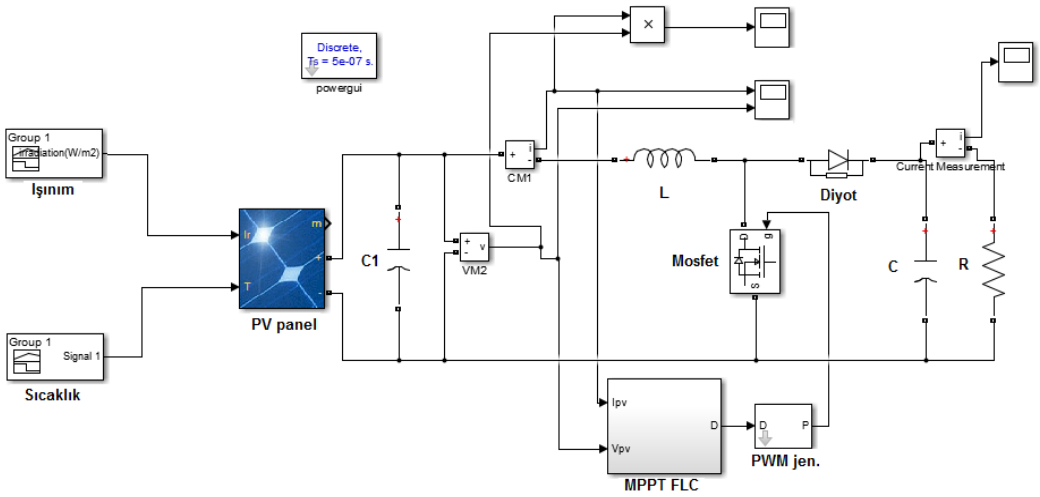


Şekil 4.29. FLC MPPT metodunun gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink

4.6.1. Artırıcı (boost) Dönüştürücü

Bu çalışmada MPPT algoritmasının uygulandığı DA-DA artırıcı (boost) dönüştürücü olarak tasarlanmıştır. Literatürde MPPT algoritmasının en fazla

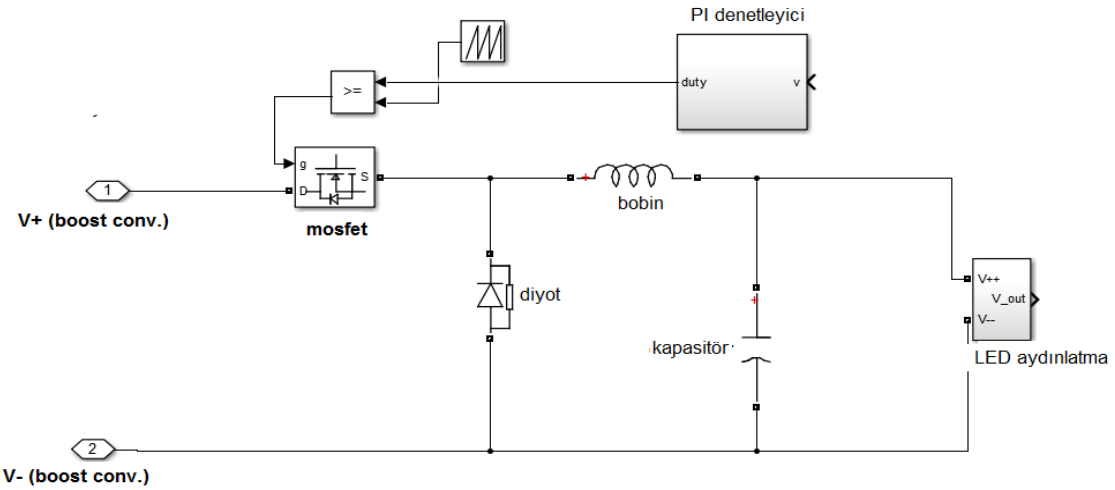
uygulandığı DA-DA artırıcı dönüştürücüdür. Uygulanması kolaydır ve iyi sonuç verir. Şekil 4.30.'da Matlab/Simulink'te tasarlanan artırıcı dönüştürücü gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Artırıcı (boost) dönüştürücünün gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink

4.6.2. Azaltıcı (buck) Dönüştürücü

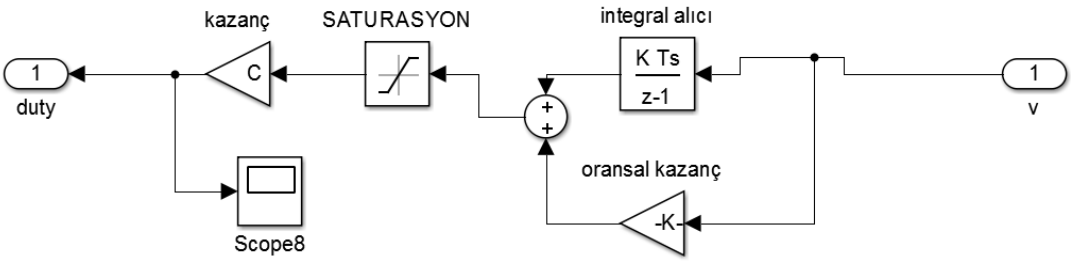
Bu çalışmada LED Sokak aydınlatması için PI denetleyicinin uygulanarak kontrol ettiği DA-DA dönüştürücü azaltıcı dönüştürücüdür. Kullanılan LED sabit akım ve sabit gerilim ile beslenmesi gerektiğinden PI denetleyici DA-DA dönüştürücü kontrol ederek gerilim ve akım dalgasını önlemektedir. Şekil 4.31'de DA-DA azaltıcı (buck) dönüştürücü gösterilmektedir.



Şekil 4.31. Azaltıcı (buck) dönüştürücünün gerçekleştirilmesi Matlab/Simulink

4.6.3. PI Denetleyici tasarımı

DA-DA azaltıcı (buck) dönüştürücünün anahtarlama (MOSFET)'ine uygulanan görev çevrimi (Duty cycle) ayarlaması yapmak için PI denetleyici tasarlanır. Bu çalışmada Manual Tunning (Manüel olarak ayarlama) metodu kullanılmıştır. Şekil 4.32.'de PI denetleyicinin Matlab/Simulink'te tasarımı gösterilmiştir.

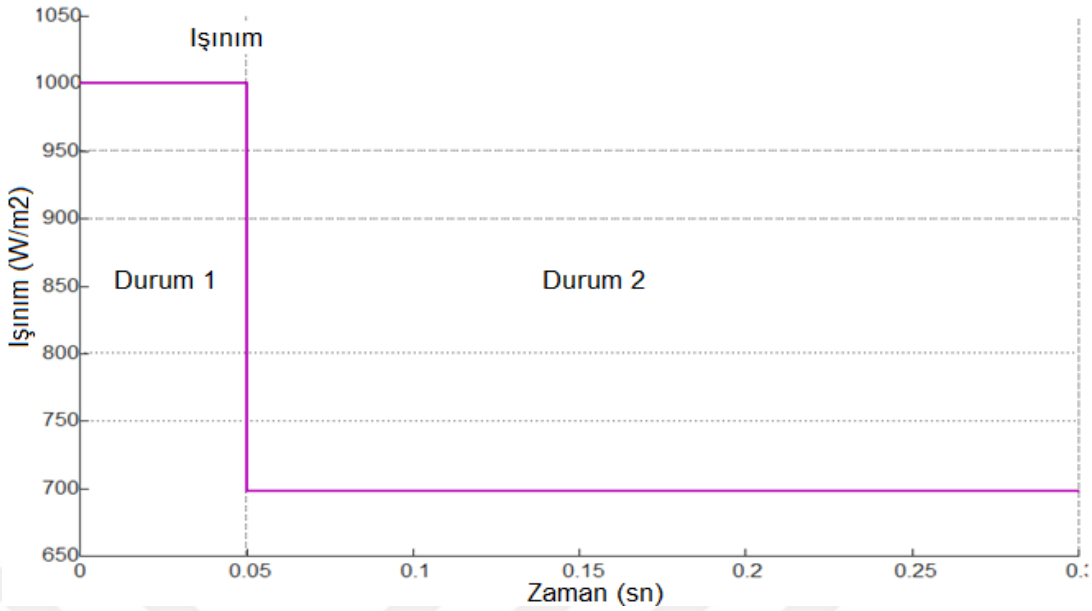


Şekil 4.32. PI denetleyici Matlab/Simulink

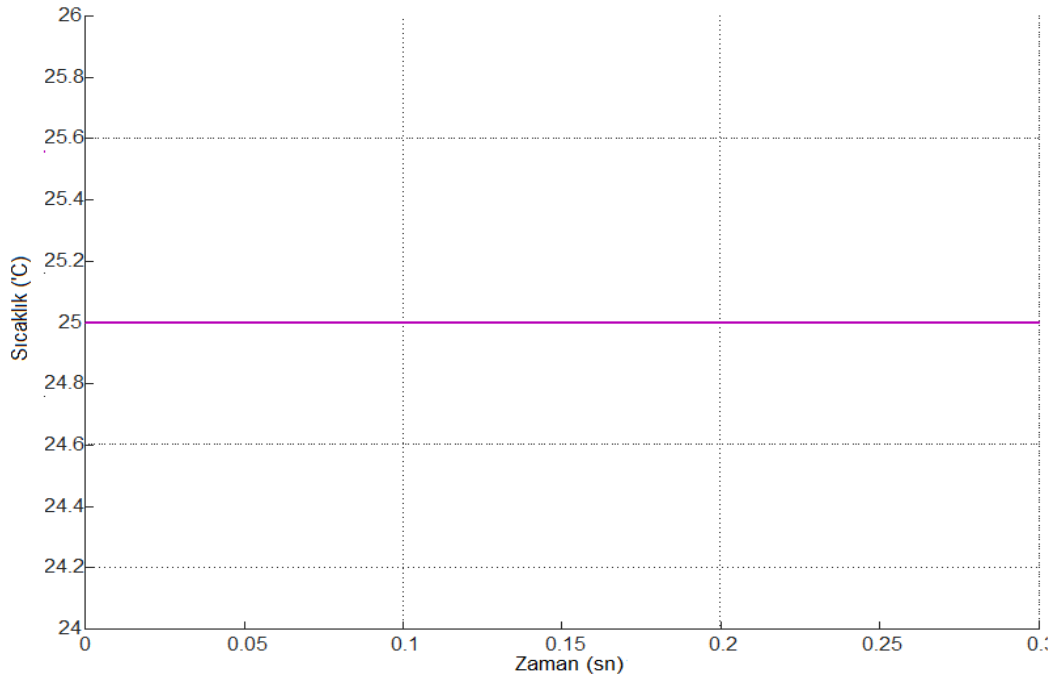
Şekil 4.32.'deki sistem anlatılacak olunursa DA-DA azaltıcı dönüştürücünün çıkışından elde edilen gerilimin integrali alınır ve bir integral kazancıyla çarpılır. Aynı zamanda oransal kazanç diye sabit bir değerle çarpılarak iki değer toplanır ve doyum aralığı belirlenerek tekrar bir kazançla çarpılarak DA-DA dönüştürücünün anahtar (MOSFET) kısmına gönderilir ve işlem süresi boyunca bu olay tekrarlanır. Pİ denetleyicide Kp ve Ki (oransal kazanç ve integral kazanç) değerlerinin bulunabilmesi için Kp ye en büyük değer (100) verilerek Ki ye ise en küçük değer (0) verilerek sistemin verdiği tepki gözlemlenir. Daha sonra Ki yavaş yavaş artırılır ve Kp ise buna göre azaltılarak sistemin kararlı duruma geldiği an gözlemlenir bu yönteme Manual ayarlama (Manual Tunning) yöntemi denir.

4.7. Araştırma Bulguları (3.Çalışma)

Bu çalışmada maksimum güç noktası 70W olan ve toplam 22 solar hücreden oluşmuş PV panel kullanılmıştır. Işınım değerleri 700W/m2 ile 1000W/m2 arasında değişirken sıcaklık sabit ve 25^{o}C'ye ayarlanmıştır. Şekil 4.33 ve 4.34.'te PV panelin ışınım ve sıcaklık değerleri sinyal üreticisinden alınmıştır.

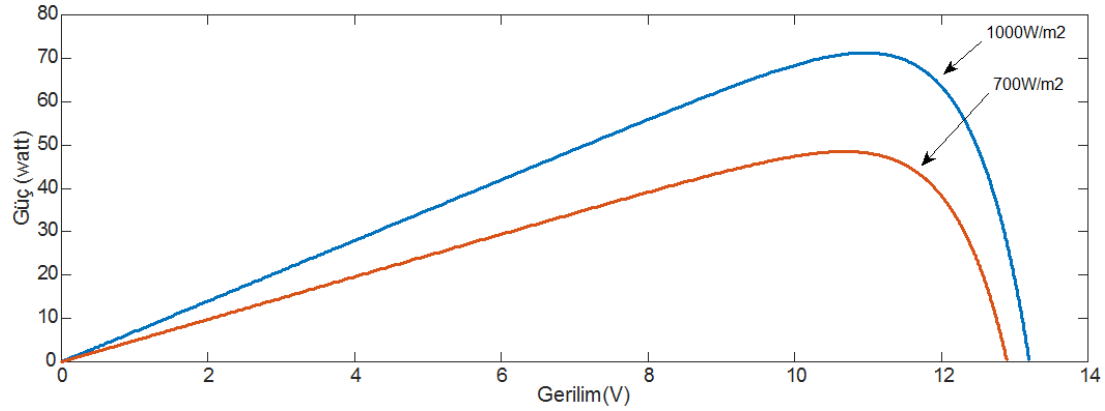


Şekil 4.33. PV Panel ışınım değeri Matlab/Simulink



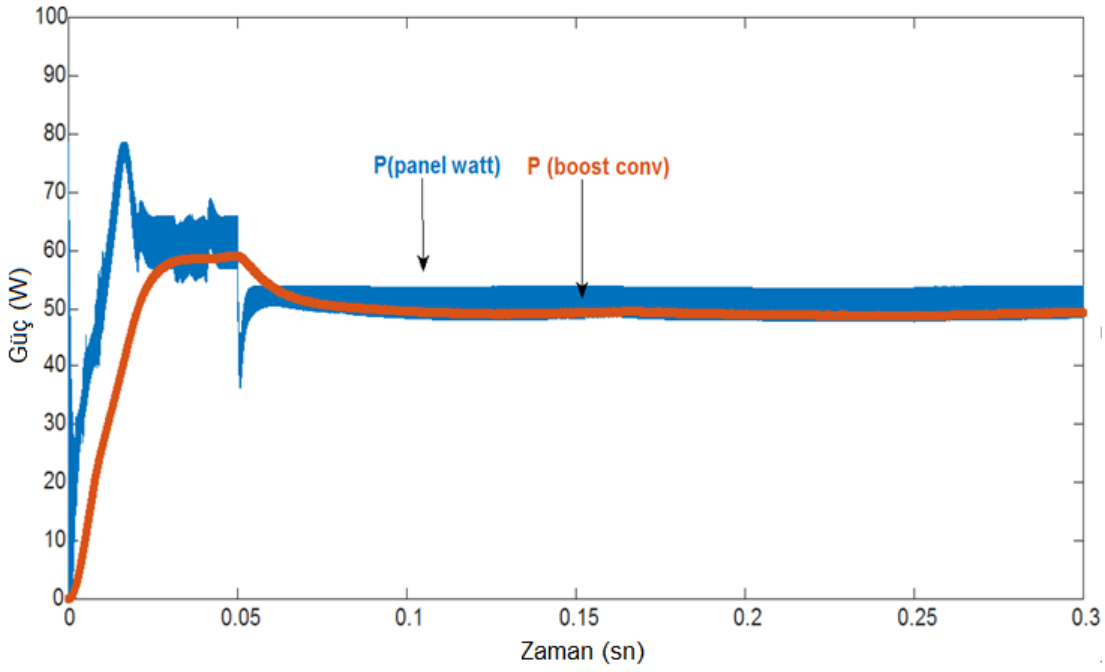
Şekil 4.34. PV Panel sıcaklık değeri Matlab/Simulink

Şekil 4.35.'te kullanılan PV panelin 1000W/m2-700W/m2 ışınım ve 25°C sıcaklık altında güç gerilim karakteristiği gösterilmiştir



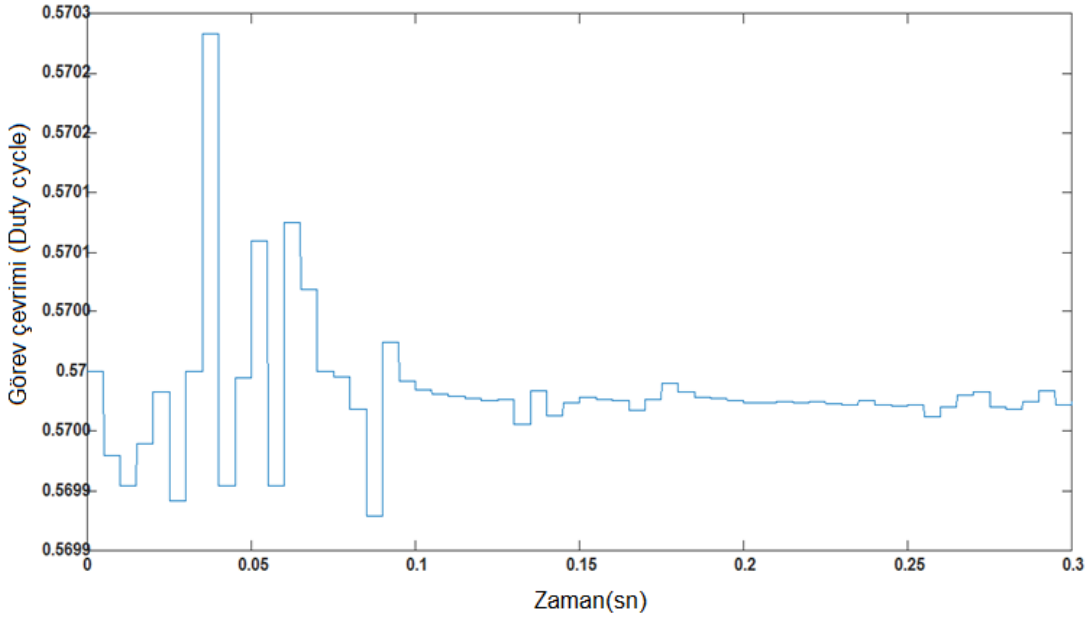
Şekil 4.35. PV Panel P-V karakteristik değerleri Matlab/Simulink

Şekil 4.36.'da PV panelden elde edilen güç ve artırıcı (boost) dönüştürücüden elde edilen güç gösterilmiştir.



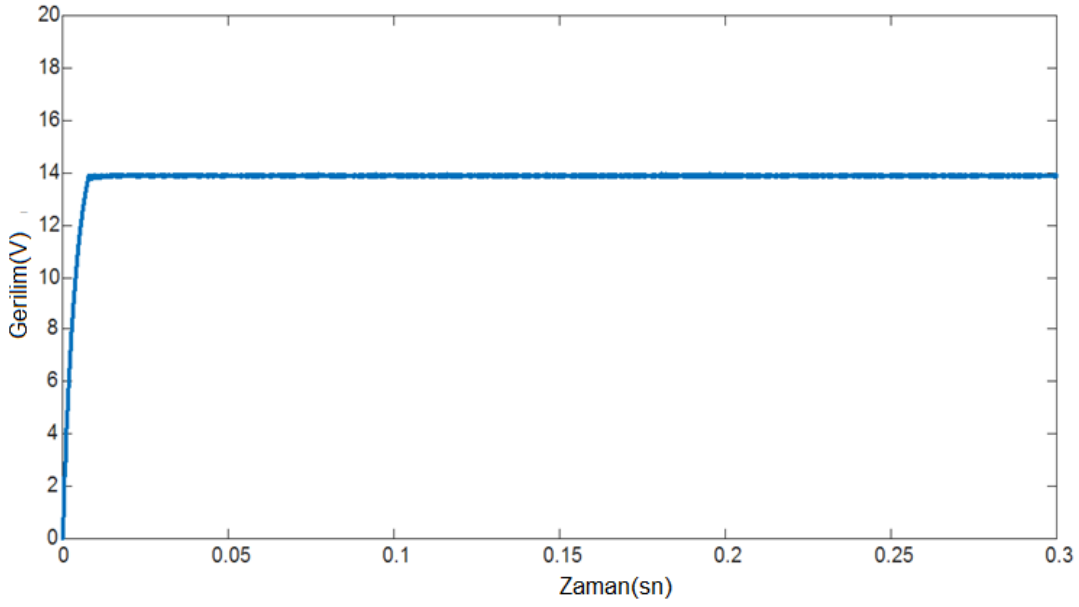
Şekil 4.36. PV Panel ve artırıcı dönüştürücü güç Matlab/Simulink

Şekil 4.37.'de FLC MPPT sisteminin boost dönüştürücü için sağladığı görev çevrimi (duty cycle) gösterilmektedir



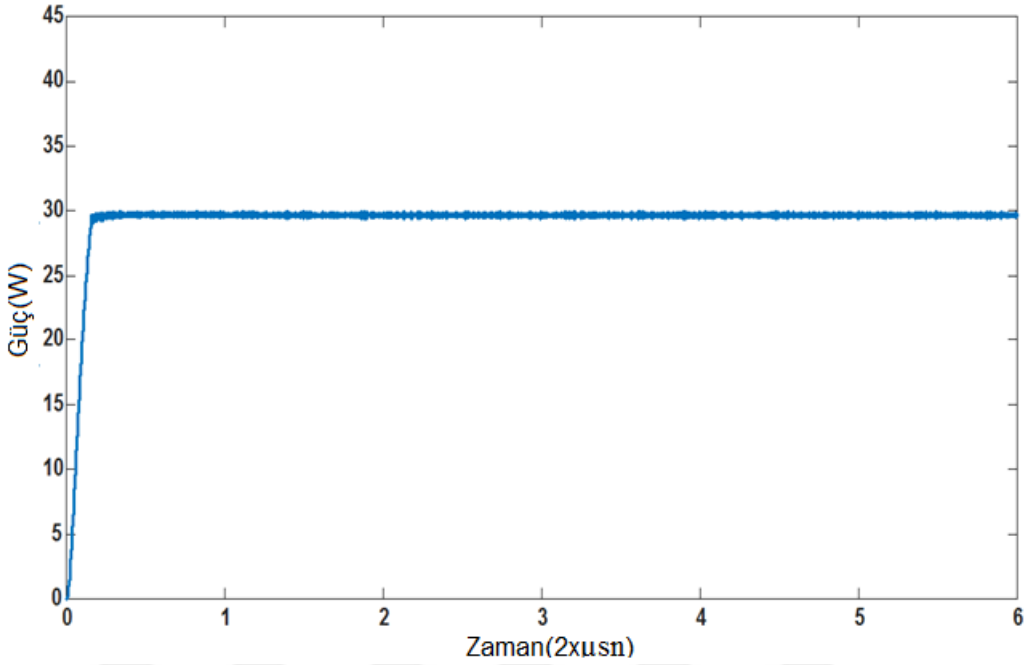
Şekil 4.37. Boost dönüştürücü görev çevrimi Matlab/Simulink

Şekil 4.38.'de Işınım değişikliğinden dolayı PV panelden elde edilen güç ve gerilim değişmesine rağmen PI denetleyici sayesinde azaltıcı (buck) dönüştürücü geriliminde hiçbir değişiklik olmadığı görülmektedir.



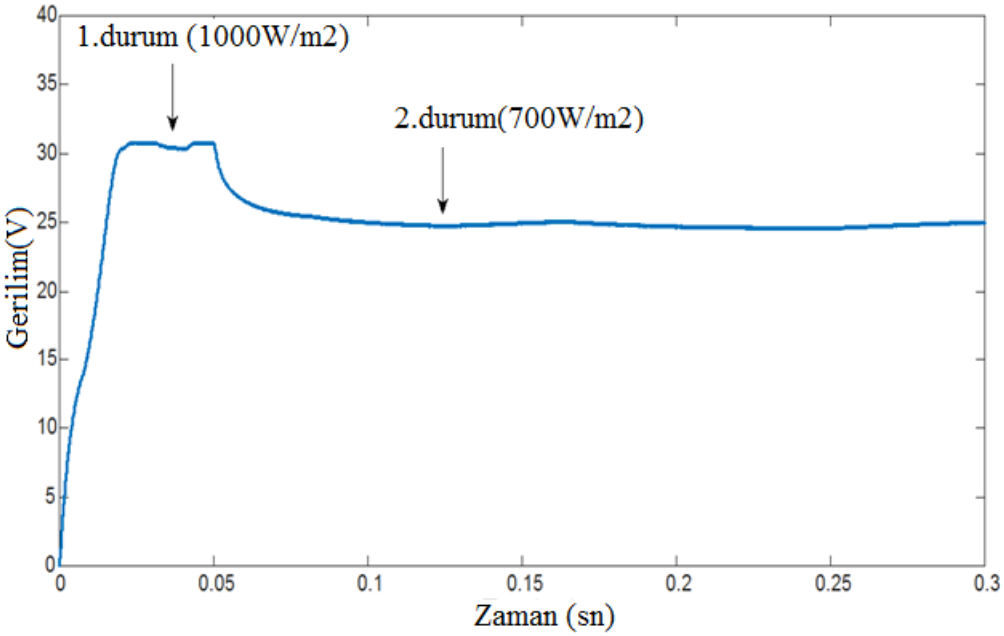
Şekil 4.38. Buck dönüştürücü gerilimi Matlab/Simulink

Şekil 4.39.'da Işınım değişikliğinden dolayı PV panelden elde edilen güç ve gerilim değişmesine rağmen PI denetleyici sayesinde azaltıcı (buck) dönüştürücü çıkışından elde edilen güç miktarında hiçbir değişiklik olmadığı görülmektedir.



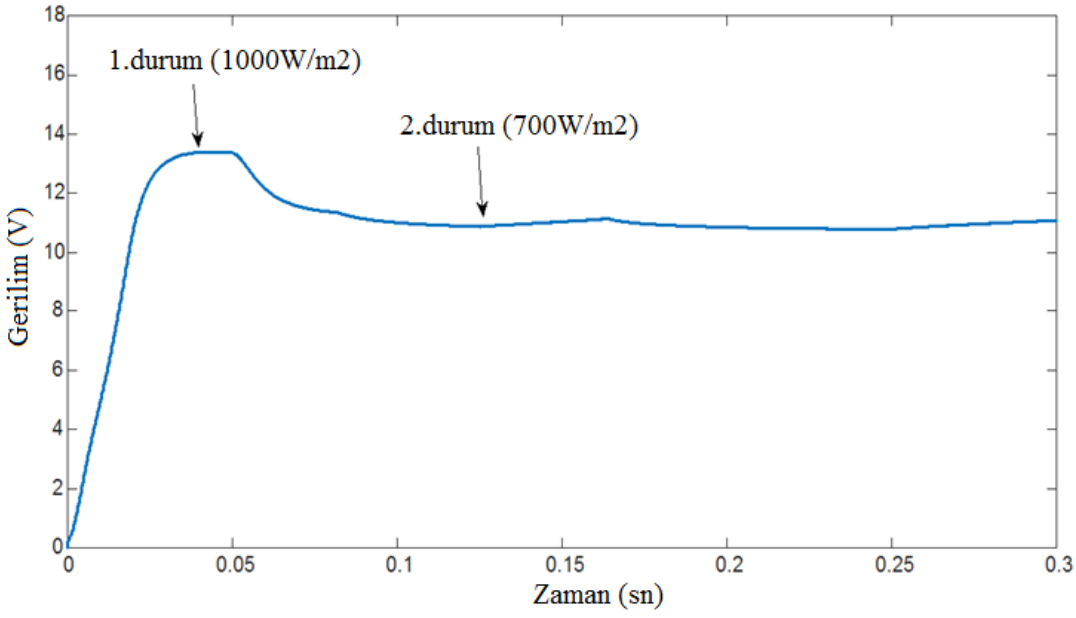
Şekil 4.39. Buck Dönüştürücü yük Gücü Matlab/Simulink

Şekil 4.40'ta Işınım değişikliğinden dolayı PV panelden elde edilen güç ve gerilim değişir, aynı zamanda maksimum güç noktası da değişir FLC MPPT sistemi değişen maksimum güç noktasına göre gerilimi ve gücü ayarlamaktadır



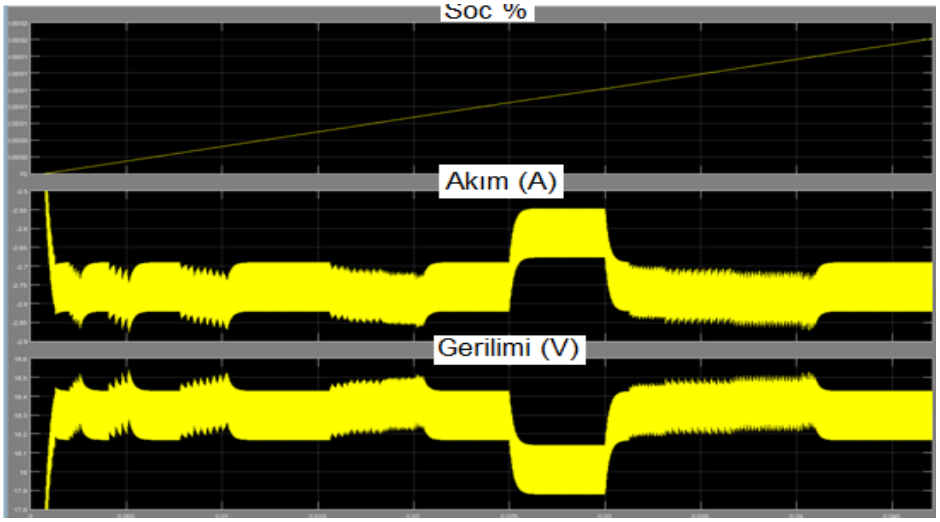
Şekil 4.40. Boost Dönüştürücü yük Gerilimi Matlab/Simulink

Şekil 4.41.'de PV panelden elde edilen gerilim gösterilmektedir. Işınım değişikliğinden dolayı PV panelden elde edilen güç ve gerilim değişir



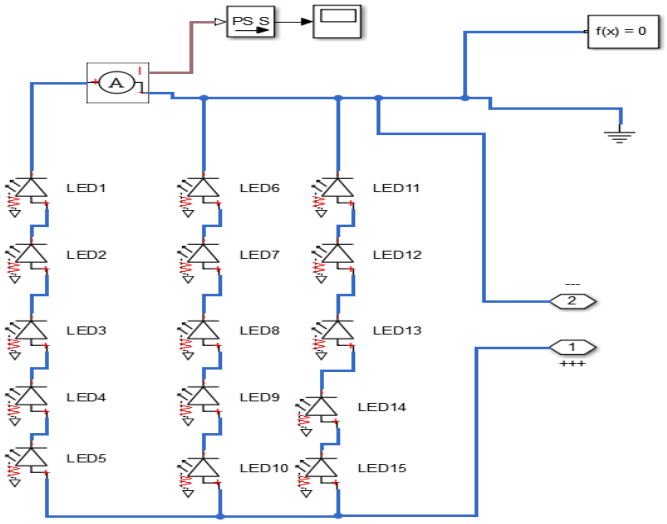
Şekil 4.41. PV Panel Gerilimi Matlab/Simulink

Şekil 4.42.'de li-ion bataryanın şarj durumundaki elektriksel karakteristikleri gösterilmiştir. Şarj durumu (SOC- State of charge), batarya akımı ve batarya gerilimi gösterilmektedir.



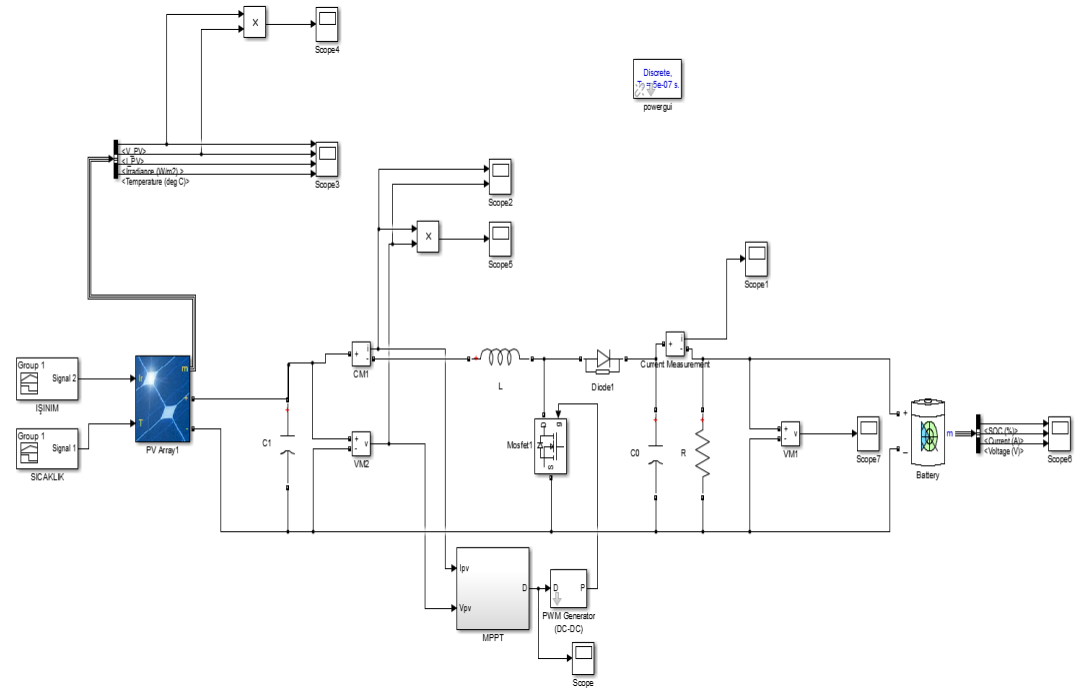
Şekil 4.42. Li-ion batarya şarj durumu Matlab/Simulink

Şekil 4.43.'te Matlab/simulink'te LED'ler 3x5 şekilde seri ve paralel bağlanarak sokak aydınlatması için benzetim modeli gerçekleştirilmiştir.



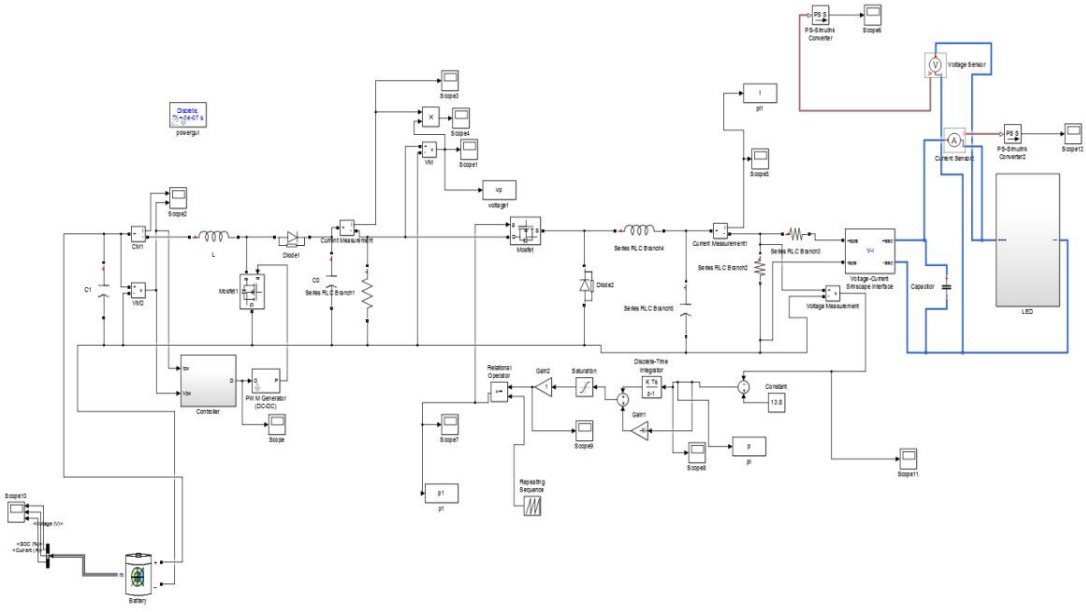
Şekil 4.43. Sokak Aydınlatması için LED dizisi Matlab/Simulink

Şekil 4.44.'te Matlab/simulink'te tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin ilk bölümü gösterilmektedir. PV panelden elde edilen güç ve gerilim FLC MPPT tekniğiyle kontrol edilip, boost dönüştürücü beslenmiş ve boost dönüştürücünün çıkışından elde edilen değerler ile akü şarj edilmiştir.



Şekil 4.44. FLC MPPT boost dönüştürücü batarya şarj sistemi Matlab/Simulink

Şekil 4.45.'de Matlab/simulink'te tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin ikinci bölümü gösterilmektedir. Şarj edilen batarya ile önce boost dönüştürücü beslenir boost dönüştürücünün çıkışından elde edilen akım ve gerilim ile buck dönüştürücü beslenmektedir PI denetleyici sayesinde LED aydınlatma için sabit akım ve sabit gerilim sağlanmaktadır



Şekil 4.45. Batarya beslemeli LED Sokak aydınlatması Matlab/Simulink

Çizelge 4.7.'de PV panel için elektriksel ve karakteristik özellikler gösterilmiş olup MPPT ve PI denetleyiciden elde edilen gerilim ve güç değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Tasarlanan sistemin elektriksel değerleri

PV panel elektriksel özellikler	1.durum	2.durum	MPPT (1.durum)	MPPT (2.durum)	PI (1.durum)	PI (2.durum)
PV panel Maksimum güç noktası (MPP)	70 W	50.5 W	61.3 W	50.03 W	30 W	30 W
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{MPP}	11.7 V	11.2 V	31.2 V	26.3 V	13.8 V	13.8V
Maksimum güç noktasındaki akım, I_{MPP}	5.83 A	4.519 A	1.964 A	1.9 A	2.17 A	2.17A
PV panel Açık devre gerilimi, V_{OC}	13 V	12 V	-	-	-	-
PV panel Kısa devre akımı, I_{SC}	5.9 A	4.62 A	-	-	-	-
Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı	-0.32 %/^{0}C	-0.32 %/^{0}C	-	-	-	-
Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı	0.102	0.102		-	-	-
Seri bağlı hücre sayısı	22	22	-	-	-	-

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında üç farklı sistem tasarlanmış ve sonuçları gösterilmiştir. İlk çalışmada üç farklı MPPT algoritması, Değiştir&Gözlemle, Artan İletkenlik ve Bulanık mantık ile MPPT algoritması farklı ışınım ve farklı sıcaklıkta DA-DA SEPİC dönüştürücüye uygulanmış olup veriler analiz edilmiştir. Yüksek ışınım ve düşük sıcaklıkta en verimli algoritma artan iletkenlik MPPT algoritması iken, Düşük ışıma ve düşük sıcaklıkta Bulanık mantık MPPT algoritmasının daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Düşük ışıma ve düşük sıcaklık değerlerinde ise üç MPPT algoritmasının benzer performans gösterdiği fakat Değiştir&Gözlemle algoritmasının PV panelin maksimum güç noktasında salınım yapmasından dolayı az da olsa kayıpların arttığı gözlemlenmiştir. İkinci çalışmada ise Sabit Gerilim (Constant-Voltage, CV) MPPT algoritması DA-DA Flyback dönüştürücüye uygulanmış olup farklı ışınım ve farklı sıcaklıklarda test edilmiştir. Yüksek ışıma ve düşük sıcaklıklarda PV panel maksimum güç noktasına göre verimi %80 civarında iken düşük ışıma ve yüksek sıcaklıklarda verim % 98'den daha yüksek değerlere kadar ulaşmaktadır. Son çalışmada ise sokak aydınlatması için yüksek verimli devre tasarlanmış olup Bulanık mantık MPPT algoritması DA-DA artırıcı dönüştürücüye uygulanmıştır. DA-DA artırıcı dönüştürücü devresinin çıkışından batarya şarj edilmiştir. Şarj edilen batarya sistemi beslemiş ve PI kontrol sistemi ile DA-DA düşürücü dönüştürücü çıkışından elde edilen akım ve gerilim kontrol edilerek LED aydınlatma devresine sabit akım ve sabit gerilim gönderilmiştir. Tasarlanan bütün sistemler Matlab/simulink Programında gerçekleştirilmiştir.

5.2. Öneriler

İlk çalışmada ışınım ve sıcaklık değişim bant aralığı dar tutularak (800-1000 W/m2), (25/50^{o}C) sistem test edilmiştir. Eğer ışınım ve sıcaklık değişim band aralığı daha geniş tutulursa daha kesin sonuçlar gözlemlenebilir. Ayrıca kullanılan SEPİC dönüştürücü, diğer dönüştürücüler ile karşılaştırılarak test edilecek olursa, en verimli sistem ve MPPT algoritmasının saptanması daha kesin bulgulara dayandırılabilir.

İkinci çalışmada kullanılan Flyback dönüştürücü, sabit gerilim MPPT algoritması kullanılmış ve Yüksek ışınım düşük sıcaklıkta sistem veriminin yüksek olmadığı gözlemlenmiştir. Farklı MPPT algoritmaları kullanılarak verimi daha yüksek bir sistem oluşturulabilir.

Son çalışmada ise Bulanık mantık MPPT algoritması yükseltici dönüştürücüye uygulanmış ve düşürücü dönüştürücünün akım ve gerilim değerleri ise PI denetleyici ile kontrol edilmiştir. Kullanılan iki farklı DA-DA dönüştürücü verimi düşürmektedir. Bunun yerine tek dönüştürücü ile iki farklı işlem gerçekleştirilebilirse verimi çok daha yüksek bir sistem oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

ABDUALLAH, Z.M., MAHMOOD, O.M., AHMED M.T., AL-NAİB, İ., 2014. Photovoltaic Battery Charging System Based on PIC16F877A Microcontroller. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 3(4): 27-31

AGARWAL.N., 2014. Design and Simulink of Intelligent Solar Energy Improvement with PV Module. International Journal of Information & Computation Technology. 4(6): 619-628

ALTIN, N., 2016.Single Phase Grid Interactive PV System With MPPT Capability Based on Type-2 Fuzzy Logic Systems. S.1-6

AMİT, KUMAR, M. 2013. Design And Implementation Of Multiple Output Switch Mode Power Supply. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 4(10):4540-4545.

ANONİM, 2016. Middle East Technıcal Unıversıty Electrıcal and Electronıcs Engıneerıng Department EE402- Dıscrete Time Control Systems Recıtatıon 4.Report, P, PD, PI, PID controllers. s.64

ANONİM, 2013. Designing A SEPIC Converter. Texas Instruments, ABD, 11s.

ANONİM, 2016. http://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/2ElektrikTesisatBilgisi/unite2.pdf

ANONİM, 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell

ANONİM, 2000. https://cobanoglu.wikispaces.com/file/view/bulanikmantik.pdf

ANONİM, 2015. http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes

BENDİB, B., BELMİLİ, H., KRİM, F., 2015. A survey of the most used MPPT methods: Conventional and Advanced Algorithms Applied for Photovoltaic Systems.Renewable and Sustainable Energy Reviews 45(2015):637–648

BOREKCİ, S., KANDEMİR, E., KİRCAY, A., 2015. A Simpler Single-Phase Single-Stage Grid Connected PV System with Maximum Power Point Tracking Controller. ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA, 21(4):44-49

CHENG, P.C., PENG, B.R., Yİ-HUA LİU, Y.H., CHENG, Y.S., AND HUANG, J.W.,2015.Optimization of a Fuzzy-Logic-Control-Based MPPT Algorithm Using the Particle Swarm Optimization Technique. Energies, 8(1) :5338-5360

CHİU, H.J., LO, Y.K., CHEN, J.T., CHENG, S.J., LİN, C.Y., AND MOU, S.C., 2010. A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications. IEEE Transactıons on Industrıal Electronıcs,57(2):735-743

CORUH, N., URGUN, S., ERFİDAN, T., 2010. Design and Implementation of Flyback Converters. 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applicationsis(ICIEA),15-17, Haziran, Taichung, s.1189-1193

DOGRA, A., PAL, K., 2014. Designing and Tuning of PI Controller for Flyback Converter. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT),13(3):117-122

DOLARA, A., FARANDA, R., LEVA, S., 2009. Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for PV Systems. J. Electromagnetic Analysis & Applications(JEMAA), 3(1):152-162

DUPUİS,R.D., OSA AND KRAMES, M.R., 2008. History, Development and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes. Journal of Lıght Wave Technology,26(9):1154-1171

ESRAM, T., CHAPMAN P. L., 2007. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. IEEE Transactıons On Energy Conversıon, 22 (2) : 439-449.

FARANDA, R., LEVA, S., AND MAUGERİ, V., 2008. MPPT techniques for PV Systems: Energetic and Cost Comparison, s.1-6

GÜRBÜZ,Y., 2012. Güç Faktörü Düzeltmeli Güç Led Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 99s.

HART, D.W., 2011. Power Electronics. McGraw Hill, USA, 494s.

HUA, C., CHİHMİNG SHEN, C., 1998. Study of Maximum Power Tracking Techniques and Control of DC/DC Converters for Photovoltaic Power System. IEEE: 86-93

HUYNH, D.C., NGUYEN, T.A.T., DUNNİGAN, M.W., MUELLER, M.A., 2013. Maximum Power Point Tracking of Solar Photovoltaic Panels Using Advanced Perturbation and Observation Algorithm. IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). 19-21 Haziran, Melbourne, s.864-869

ISALOO, B.A., AMIRI, P., 2010. Improved Varıable Step Sıze Incremental Conductance MPPT Method Wıth Hıgh Convergence Speed for PV Systems. Journal of Engineering Science and Technology, XX(Y) :1-13

IŞIK, R., 2015.Fotovoltaik Dizilerin Kısmi Gölgelenmesi Durumunda Maksimum Güç Noktası Takibi Yapabilen Bir Algoritmanın Geliştirilmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, s.103

JİANG, HE., 2014. Household Solar Power System. Michigan Technological University, Fen Bilimleri, Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Michigan, 44s.

KAYA, S., 2014. Enerji Verimliliğinde; Aydınlatmada Kullanılan Lamba SeçiminiÖnemi.s.253-257

KESKİN, Y.E., BAŞOĞLU, M.E., TEKDEMİR, İ.G., ÇAKIR,B., 2014. Fotovoltaik Sistemlerde Değiştir Gözle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırılması. Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım, Bursa, s.91-95

LAL, S., DHİMAN, R., SİNHA, S.K., 2012. Analysis Different MPPT Techniques for Photovoltaic System.International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) 2(6):1-3

Lİ, H., YE, X., 2010.Sliding-Mode PID Control of DC-DC Converter. 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applicationsis 15 -17 Haziran, Taichung, s.730-734

Lİ, S., JİANG, Q., 2011. Study on PID Parameters Tunıng Method Based on Matlab/Simulınk.IEEE, :408-411

MASOOD, B., SİDDİQUE, M.S., ASİF, R.M. AND ZİA-UL-HAQ, M., 2014. Maximum Power Point Tracking Using Hybrid Perturb&Observe and Incremental Conductance Techniques" 4th International Conference on

Engineering Technology and Technopreneuship (ICE2T), 27-29 Ağustos, Kuala Lumpur, s. 354-359.

MEHTA, R., DESHPANDE, D., KULKARNİ, K., SHARMA, S., DİVAN, D., 2008. LEDs - A Competitive Solution for General Lighting Applications. IEEE Energy 2030 Atlanta, 17-18 Kasım, Atlanta, 1-5.

MERTENS, K., 2014. PhotovoltaicsFundamentals, Technology And Practice. Wiley, İngiltere, 297s.

MESHRAM, P. M., KANOJİYA, R.G., 2012.Tuning of PID Controller using Ziegler-Nichols Method for Speed Control of DC Motor. IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM -2012), 30-31 Mart, Delhi, s.117-122

NOMAN, A.M., ADDOWEESH K.E., AND MASHALY, H.M., 2012 .A Fuzzy Logic Control Method for MPPT of PV Systems. IEEE :874-880

ÖZTÜRK, A., ALKAN, S., 2013.Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılan DC-DC Dönüştürücünün Kontrolü. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Journal of Advanced Technology Sciences) 2(3):110-120

PENG, B.R., CHEN, J.H., LİU, Y.H., CHİU, Y.H., 2015.Comparison Between Three Different Types of Variable Step-Size P&O MPPT Technique. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA,2015). 28-29 Haziran, Bangkok, s.964-966

PRUDHVİ, P., SAİ, P.C., 2012. Efficiency Improvement of Solar PV Panels Using Active Cooling. İEEE.2012:1-5

SANGEETHA,S., JOSEPH, J., 2016. Design and Implementation of SEPIC Converter Based PV System Using Modified Incremental Conductance Algorithm. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), 3-5 Mart, Tamil Nadu, s.1-6

SELVAN. S. D., 2013. Modeling and Simulation of Incremental Conductance MPPT Algorithm for Photovoltaic Applications. International Journal of Scientific Engineering and Technology. 2(7): 681-685

SERA, D., TEODORESCU, R., RODRİGUEZ, P., 2007.PV panel Model Based On Datasheet Values. IEEE :2392-2396

WİNDER S., 2008. Power Supplies for LED Driving, Elsevier Inc., USA, 237s.

VİEİRA J.S.B., MOTA, A.M., 2013. A High-Performance Stand-Alone Solar PV Power System for LED Lighting. Hindawi Publishing Corporation ISRN Renewable Energy. 2013(573919):1-10

ZADEY, S., DUTT, S., 2013. Desıgn of Converter for Low Power Photovoltaıc Conversıon System. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (IJAREEIE), 2(6): 2733-2739

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ünal YILMAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır – 19/06/1986
Telefon : 0534 695 90 69
Faks : ---
e-mail :uyilmaz@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Birlik Lisesi, Bağlar, DİYARBAKIR	2004
Üniversite	: Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Balcalı, ADANA	2013
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Haliliye, ŞANLIURFA	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Programlama

YABANCI DİLLER

İngilizce