T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK DİZİLERİN KISMİ GÖLGELENMESİ DURUMUNDA MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ YAPABİLEN BİR ALGORİTMANIN GELİŞTİRİLMESİ

Rüknettin IŞIK

ELEKTRİK–ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2015

Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ danışmanlığında Rüknettin IŞIK'ın hazırladığı '**Fotovoltaik Dizilerin Kısmi Gölgelenmesi Durumunda Maksimum Güç Noktası Takibi Yapabilen Bir Algoritmanın Geliştirilmesi'** konulu bu çalışma 31/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman	: Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ	.....
Üye	: Doç. Dr. Ali KIRÇAY	.....
Üye	: Doç. Dr. Selim BÖREKCİ	.....

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

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

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 vii
SİMGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
1.1. PV Hücrenin Yapısı ve Çalışması 4
1.2. PV Hücrelerin Modellenmesi 5
1.3. PV Diziler ve Karakteristikleri 7
1.3.1. Işınım ve sıcaklık Değişiminin karakteristiklere etkisi 9
1.3.2. Koruma diyotları ve karakteristiklere etkisi 10
1.4. PV Sistemler 13
1.4.1. Şebeke bağlantısız PV sistemler 13
1.4.2. Şebeke bağlantılı PV sistemler 14
1.4.3. Karma PV sistemler 14
1.5. DA – DA dönüştürücüler 15
1.5.1. Düşürücü (buck) DA – DA dönüştürücü 16
1.5.2. Yükseltici (boost) DA – DA dönüştürücü 17
1.5.3. Düşürücü - yükseltici (buck – boost) DA – DA dönüştürücü 18
1.6. Maksimum Güç Noktası Takibi 18
1.6.1. Değiştir ve Gözle (Perturb & Observe – P&O) Algoritması 20
1.6.2. Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance – InCond) algoritması 22
1.6.3. Açık devre gerilim oranı algoritması 24
1.6.4. Kısa devre akım oranı algoritması 25
1.7. Bulanık Mantık 25
1.7.1. Bulanık kümeler 26
1.7.2. Bulanık mantık denetleyiciler 27
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 31
3. MATERYAL ve YÖNTEM 33
3.1. Materyal 33
3.1.1. PV dizinin modellenmesi ve karakteristiklerinin elde edilmesi 33
3.1.2. PV dizi benzetim modeli 34
3.1.3. Panellerin aynı ışınımı altında olması durumunda PV dizi karakteristikleri 36
3.1.4. PV dizinin kısmi gölgelenmesi durumunda karakteristik eğrilerinin elde edilmesi 39
3.2. Yöntem 45
3.2.1. Geliştirilen en büyük güç noktası izleme algoritması ve benzetimi 45
3.2.2. Bulanık mantık denetleyici tasarımı 46
3.2.3. Gerilim tarama birimi 50
3.2.4. Geliştirilen algoritmanın benzetim modeli 51
3.2.5. Geliştirilen Algoritmanın Şebeke Bağlantılı PV Sisteminde Kullanılması 55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 57
4.1. PV Dizideki Panellerin Aynı Işınım Altında Olması Durumu 57
4.1.1. Geliştirilen algoritmanın STC şartlarındaki tepkisi 57
4.1.2. Düşük ve sabit ışınım koşullarında geliştirilen algoritmanın tepkisi 62
4.1.3. Ani artan ve azalan ışınım altında geliştirilen algoritmanın tepkisi 65
4.1.4. PV dizinin sinüs eğrisi şeklinde değişen ışınım altında olması durumunda algoritmanın tepkisi 68
4.1.5. Işınımın bozucu işaret içeren sinüs şeklinde değişmesi halinde algoritmanın tepkisi 70
4.2. PV Dizideki Panellerin Farklı Işınımlar Altında Olması Durumu 72

4.2.1. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda algoritmanın tepkisi 72
4.2.2. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda algoritmanın tepkisi..... 75
4.2.3. PV dizinin şebeke bağlantılı olması ve panellerin yatay gölgelenmesi durumunda algoritmanın tepkisi 78
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... 83
5.1. Sonuçlar..... 83
5.2. Öneriler..... 83
KAYNAKLAR 84
ÖZGEÇMİŞ 91
EKLER..... 92
EK 1: Kyocera KD325GX-LFB panelinin veri sayfası 92

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK DİZİLERİN KISMİ GÖLGELENMESİ DURUMUNDA MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ YAPABİLEN BİR ALGORİTMANIN GELİŞTİRİLMESİ

Rüknettin IŞIK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ
Yıl: 2015, Sayfa: 103

Son yıllarda, karmaşık ara sistemler gerektirmeden ve çevre kirliliğine neden olmadan güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaikler gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde büyük ilgi odağı haline gelmiştir. Dünyanın her yerinde fotovoltaiklere yapılan yatırımlar ve sağlanan teşvikler sayesinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklar arasında önemli bir paya sahip hale gelmesi bunun önemli göstergelerindendir. Tüm olumlu özelliklerine karşın fotovoltaikler ile elektrik enerjisi üretimi diğer yöntemlere göre pahalıdır ve elde edilen elektrik enerjisi miktarı çevre koşullarına bağlı olarak gün içinde her an değişir. Bunların etkisini azaltmanın başlıca yollarından biri fotovoltaikleri kontrol ederek onları üretebilecekleri en büyük güç noktasında çalıştırmaktır. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan maksimum güç noktası izleyiciler, bir algoritma ile fotovoltaiklerin uçlarındaki gerilim ve akımı kontrol ederek üretilen gücü en büyük değerine getirmeye çalışırlar. Ancak, fotovoltaik dizideki panellerin farklı ışınımlar altında olması veya paneller arasındaki uyumsuzluklar nedeniyle güç-gerilim eğrisi üzerinde birden fazla en büyük güç noktası oluştuğundan geleneksel algoritmalar bu durumlarda başarısız olur. Yapılan bu tez çalışması ile fotovoltaik dizinin kısmi gölgelenmesi durumunda da maksimum güç noktasını izleyebilen bir algoritma önerilmiştir. MATLAB/Simulink benzetim ortamında, şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemlerde önerilen algoritmanın başarılı bir şekilde en büyük güç noktasını takip edebildiği gösterilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Fotovoltaikler, fotovoltaik sistemler, kısmi gölgelenme, maksimum güç noktası izleyici

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM ABLE TO TRACK MAXIMUM POWER POINT OF PHOTOVOLTAIC ARRAYS UNDER PARTIALLY SHADED CONDITIONS

Rüknettin IŞIK

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nurettin BEŞLİ
Year: 2015, Page: 103

Photovoltaics which transforms solar energy into electricity without requiring a complicated interface and causing any environmental pollution has recently become the focus of interest in both developed and developing countries. One of its most important indications is that photovoltaics has become a major receiver of the resources used in producing electrical energy with the help of worldwide investments and promotions in the field. Despite all the positive sides, producing electricity with photovoltaics is more expensive than other methods and the amount of electricity produced can vary any minute during the day depending on environmental factors. One of the major ways to reduce their effects is to control photovoltaics and employ them during their most productive moments. Maximum power point trackers used in photovoltaic systems try to maximize the produced power by controlling the voltage and the current on the tips of photovoltaics with the help of an algorithm. However, multiple maximum power points appear on power-voltage curve because of radiation differences on panels in a photovoltaic series or an incompatibility among panels, and traditional algorithms fail in such situations. In this research, an algorithm able to track maximum power point when photovoltaic series is partially shadowed is proposed. In MATLAB/Simulink simulation environment, it has been shown that the proposed algorithm can successfully track maximum power point in photovoltaic systems with and without a network connection.

KEY WORDS: Photovoltaics, photovoltaic systems, partial shading, maximum power point tracker

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması aşamalarında bilgi ve birikimlerinden yararlandığım danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ'ye ve sayın Doç. Dr. Ali KIRÇAY'a (Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği) ayrı ayrı teşekkür ederim. Değerli mesai arkadaşlarım Dr. Murat BAŞARIR'a (Harran Üniversitesi Birecik Meslek Yüksekokulu), Öğr.Gör. M.Nedim AĞAÇKESEN'e (Harran Üniversitesi Birecik Meslek Yüksekokulu) ve Öğr.Gör. Şerafettin YILMAZ'a (Harran Üniversitesi, Yabancı Diller Bölümü) teşvik ve katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. (a) PV hücre (b) PV hücrenin çalışması 5
Şekil 1.2. PV hücrenin standart bir diyotlu eşdeğer devre modeli 5
Şekil 1.3. Sabit hücre sıcaklığı ve belirli bir ışınım için bir PV dizinin (a) I – V ve (b) P – V karakteristikleri 8
Şekil 1.4. Sabit sıcaklıkta artan ışınımın (a) I – V karakteristiği ve (b) P – V karakteristiği üzerindeki etkisi 9
Şekil 1.5. Sabit ışınım altında artan sıcaklığın (a) I – V karakteristiği ve (b) P – V karakteristiği üzerindeki etkisi 9
Şekil 1.6. (a) Hücrelerin PV panel olarak düzenlenmesi ve (b) ticari panellerin yan geçiş diyotları ile donatılması 11
Şekil 1.7. Bir PV dizinin (a) panel ve tıkama diyodu bağlantıları ve (b) STC şartlarındaki I – V ve P – V karakteristikleri 12
Şekil 1.8. Bir PV dizinin (a) panellerinin farklı ışınım altında olması ve (b) bu duruma ait I – V ve P – V karakteristikleri 13
Şekil 1.9. Şebeke bağlantısız PV sistemin genel yapısı 14
Şekil 1.10. Şebeke bağlantılı PV sistemin genel yapısı 15
Şekil 1.11. DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işareti 15
Şekil 1.12. Düşürücü DA – DA dönüştürücü devresi 16
Şekil 1.13. Yükseltici DA – DA dönüştürücü devresi 17
Şekil 1.14. Düşürücü – yükseltici DA – DA dönüştürücü devresi 18
Şekil 1.15. Bir PV sisteme MPPT sisteminin uygulanması 19
Şekil 1.16. Değiştir ve Gözle algoritmasının (a) Açık döngü ve (b) kapalı döngü denetimleri ile uygulanması 21
Şekil 1.17. Değiştir ve Gözle algoritmasının akış şeması 22
Şekil 1.18. PV çıkış gücünün gerilime göre türevinin değişimi 23
Şekil 1.19. Artımlı İletkenlik algoritmasının akış şeması 24
Şekil 1.20. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları 27
Şekil 1.21. Bulanık mantık denetleyici blok şeması 28
Şekil 1.22. Kesin giriş değerlerinin bulanıklaştırma işleminin yapılışı 28
Şekil 1.23. Karar verme biriminin kurallar bilgi tabanındaki kuralları işletmesi 29
Şekil 1.24. Bulanık çıkış değişkeninin durulaştırılması 30
Şekil 3.1. Kyocera KD325GX-LFB PV panelinin Simulink benzetim modeli 35
Şekil 3.2. PV dizinin bir kolunun benzetim modeli 35
Şekil 3.3. PV dizi kolların paralel bağlantısı 36
Şekil 3.4. PV dizi karakteristiklerinin elde edilmesi için oluşturulan benzetim modeli 37
Şekil 3.5. Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığında değişik ışınımlar için PV dizinin I – V karakteristik eğrileri 37
Şekil 3.6. Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığında değişik ışınımlar için PV dizinin P – V karakteristik eğrileri 38
Şekil 3.7. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda I – V eğrisi 41
Şekil 3.8. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda P – V eğrisi 41
Şekil 3.9. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda I – V eğrisi 44
Şekil 3.10. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda P – V eğrisi 44
Şekil 3.11. Geliştirilen algoritmanın PV sisteminde uygulanması 45
Şekil 3.12. Bulanık mantık denetleyici giriş değişkenlerinin elde edilmesi 47
Şekil 3.13. PWM işaretinin görev çevriminin elde edilmesi 47
Şekil 3.14. P – V eğrisinin farklı çalışma bölgeleri 48
Şekil 3.15. Bulanık mantık denetleyici E giriş değişkeninin üyelik fonksiyonları 49
Şekil 3.16. Bulanık mantık denetleyici CE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonları 50
Şekil 3.17. Bulanık mantık denetleyici dD çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları 50
Şekil 3.18. Önerilen algoritmanın başarımını ölçmek için oluşturulan benzetim modeli 52
Şekil 3.19. MPPT biriminin giriş değişkenlerinin normalize değerlere dönüştürülmesi 52

Şekil 3.20. MPPT altsistemi modeli 53
Şekil 3.21. Tarama Başlat/Durdur altsistemi modeli 53
Şekil 3.22. Voc Ölçümü altsistem modeli 53
Şekil 3.23. Gerilim Tarama altsistemi modeli 54
Şekil 3.24. Bulanık Mantık Denetleyici altsistem modeli 54
Şekil 3.25. İntegratör altsistemi modeli 54
Şekil 3.26. Önerilen algoritmanın şebeke bağlantılı PV sisteminde uygulanması 56
Şekil 4.1. STC şartlarında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi 57
Şekil 4.2. STC şartlarında PV dizi akımının zamana göre değişimi 58
Şekil 4.3. STC şartlarında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi 58
Şekil 4.4. DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işareti görev çevriminin zamana göre değişimi 59
Şekil 4.5. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli 59
Şekil 4.6. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli 60
Şekil 4.7. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki c bölgesinin büyütülmüş şekli 61
Şekil 4.8. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki d bölgesinin büyütülmüş şekli 61
Şekil 4.9. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m^2 ışınım koşullarında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi 62
Şekil 4.10. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m2 ışınım koşullarında PV dizi akımının zamana göre değişimi 62
Şekil 4.11. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m2 ışınım koşullarında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi 63
Şekil 4.12. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli 63
Şekil 4.13. Güç eğrisindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli 64
Şekil 4.14. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m^2 ışınım koşullarında görev çevriminin zamana göre değişimi 64
Şekil 4.15. PV diziye uygulanan ışınımın zamana göre değişimi 65
Şekil 4.16. PV dizinin ani artan ve azalan ışınıma maruz kalması durumunda geriliminin zamana göre değişimi 65
Şekil 4.17. PV dizinin ani artan ve azalan ışınıma maruz kalması durumunda akımın zamana göre değişimi 66
Şekil 4.18. PV dizinin ani artan ve azalan ışınıma maruz kalması durumunda PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi 66
Şekil 4.19. Güç grafiğindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli 67
Şekil 4.20. Güç grafiğindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli 67
Şekil 4.21. PV diziye uygulanan sinüs eğrisi şeklindeki ışınım 68
Şekil 4.22. Sinüs eğrisi şeklinde ışınım uygulandığında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi 68
Şekil 4.23. Sinüs eğrisi şeklinde ışınım uygulandığında PV dizi akımının zamana göre değişimi 69
Şekil 4.24. Sinüs eğrisi şeklinde ışınım uygulandığında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi 69
Şekil 4.25. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli 70
Şekil 4.26. PV diziye uygulanan ve bozucu işaret içeren sinüs eğrisi şeklindeki ışınım 70
Şekil 4.27. Bozucu işaret içeren sinüs şeklindeki ışınım altında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi 71
Şekil 4.28. Bozucu işaret içeren sinüs şeklindeki ışınım altında PV dizi akımının zamana göre değişimi 71
Şekil 4.29. Bozucu işaret içeren sinüs şeklindeki ışınım altında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi 71
Şekil 4.30. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli 72
Şekil 4.31. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda geriliminin zamana göre değişimi 72
Şekil 4.32. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda akımının zamana göre değişimi 73
Şekil 4.33. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda çıkış gücünün zamana göre değişimi 73
Şekil 4.34. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli 74
Şekil 4.35. Güç eğrisindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli 74

Şekil 4.36. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda görev çevriminin zamana göre değişimi 74
Şekil 4.37. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda geriliminin zamana göre değişimi 75
Şekil 4.38. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda akımın zamana göre değişimi 75
Şekil 4.39. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda çıkış gücünün zamana göre değişimi 76
Şekil 4.40. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli 76
Şekil 4.41. Güç eğrisindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli 77
Şekil 4.42. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda görev çevriminin zamana göre değişimi 77
Şekil 4.43. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı PV dizi geriliminin zamana göre değişimi 78
Şekil 4.44. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı PV dizi akımının zamana göre değişimi 78
Şekil 4.45. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi 79
Şekil 4.46. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı DA – DA dönüştürücüye uygulanan görev çevriminin zamana göre değişimi 79
Şekil 4.47. C0 kondansatörü geriliminin zamana göre değişimi 80
Şekil 4.48. Şebeke gerilimi ve şebekeye aktarılan akım 80
Şekil 4.49. Şebeke gerilimi ve akımı grafiği a bölgesinin büyütülmüş şekli 80
Şekil 4.50. Şebeke gerilimi ve akımı grafiği b bölgesinin büyütülmüş şekli 81
Şekil 4.51. Şebekeye aktarılan aktif gücün zamana göre değişimi 81
Şekil 4.52. Şebekeye aktarılan reaktif gücün zamana göre değişimi 82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Kyocera KC200GT PV panelinin STC şartlarındaki parametreleri 12
Çizelge 3.1. STC Şartlarında Kyocera KD325GX-LFB PV panelinin elektriksel özellikleri..... 34
Çizelge 3.2. Kyocera KD325GX-LFB PV panelin eşdeğer devre parametreleri 34
Çizelge 3.3. Benzetimi yapılan PV dizinin STC şartlarındaki gerçek ve benzetimle bulunan elektriksel özellikleri 38
Çizelge 3.4. Değişik ışınım değerlerinde PV dizinin en büyük çıkış gücü noktalarındaki güç değerleri..... 39
Çizelge 3.5. PV dizinin yatay gölgelenmesine durumundan modüllerin ışınımları 40
Çizelge 3.6. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda oluşan en büyük güç noktalarındaki güç değerleri..... 42
Çizelge 3.7. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda modüllerin ışınım değerleri 43
Çizelge 3.8. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda oluşan en büyük güç noktalarındaki güç değerleri..... 45
Çizelge 3.9. P – V eğrisinin çalışma bölgeleri ve görev çevriminde yapılması gereken değişiklikler..... 48
Çizelge 3.10. Bulanık mantık denetleyici kurallar tablosu..... 49
Çizelge 3.11. DA – DA dönüştürücü parametreleri 51
Çizelge 3.12. Evirici filtresinin parametreleri 55

SİMGELER DİZİNİ

a	Fotovoltaik Hücre Kalite Faktörü
AC	Alternatif Akım
ACO	Karınca Kolonileri Optimizasyonu
ANN	Yapay Sinir Ağları
CCM	Sürekli Akım Modu
D	Görev Periyodu
DA	Doğru Akım
E	Elektrik Alanı
FF	Doldurma Faktörü
FLC	Bulanık Mantık Denetleyici
G	Işınım Şiddeti
GA	Genetik Algoritma
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
InCond	Artımlı İletkenlik Algoritması
I_{PH}	Foton Akımı
I_{SC}	Fotovoltaik Dizinin 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 Noktasındaki Güç
N_P	Paralel Bağlı Hücre Sayısı
N_S	Seri Bağlı Hücre Sayısı
P – V	Fotovoltaik Dizinin Güç Gerilim Eğrisi
P	Fotovoltaik Dizinin Ürettiği Güç
P&O	Değiştir ve Gözle Algoritması
P_{MAX}	Fotovoltaik Dizinin Üretebileceği En Büyük Güç
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
PV	Fotovoltaik
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
RCC	Dalgacık Korelasyonu Kontrolu
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

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu ve yükselen yaşam standartları elektrik enerjisine olan talebi sürekli artırmaktadır. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de bu talep ağırlıklı olarak fosil yakıtların (petrol, kömür ve gaz) yakılmasına dayanan yöntemlerle üretilen enerji ile karşılanmaktadır. Ancak, geçen zaman içinde, enerji üretimine mevcut yöntemlerle devam edilemeyeceği açık bir şekilde anlaşılmıştır. Bir taraftan, kaynakların sınırlı oluşu petrol ve gaz fiyatlarına dikkate değer miktarlarda artış olarak yansırken öbür taraftan fosil yakıtların yanması esnasında ortaya çıkan CO_2 gazının ve diğer zararlı maddelerin çevre ve sağlık üzerindeki olumsuz etkileri iyice görünür hale gelmiştir. Buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve iklim değişikliği bu etkilerin başında gelmektedir. Fukushima'da meydana gelen nükleer felaket ve binlerce yıl boyunca güvenli bir şekilde nükleer atıkların nasıl depolanacağı sorununun hala çözülememiş olması nükleer enerjinin de geleceğin enerji üretme yöntemi olamayacağını ortaya koymaktadır (Mertens, 2014).

Teorik olarak tükenmesi mümkün olmayan kaynaklara dayanan yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, su gücü, jeotermal enerji, gel-git, biokütle vb.) insanlığın enerji ilişkili tüm sorunlarına çözüm olabilecek gibi görünmektedir. Çevre üzerinde çok az etki gösteren yenilenebilir enerji kaynakları gaz salınımı yapmadıklarından aynı zamanda temiz enerji kaynakları olarak da bilinirler (Mertens, 2014).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi için birçok farklı teknoloji geliştirilmiştir. Bunlar arasında, 2003 – 2013 yılları arasında dünya genelinde kapasitesi yılda ortalama % 49 büyüyen (Anonim, 2014) fotovoltaikler büyük potansiyeli ile ön plana çıkmaktadır. Fotovoltaik (Photovoltaic – PV) teknolojide karmaşık ara elemanlar kullanılmadan güneş enerjisi doğrudan DA elektrik enerjisine dönüştürülür. Kolay ölçeklenebilir olması sayesinde, birkaç watt gücündeki yükleri beslemekten onlarca MegaWatt güce sahip olabilen ve elektrik şebekesine enerji sağlayan PV santrallere kadar çok geniş bir güç aralığında uygulamalar geliştirmek mümkündür (Mertens, 2014).

PV teknolojisinde enerji dönüşümü güneş pili olarak da bilinen PV hücreler kullanılarak yapılır. Bir PV hücre, özelleştirilmiş ve üzerine güneş ışığı düşürüldüğünde ışık fotonlarındaki enerjinin bir kısmını DA elektrik enerjisine dönüştüren geniş yüzeyli bir p-n diyotudur. Bir PV hücrenin ürettiği gerilim çok küçük (yaklaşık 0.5 V) olduğu için belirli sayıda hücre seri bağlanmak suretiyle bir araya getirilerek PV panel olarak adlandırılan ticari ürün haline getirilir. Daha büyük çıkış gerilimi ve gücü elde etmek için PV paneller de aralarında seri ve paralel bağlanarak PV üreteç veya PV dizi adı verilen yapılar oluşturulur (Haberlin, 2012).

Belirtilen üstünlüklerine karşın PV sistemlerin iki önemli sorunu vardır. Birincisi, PV sistemlerin maliyeti geleneksel enerji üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Diğeri ise güneş ışığından enerji üretiminin % 14 – 19 dolaylarında olabilen düşük panel verimi ile sınırlı olmasıdır (Kamarzaman ve ark., 2014; Kotti ve ark., 2015).

Belirtilen sorunlara ek olarak PV dizilerden elde edilebilecek güç miktarı güneş ışınımı ve sıcaklıkla doğrusal olmayacak şekilde değişir. Belirli bir ışınım ve sıcaklıkta yüke aktarılacak güç miktarı ise PV dizinin çıkış gerilimi veya akımına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişir ve bunların sadece bir değerinde en büyük değerini alır. Çıkış gücünün ve verimin en büyük değerini aldığı bu çalışma gerilimi ve akımı maksimum güç noktası (Maksimum Power Point – MPP) olarak bilinir. PV sistem performansına olan önemli etkisinden dolayı PV panel ve dizilerin MPP noktasında çalıştırılması istenir. Bunu sağlamak için PV sistemlerde maksimum güç noktası izleyici (Maximum Power Point Tracker – MPPT) adı verilen sistemler kullanılır (Kangal, 2008). Bir güç dönüştürücüsü ve bunu kontrol eden bir denetleyiciden oluşan MPPT sistemleri bir algoritma kullanarak PV diziyi MPP noktasında çalıştırma işlevini yürütürler. Doğası gereği kontrol edilemeyen ortam koşulları (ışınım ve sıcaklık) MPP noktasının yerini sürekli değiştirdiğinden bu işlev dinamik ve sürekli olarak yerine getirilmek zorundadır (Femia ve ark., 2013).

MPPT işlevinin yerine getiriliş şekli kullanılan teknik ve denetleyicinin kullandığı algoritma tarafından belirlenir. Günümüze kadar literatürde birçok MPPT tekniği ve algoritması önerilmiştir. Bunlar; karmaşıklık, gerekli sensör sayısı, yakınsama hızı, maliyet, etkin olduğu aralık, gerçekleştirilmesi için gerekli donanım,

yaygınlık vb. gibi bakımlardan birbirinden ayrılırlar (Esram ve ark., 2007). Bununla birlikte, MPPT yöntemlerini geleneksel ve esnek hesaplama yöntemleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Tepeye Tırmanma (Hill Climbing – HC) (Koutroulis ve ark., 2001), Değiştir ve Gözle (Perturb & Observe – P&O) (Femia ve ark., 2005) ve Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance – InCond) (Lin ve ark., 2011) en iyi bilinen ve en yaygın kullanılan geleneksel MPPT yöntemleridir. Bunların yanı sıra, Kısa Devre Akımı Oranı (Fractional Short Circuit Current) (Masoum ve ark., 2002), Açık Devre Gerilim Oranı (Fractional Open Circuit Voltage) (Ahmad, 2010) ve Dalgacık Korelasyonu Kontrolü (Ripple Correlation Control - RCC) (Esram ve ark., 2006) gibi nispeten daha basit geleneksel yöntemler de vardır. PV panel veya dizinin tüm hücrelerinin aynı ışınım altında olduğu, normal çalışma durumunda geleneksel MPPT yöntemleri oldukça verimli ve yüksek yakınsama hızıyla MPP noktasını izleyebilirler. Bu üstünlüklerine karşın geleneksel yöntemlerin önemli sorunları da vardır. Bunlardan biri, kalıcı duruma erişildiğinde bu yöntemlerin çoğunun MPP noktası etrafında salınım yapılmasına neden olmaları ve bu yüzden güç kayıplarının meydana gelmesi, diğeri ise, kısmi gölgelenme olarak bilinen dizideki bazı hücrelerin diğerlerinden daha az ışınım altında olmaları durumunda MPP noktasını izleyememeleridir (Ahmed ve ark., 2014).

Literatürde, geleneksel MPPT yöntemlerinin zayıf olduğu veya tamamen başarısız olduğu durumların üstesinden gelebilecek esnek hesaplama yöntemlerine dayalı teknikler önerilmiştir. Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network - ANN) (Veerachary ve ark., 2000), Bulanık Mantık Denetleyici (Fuzzy Logic Controller – FLC) (Kottas ve ark., 2006), Karınca Koloni Optimizasyonu (Ant Colony Optimization - AOC) (Jiang ve ark., 2012), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization - PSO) (Ishaque ve ark., 2012), ve Genetik Algoritma (Genetic algorithm - GA) (Messai ve ark., 2011) bunlardan bazılarıdır. Esnekliklerine rağmen bu teknikler geleneksel yöntemlere göre daha karmaşık ve yavaştır. Bazı esnek hesaplamaya dayalı algoritmalar geleneksel algoritmaların optimize edilmiş halidir ve karma (hybrid) yöntemler olarak bilinirler (Ahmed ve ark., 2014)

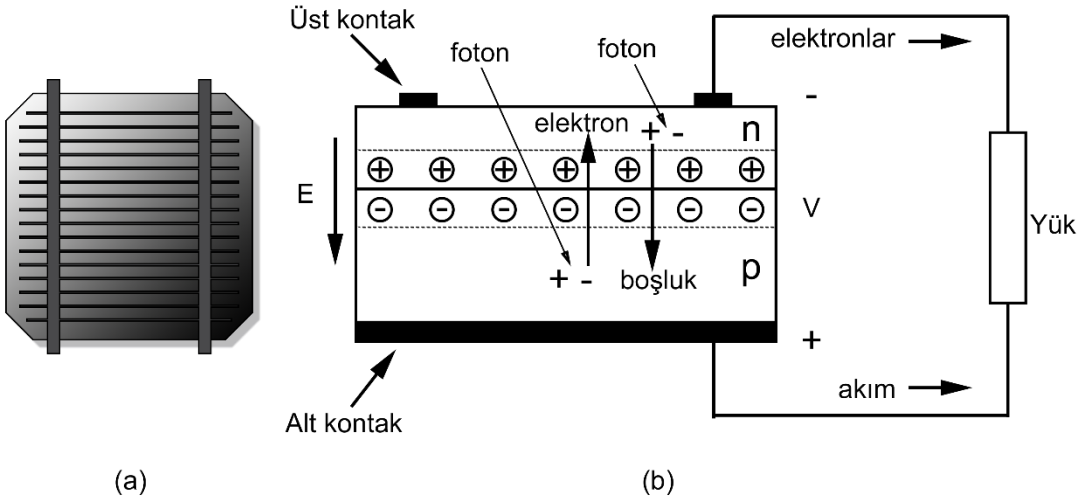
Yapılan bu tez çalışmasıyla, PV dizilerin kısmi gölgelenmesi durumunda maksimum güç noktası takibi yapabilen bulanık mantık denetleyicili bir maksimum

güç noktası izleme algoritmasının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen algoritmanın değişik şartlar altındaki başarımının ölçülmesi amacıyla, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan MATLAB/Simulink benzetim programından yararlanılmıştır.

Bu bölümde; PV hücrelerin yapısı ve çalışması, karakteristikleri, PV diziler, kısmi gölgelenmenin PV dizilerin karakteristikleri üzerindeki etkisi, PV sistemler ve geleneksel MPPT yöntemleri hakkında bilgi verilecektir. Önceki Çalışmalar bölümünde kısmi gölgelenme durumunda MPP noktasını takip edebilen ve literatürde önerilen esnek MPPT algoritmaları incelenecektir. Materyal ve Yöntem bölümünde geliştirilen MPPT algoritmasının başarımının ölçülebilmesi için MATLAB/Simulink benzetim programında oluşturulan PV sistem bileşenlerinin yapılan modellemeleri anlatılacaktır.

1.1. PV Hücrenin Yapısı ve Çalışması

PV üreteçlerin temel birimi, üzerine düşen güneş ışığındaki fotonların enerjisini fotovoltaik etki ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren ve dış yüzeylerine kontaklar yerleştirilen geniş yüzeyli yarıiletken p-n birleşimi olan PV hücredir. PV hücrelerin yapımında yarıiletken olarak daha çok silisyum kullanılır. Güneş ışınlarının PV hücreye ulaşabilmesi için, Şekil 1.1. (a)'da gösterildiği gibi, ön yüzeydeki kontaklar ızgara şeklinde yapılır. p-n birleşimi ilk meydana getirildiğinde, yarıiletkenler arasında bir yük yayılması görülür ve bunun sonucunda, Şekil 1.1. (b)'de gösterildiği gibi, birleşim yüzeyi civarında bir elektrik alan (E) kurulur. Elektrik alanı, daha fazla yükün yayılmasını engelleyecek yöndedir ve bundan dolayı denge durumuna gelindiğinde ihmal edilebilecek bir akım dışında yük yayılması durur (Masters, 2004).

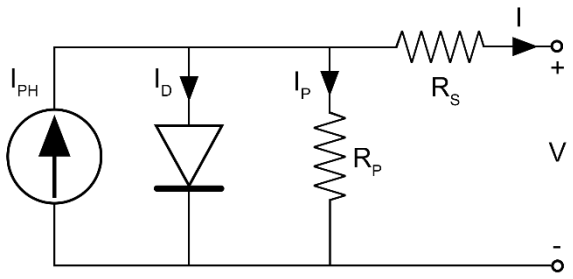


Şekil 1.1. (a) PV hücre (b) PV hücrenin çalışması

PV hücre güneş ışığına maruz kaldığında, yeterli enerjiye sahip ışık fotonları yarıiletkenler içerisinde elektron-boşluk çiftleri oluşturur. E elektrik alanı bunları birbirinden ayırarak elektronları n-tipi ve boşlukları p-tipi yarıiletkene sürükler ve buralarda birikmelerini sağlar. Biriken bu yükler PV hücrenin yüzeyleri arasında bir gerilim meydana getirir. Şekil 1.1. (b)'de gösterildiği gibi, PV hücre yüzeylerine yerleştirilen kontaklar arasına bir yük bağlanarak kapalı bir devre oluşturulduğunda, devreden belirtilen yönde bir akım akar (Masters, 2004).

1.2. PV Hücrelerin Modellenmesi

Bir PV hücre Şekil 1.2.'de verilen bir diyotlu eşdeğer devre ile modellenebilir. PV hücrenin uçlarındaki gerilim ile akım arasındaki ilişki (1.1) denklemi ile verilir (Villalva ve ark., 2009).



Şekil 1.2. PV hücrenin standart bir diyotlu eşdeğer devre modeli

$$I = I_{PH} - I_0.\left[\exp\left(\frac{V + I.R_S}{a.V_{th}}\right) - 1\right] - \frac{V + I.R_S}{R_P} \quad (1.1)$$

(1.1) denkleminde; I_{PH}: PV hücrenin fotovoltaik etki ile ürettiği akımı, I ve V: sırasıyla, PV hücrenin çıkış akımını ve gerilimini, I_0: diyot ters doyum akımını, a: diyot idealite faktörünü, R_S ve R_P: sırasıyla, PV hücrenin seri ve paralel direncini göstermektedir. V_{th}, hücrenin termal gerilimi olup (1.2) denklemi ile hesaplanır.

$$V_{th} = \frac{k.T_c}{q} \quad (1.2)$$

(1.2) denkleminde; k: Boltzmann sabitini (1.380×10^{-23} J/K), T_C: hücre sıcaklığını (K) ve q: bir elektronun yükünü (1.602×10^{-19} C) ifade etmektedir.

Foton akımının (I_{PH}) değeri ışınımla doğrusal olmak üzere, ışınım ve sıcaklıktan (1.3) denkleminde verildiği gibi etkilenir (Villalva ve ark., 2009).

$$I_{PH} = \left(I_{SC_STC} + K_I.\left(T_C - T_{STC}\right)\right).\frac{G}{G_{STC}} \quad (1.3)$$

(1.3) denkleminde; I_{SC_STC}: STC [1] şartlarında PV hücrenin kısa devre akımını (A), T_{STC} (25 ^{O}C): STC şartlarındaki hücre sıcaklığını, G: güneş ışınımını (W/m^2), G_{STC} (1 000 W/m^2): STC şartlarındaki güneş ışınımını ve K_I: kısa devre akımı sıcaklık katsayısını (A/^{O}C) göstermektedir.

Diyot doyum akımı (I_0) sıcaklığa (1.4) denkleminde verildiği gibi bağlı olarak değişir (Villalva ve ark., 2009).

$$I_0 = \frac{I_{SC_STC} + K_I.\left(T_C - T_{STC}\right)}{\exp\left[\frac{\left(V_{OC_STC} + K_V.\left(T_C - T_{STC}\right)\right)}{a.V_{th}}\right] - 1} \quad (1.4)$$

(1.4) denkleminde; V_{OC_STC}: STC şartlarında açık devre gerilimini ve K_V: açık devre gerilimi sıcaklık katsayısını (V/^{0}C) ifade etmektedir.

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

Hücre sıcaklığı (T_C) ışınıma ve ortam sıcaklığına (1.5) denkleminde verildiği gibi bağlıdır (Haberlin, 2012).

$$T_C = T_{Ortam} + (T_{NOCT} - 20).\frac{G}{G_{NOCT}} \tag{1.5}$$

(1.5) denkleminde; T_{Ortam}: ortam sıcaklığını (^{0}C), T_{NOCT}: NOCT[2] şartlarındaki hücre sıcaklığını (^{0}C) ve G_{NOCT}: 800 W/m^2 ışınımı ifade etmektedir.

1.3. PV Diziler ve Karakteristikleri

Bir tek PV hücrenin çıkış gücü oldukça küçüktür. İstenen bir gerilim ve güç değerini elde etmek için PV hücreler aralarında seri ve paralel bağlanırlar. Gerilimin artırılması için seri ve akımın artırılması için paralel bağlantı kullanılır. Seri/paralel bağlı hücre gruplarına modül adı verilir. Modüller aralarında yeniden seri/paralel bağlanarak paneller imal edilir. Panellerin seri ve paralel bağlanmasıyla da PV diziler oluşturulur. Böylece istenen bir akım – gerilim (I – V) ve güç – gerilim (P – V) karakteristiği elde edilir. N_S seri bağlı hücre sayısı ve N_P paralel bağlı kol sayısı olmak üzere, $N_S \times N_P$ hücreden oluşan bir PV dizinin akımı ve gerilimi arasındaki ilişki (1.6) denklemi ile verilir (Bendib ve ark., 2015).

$$I = N_P.I_{PH} - N_P.I_0\left[\exp\left(\frac{V + I.(N_S/N_P).R_S}{N_S.a.V_{th}}\right) - 1\right] - \frac{V + I.(N_S/N_P).R_S}{(N_S/N_P).R_P} \tag{1.6}$$

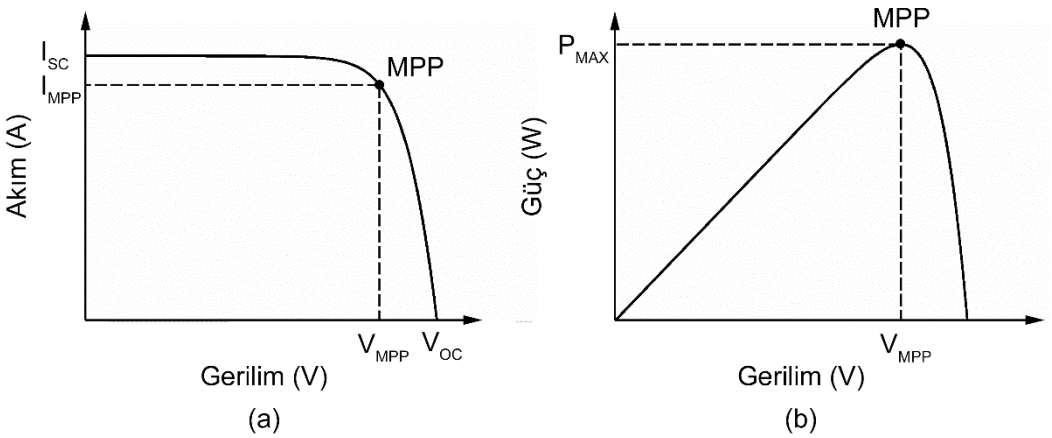
Sabit hücre sıcaklığında ve belirli bir ışınım için bir PV dizinin I – V karakteristiği Şekil 1.3. (a)'da ve P – V karakteristik eğrisi Şekil 1.3. (b)'de verilmiştir. Verilen karakteristik eğriler üzerinde üç önemli nokta bulunmaktadır (Lynn, 2010):

- ✓ I – V karakteristik eğrisinin gerilim eksenini kestiği nokta (V_{OC}, 0): PV dizinin uçları açık devredir (I = 0) ve gerilim en büyük değerini (V = V_{OC}) alır. V_{OC}, PV dizinin açık devre gerilimidir.

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

- ✓ I – V karakteristik eğrisinin akım eksenini kestiği nokta (0, I_{SC}): PV dizinin uçları kısa devredir (V=0) ve akım en büyük değerini (I = I_{SC}) alır. I_{SC}, PV dizinin kısa devre akımıdır.
- ✓ P – V karakteristik eğrisinin tepe noktası (V_{MPP}, P_{MAX}): PV dizi çıkış gücünün en büyük değerini aldığı noktadır. Bu nokta I – V karakteristik eğrisinde MPP noktasına (V_{MPP}, I_{MPP}) karşılık gelir. Bu noktadaki çıkış gücü (1.7) denklemi ile bulunur.

$$P_{MAX} = I_{MPP} \times V_{MPP} \tag{1.7}$$



Şekil 1.3. Sabit hücre sıcaklığı ve belirli bir ışınım için bir PV dizinin (a) I – V ve (b) P – V karakteristikleri

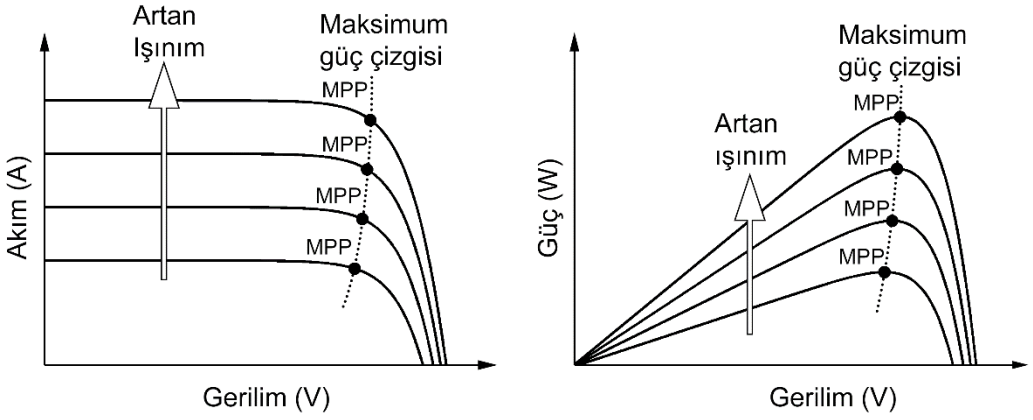
(1.8) denklemi ile tanımlanan doldurma faktörü (*Fill Factor – FF*) PV üreteçlerin ideal yapıya ne kadar yakın olduğunu gösteren önemli bir büyüklüktür (Markvart ve ark., 2003).

$$FF = \frac{V_{MPP}.I_{MPP}}{V_{OC}.I_{SC}} = \frac{P_{MAX}}{V_{OC}.I_{SC}} \tag{1.8}$$

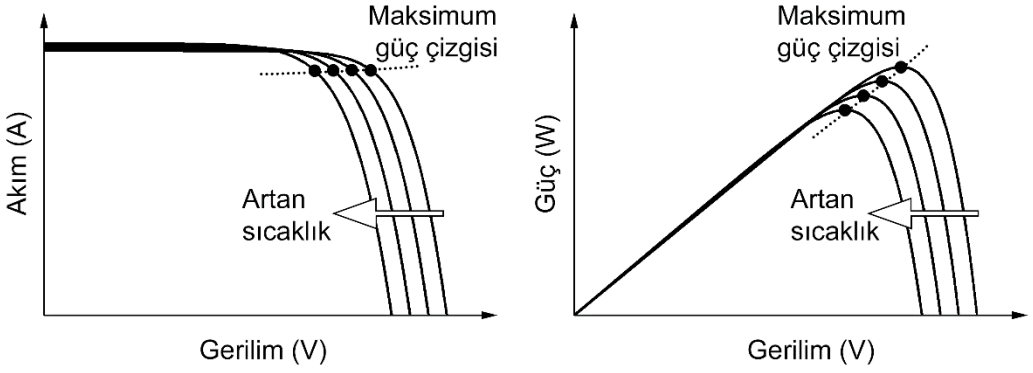
Panellerin STC şartlarındaki kısa devre akımı (I_{SC}), açık devre gerilimi (V_{OC}) ve en büyük çıkış gücü (P_{MAX}) değerleri başka bazı elektriksel özelliklerin değerleriyle birlikte PV üreticilerinin veri sayfalarında sağlanır.

1.3.1. Işınım ve sıcaklık Değişiminin karakteristiklere etkisi

PV dizilerin kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve bunlara bağlı olarak çıkış güçleri ışınım ve sıcaklıkla değişir. Kısa devre akımı ve çıkış gücü üzerinde ışınımın ve açık devre gerilimi üzerinde sıcaklığın etkisi daha güçlüdür. PV dizideki hücrelerin aynı ışınım altında ve aynı sıcaklığa sahip olmaları şartıyla; sabit sıcaklıkta artan ışınımın I – V ve P – V karakteristikleri üzerindeki etkisi, sırasıyla, Şekil 1.4. (a) ve (b)'de, sabit ışınım altında artan sıcaklığın I – V ve P – V karakteristikleri üzerindeki etkisi ise, sırasıyla, Şekil 1.5. (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Verilen grafiklerden çıkarılabilecek önemli sonuçlar; kısa devre akımı ve çıkış gücünün ışınımla hemen hemen doğrusal bir şekilde değişmesi, açık devre geriliminin artan sıcaklıkla azalması ve MPP noktası yerinin grafiklerde maksimum güç çizgisi olarak gösterilen eğrileri izlemesidir (Xueting ve ark., 2012).



Şekil 1.4. Sabit sıcaklıkta artan ışınımın (a) I – V karakteristiği ve (b) P – V karakteristiği üzerindeki etkisi



Şekil 1.5. Sabit ışınım altında artan sıcaklığın (a) I – V karakteristiği ve (b) P – V karakteristiği üzerindeki etkisi

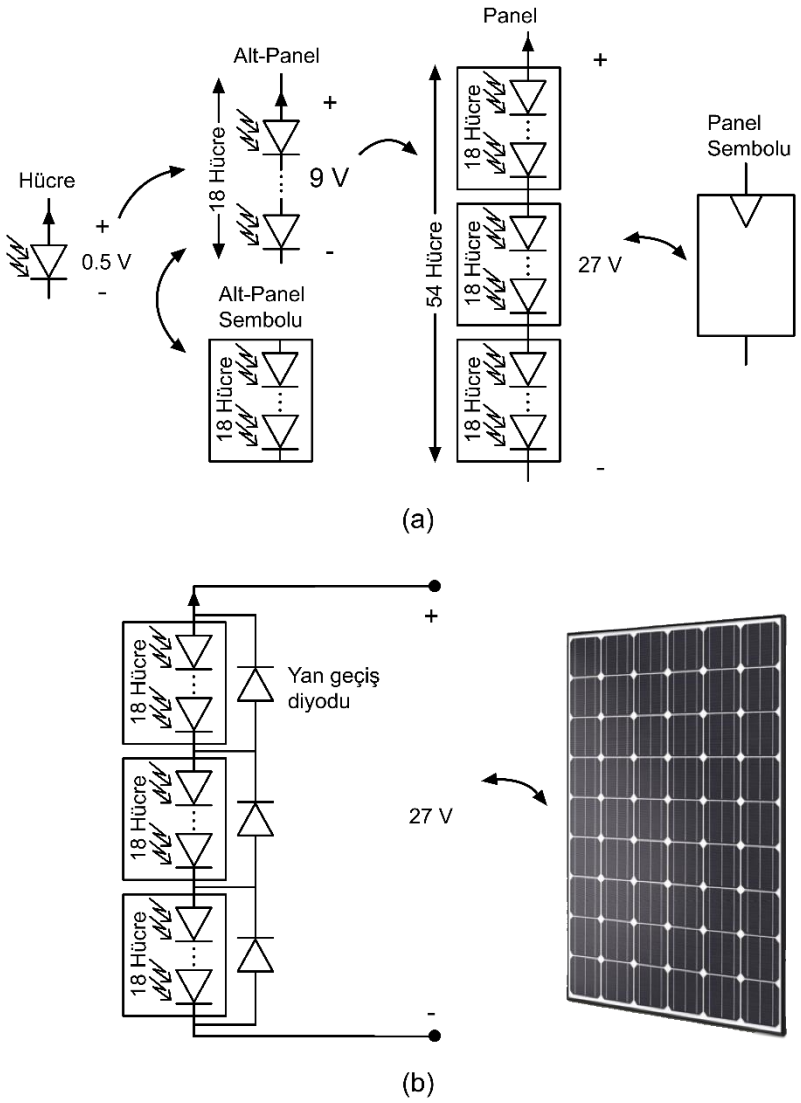
1.3.2. Koruma diyotları ve karakteristiklere etkisi

Uygulamada PV panellerin bir kısmının yakınlarda bulunan cisimlerin veya bulutların oluşturduğu gölgede kalmasına sıklıkla rastlanır. Bu durum kısmi gölgelenme (partial shading) olarak bilinir. Kısmi gölgelenmenin önemli iki sonucu vardır: İlki, gölgede kalan PV hücreler bir yük gibi sistemin geri kalanından önemli miktarda güç çekerek çıkış gücünün ve geriliminin önemli miktarda düşmesine neden olur. Diğeri ise, gölgedeki hücrelerin çektiği gücün ısıya dönüşmesi sonucu panellerin yüzeyinde kalıcı hasarlara sebebiyet verebilecek sıcak noktaların (hotspot) meydana gelmesidir (Mathew ve ark., 2010). Aynı sorunlar, PV hücrelerin, üretim veya kullanım aşamalarında, farklı özellikler kazanmaları ve özdeş olmayan PV panellerin bir arada kullanılması gibi durumlarda da ortaya çıkar ve uyumsuzluk (mismatching) sorunları olarak bilinirler (Luque, 2011; Tiwari ve ark., 2010).

Gölgelenme ve uyumsuzluk nedenleriyle ortaya çıkan sorunların etkisini azaltmak için, Şekil 1.6 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi, PV panel içindeki hücreler alt panellere ayrılır ve her bir alt panelin uçları arasına paralel bir yan geçiş (bypass) diyotu bağlanır (Arbona, 2014). Böylece, anlatılan nedenlerle PV panel çıkış geriliminde meydana gelecek gerilim düşümü miktarı bir alt panelin gerilimi ile sınırlandırılarak PV panel verimi iyileştirilir. PV üreticileri 1 ile 4 arasında değişen sayıda yan geçiş diyotunu PV panel bağlantı kutusunda sağlarlar (Mertens, 2014; Femia ve ark., 2013). Yan geçiş diyotları kullanmanın önemli bir sonucu ise, hücrelerin eşit ışınım aldığı durumun aksine P – V karakteristiği üzerinde birden fazla tepe noktasının oluşmasıdır (Elnosh ve ark., 2014; Maki ve ark., 2013). Bunlardan biri en büyük çıkış gücünün elde edildiği noktadır ve genel (global) MPP noktası olarak adlandırılır. Diğer tepe noktalara ise yerel (local) MPP adı verilir (Jiang ve ark., 2014; Chen ve ark., 2014).

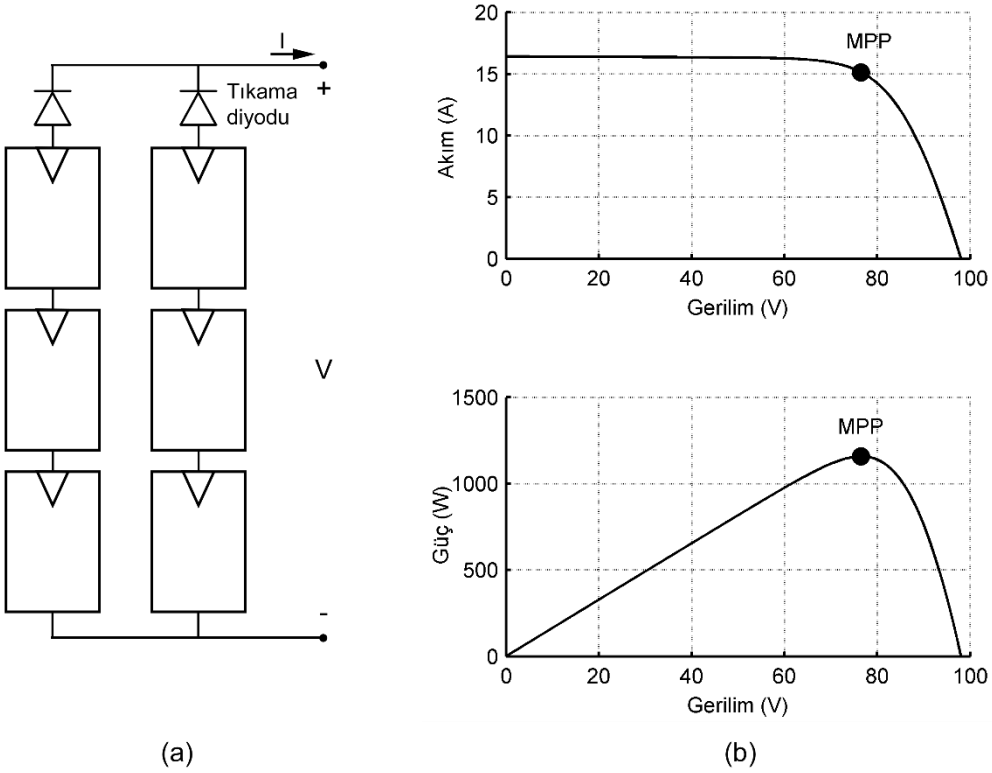
PV dizilerde istenilen bir gerilim ve akım seviyesini elde etmek için paneller seri ve paralel bağlanırlar. Gerilimin artırılması için paneller seri bağlanarak kollar (string) oluşturulur. Akımın artırılması için de bu kollar birbirlerine paralel olarak bağlanırlar. PV panellerdeki uyumsuzluk ve kısmi gölgelenmenin ortaya çıkardığı sorunlar PV dizilerde de görülür. Daha düşük gerilim üreten bir veya birkaç kol dizinin geri kalan kollarından akım çekerek PV dizi çıkış gücünün önemli miktarda

düşmesine neden olur. Bunun önüne geçmek için her bir kola tıkama (blocking) diyotu denilen bir diyot yerleştirilir (Bastidas ve ark., 2012; Qingshan ve ark., 2010).



Şekil 1.6. (a) Hücrelerin PV panel olarak düzenlenmesi ve (b) ticari panellerin yan geçiş diyotları ile donatılması

Gölgelenmenin PV dizi karakteristikleri üzerindeki etkilerini göstermek için MATLAB/Simulink benzetim programında özellikleri Çizelge 1.1.'de verilen Kyocera KC200GT PV panelinden 6 adet kullanılarak Şekil 1.7. (a)'da gösterilen PV dizi oluşturulmuştur (Villalva, 2009). Tüm panellerin STC şartlarında olduğu durum için dizinin I – V ve P – V karakteristik eğrileri Şekil 1.7. (b)'deki gibi elde edilmiştir.

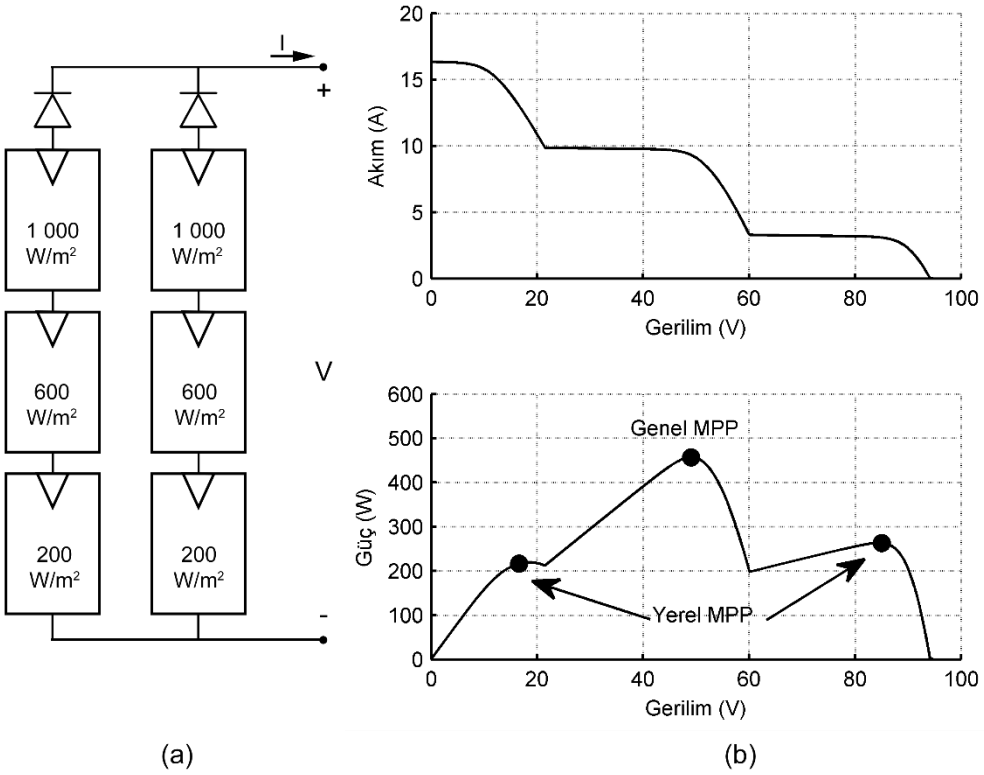


Şekil 1.7. Bir PV dizinin (a) panel ve tıkama diyodu bağlantıları ve (b) STC şartlarındaki I – V ve P – V karakteristikleri

Çizelge 1.1. Kyocera KC200GT PV panelinin STC şartlarındaki parametreleri

Maksimum güç noktasındaki akım, I_{MPP}	7.61 A
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{MPP}	26.3 V
Maksimum çıkış gücü, P_{MAX}	200.143 W
Kısa devre akımı, I_{SC}	8.21 A
Açık devre gerilim, V_{OC}	32.9 V
Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı, K_V	-0.1230 V/K
Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı, K_I	0.0032 A/K
Hücre sayısı	54
Yan geçiş diyodu sayısı	3

Şekil 1.8. (a)'da ise PV panellerin belirtilen ışınımlar altında olması sağlanmıştır. PV dizinin bu duruma ait I – V ve P – V karakteristik eğrileri Şekil 1.8. (b) verildiği bulunmuştur. Görüleceği üzere, P – V karakteristik eğrisi üzerinde biri genel MPP ve diğer ikisi yerel MPP olmak üzere üç MPP noktası oluşmaktadır.



Şekil 1.8. Bir PV dizinin (a) panellerinin farklı ışınım altında olması ve (b) bu duruma ait I – V ve P – V karakteristikleri

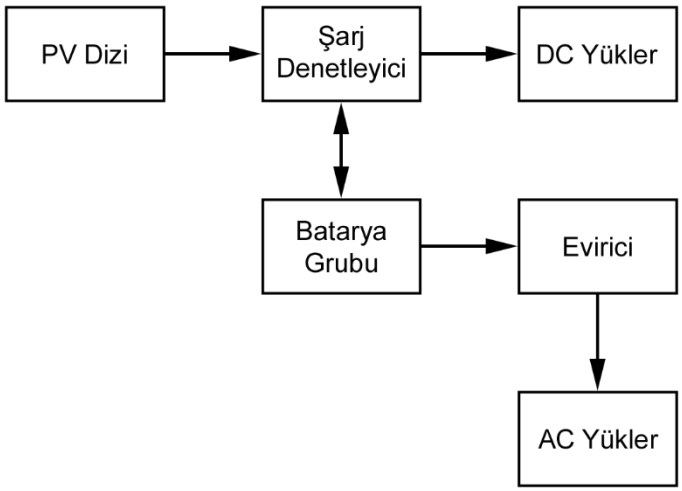
1.4. PV Sistemler

Bir PV sistem, elektrik şebekesine güç vermek, bir kuyudan su çekilmesi, bir hesap makinesinin çalıştırılması vb. bir görevi yerine getirmek üzere bir araya getirilen bileşenlerden oluşur. PV sistemin yapısı; kullanım amacına, sistemin kurulacağı yere ve çalışacağı bölge şartlarına göre değişiklik gösterir. Bununla birlikte, PV sistemler genel olarak; *şebeke bağlantısız* (*off-grid*), şebeke bağlantılı (*on-grid*) ve karma (*hybrid*) sistemler olarak sınıflandırılabilir (Archer ve ark., 2001).

1.4.1. Şebeke bağlantısız PV sistemler

Şebeke bağlantısız PV sistemler diğer güç kaynaklarından bağımsız olarak ve belirli yüklere enerji sağlayacak şekilde tasarlanır. Gece ve güneş ışığının yetersiz olduğu zamanlarda, yüklere enerji aktarmayı sürekli hale getirmek için, genellikle bu sistemlere batarya grupları eklenir. Ayrıca, AC yüklere enerji verilmesini sağlamak için sisteme bir evirici bağlanır. Bu türden PV sistemler daha çok elektrik şebekesine erişimin mümkün olmadığı kırsal bölgelerde kurulur. Şebeke bağlantısız PV

sistemlerin genel yapısı Şekil 1.9'da verilmiştir (Siah ve ark., 2014; Brooks ve ark., 2013).



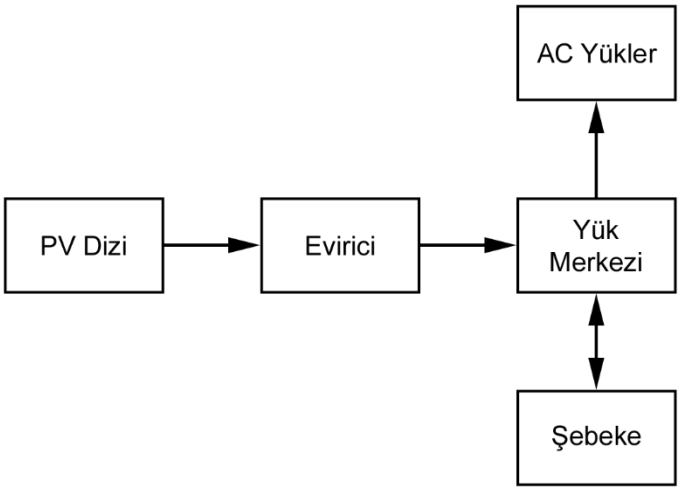
Şekil 1.9. Şebeke bağlantısız PV sistemin genel yapısı

1.4.2. Şebeke bağlantılı PV sistemler

Bu sistemler, şebeke bağlantısız PV sistemlerden farklı olarak, geleneksel elektrik şebekesine paralel olarak çalışırlar. PV dizinin ürettiği elektrik enerjisinin tamamı veya yerel yüklere aktarılandan geriye kalanı bir evirici üzerinden elektrik şebekesine verilir. Üretilen enerjinin yerel yükler için yetersiz olduğu zamanlarda gerekli enerji elektrik şebekesinden alındığı için ayrıca sistemde batarya grubu bulundurma gerekliliği ortadan kalkar. Şebeke bağlantılı PV sistemlerin genel yapısı Şekil 1.10'da verilmiştir (Brooks ve ark., 2013; Ellis ve ark., 2011).

1.4.3. Karma PV sistemler

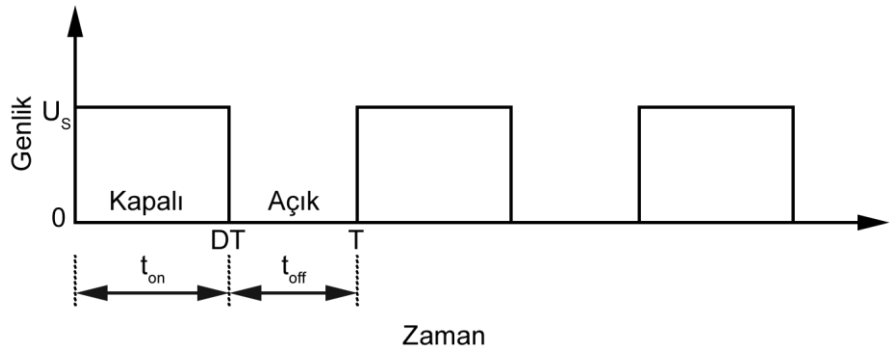
Karma PV sistemlerde PV dizinin yanı sıra yük gereksinimlerini karşılamak için rüzgar veya dizel jeneratör gibi alternatif enerji kaynakları da bulunur. Karma PV sistemler şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olarak uygulanabilir. Bu sistemlerin esas faydası, PV dizinin enerji üretemediği zamanlarda diğer kaynakların varlığı sayesinde enerjinin batarya grubu yerine bu kaynaklardan sağlanabilmesi ve böylece enerji depolama ihtiyacının azaltılmasıdır (Arezki ve ark., 2014; Archer ve ark., 2001).



Şekil 1.10. Şebeke bağlantılı PV sistemin genel yapısı

1.5. DA – DA dönüştürücüler

MPPT sistemlerinin çalışmasının anlaşılabilmesi için bir DA gerilim seviyesini farklı bir DA gerilim seviyesine dönüştüren ve *anahtarlamalı-mod* (*switch-mode) DA – DA dönüştürücüler* veya *DA kıyıcılar* olarak adlandırılan güç elektroniği devreleri ve kontrolleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bu devrelerde kullanılan anahtarlama elemanı (IGBT veya MOSFET) Şekil 1.11.'de verilen darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation – PWM) ile kontrol edilir. Elektronik anahtarlama elemanı; PWM işaretinin genliği U_S iken kapalı ve sıfır iken açık pozisyonundadır. Bir PWM işaretinin 0 ile 1 arasında değerler alabilen görev çevrimi (Duty cycle – D) (1.9) denklemi ile tanımlanır (Hart, 2011).



Şekil 1.11. DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işareti

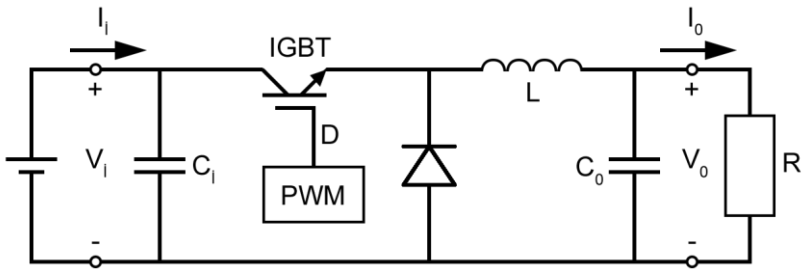
$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \tag{1.9}$$

(1.9) denkleminde; T: PWM işaretinin periyodunu (s), t_{on}: elektronik anahtarın kapalı tutulduğu süreyi ve t_{off}: elektronik anahtarın açık tutulduğu süreyi göstermektedir.

Birçok DA – DA dönüştürücü topolojisi bulunmakla birlikte burada temel DA – DA dönüştürücü (düşürücü, yükseltici ve düşürücü-yükseltici) devrelerinin ve giriş – çıkış ilişkilerinin verilmesiyle yetinilecektir.

1.5.1. Düşürücü (buck) DA – DA dönüştürücü

Şekil 1.12.'de devresi verilen düşürücü DA – DA dönüştürücüler ile giriş gerilimi daha küçük bir gerilim seviyesine dönüştürülür. Sürekli akım modunda (Continues Conduction Mode – CCM) dönüştürücünün gerilim ve akım dönüştürme oranları (1.10) eşitliğinde verilmiştir. Dönüştürücüyü sürekli akım modunda çalıştırmak için kullanılması gerenken en küçük bobin ve kondansatör değerleri, sırasıyla, (1.11) ve (1.12) denklemleri ile bulunur. Çıkış gerilimi (V_0) elektronik anahtara uygulanan PWM işaretinin görev çevrimi ile 0 – V_i aralığında bir değere ayarlanabilir (Hart, 2011; Rashid, 2011).



Şekil 1.12. Düşürücü DA – DA dönüştürücü devresi

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{I_i}{I_0} = D \tag{1.10}$$

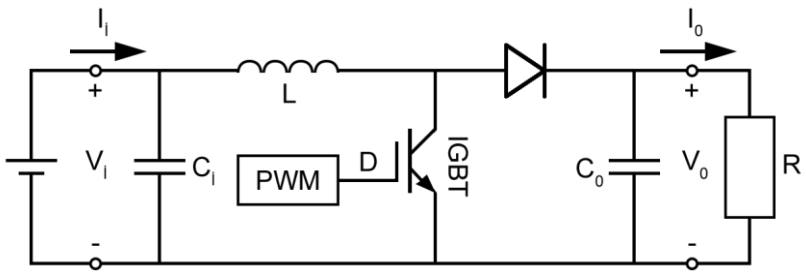
$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{1.11}$$

$$C_{\min} = \frac{1-D}{8L(\Delta V_0 / V_0) f^2} \tag{1.12}$$

(1.11) ve (1.12) denklemlerinde; D: görev çevrimini, R: yük direncini (Ω), f: PWM işaretinin frekansını (Hz), ΔV0: çıkış gerilimi üzerindeki dalgalanmayı ve V0: çıkış gerilimini (V) göstermektedir.

1.5.2. Yükseltici (boost) DA – DA dönüştürücü

Giriş gerilimini yükselten bu dönüştürücünün devresi Şekil 1.13'de verilmiştir. Kayıplar ihmal edilerek, sürekli akım modunda dönüştürücünün gerilim ve akım dönüştürme oranı (1.13) eşitliğinde verildiği gibidir. Teorik olarak çıkış gerilimi V_i - ∞ aralığında ayarlanabilir. Ancak, fiziksel sınırlamalar nedeniyle, gerçek ayar aralığı sınırlıdır (Hart, 2011).



Şekil 1.13. Yükseltici DA – DA dönüştürücü devresi

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{I_i}{I_0} = \frac{1}{1-D} \tag{1.13}$$

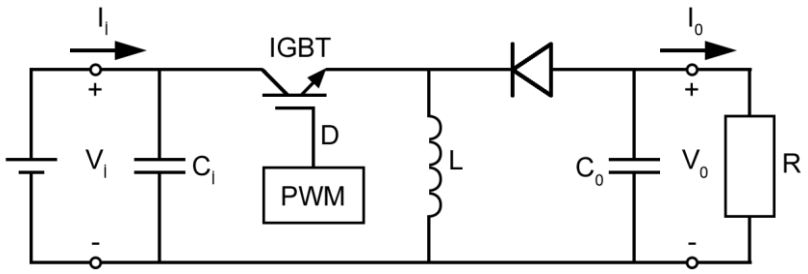
Yükseltici DA – DA dönüştürücüyü sürekli akım modunda çalıştıracak en küçük bobin (L) ve çıkış kondansatörü değerleri, sırasıyla, (1.14) ve (1.15) denklemleri ile bulunur (Hayt, 2011).

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \tag{1.14}$$

$$C_{\min} = \frac{D}{R(\Delta V_0 / V_0)} \tag{1.15}$$

1.5.3. Düşürücü - yükseltici (buck – boost) DA – DA dönüştürücü

Giriş gerilimini hem düşürebilen hem de yükseltebilen dönüştürücülerdir. Devresi Şekil 1.14.'de verilen bu dönüştürücünün gerilim ve akım dönüştürme oranı (1.16) denklemi ile verilir (Rashid, 2011).



Şekil 1.14. Düşürücü – yükseltici DA – DA dönüştürücü devresi

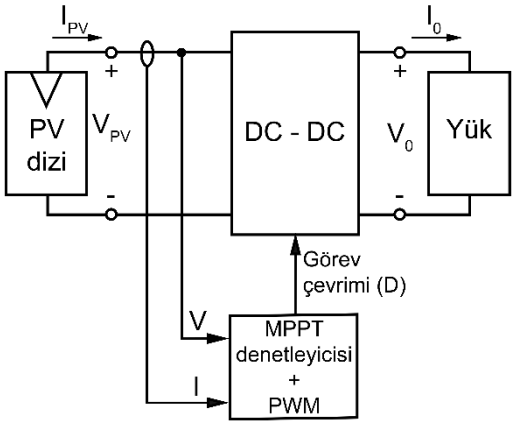
$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{I_i}{I_0} = \frac{D}{1-D} \tag{1.16}$$

1.6. Maksimum Güç Noktası Takibi

PV üreteçlerin enerji dönüştürme verimleri diğer teknolojiler ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. PV hücrelerin verimi % 20 – 21 dolaylarında iken panellerin verimi ancak % 15 – 17 seviyelerinde olabilmektedir. Gerçek çalışma koşullarında daha düşük enerji dönüştürme verimleriyle de karşılaşılabilir. Diğer taraftan, PV sistemlerin kurulum maliyeti de yüksektir. Bu nedenlerle, genel olarak, bir PV dizinin mevcut ortam koşullarında üretebileceği en büyük çıkış gücünde, bir diğer söyleyişle, I – V karakteristiği üzerindeki MPP noktasında çalıştırılması istenir (Rekioua ve ark., 2012; Femia ve ark., 2013; Vardhana ve ark., 2014).

PV dizinin MPP noktasında çalıştırılması PV dizi çıkış geriliminin (akımının) mevcut ortam koşullarına karşılık gelen I – V karakteristik eğrisi üzerindeki V_{MPP} (I_{MPP}) değerine ayarlanması anlamına gelir. Bu, kolayca başarılacak bir işlem değildir. Çünkü PV dizinin çalıştığı süre boyunca, hem PV dizi I – V karakteristik eğrisi hem de PV dizi çıkış gerilimi, ortam koşullarındaki ve elektriksel yükteki değişimden birine veya her ikisine birden bağlı olarak sürekli değişir. Bu yüzden PV sistemlerinde, PV dizi çıkış gerilimini (akımını) mevcut ortam koşullarına karşılık

gelen V_{MPP} (I_{MPP}) değerine ayarlayan ve yük veya ortam koşullarından biri veya ikisi birden değiştiğinde bu ayarlamayı dinamik olarak yeniden yapan MPPT sistemleri kullanılır. Bir MPPT sisteminin görevi, PV diziyi mevcut ortam koşullarında üretebileceği en büyük güç değerini üretecek şekilde çalıştırmak olarak özetlenebilir. Bu görev, PV dizi ile sistemin geri kalanı arasına eklenen ayrı bir birim veya MPPT özelliğine sahip evirici ve şarj denetleyicisi gibi birimler tarafından yerine getirilebilir (Rekioua ve ark., 2012; Femia ve ark., 2013; Vardhana ve ark., 2014). Bu tez çalışmasında; Şekil 1.15.'de gösterildiği gibi ayrı bir birim olarak uygulanan ve PV dizi çıkış uçlarına bağlanan bir DA – DA dönüştürücü ile bunu kontrol eden bir denetleyiciden oluşan MPPT sistemleri dikkate alınacak olup diğer teknikler incelenmeyecektir.



Şekil 1.15. Bir PV sisteme MPPT sisteminin uygulanması

Temel bir MPPT sistemi Şekil 1.15.'de verilmiştir. MPPT sistemleri belirli bir algoritmayı temel alarak adım adım çalışırlar. Genel işleyiş şu şekildedir: MPPT denetleyicisi, gerilim ve akım sensörleri ile PV dizi çıkış gerilimi ve akımı değerlerini elde eder ve önceki adımda elde ettiği değerlerle birlikte değerlendirir. Bu değerlendirme sonucunda, PV çıkış geriliminin (akımının) V_{MPP} (I_{MPP}) değerinde olduğu belirlenmiş ise DA – DA dönüştürücüye uygulanmakta olan PWM işaretinin görev çevrimi (D) değiştirilmeden devam ettirilir, aksi halde, bir adım büyüklüğünde (dD) artırmak veya azaltmak şeklinde değiştirilir. Değişikliğin yönü, PV dizi çıkış gerilimini (akımını) V_{MPP} (I_{MPP}) değerine yaklaştırma esasına göre belirlenir. Görev çevriminde (D) yapılan değişiklik DA – DA dönüştürücü aracılığıyla PV dizi çıkış gerilimine (akımına) yansır ve böylece bir MPPT adımı tamamlanmış olur. Tüm bu

işlemlerin sonucunda PV dizi çıkış gerilimi (akımı) V_{MPP} (I_{MPP}) değerine bir adım büyüklüğünde (dV veya dI) yaklaştırılmış olur. Belirli bir süre beklendikten sonra aynı işlemlerin tekrar yapılması için sonraki adıma geçilir.

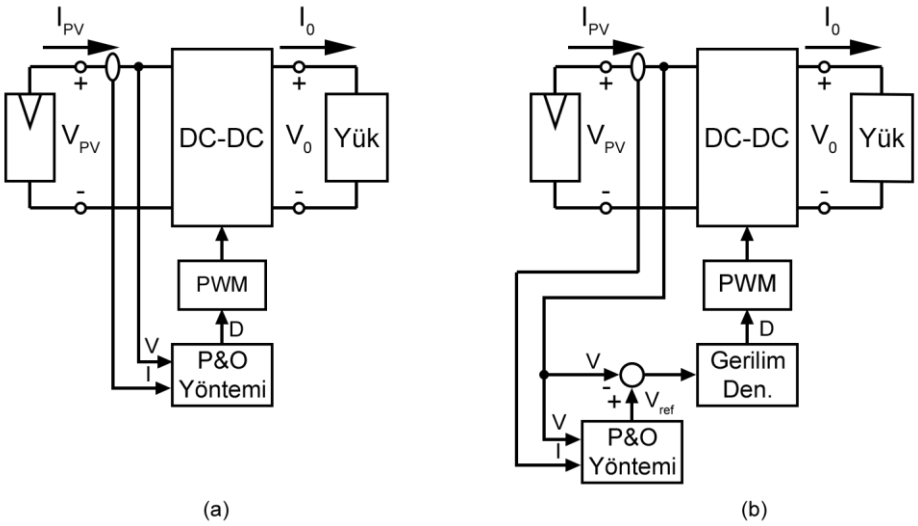
Şekil 1.15.'de verilen ve yukarıda çalışması anlatılan MPPT sistemi, her adımda, PV dizi çıkış geriliminin ve akımının birlikte ölçülmesini (örneklenmesini) gerektirir. Bunlardan sadece birisini ve/veya bunların yanı sıra ışınım ve sıcaklık gibi ortam değişkenlerinin de ölçülmesini gerektiren MPPT teknikleri de bulunmaktadır. Hangi değişkenlerin örnekleneceğinin yanında bunların nasıl ele alınacağı da MPPT denetleyicisinde kullanılan algoritma tarafından belirlenir (Archer ve ark., 2001; Elgendy ve ark., 2011). Literatürde birçok MPPT algoritması önerilmekle birlikte bu bölümde Değiştir ve Gözle, Artımlı İletkenlik, Kısa Devre Akım Oranı ve Açık Devre Gerilim Oranı algoritmaları hakkında bilgi verilecektir.

1.6.1. Değiştir ve Gözle (Perturb & Observe – P&O) Algoritması

Değiştir ve Gözle algoritması, kolay uygulanabilme ve PV dizi karakteristiklerinden bağımsız olma üstünlükleri sayesinde, en yaygın kullanılan algoritma olmuştur. Bu algoritmada MPP noktasının izlenmesi şu şekilde yapılmaktadır: PV dizinin ürettiği güç hesaplanıp kaydedildikten sonra PV dizi çıkış gerilimi değiştirilmek suretiyle PV dizinin çalışma noktası bir miktar değiştirilir ve güç değeri yeniden hesaplanır. Gerilim değiştirildikten sonra güç artmış ise bu çalışma noktasının MPP noktasına yaklaştırılmış olduğu anlamına gelir ve gerilim aynı yönde yeniden değiştirilir. Güç azalmış ise çalışma noktası MPP noktasından uzaklaşmıştır ve gerilim tersi yönde değiştirilir. Güç farkı sıfır oluncaya kadar, başka bir deyişle, PV dizinin çalışma noktası MPP noktasına gelinceye kadar PV dizi çıkış gerilimi bu şekilde değiştirilmeye devam edilir. Ancak, Değiştir ve Gözle algoritması PV dizi çalışma noktasını tam olarak MPP noktasına getiremez. Bunun yerine, MPP noktası etrafında salınım yapmasına ve bu nedenle güç kayıplarının meydana gelmesine neden olur (Masood ve ark., 2014; Keskin ve ark., 2014).

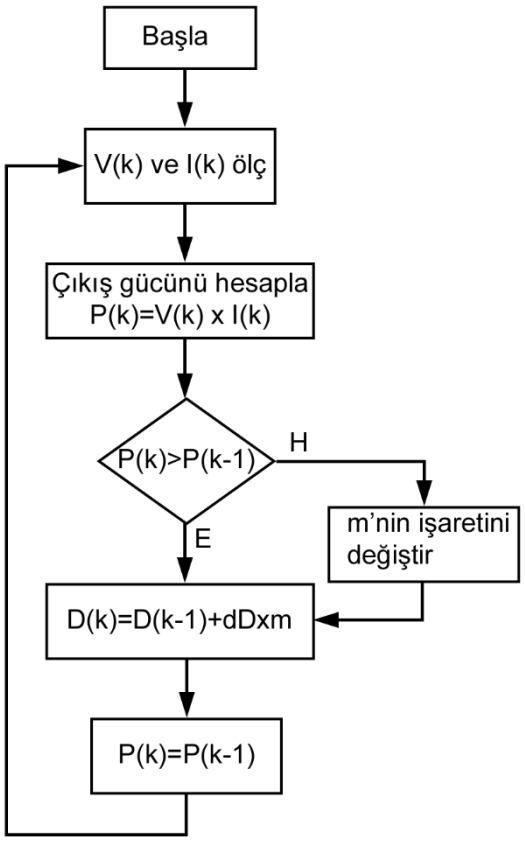
Değiştir ve Gözle algoritmasının iki temel uygulama şekli vardır. Bunlardan birincisinde, değişiklik DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işaretinin görev çevriminde yapılır. İkincisinde ise değişiklik görev çevrimini kontrol eden bir gerilim

denetleyicisinin referans geriliminde yapılır. İlk uygulama açık döngü denetim sistemine ve ikincisi, çıkış gerilimi geri beslendiğinden, kapalı döngü denetim sistemine sahiptir. Değiştir ve Gözle algoritmasının bu uygulamalarına ait şemalar Şekil 1.16. (a) ve (b)'de verilmiştir (Femia ve ark., 2013).



Şekil 1.16. Değiştir ve Gözle algoritmasının (a) Açık döngü ve (b) kapalı döngü denetimleri ile uygulanması

PWM işaretinin görev çevriminin doğrudan denetlendiği durumda Değiştir ve Gözle algoritmasının akış şeması Şekil 1.17.'de verildiği gibi olur. Burada, k indisi mevcut adımdaki ve k-1 indisi önceki adımdaki değerleri göstermektedir (Ishaque ve ark., 2014). dD görev çevrimi değiştirme miktarı olmak üzere, m, görev çevrimi artırımı için +1 ve azaltımı için -1 değerini alır.

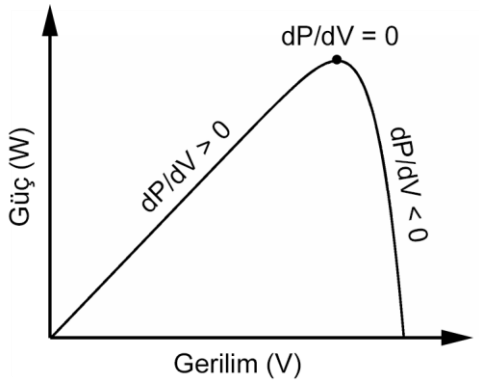


Şekil 1.17. Değiştir ve Gözle algoritmasının akış şeması

1.6.2. Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance – InCond) algoritması

Artımlı iletkenlik algoritması, P – V karakteristik eğrisi eğiminin MPP noktasının solunda pozitif, sağında negatif ve MPP noktasında sıfır olması gerçeğini kullanır. P – V karakteristik eğrisi eğiminin değişimi Şekil 1.18.'de gösterilmiştir.

Artımlı İletkenlik algoritmasında öncelikle ihtiyaç duyulan P – V karakteristik eğrisinin eğimi (1.17) denklemi ile yaklaşık olarak bulunur. (1.17) denkleminde I/V oranı anlık iletkenlik ve $\Delta I/\Delta V$ oranı artımlı iletkenlik olarak adlandırılır. Eğim hesaplandıktan sonra (1.18), (1.19) ve (1.20) denklemlerinde verilen karşılaştırmalar yapılarak PV dizi çalışma noktasının yeri belirlenir. Çalışma noktası MPP noktasının solunda ise PV dizi gerilimi artırılır, sağında ise azaltılır. (1.18) denklemi sağlanıncaya kadar PV dizi çıkış gerilimi bu şekilde değiştirilmeye devam edilir. (Elgendy ve ark., 2013; Devi ve ark., 2013).



Şekil 1.18. PV çıkış gücünün gerilime göre türevinin değişimi

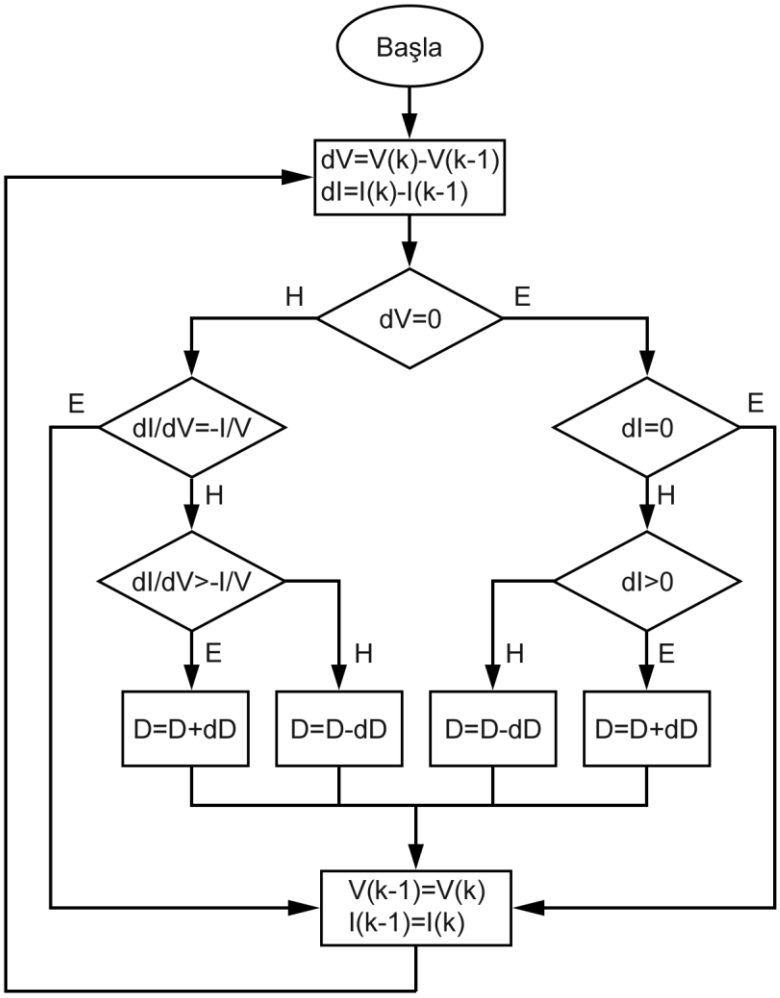
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V.I)}{dV} = I + V\frac{dI}{dV} \approx I + V\frac{\Delta I}{\Delta V} \tag{1.17}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}, \text{ MPP noktasında} \tag{1.18}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}, \text{ MPP noktasının solunda} \tag{1.19}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}, \text{ MPP noktasının sağında} \tag{1.20}$$

Artımlı iletkenlik algoritması Değiştir ve Gözle algoritmasına göre daha karmaşık olmasına rağmen PV çalışma noktasını MPP noktasına daha hızlı bir şekilde taşır ve çalışma noktasının MPP etrafında salınım yapmasına neden olmaz. Artımlı İletkenlik algoritmasının akış şeması Şekil 1.19.'da verilmiştir (Latif ve ark., 2014; Elgendy ve ark., 2013).



Şekil 1.19. Artımlı İletkenlik algoritmasının akış şeması

1.6.3. Açık devre gerilim oranı algoritması

Normal çalışma koşulları altında PV dizinin maksimum güç noktasındaki gerilimi (V_{MPP}) ile açık devre gerilimi (V_{OC}) arasında (1.21) verilen yaklaşık doğrusal ilişki vardır.

$$V_{MPP} \approx k_{OC} \times V_{OC} \tag{1.21}$$

(1.21) denkleminde, k_{OC} 0.7 ile 0.8 arasında değerler alabilen bir orantı katsayısıdır.

Açık devre gerilimi algoritmasında, V_{MPP} ile V_{OC} arasındaki (1.21) denkleminde verilen ilişkiden yararlanılır. V_{OC} gerilimi daha çok sıcaklıkla olmak

üzere değişen ortam koşullarına bağlı olarak değiştiğinden PV dizinin çalışması esnasında periyodik olarak ölçülmelidir. Bunun için PV dizi uçlarının açık devre edilmesi gerektiğinden ölçüm sırasında PV diziden güç alınamaz. V_{OC} gerilimi ölçüldükten sonra V_{MPP} hesaplanır ve çalışma gerilimi bu değere ayarlanır. (1.21) denklemi ile bulunan V_{MPP} yaklaşık bir değer olduğundan bu algoritma ile PV dizi gerçek MPP noktasında çalıştırılamaz (Murtaza ve ark., 2014)

1.6.4. Kısa devre akım oranı algoritması

Değişen ortam koşulları altında bir PV dizinin çıkış akımı, çıkış gerilimi 0 ile V_{MPP} arasında iken, hemen hemen sabittir ve I_{MPP} ile I_{SC} arasında yaklaşık olarak (1.22) denkleminde verilen doğrusal ilişki vardır.

$$I_{MPP} \approx k_{SC} \times I_{SC} \tag{1.22}$$

(1.22) denkleminde k_{SC} orantı sabiti olup değeri 0.78 ile 0.92 arasında değişir.

Kısa devre akım oranı algoritmasında, PV dizinin kısa devre akımı daha çok ışınımla olmak üzere değişen ortam koşullarına bağlı olduğundan, PV dizi çıkışları periyodik olarak kısa devre edilerek I_{SC} akımı ölçülür. (1.22) denklemi kullanılarak I_{MPP} akımı hesaplanır ve PV dizi bu akımı üretecek şekilde çalıştırılır.

Bu algoritmanın uygulanabilmesi için PV dizi çıkışlarına fazladan bir elektronik anahtarın bağlanması gerekir. I_{SC} akımının ölçülmesi oldukça karmaşıktır ve bu işlem yapılırken PV diziden güç alınamaz. Ayrıca, (1.22) denklemi yaklaşık bir ifade olduğundan PV dizi gerçek MPP noktasında çalıştırılamaz (Kollimalla ve ark., 2013).

1.7. Bulanık Mantık

Geleneksel yöntemlerle bir sistem için denetleyici tasarımı için öncelikle denetlenecek sistem veya sürecin matematiksel modeline ihtiyaç duyulur. Buna karşın, bazı kontrol sistemlerinde bir matematiksel modelin oluşturulması imkansız değilse de oldukça zordur. Bir arabanın bir yere park etmesi, elbiselerin yıkanması, çimento fırınlarının denetlenmesi vb. görevlerini yerine getiren sistemler bu türden

sistemlerdir. Her ne kadar bunların matematiksel modellerini elde etmek zor veya imkansız olsa da uzman kişilerin bu sistemleri kolaylıkla ve başarılı bir şekilde kontrol edebildikleri bilinen bir gerçektir. Kontrol edilen sistem ve endüstriyel süreç çok karmaşık olsa da bu kişilerin, yaklaşık düşünme yetenekleri sayesinde, sistemi uygun ve verimli bir şekilde kontrol etmeleri için sistem davranışı hakkında genel bir bilgiye sahip olmaları yeterli olmaktadır. Bulanık mantık denetleyiciler, insanların sistemleri yönetirken bir büyüklüğü *az, çok, çok fazla, çok az* vb. bulanık ve belirsiz sayısal anlam ifade eden miktarda değiştirerek istenen çıkışı oluşturabilmeleri gerçeğini kullanır (Mandal, 2006).

Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi hakkındaki ilk çalışma Zadeh (1965) tarafından yapılmıştır. Mamdani (1974), bir buhar makinesini bulanık mantık ile kontrol ederek bu konudaki ilk uygulamayı gerçekleştirmiştir. Endüstriyel bir sürece ilk uygulaması ise Danimarka'da bir çimento fabrikasında yapılmıştır (Munakata ve ark., 1994).

1.7.1. Bulanık kümeler

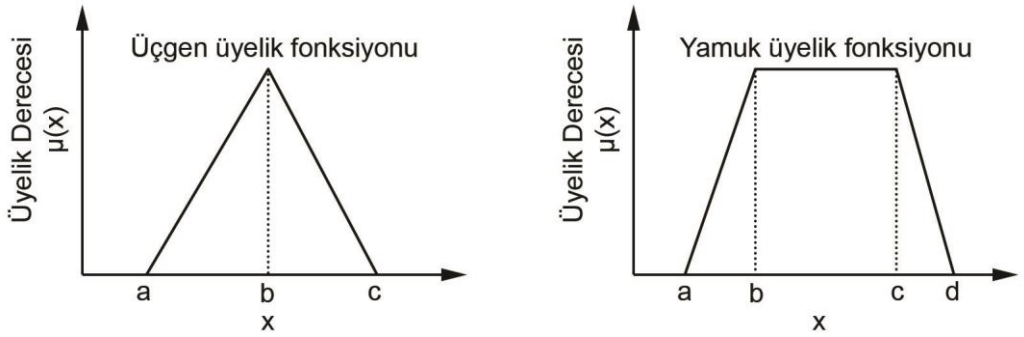
Bir elemanının bir kümenin üyesi olup olmadığını göstermenin yollarından biri karakteristik veya üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan fonksiyonları kullanmaktır. Klasik mantıkta bir eleman bir kümenin ya elemanı ya da elemanı olmadığından, (1.23) denkleminde verildiği gibi, üyelik fonksiyonu 1 (elemanı) ve 0 (elemanı değil)'dan başka değerler alamaz.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \tag{1.23}$$

(1.23) denkleminde; A: bir kümeyi, x: evrensel kümenin genel elemanını ve $\mu_A(x)$: x elemanın A kümesine üyelik fonksiyonunu göstermektedir.

Bulanık mantıkta, klasik mantığın aksine, bir eleman bir kümenin kısmen elemanı da olabilir. Bu yüzden üyelik fonksiyonu 0 ve 1 arasındaki değerleri de alır ve üyelik derecesi olarak adlandırılır. Bulanık mantıkta birçok üyelik fonksiyonu kullanılır. Başlıca üyelik fonksiyonları; üçgen, yamuk, gaussian, bell ve

sigmoidal'dır. Bu tez çalışmasında kullanılan üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının grafikleri Şekil 1.20'de verilmiştir.



Şekil 1.20. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları

Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri, sırasıyla, (1.24) ve (1.25) eşitlikleri ile verilmiştir (Mandal, 2006).

$$\mu_{üçgen}(x)=\begin{cases}0 & x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a} & a\le x\le b\\ \dfrac{c-x}{c-b} & b\le x\le c\\ 0 & c\le x\end{cases} \tag{1.24}$$

$$\mu_{yamuk}(x)=\begin{cases}0 & x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a} & a\le x\le b\\ 1 & b\le x\le c\\ \dfrac{d-x}{d-c} & c\le x\le d\\ 0 & d\le x\end{cases} \tag{1.25}$$

1.7.2. Bulanık mantık denetleyiciler

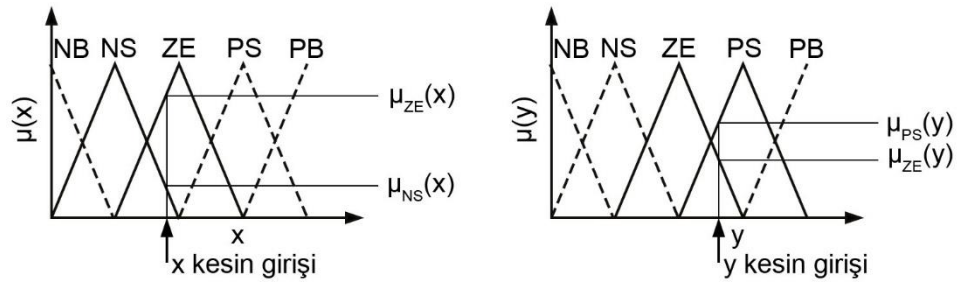
Bulanık mantık küme kuramı ve uzman kişilerin matematiksel modellemelere ihtiyaç duymadan sistemleri kontrol etme becerilerinin altında yatan gerçek esas alınarak geliştirilen bulanık mantık denetleyicilerin genel yapısı Şekil 1.21'deki blok şemada verilmiştir. Bulanık mantık denetleyiciler dört ana birimden oluşmaktadır: bulanıklaştırıcı, kural işleme birimi, bilgi tabanı ve durulaştırıcı (Altaş, 1999).



Şekil 1.21. Bulanık mantık denetleyici blok şeması

Bulanık mantık denetleyicinin çalışmasını anlatmak amacıyla, x ve y olarak adlandırılan iki kesin giriş değişkeninin ve z olarak adlandırılan bir çıkış değişkeninin bulunduğu ve tüm değişkenler için negatif büyük (NB), negatif küçük (NS), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS) ve pozitif büyük (PB) olarak adlandırılan bulanık kümelerin tanımlandığı durum ele alınacaktır.

Dışarıdan veya geribesleme yolu ile denetleyiciye uygulanan giriş değişkenleri kesin değerler olduğundan kural işleme biriminde değerlendirilmeden önce bu değişkenlerin bulanık hale getirilmesi gerekir. Bu görev bulanıklaştırıcı birimi tarafından yerine getirilir. Kesin giriş değişkenlerinin mevcut değerleri esas alınarak üye oldukları bulanık kümeler tespit edilir ve bu kümelere üyelik dereceleri belirlenerek kural işleme birimine iletilir (Altaş, 1999; Klir ve ark., 1995). x ve y kesin girişlerinin bulanıklaştırılması işleminin yapılışı Şekil 1.22'de gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Kesin giriş değerlerinin bulanıklaştırma işleminin yapılışı

Kural işleme birimi, bulanıklaştırıcıdan gelen bulanık girişlere göre bilgi tabanında depolanmış olan kurallardan hangilerinin işletileceğini belirler. Bu kurallar '*eğer ... ise...*' (*if ... then ...*) şeklindeki dilsel ifadelerdir. İşletilen her kuraldan sonra bulanık bir çıkış değeri elde edilir. Bulanık çıkışın oluşturulması için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında da kullanılan Mamdani yönteminde minimum

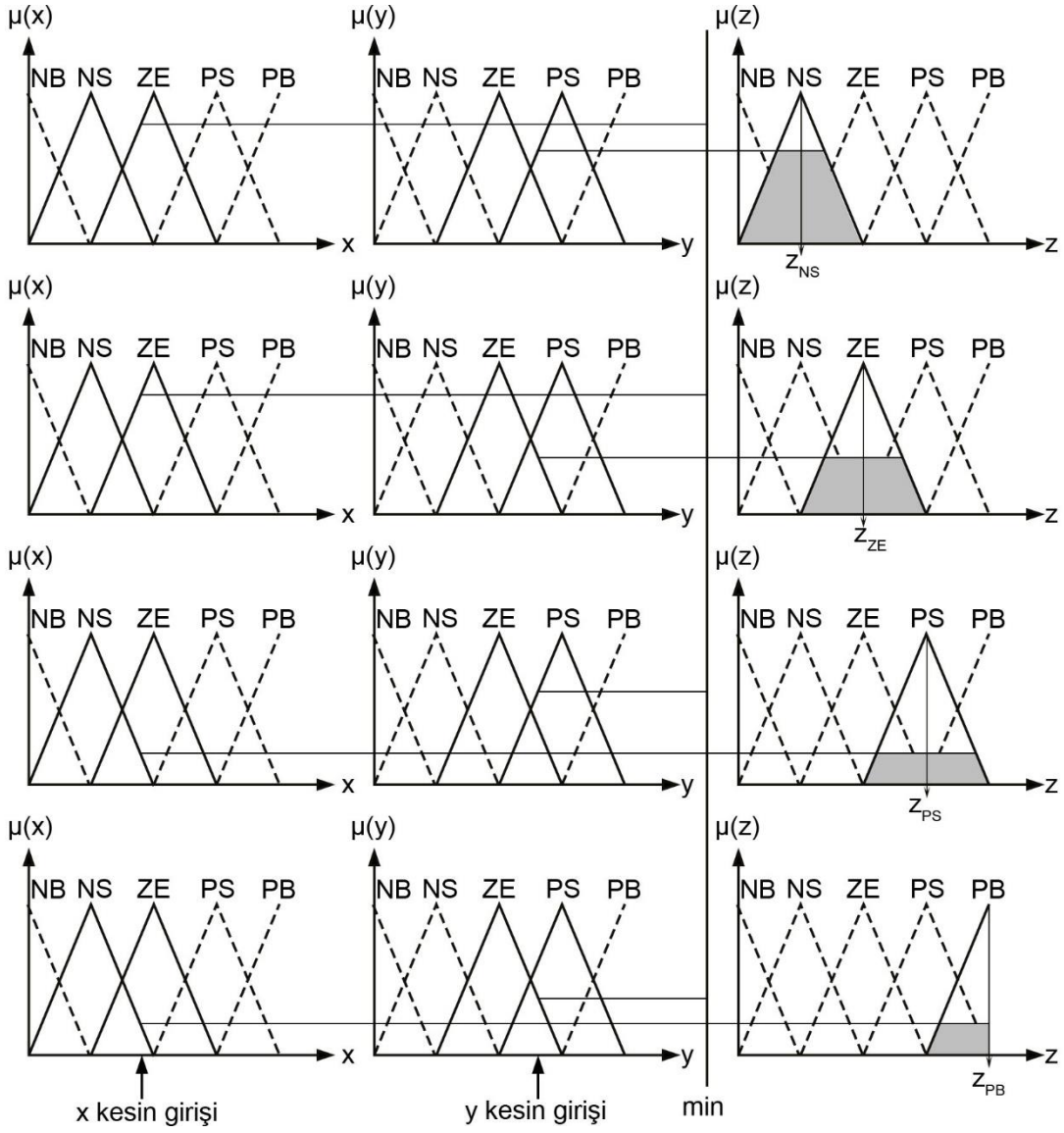
alma işlemi uygulanmaktadır. Bilgi tabanında aşağıda verilen kuralların bulunması ve giriş değişkenleri bulanık değerlerinin Şekil 1.22'de verildiği gibi olması durumunda kural işleme biriminin bulanık çıkışları elde etmesi Şekil 1.23.'de verildiği gibi olur (Çakmak, 2012).

KURAL 1: Eğer x ZE ve y PS ise z NS

KURAL 2: Eğer x ZE ve y ZE ise z ZE

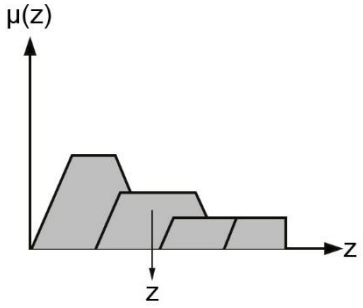
KURAL 3: Eğer x NS ve y PS ise z PS

KURAL 4: Eğer x NS ve y ZE ise z PB



Şekil 1.23. Karar verme biriminin kurallar bilgi tabanındaki kuralları işletmesi

Bulanık mantık denetleyicinin son birimi olan durulaştırıcı z çıkış değişkeninin bulanık değerlerini alarak kesin bir değer üretir. Durulaştırma işlemi için kullanılan birçok yöntem mevcuttur (Mandal, 2006). Bu tez çalışmasında durulaştırma işlemi için alanların merkezi yöntemi kullanılmıştır (Altaş, 1999) Şekil 1.24'de alanların merkezi yönteminin uygulanışı gösterilmiştir.



Şekil 1.24. Bulanık çıkış değişkeninin durulaştırılması

Alanların merkezi yöntemi ile z değişkeninin durulaştırılmasına ait matematiksel ifade (1.26) denkleminde verilmiştir.

$$z = \frac{\mu_{NS}(z) \times z_{NS} + \mu_{ZE}(z) \times z_{ZE} + \mu_{PS}(z) \times z_{PS} + \mu_{PB}(z) \times z_{PB}}{\mu_{NS}(z) + \mu_{ZE}(z) + \mu_{PS}(z) + \mu_{PB}(z)} \quad (1.26)$$

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geleneksel MPPT yöntemleri birden fazla maksimum güç noktasının oluştuğu kısmi gölgelenme koşullarında genellikle başarısız olduklarından literatürde karma veya esnek hesaplamaya dayalı algoritmalar önerilmiştir.

Saranrom ve ark. (2011), PV dizideki panellerde bütünleşik DA-DA dönüştürücülerin kullanılması durumunda kısmi gölgelenme etkisinin azaltılacağını ve genel MPP noktasının izlenmesine nazaran daha iyi bir başarım elde edilebileceğini yaptıkları benzetim modelleri ile göstermişlerdir. Parlak ve Can (2012), PV dizi çıkışına bağlanan bir kondansatörün açık devre gerilimine şarj olması süresince PV dizi güç – gerilim karakteristiğinin elde edilebileceğini ve böylece genel MPP noktasının tespit edilebildiğini MATLAB/Simulink benzetim ortamında göstermişlerdir. Shah ve Chudamani (2012), şebeke bağlantılı PV dizilerin kısmi gölgelenmesi durumunda maksimum güç noktası takibi yapabilen bulanık mantık tabanlı bir algoritma önermişlerdir. Sheraz ve ark. (2012), diferansiyel gelişim ve yapay sinir ağları yöntemlerini birlikte kullanan karma bir algoritma geliştirmişlerdir. Kabir ve ark. (2012) genel MPP noktasının takibi için değiştir ve gözle, artımlı iletkenlik ve açık devre gerilimi oranı yöntemlerini birlikte kullanan karma bir algoritma önermişlerdir. Kotti ve ark. (2012), PV dizi gerilimini periyodik olarak tarayarak genel MPP noktasına karşılık gelen gerilimi bulan ve dizi gerilimini bu değere ayarlayan bir çalışma yapmışlardır. Taheri ve ark. (2012), diferansiyel gelişim optimizasyonu yöntemi ile geliştirdikleri algoritmayı geleneksel algoritmalar ile karşılaştırmış ve yükseltici tip DA-DA dönüştürücü üzerinden şebekeye bağlı bir PV sisteminde test etmişlerdir. Daraban ve ark. (2013), kısmi gölgelenme şartlarında genetik algoritma tabanlı bir teknik geliştirmiş ve genel MPP noktasının izlenebildiğini oluşturdukları benzetim modelleri ile göstermişlerdir. Kashif ve ark. (2013), şebeke bağlantılı fotovoltaik dizilerin kısmi gölgelenmesi koşullarında en büyük güç noktasını takip etmek için değişken adımlı bir gerilim tarama algoritması önermişlerdir. Joseph ve ark. (2013), değiştir ve gözle algoritması ile kontrol edilen bir PV dizinin kısmi gölgelenme koşullarındaki davranışını incelemişlerdir. Ishaque ve ark. (2013) ve Jumpasri ve ark. (2014) parçacık sürü algoritmasına dayalı bir teknik geliştirmişlerdir.

Chen ve ark. (2014), PV dizinin kısmi gölgelenme altında olup olmadığını belirlemek için panel gerilimlerini ayrı ayrı ölçen ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması sonucunda genel MPP noktasının aranmasına karar veren bir algoritma önermişlerdir. Salam ve ark. (2014) 6 esnek hesaplama tabanlı algoritmanın başarımlarını karşılaştırarak her birinin güçlü ve zayıf olduğu yönleri belirleyen bir çalışma yapmışlardır.

Hu ve ark. (2014), fotovoltaik dizinin termal kamera ile izlenmesi ve kameradan alınan görüntülerden yola çıkarak genel MPP noktasının yerini bulan bir tekniği öne sürmüşlerdir. Veerasamy ve ark. (2014), PV dizinin ani akım değişimlerinde tetiklenen akım tarama yöntemi ile genel MPP noktasının yerini yaklaşık olarak tespit eden bir teknik geliştirmişlerdir. Hashim ve ark. (2014), şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemlerin genel MPP noktasını takip edebilen genetik algoritma tabanlı bir teknik geliştirerek 18 iterasyonda genel MPP noktasının bu algoritma ile bulunduğunu benzetim modeli ile göstermişlerdir. Abdulkadir ve Yatim (2014), parçacık sürü optimizasyonu ve artımlı iletkenlik algoritmalarını birlikte kullanarak bir karma algoritma önermişlerdir. Safarudin ve ark. (2014), ateşböceği algoritmasını kullanan bir algoritma geliştirmişlerdir.

Tey ve ark. (2014) ve Cipriani ve ark. (2015), artımlı iletkenlik algoritmasının geliştirilmiş bir şekli olan bir yöntem önermiş ve yaptıkları benzetim modelleri ve deneysel çalışmayla önerdikleri algoritmanın kısmi gölgelenme durumlarında başarılı bir şekilde genel MPP noktasını izleyebildiğini göstermişlerdir.

Sundareswaran ve ark. (2015), yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak en büyük güç noktasının izlenmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Seyedmahmoudian ve ark. (2015), diferansiyel gelişim ve parçacık sürü algoritmalarını birlikte kullanan karma bir algoritma geliştirmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde fotovoltaik dizilerin kısmi gölgelenmesi durumunda maksimum güç noktası takibi yapabilen bir maksimum güç noktası algoritmasının geliştirilmesi için yapılan çalışmalar anlatılacaktır. Geliştirilen algoritmanın MATLAB/Simulink programında benzetimi yapılacak ve değişik gölgelenme ve/veya ortam koşullarındaki başarımı ölçülecektir.

MPPT algoritmalarının benzetim ortamında başarımlarının ölçülebilmesi için öncelikle PV sistemindeki bileşenlerin modellenmesi gerekir. Şebeke bağlantılı bir sistem için bu bileşenler PV panel veya dizi, DA – DA dönüştürücü, evirici ve şebekedir. Bu nedenle, geliştirilen algoritma tanıtılmadan önce bir PV sistemin bileşenlerinin modellenmesi hakkında bilgi verilecek ve bu konuda yapılan çalışmalar anlatılacaktır. Ardından geliştirilen algoritma tanıtılacak ve Simulink modeli oluşturulacak ve benzetim ortamında değişik ortam koşullarındaki davranışı incelenecektir.

3.1.1. PV dizinin modellenmesi ve karakteristiklerinin elde edilmesi

Bu tez çalışmasındaki benzetimlerde 4 kol ve her kolunda 7 seri bağlı Kyocera KD325GX-LFB PV paneli bulunan bir PV dizi kullanılmıştır. Simulink PV Array bileşeninin özellikler sayfasından alınan Kyocera KD325GX-LFB panelinin elektriksel özellikleri ve eşdeğer devre parametreleri, sırasıyla, Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.‘de verilmiştir. Aynı panelin elektriksel ve mekaniksel özelliklerini içeren veri sayfası ise EK 1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. STC Şartlarında Kyocera KD325GX-LFB PV panelinin elektriksel özellikleri

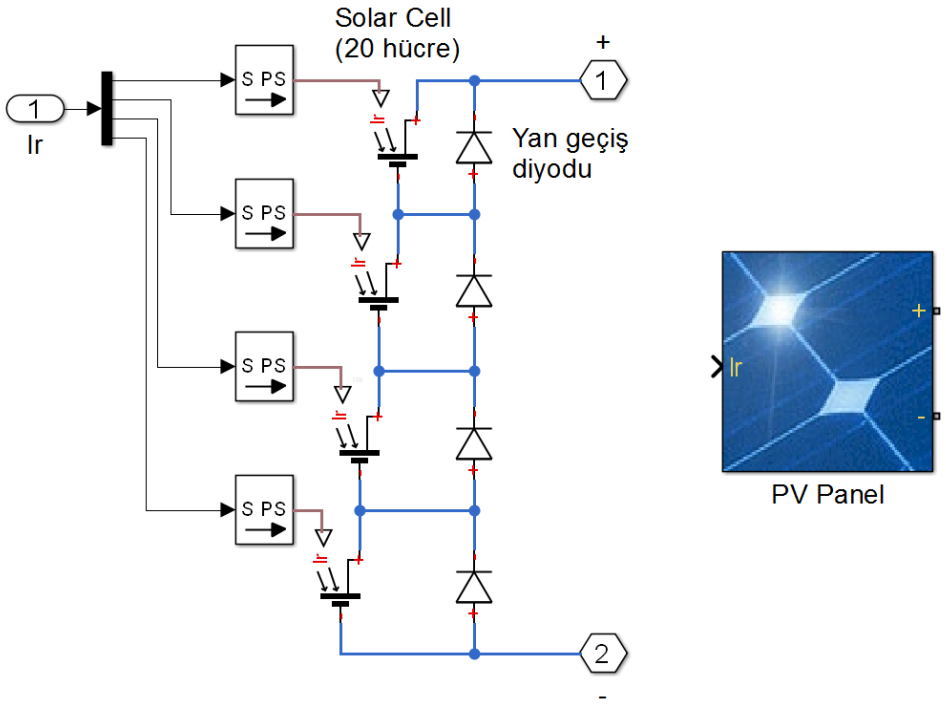
Maksimum çıkış gücü, P_{max}	325.221 W
Açık devre gerilimi, V_{OC}	49.7 V
Kısa devre akımı, I_{SC}	8.69 A
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{MPP}	40.3 V
Maksimum güç noktasındaki akım, I_{MPP}	8.07 A
Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı	-0.37 %/^{0}C
Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı	0.041001
Seri bağlı hücre sayısı	80

Çizelge 3.2. Kyocera KD325GX-LFB PV panelin eşdeğer devre parametreleri

Foton akımı, IL	8.7062 A
Diyot doyum akımı, I0	4.0077×10^{-10} A
Diyot idealite faktörü	1.017
Paralel direnç, R_P	230.342 Ω
Seri direnç, R_S	0.40174 Ω

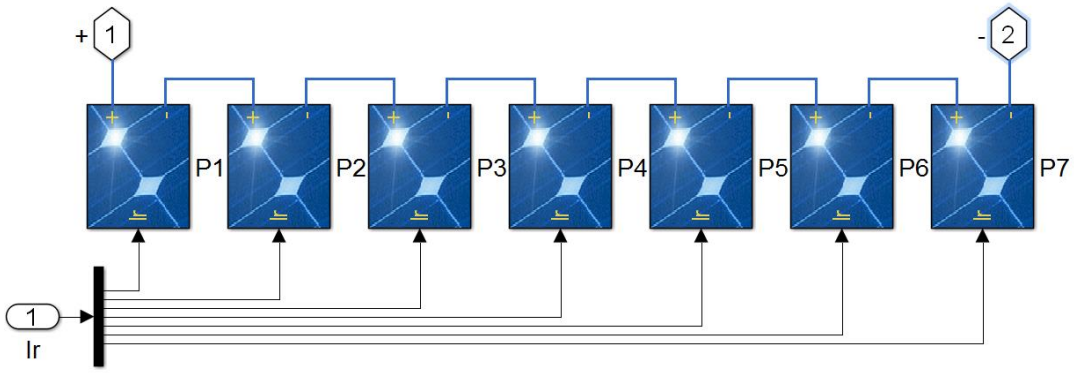
3.1.2. PV dizi benzetim modeli

PV panel benzetim modelinin oluşturulmasında temel birim olarak, Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, Simulink Simscape kütüphanesinde bulunan Solar Cell bileşeni kullanılmıştır. Özellikleri Çizelge 3.1.'de verilen paneli temsil etmek üzere bu bloklardan 4 tanesi seri bağlanmış ve her bir bloğun seri bağlı hücre sayısı parametresi 20 olarak ayarlanmıştır. Ayrıca her bloğun çıkış uçları arasına birer yan geçiş diyotu bağlandıktan sonra benzetim modeli altsistem haline getirilmiştir.



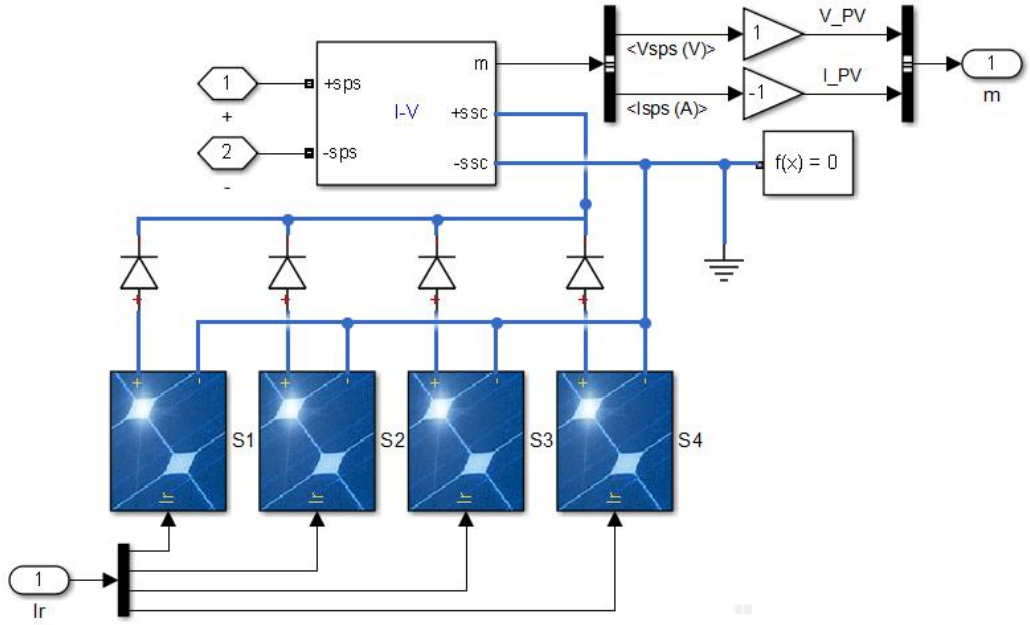
Şekil 3.1. Kyocera KD325GX-LFB PV panelinin Simulink benzetim modeli

PV dizinin bir kolunu oluşturmak için, Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi, 7 adet PV panel altsistemi birbirine seri olarak bağlanmış ve PV dizinin bir paralel kolu elde edilmiştir.



Şekil 3.2. PV dizinin bir kolunun benzetim modeli

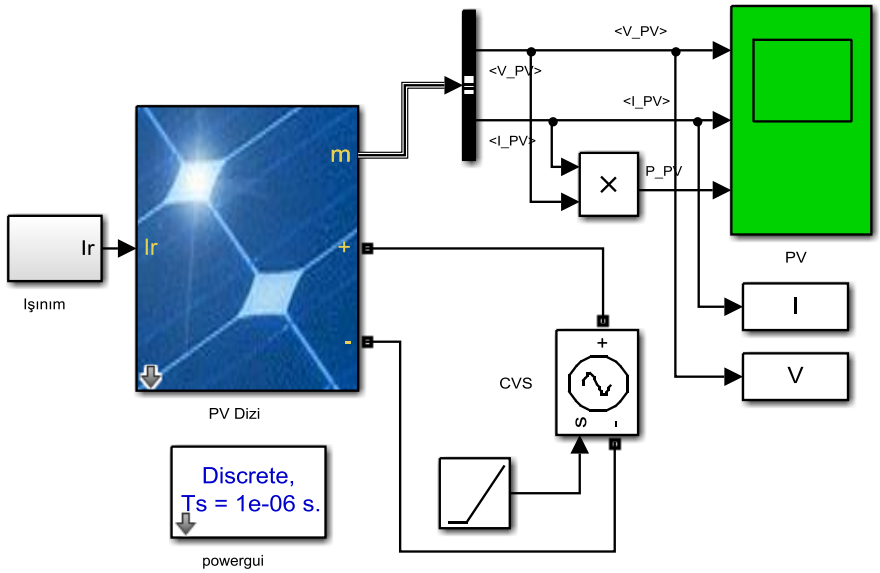
Şekil 3.2.'de verilen paralel kol (String – S) benzetim modeli altsistem haline getirildikten sonra, Şekil 3.3.'de gösterildiği gibi, her kola bir tıkama diyotu yerleştirildikten sonra birbirine paralel olarak bağlanmış ve böylece PV dizi oluşturulmuştur.



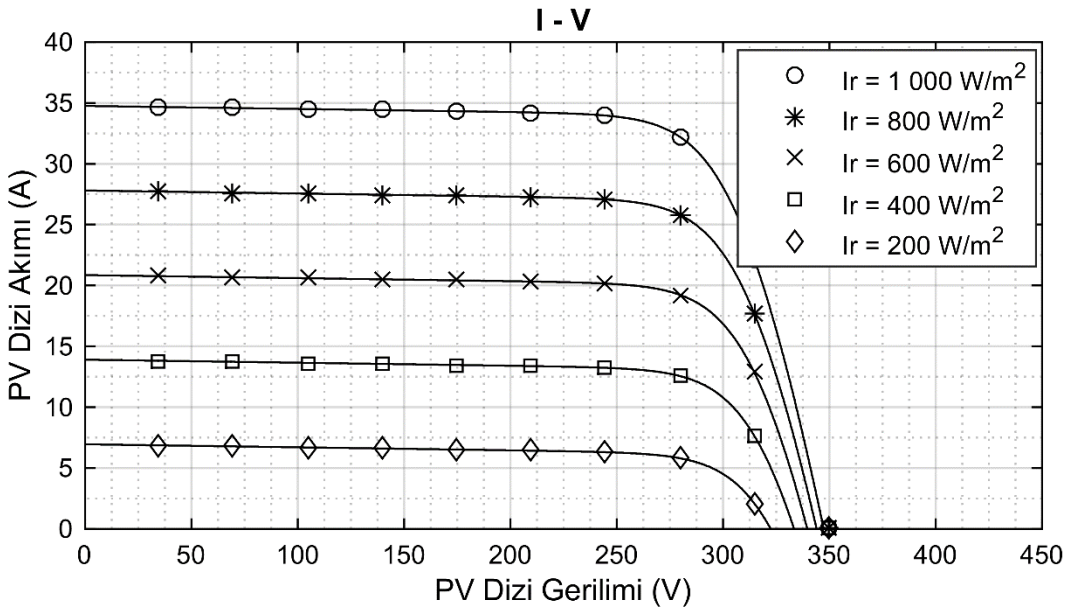
Şekil 3.3. PV dizi kolların paralel bağlantısı

3.1.3. Panellerin aynı ışınımı altında olması durumunda PV dizi karakteristikleri

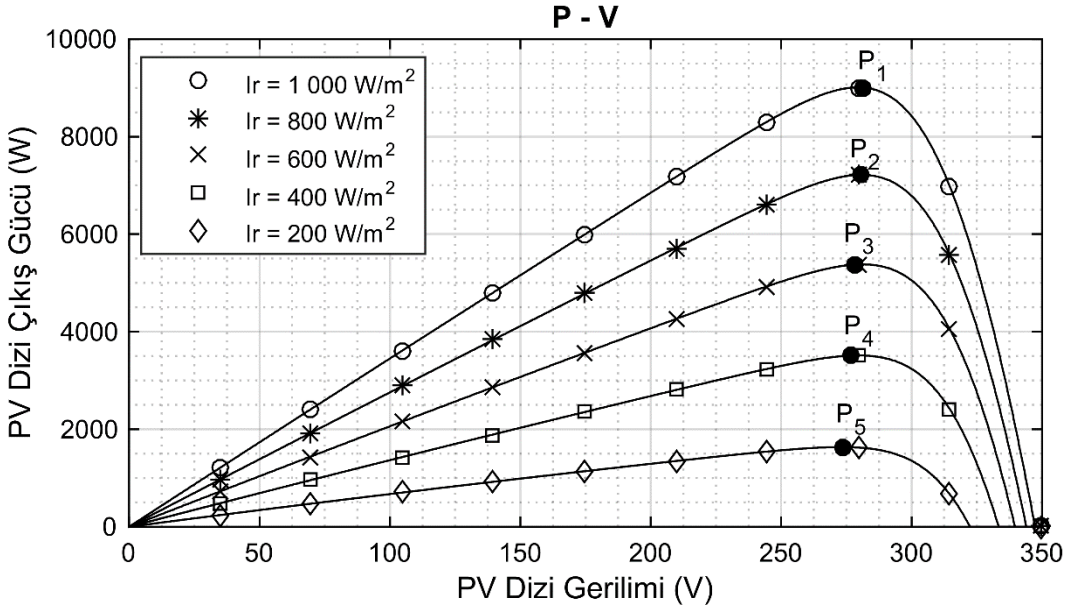
PV dizinin karakteristiklerini elde etmek için Şekil 3.4'de verilen benzetim modeli oluşturulmuştur. PV dizi çıkış uçları arasına bir elektronik yük bağlanmıştır. Elektronik yükün gerilimi bir rampa şeklinde 0'dan dizinin açık devre gerilimine kadar adım adım artırılmış ve her adımda PV dizi gerilimi ve akımı ölçülerek MATLAB çalışma ortamına aktarılmıştır. Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve değişik ışınım değerleri için elde edilen PV dizi I – V ve P – V karakteristik eğrileri, sırasıyla, Şekil 3.5. ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4. PV dizi karakteristiklerinin elde edilmesi için oluşturulan benzetim modeli



Şekil 3.5. Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığında değişik ışınımlar için PV dizinin I – V karakteristik eğrileri



Şekil 3.6. Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığında değişik ışınımlar için PV dizinin P – V karakteristik eğrileri

Benzetimi yapılan PV dizinin STC şartlarındaki gerçek ve benzetimle bulunan elektriksel özellikleri Çizelge 3.3.'de birlikte verilmiştir. 95 W olarak ölçülen tıkama diyotlarındaki kayıplar da dikkate alındığında PV dizinin çok yüksek bir doğrulukta benzetiminin yapılabildiği sonucuna varılır.

Çizelge 3.3. Benzetimi yapılan PV dizinin STC şartlarındaki gerçek ve benzetimle bulunan elektriksel özellikleri

Elektriksel Özellik	Gerçek Değer	Benzetimle Bulunan Değer
En büyük çıkış gücü, P_{max}	9 106 W	9 010 W
Açık devre gerilimi, V_{OC}	347.9 V	347.9 V
Kısa devre akımı, I_{SC}	34.76 A	34.75 A
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{MPP}	282.1 V	280 V
Maksimum güç noktasındaki akım, I_{MPP}	32.28 A	32.17 A

PV dizideki tüm panellerin aynı ışınım altında olduğu durumda değişik ışınımlar için en büyük güç noktalarında (P_1..P_5) benzetimle bulunan güç değerleri Çizelge 3.4.'de verildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. Değişik ışınım değerlerinde PV dizinin en büyük çıkış gücü noktalarındaki güç değerleri

En Büyük Güç Noktası	Işınım (W/m^2)	PV Dizi Çıkış Gücü (W)
P_1	1 000	9 010
P_2	800	7 216
P_3	600	5 381
P_4	400	3 513
P_5	200	1 634

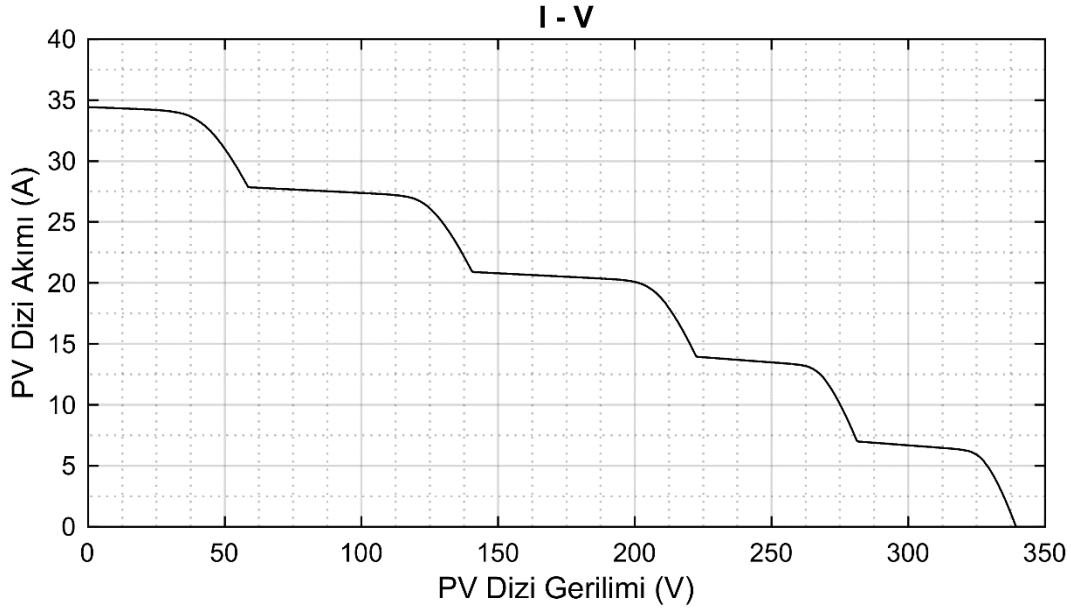
3.1.4. PV dizinin kısmi gölgelenmesi durumunda karakteristik eğrilerinin elde edilmesi

PV dizinin kısmi gölgelenmesi 2 farklı gölgelenme durumu için ele alınmıştır: Yatay gölgelenme ve çapraz gölgelenme. Yatay gölgelenmede PV dizideki modüllere Çizelge 3.5.'de verilen ışınımlar uygulanmıştır. Verilen çizelgede P1..P7 panelleri ve S1..S4 paralel kolları ifade etmektedir. Örneğin, çizelgede gölgeli olarak gösterilen değerler S3 paralel kolunda bulunan P4 panelinin modüllerine uygulanan ışınımları göstermektedir.

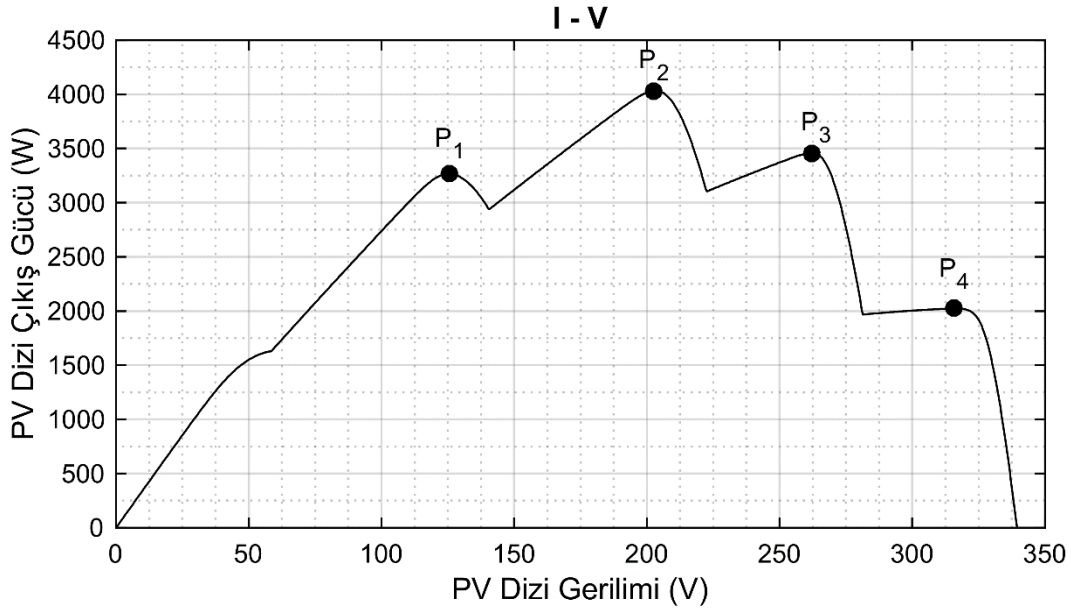
Çizelge 3.5. PV dizinin yatay gölgelenmesine durumundan modüllerin ışınımları

	S1	S2	S3	S4
P1	1 000	1 000	1 000	1 000
	1 000	1 000	1 000	1 000
	1 000	1 000	1 000	1 000
	1 000	1 000	1 000	1 000
P2	1 000	1 000	1 000	1 000
	1 000	1 000	1 000	1 000
	1 000	1 000	1 000	1 000
	1 000	1 000	1 000	1 000
P3	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
P4	800	800	800	800
	800	800	800	800
	600	600	600	600
	600	600	600	600
P5	600	600	600	600
	600	600	600	600
	600	600	600	600
	600	600	600	600
P6	400	400	400	400
	400	400	400	400
	400	400	400	400
	400	400	400	400
P7	200	200	200	200
	200	200	200	200
	200	200	200	200
	200	200	200	200

PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda I – V ve P – V karakteristik eğrileri 25 ^{0}C sabit hücre sıcaklığında, sırasıyla, Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de verildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.7. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda I – V eğrisi



Şekil 3.8. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda P – V eğrisi

Şekil 3.8.'deki P – V eğrisinden görüleceği üzere yatay gölgelenme durumunda güç eğrisi üzerinde 4 tane (P_1, P_2, P_3 ve P_4) en büyük güç noktası oluşur. Bu noktalardan P_1, P_3 ve P_4 yerel en büyük güç noktaları iken P_2 noktası genel en büyük güç noktasıdır. Bu noktalardaki güç değerleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda oluşan en büyük güç noktalarındaki güç değerleri

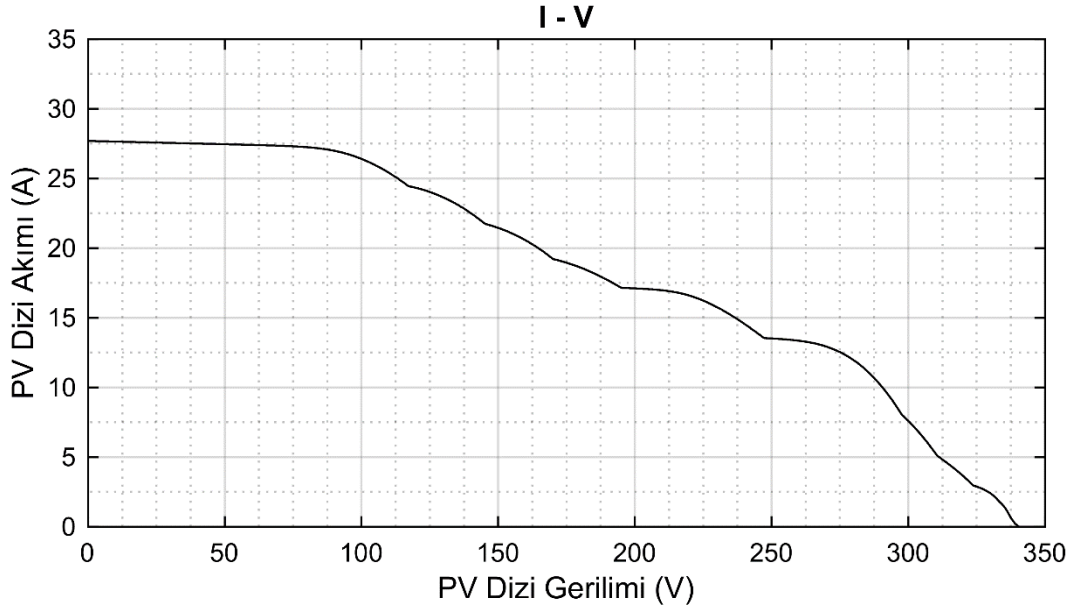
En Büyük Güç Noktası	PV Dizi Çıkış Gücü (W)
P1	3 266
P2	4 033
P3	3 459
P4	2 023

PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda modüllere uygulanan ışınımlar Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

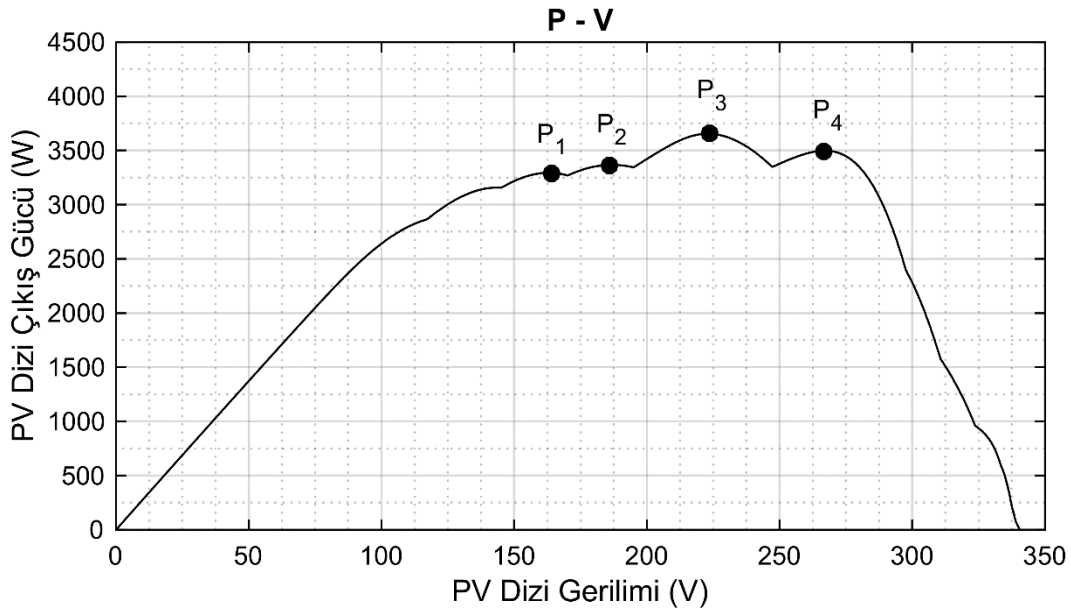
Çizelge 3.7. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda modüllerin ışınım değerleri

	S1	S2	S3	S4
P1	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
P2	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
P3	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
	800	800	800	800
P4	500	800	800	800
	500	800	800	800
	500	500	800	800
	500	500	800	800
P5	500	500	500	800
	500	500	500	800
	500	500	500	500
	500	500	500	500
P6	500	500	500	500
	100	500	500	500
	100	500	500	500
	100	500	500	500
P7	100	500	500	500
	100	100	500	500
	100	100	100	500
	100	100	100	100

25 ^{0}C sabit hücre sıcaklığında çapraz gölgelenmesi durumunda PV dizinin I – V ve P – V karakteristik eğrileri, sırasıyla, Şekil 3.9. ve Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda I – V eğrisi



Şekil 3.10. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda P – V eğrisi

PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda P – V eğrisi üzerinde 4 tane (P_1..P_4) en büyük güç noktası oluşur. Bunlardan P_3 genel en büyük güç noktası iken diğerleri yerel güç noktalarıdır. En büyük güç noktalarında PV dizinin çıkış gücü değerleri Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

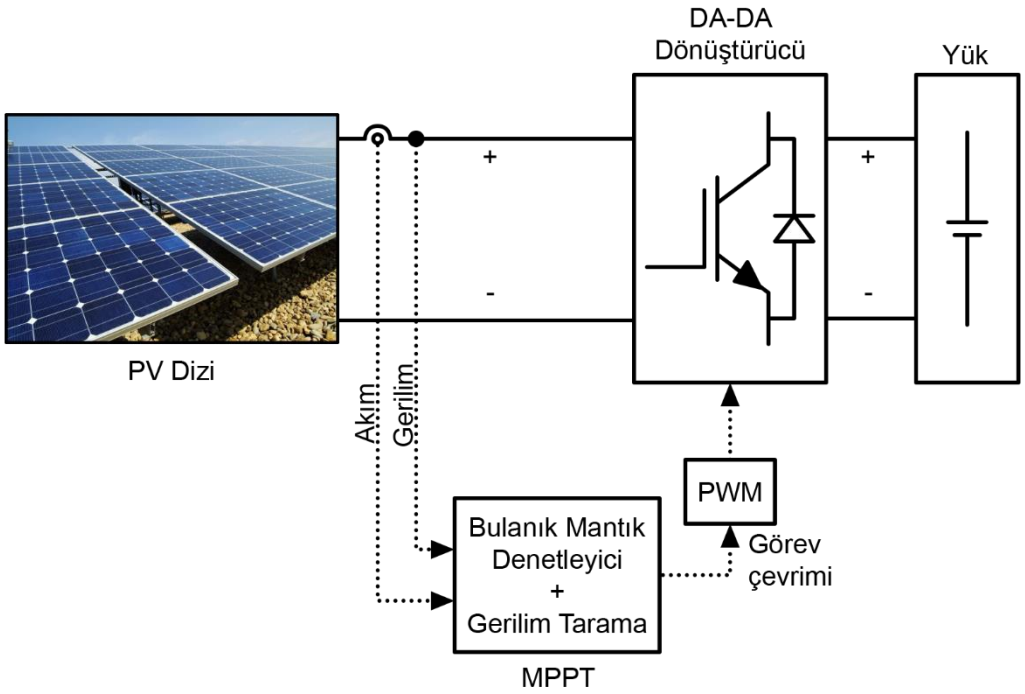
Çizelge 3.8. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda oluşan en büyük güç noktalarındaki güç değerleri

En Büyük Güç Noktası	PV Dizi Çıkış Gücü (W)
P1	3 294
P2	3 367
P3	3 654
P4	3 498

3.2. Yöntem

3.2.1. Geliştirilen en büyük güç noktası izleme algoritması ve benzetimi

Bu tez çalışmasında bir PV dizinin kısmi gölgelenmesi durumunda da en büyük güç noktası takibi yapabilen bulanık mantık denetleyici ve gerilim tarama yöntemlerini birlikte kullanan bir MPPT algoritması tasarlanmış ve benzetimi yapılmıştır. Geliştirilen algoritmanın bir PV sisteminde uygulanmasını gösteren blok şema Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Geliştirilen algoritmanın PV sisteminde uygulanması

Tasarlanan algoritmanın genel çalışma mantığı Şekil 3.11.'de verilen PV sistem kullanılarak şu şekilde açıklanabilir: PV dizinin uçlarından örneklenen akım

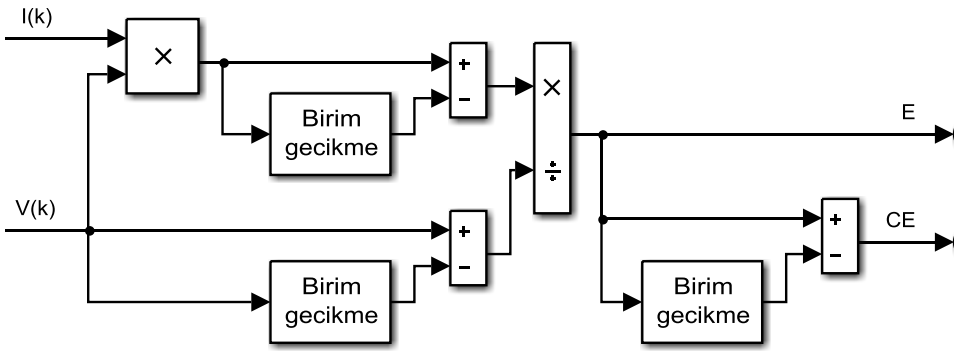
ve gerilim bilgilerini kullanan bulanık mantık denetleyici yükselten DA – DA dönüştürücünün elektronik anahtarına uygulanması gereken PWM işaretinin görev çevriminde yapılması gereken değişikliği belirler. Bu değişiklik PV dizi çıkış gücünü en büyük değerine getirmeye yöneliktir. Belirli zaman aralıklarında MPPT denetimi bulanık mantık denetleyiciden alınarak gerilim tarama birimine verilir. Bu birim ile PV dizi gerilimi DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işaretinin görev çevrimi aracılığıyla açık devre geriliminden belirli bir gerilime kadar adım adım düşürülerek taranır. Tarama işleminin sonunda PV dizinin en büyük çıkış gücünü ürettiği gerilim değeri belirlenir. PV dizi gerilimi belirlenen değere ayarlandıktan sonra MPPT denetimi yeniden bulanık mantık denetleyiciye verilerek MPP noktasını daha hassas bir şekilde ayarlaması sağlanır. Bu sayede, PV dizinin yerel bir MPP noktasına takılıp kalması engellenerek sistemin genel MPP noktasında çalışması sağlanır.

3.2.2. Bulanık mantık denetleyici tasarımı

Bulanık mantık denetleyicinin girişleri (3.1) ve (3.2) denklemleri ile tanımlanan PV dizinin P – V eğrisinin eğimi E(k) ve eğimindeki değişim CE(k) değişkenleridir. Çıkış değişkeni ise PWM işaretinin görev çevriminde (D) yapılacak değişiklik miktarıdır. Bulanık mantık denetleyici girişlerinin normalize edilmiş PV dizi akımı ve gerilimi bilgilerinden elde edilmesi Şekil 3.12.'deki şemada gösterilmiştir.

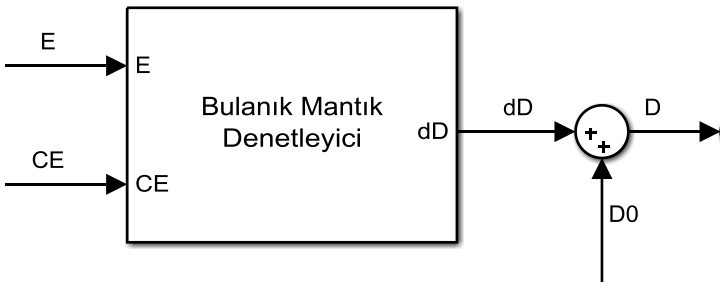
$$E(k) = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \tag{3.1}$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \tag{3.2}$$



Şekil 3.12. Bulanık mantık denetleyici giriş değişkenlerinin elde edilmesi

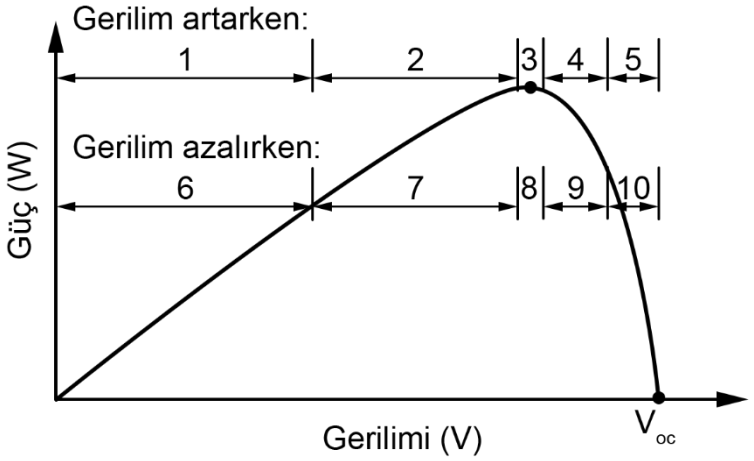
E ve CE değişkenleri de gösterildiği gibi bulanık mantık denetleyicisine uygulanmakta ve çıkışta PWM işaretinin görev çevriminde yapılacak değişiklik miktarı (dD) elde edilmektedir. Elde edilen bu değer bir başlangıç değeriyle (D0) toplandıktan sonra PWM işaretinin görev çevrimi bulunmaktadır.



Şekil 3.13. PWM işaretinin görev çevriminin elde edilmesi

E ve CE giriş değişkenlerinin değer aralığını belirlemek için bir benzetim modeli aracılığıyla PV dizi gerilimi açık devre geriliminden başlayarak adım adım düşürülmüş ve değişkenlerin aldığı değerler ölçülmüştür. Elde edilen veriler ile E değişkenin [-10, 1] ve CE değişkeninin [-1, 1] aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Bulanık mantık denetleyici kurallar tablosunu oluşturmak için PV dizi güç – gerilim eğrisi Şekil 3.14'de gösterildiği 10 farklı bölgeye ayrılmış ve her bir bölgede giriş değişkenlerinin durumu incelendikten sonra PWM işaretinin görev çevriminde yapılması gereken değişiklik miktarı belirlenmiştir. Çalışma bölgelerinde giriş değişkenlerinin değerleri ve görev çevriminde yapılması gereken değişiklikler 'de verilmiştir.



Şekil 3.14. P – V eğrisinin farklı çalışma bölgeleri

Çizelge 3.9. P – V eğrisinin çalışma bölgeleri ve görev çevriminde yapılması gereken değişiklikler

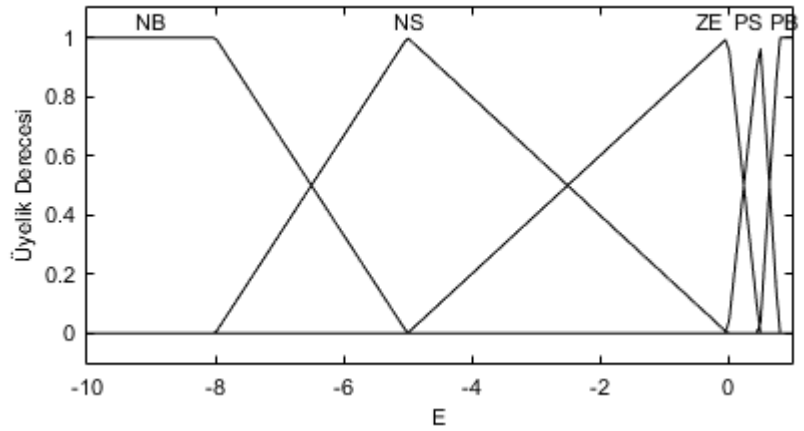
Değişken	Çalışma Bölgesi									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	+	+	0	-	-	+	+	0	-	-
CE	-	-	0	-	-	+	+	0	+	+
Vpv	Çok artırılmalı	Az artırılmalı	Sabit	Az azaltılmalı	Çok azaltılmalı	Çok artırılmalı	Az artırılmalı	Sabit	Az azaltılmalı	Çok azaltılmalı
D	Çok azaltılmalı	Az azaltılmalı	Sabit	Az artırılmalı	Çok artırılmalı	Çok azaltılmalı	Az azaltılmalı	Sabit	Az artırılmalı	Çok artırılmalı

Bulanık mantık denetleyici giriş değişkenleri için 5 üyelik fonksiyonu tanımlanması uygun görülmüştür. Bunlar; pozitif büyük (PB), pozitif küçük (PS), sıfır (ZE), negatif küçük (NS) ve negatif büyük (NB) fonksiyonlarıdır. PB ve NB üyelik fonksiyonları yamuk diğerleri üçgen üyelik fonksiyonları olarak tanımlanmıştır. Çizelge 3.9.'daki tespitler ve yapılan birçok benzetim sonuçlarından sonra bulanık mantık denetleyici kurallar tablosunun Çizelge 3.10.'da verildiği gibi olmasına karar verilmiştir.

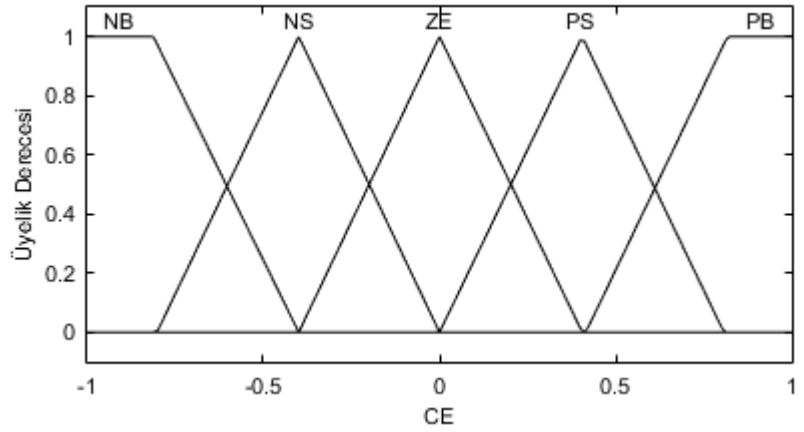
Çizelge 3.10. Bulanık mantık denetleyici kurallar tablosu

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

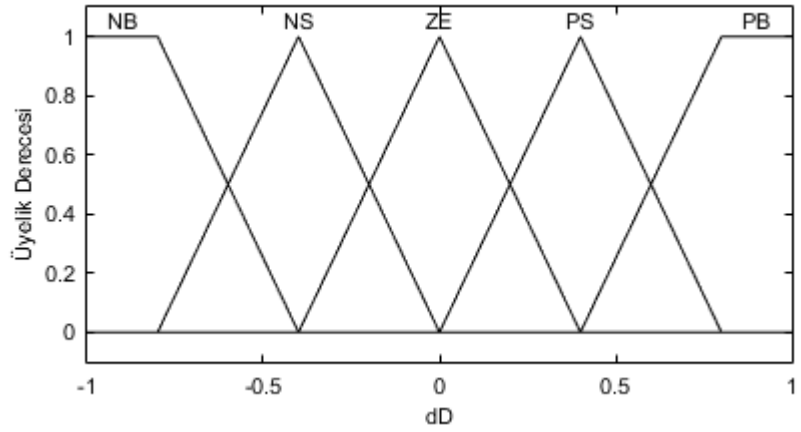
Bulanık mantık denetleyici giriş ve çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonları, sırasıyla, Şekil 3.15., Şekil 3.16. ve Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.15. Bulanık mantık denetleyici E giriş değişkeninin üyelik fonksiyonları



Şekil 3.16. Bulanık mantık denetleyici CE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonları



Şekil 3.17. Bulanık mantık denetleyici dD çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları

3.2.3. Gerilim tarama birimi

Giriş bölümünde anlatıldığı ve PV dizinin kısmi gölgelenmesine ait benzetimlerde gösterildiği üzere PV dizideki panellerden bazılarının diğerlerinden daha az ışınıma maruz kalmaları veya paneller arasındaki uyumsuzluk nedeniyle P – V eğrisi üzerinde birden fazla MPP noktası meydana gelir. Önceki kısımda tasarımı yapılan bulanık mantık denetleyici ise temel olarak dizinin açık devre gerilim değerinden başlayarak MPP noktasını aramaya başlar ve ilk bulduğu MPP noktasında durur. Bu nokta çoğunlukla yerel bir MPP noktasıdır ve PV diziden daha büyük güç alınabileceği halde dizinin daha küçük bir güç değerinde çalıştırılmasına neden olur.

Bu sorunun üstesinden gelmek için bu çalışmada bulanık mantık denetleyici ile birlikte çalışan bir gerilim tarama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemin uygulanması şu şekildedir: Periyodik olarak bulanık mantık denetleyici kapatılır ve PV dizi açık devre gerilimi ölçülür. Daha sonra PV dizi gerilimi açık devre geriliminden başlamak üzere belirli bir gerilime kadar adım adım düşürülür ve her adımda PV dizi çıkış gücü belirlenir. Belirlenen güçler karşılaştırılarak PV dizinin en büyük gücü ürettiği gerilim değeri yaklaşık olarak bulunur. Tarama işleminin bitiminde PV dizi gerilimi en büyük gücü ürettiği gerilime ayarlanır ve bulanık mantık denetleyici yeniden

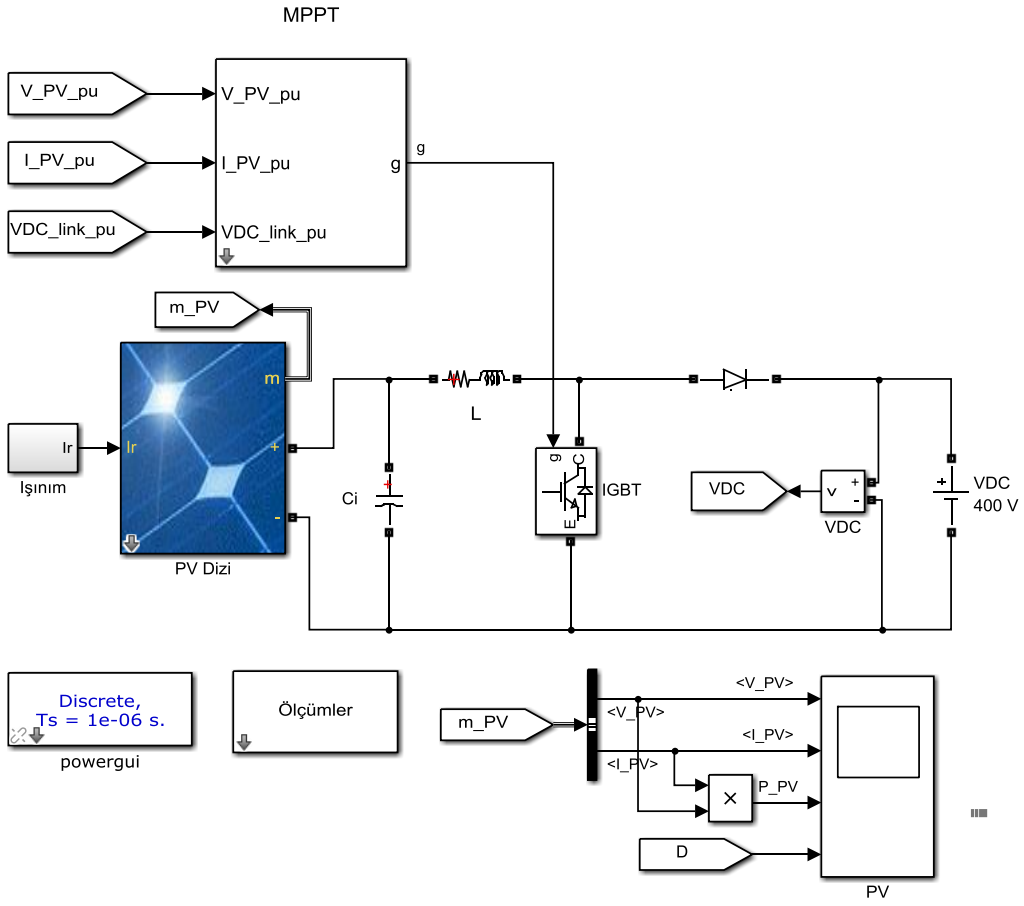
çalıştırılır. Bu yöntemde fazladan bir donanıma ihtiyaç duyulmaz. Yükselten tip DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işaretinin görev çevrimi ile gerilim tarama işlemi kolaylıkla yapılabilir. Önerilen yöntemde açık devre geriliminin ölçülmesi gerektiğinden bu esnada PV diziden güç alınamaz ancak DA – DA dönüştürücünün çıkışına bağlanacak yüksek değerli bir kondansatör ile yüke enerji kesintisiz olarak verilmeye devam edilebilir.

3.2.4. Geliştirilen algoritmanın benzetim modeli

Önerilen algoritmanın başarımını belirlemek için Şekil 3.18.'de verilen benzetim modeli oluşturulmuştur. Yük olarak DA gerilim kaynağı kullanılmıştır. Yükselten tip DA – DA dönüştürücünün C_i, L ve r_L (bobin iç direnci) elemanlarının değerleri, (1.14) ve (1.15) denklemleri yardımıyla Çizelge 3.11.'de verildiği gibi seçilmiştir. Dönüştürücüye uygulanan PWM taşıyıcı işaretinin frekansı 5 000 Hz olarak alınmıştır.

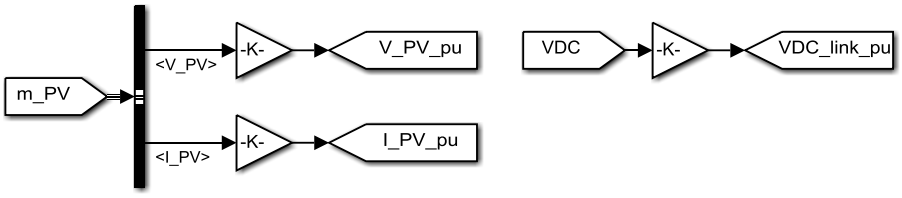
Çizelge 3.11. DA – DA dönüştürücü parametreleri

C_i	100 µF
L	5 mH
r_L	1 mΩ



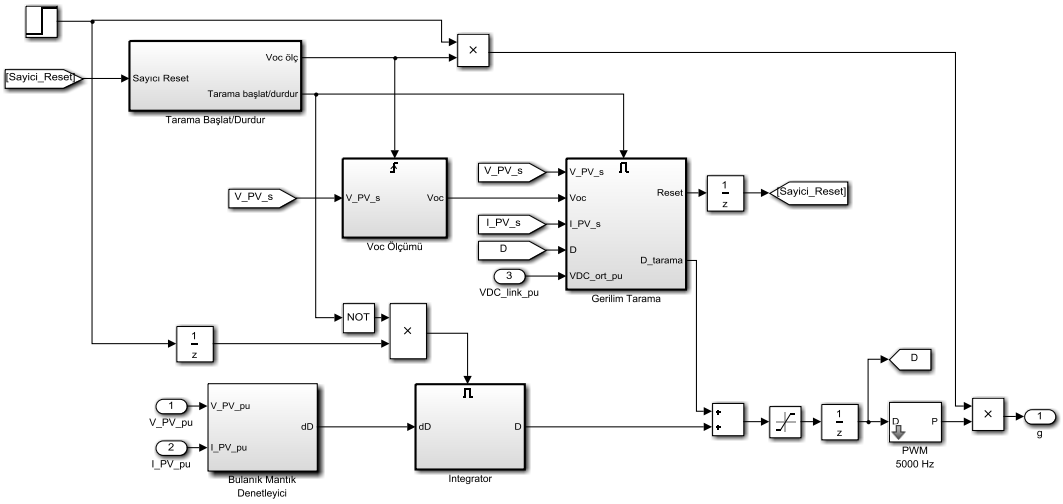
Şekil 3.18. Önerilen algoritmanın başarımını ölçmek için oluşturulan benzetim modeli

Şekil 3.18.'de Ölçümler altsisteminde MPPT biriminin girişleri olan elektriksel değişkenler Şekil 3.19.'da gösterildiği gibi normalize değerlere dönüştürülür. Normalizasyon birimleri olarak PV dizinin STC şartlarında MPP noktasındaki gerilim ve akım değerleri kullanılmıştır.



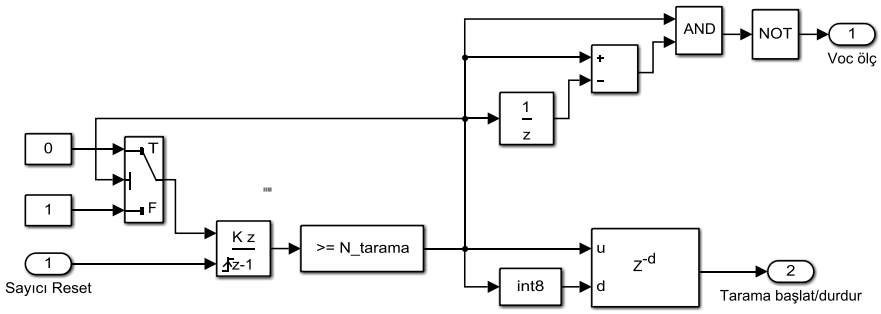
Şekil 3.19. MPPT biriminin giriş değişkenlerinin normalize değerlere dönüştürülmesi

Şekil 3.18.'deki MPPT altsisteminin modeli Şekil 3.20.'de verilmiştir.

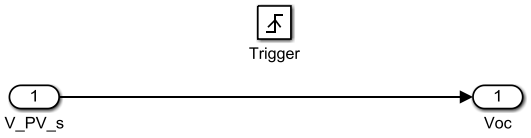


Şekil 3.20. MPPT altsistemi modeli

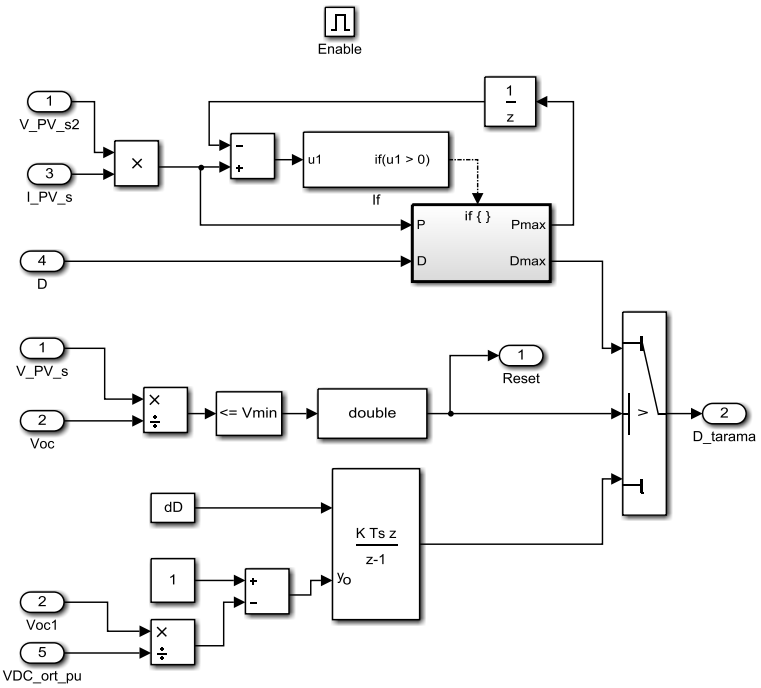
MPPT altsistemindeki Tarama Başlat/Durdur, Voc Ölçümü, Gerilim Tarama, Bulanık Mantık Denetleyici ve Integrator altsistemlerinin modelleri, sırasıyla, Şekil 3.21., Şekil 3.22., Şekil 3.23., Şekil 3.24. ve Şekil 3.25.'de verilmiştir.



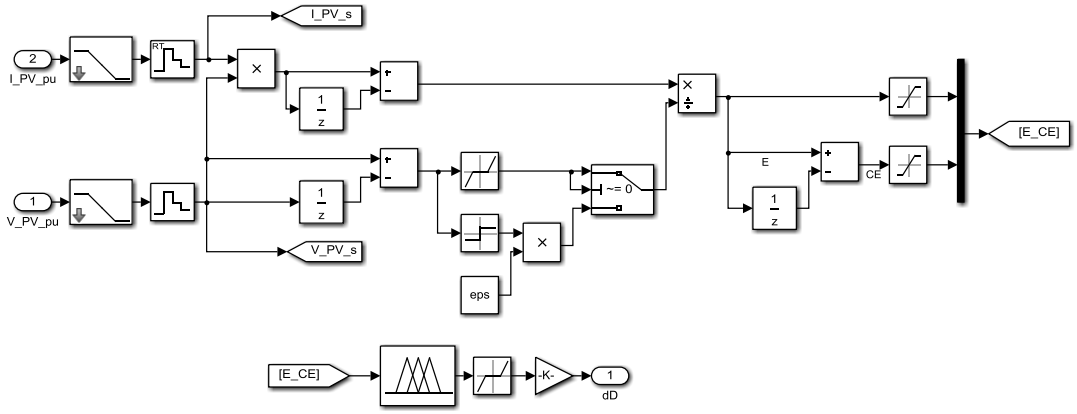
Şekil 3.21. Tarama Başlat/Durdur altsistemi modeli



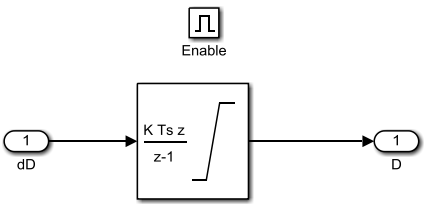
Şekil 3.22. Voc Ölçümü altsistem modeli



Şekil 3.23. Gerilim Tarama altsistemi modeli



Şekil 3.24. Bulanık Mantık Denetleyici altsistem modeli



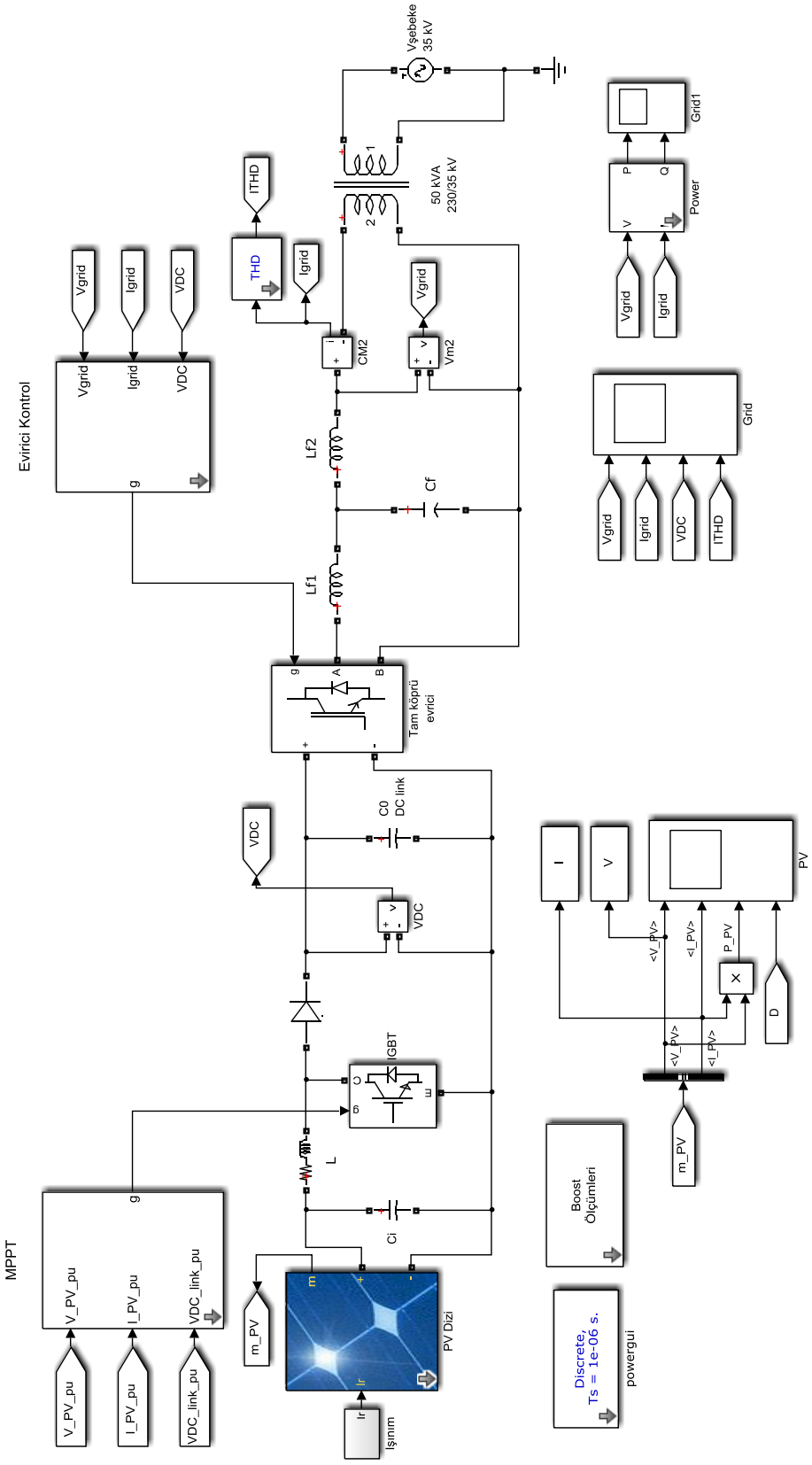
Şekil 3.25. İntegratör altsistemi modeli

3.2.5. Geliştirilen Algoritmanın Şebeke Bağlantılı PV Sisteminde Kullanılması

Şekil 3.26.'da geliştirilen algoritmanın şebeke bağlantılı bir PV sisteminde uygulanması gösterilmiştir. 10 mF olarak seçilen DA link kondansatörü DA – DA dönüştürücü ile bir fazlı evirici arasında bağlantı görevi görmektedir. MPPT birimi PV diziyi en büyük güç değerinde çalıştırırken evirici kontrol birimi hem DA link kondansatörü üzerindeki gerilimi sabit 400 V seviyesinde tutar hem de şebekeye aktarılan akımın şebeke gerilimi ile aynı fazda olmasını sağlar. Evirici çıkışına bağlanan LCL filtresi şebekeye aktarılan akımın harmoniklerini azaltmaya yarar ve parametreleri Çizelge 3.12.'de verildiği şekilde belirlenmiştir. Evirici kontrolü bu tezin konusu dışında olup ayrıntılı bilgi için ilgili kaynaklara başvurulabilir.

Çizelge 3.12. Evirici filtresinin parametreleri

Lf1	2 mH
Lf2	2 mH
C	1.5 µF



Şekil 3.26. Önerilen algoritmanın şebeke bağlantılı PV sisteminde uygulanması

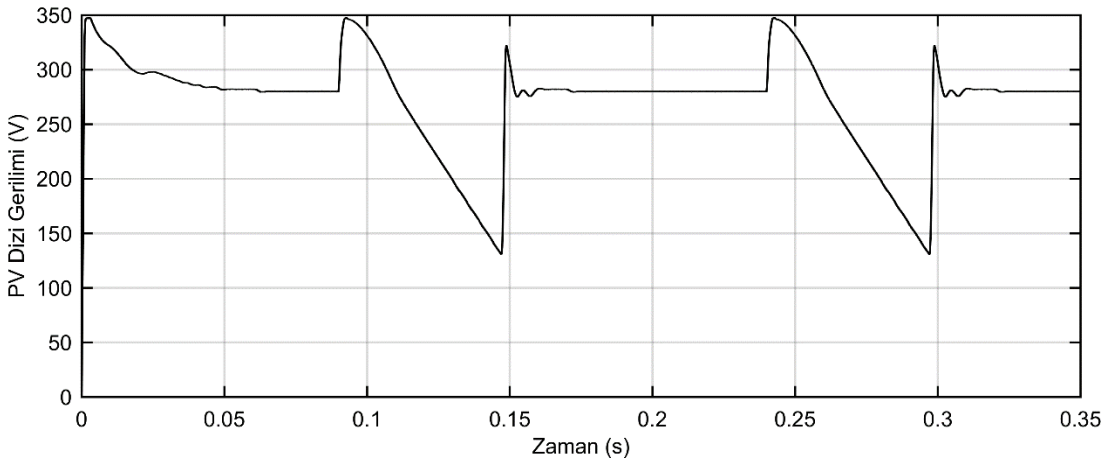
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde geliştirilen MPPT algoritmasının değişik atmosferik koşullar altındaki tepkisi Şekil 3.18. ve Şekil 3.26.'da verilen benzetim modelleri kullanılarak elde edilen sonuçlar incelenecektir. İnceleme panellerin eşit ışınım altında olduğu ve olmadığı durumlar için ayrı başlıklar altında yapılacaktır. Bölümün sonunda şebeke bağlantılı PV sistemdeki durum ele alınacaktır.

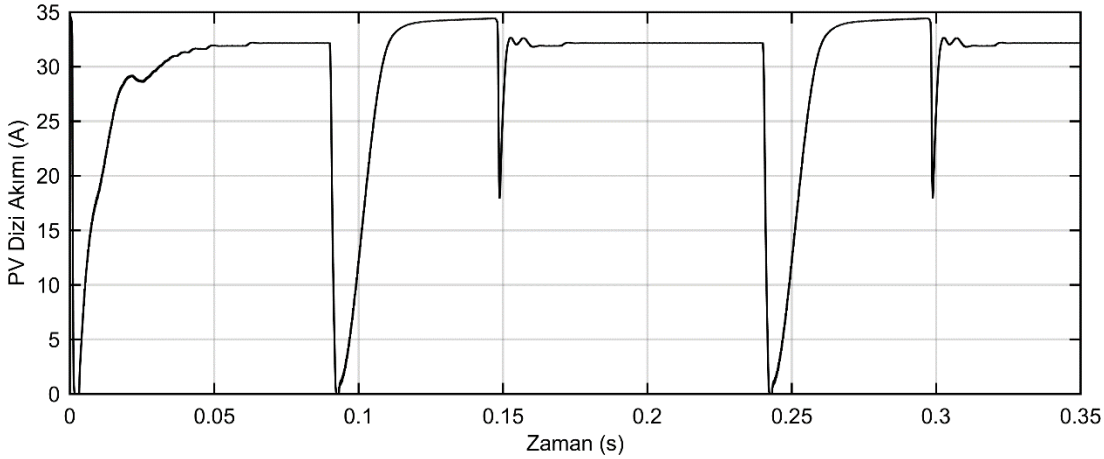
4.1. PV Dizideki Panellerin Aynı Işınım Altında Olması Durumu

4.1.1. Geliştirilen algoritmanın STC şartlarındaki tepkisi

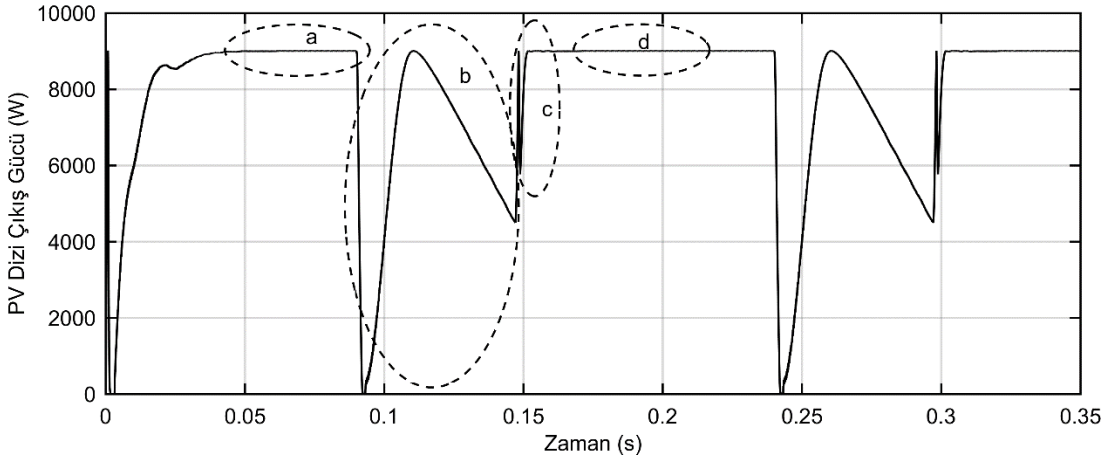
Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığında PV dizideki panellere 1 000 W/m^2 şiddetinde ışınım uygulanmıştır. Benzetim süresi 350 ms ve gerilim tarama periyodu 90 ms'ye ayarlanarak PV dizi uçlarındaki gerilim, akım ve güç büyüklüklerinin zamana göre değişimi, sırasıyla, Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.1. STC şartlarında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi

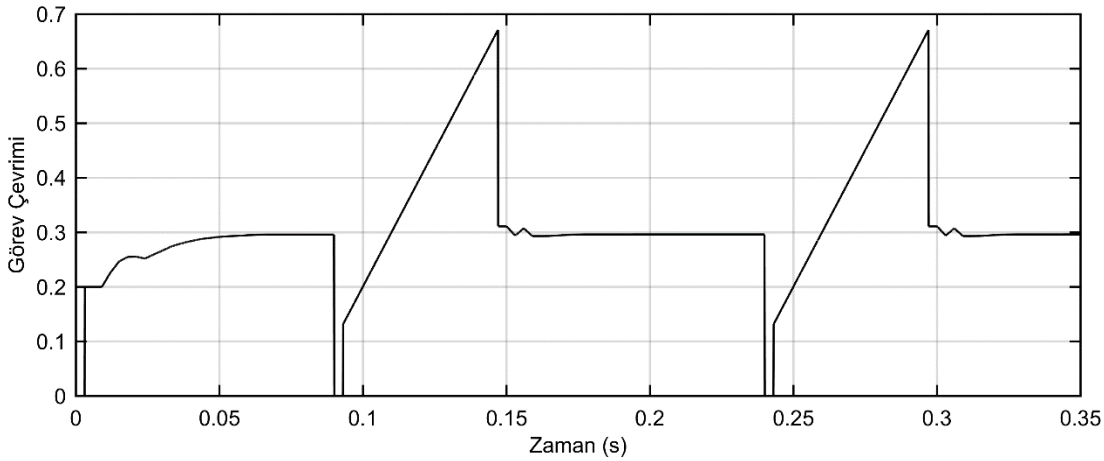


Şekil 4.2. STC şartlarında PV dizi akımının zamana göre değişimi



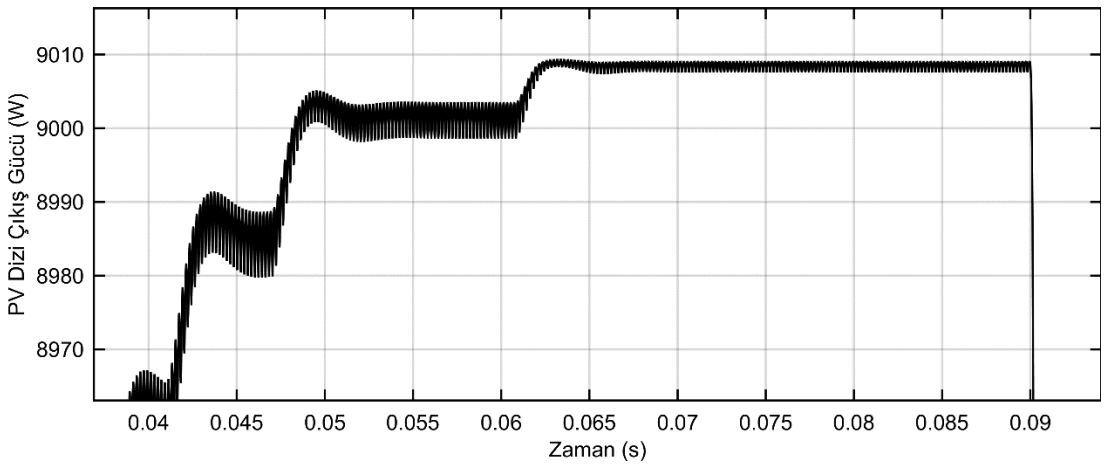
Şekil 4.3. STC şartlarında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi

Yükselten tip DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işareti görev çevriminin zamana göre değişimi Şekil 4.4.'de verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere; PV sistem çalıştırılmaya başlandığında bir MPPT periyodu boyunca görev çevriminin değeri 0 yapılmaktadır. Bu periyodun sonunda DA – DA dönüştürücünün giriş kondansatörü PV dizi açık devre gerilimine kadar dolar. Birincin periyodun sonunda kondansatör üzerindeki gerilim ve çıkışa yük olarak bağlanan DA gerilim kaynağının gerilimi kullanılarak PV diziyi açık devre gerilimine yakın bir gerilim değerinde çalıştıracak görev çevrimin başlangıç değeri hesaplanır ve bulanık mantık denetleyici çalıştırılmaya başlanır.



Şekil 4.4. DA – DA dönüştürücüye uygulanan PWM işareti görev çevriminin zamana göre değişimi

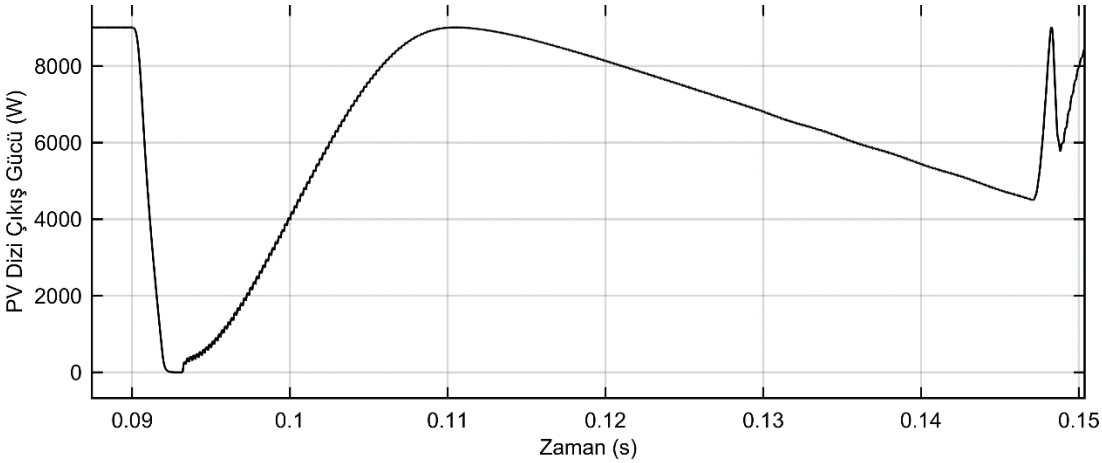
Bulanık mantık denetleyici açık devre geriliminden başlayarak görev çevriminde yaptığı değişliklerle dizinin en büyük gücü ürettiği noktayı bulmak için dizi gerilimini görev çevrimi aracılığıyla adım adım düşürür. Gerilimi azaltma işlemi, Şekil 4.5.'deki güç eğrisinin a bölgesinin büyütülmüş şeklinde görüleceği üzere 65. ms'den itibaren sona erer ve kararlı çalışma durumuna erişilir. Bu andan itibaren görev çevriminin değeri sabit tutulur. Kararlı çalışma durumuna erişildiğinde PV dizi çıkış gücü 9 008 W'tır. Önceki bölümde gösterildiği gibi STC şartlarında PV dizinin MPP noktasındaki çıkış gücü 9 010 W olduğundan % 99.98 doğrulukla MPP noktası bulunmuştur.



Şekil 4.5. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli

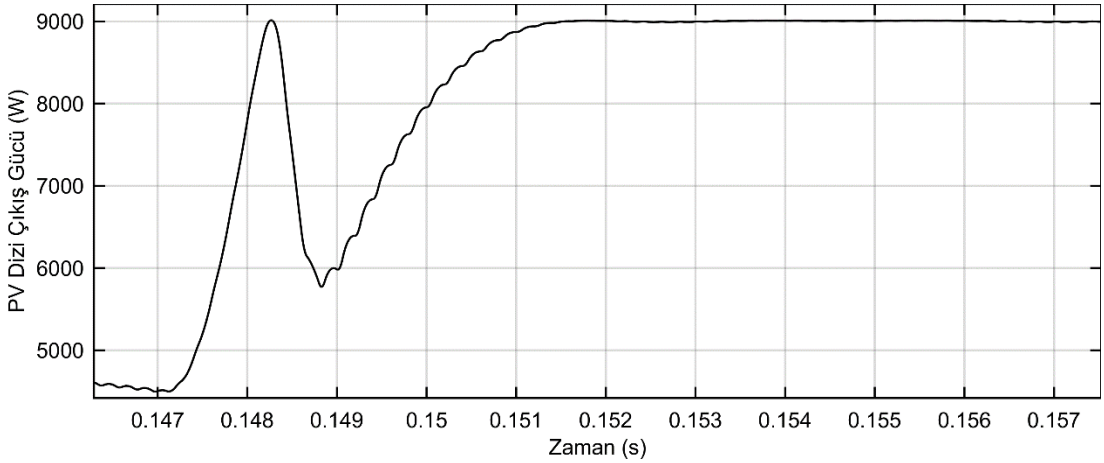
MPPT algoritması 90. ms'de bulanık mantık denetleyiciyi kapatır ve görev çevrimini 0 yaparak PV diziyi bir MPPT periyodu boyunca açık devre konumuna

alır. Bu periyodun sonunda açık devre gerilimi ölçülür ve yükün gerilimi de kullanılarak PV diziyi açık devre geriliminde çalıştıracak görev çevrimi değeri hesaplanır. Görev çevrimi bu başlangıç değerinden itibaren artırılarak PV dizi gerilimi adım adım düşürülür. Bu arada algoritma, her adımda PV dizi çıkış gücü önceki adımda bulunan güçle karşılaştırılarak bulduğu en büyük gücün üretildiği görev çevrimi değerini kaydetmektedir. PV dizi gerilimi önceden açık devre geriliminin bir yüzdesi olarak belirlenen değere 147. ms'de düşer ve bu andan itibaren gerilim tarama işlemi bitirilir. En büyük gücün üretildiği görev çevrimi DA – DA dönüştürücüye bir MPPT periyodu boyunca uygulandıktan sonra bulanık 150. ms'den itibaren bulanık mantık denetleyici yeniden çalıştırılır.



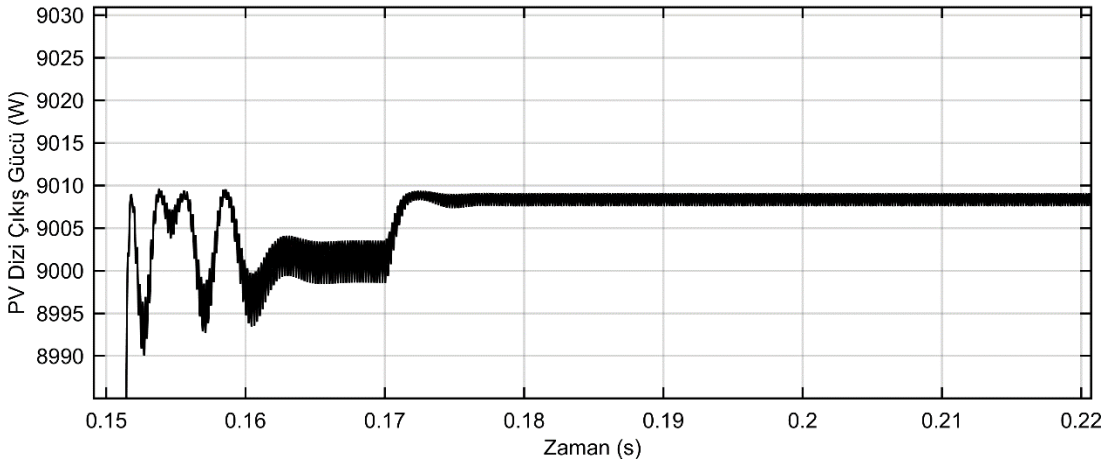
Şekil 4.6. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli

Aynı zamanda güç eğrisinin c bölgesinin büyütülmüş şekli olan Şekil 4.7.'de gerilimi tarama işleminin bitiminde tespit edilen görev çevriminin DA – DA dönüştürücüye uygulanmasından sonra güç eğrisinde meydana gelen değişim gösterilmiştir.



Şekil 4.7. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki c bölgesinin büyütülmüş şekli

Yeniden çalıştırılan bulanık mantık denetleyici, Şekil 4.8.'de verilen ve güç eğrisinin d bölgesinin büyütülmüş hali olan grafikte görüleceği üzere, görev çevrimini daha hassas bir şekilde ayarlayarak 172. ms'de PV dizi çıkış gücünü 9 008 değerine tekrar getirir.

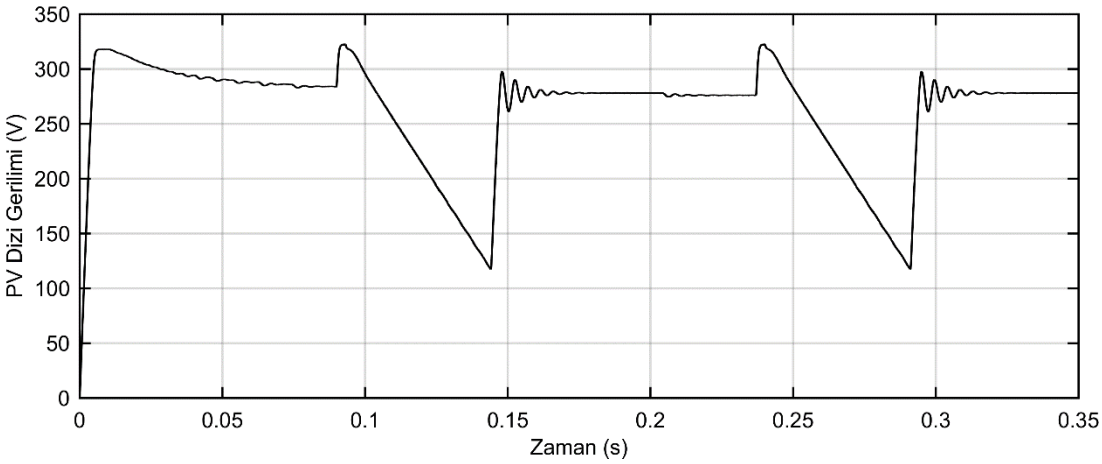


Şekil 4.8. PV dizi çıkış gücü grafiğindeki d bölgesinin büyütülmüş şekli

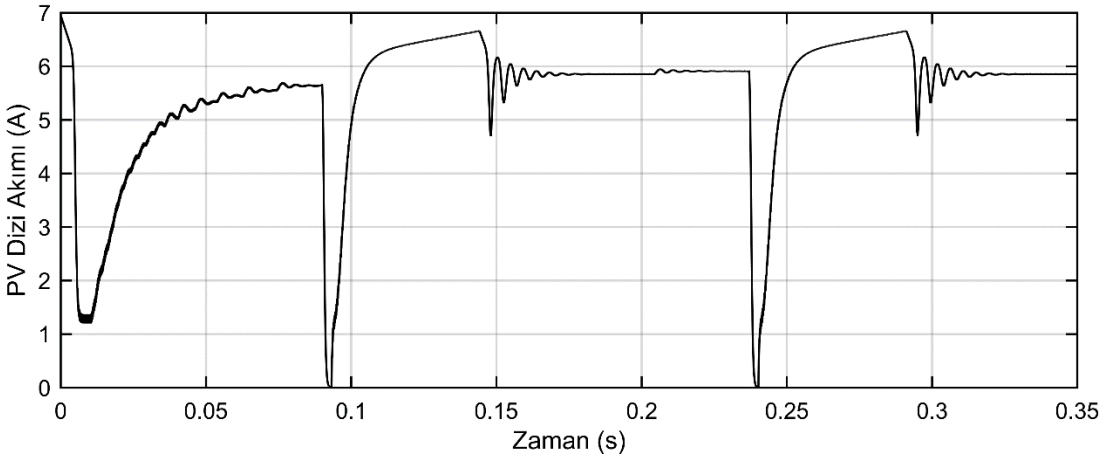
Verilen grafiklerde görüleceği gibi, geliştirilen algoritma STC şartlarında toplam 82 ms içinde gerilim tarama işlemini bitirmekte ve PV dizi çıkış gücünü MPP noktasına oldukça yakın bir değere ayarlayabilmektedir.

4.1.2. Düşük ve sabit ışınım koşullarında geliştirilen algoritmanın tepkisi

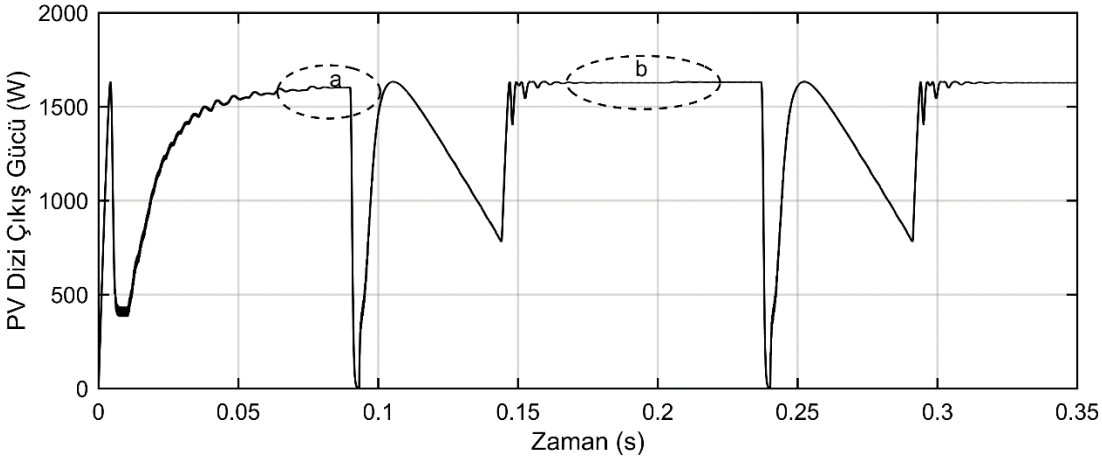
Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve PV dizi panelleri 200 W/m^2 ışınım altında iken PV dizi gerilimi, akımı ve güç büyüklerinin zamana göre değişimi, sırasıyla, Şekil 4.9., Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de verildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.9. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m^2 ışınım koşullarında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi

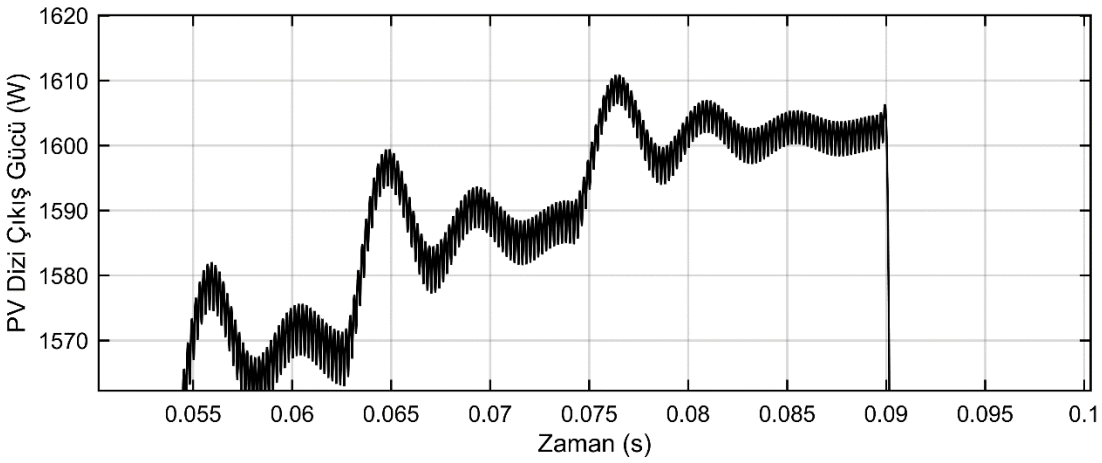


Şekil 4.10. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m2 ışınım koşullarında PV dizi akımının zamana göre değişimi

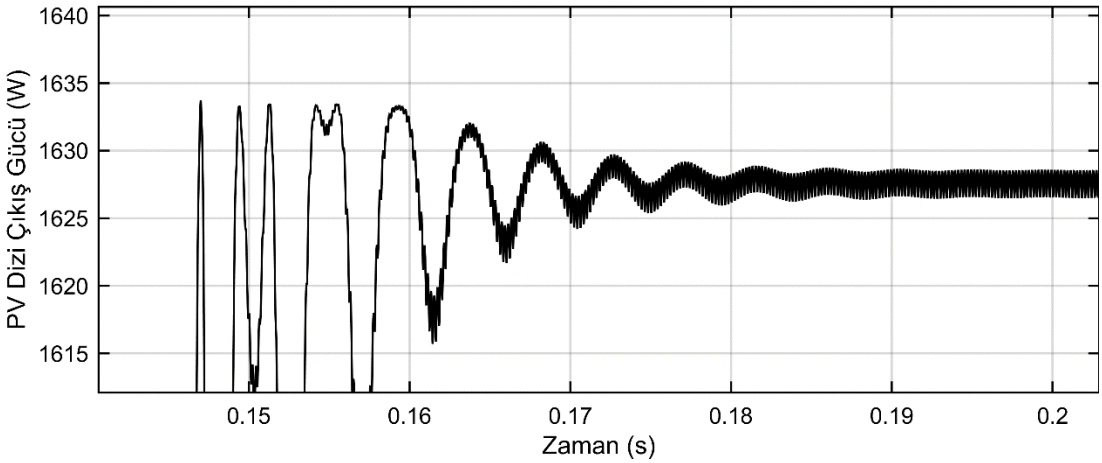


Şekil 4.11. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m2 ışınım koşullarında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi

Güç eğrisindeki a ve b bölgelerinin büyütülmüş şekilleri, sırasıyla, Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de verilmiştir.

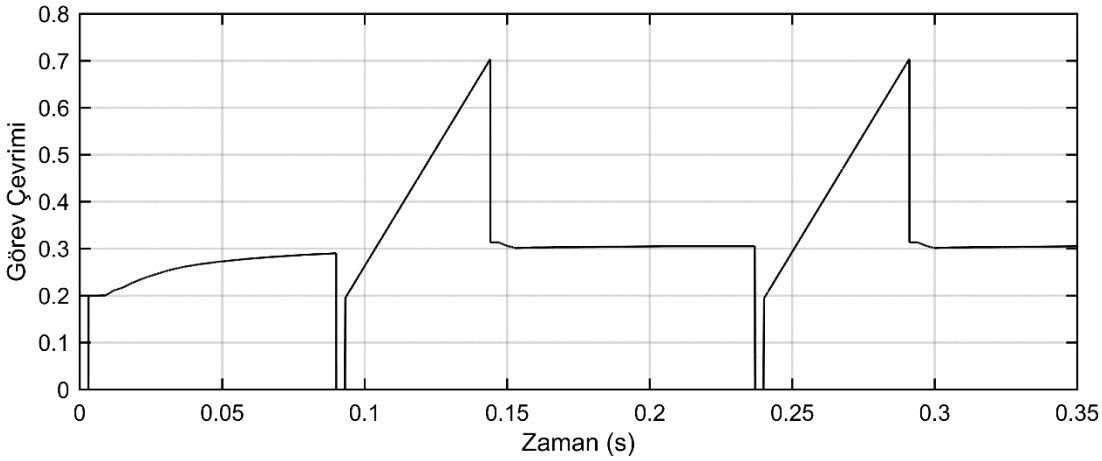


Şekil 4.12. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli



Şekil 4.13. Güç eğrisindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli

Görev çevriminin zamana göre değişim grafiği ise ‘de verildiği gibi bulunmuştur.

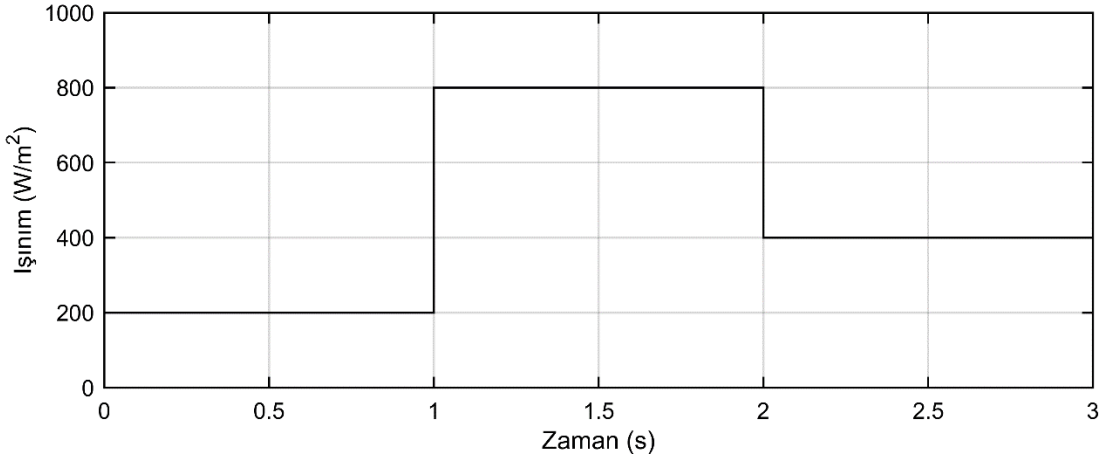


Şekil 4.14. 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m^{2} ışınım koşullarında görev çevriminin zamana göre değişimi

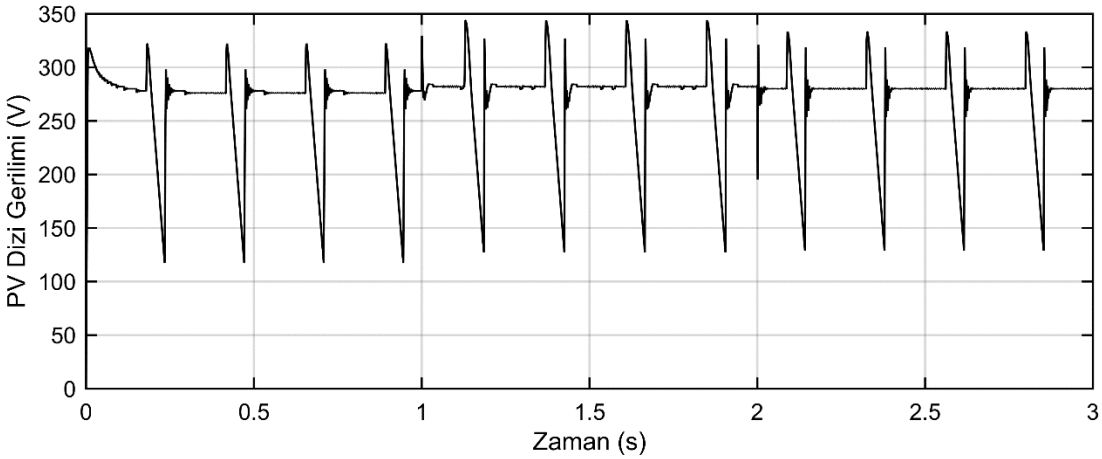
25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m^{2} ışınım değerlerinde P – V eğrisinin düzleşmesinin bir sonucu olarak geliştirilen algoritma ile MPP noktasının bulunmasının daha uzun süre aldığı görülmektedir. Bulanık mantık denetleyicinin çalıştığı ilk 90 ms sonunda PV dizi çıkış gerilimi 1 600 W seviyesine gelmiştir. 54 ms süre alan gerilim tarama işlemi ve bulanık mantık denetleyicinin yeniden çalıştırılmasından sonra 210. ms’de PV dizi çıkış gücü 1 632 W değerine ayarlanmıştır. PV dizinin 25 ^{0}C hücre sıcaklığı ve 200 W/m^{2} ışınım altında MPP noktasındaki güç değeri 1 634 W olduğundan geliştirilen algoritma ile bu değere % 99.88 oranında yaklaşılmıştır.

4.1.3. Ani artan ve azalan ışınım altında geliştirilen algoritmanın tepkisi

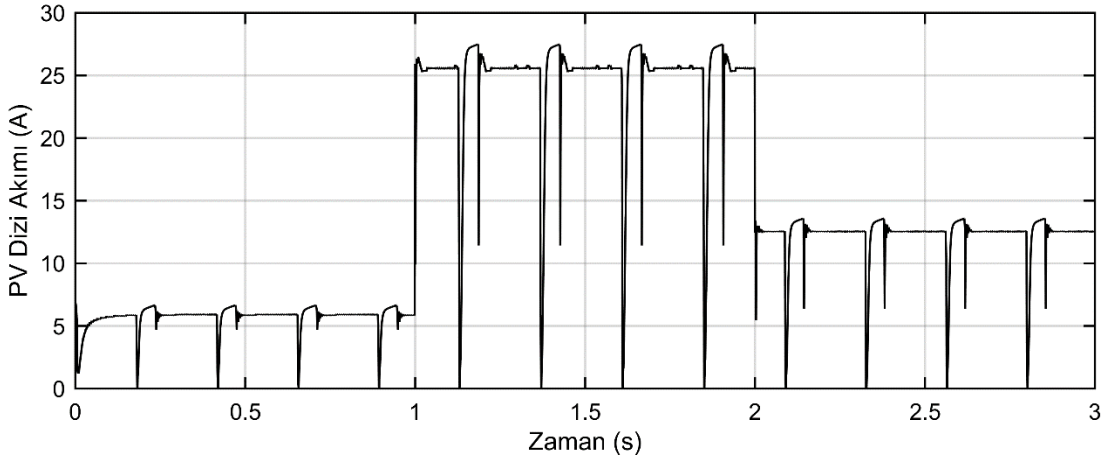
Sabit 25 ^{0}C hücre sıcaklığında Şekil 4.15'de verildiği gibi PV diziye uygulanan ışınım önce ani olarak artırılmış ve sonra ani olarak azaltılmıştır. Benzetim süresi 3 s ve gerilim tarama periyodu 180 ms yapılarak elde edilen PV dizi gerilimi, akımı ve çıkış gücünün zamana göre değişim grafikleri Şekil 4.16., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18'de verildiği gibi elde edilmiştir.



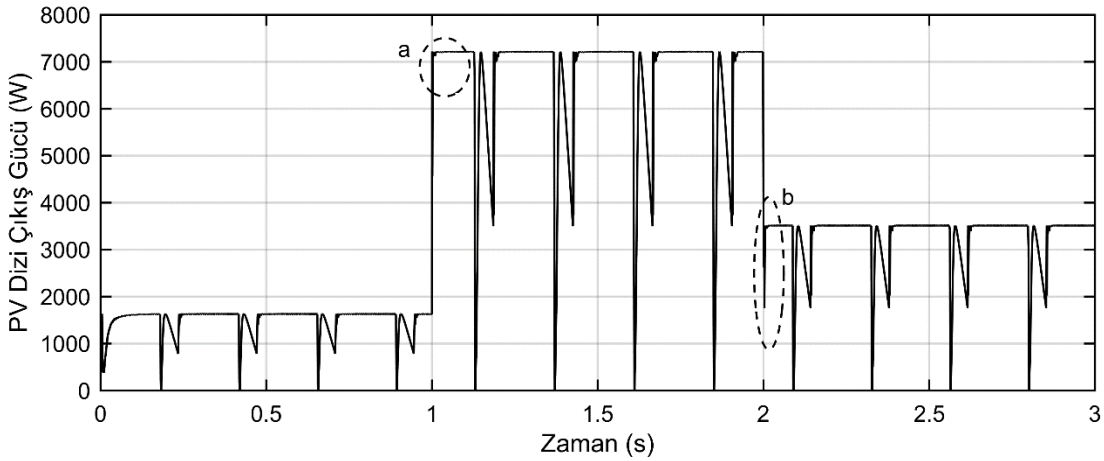
Şekil 4.15. PV diziye uygulanan ışınımın zamana göre değişimi



Şekil 4.16. PV dizinin ani artan ve azalan ışınıma maruz kalması durumunda geriliminin zamana göre değişimi

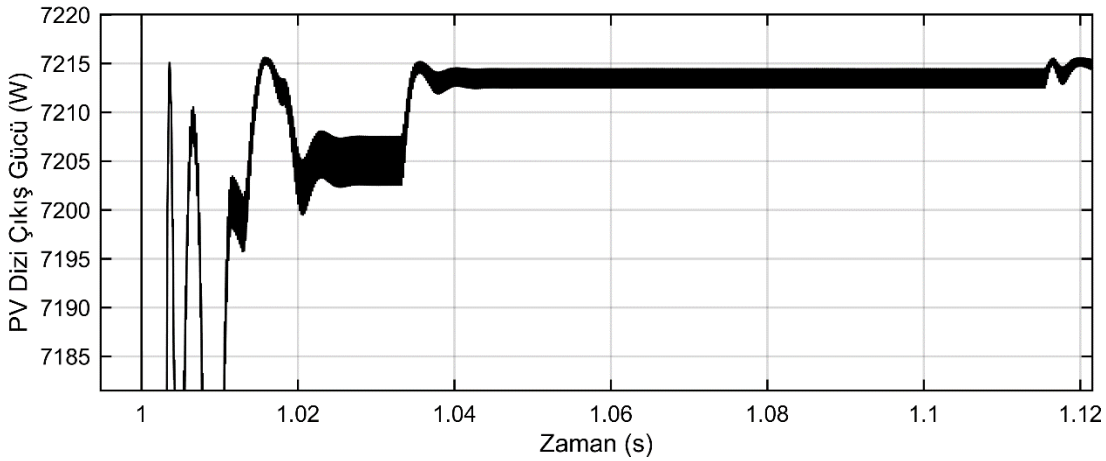


Şekil 4.17. PV dizinin ani artan ve azalan ışınıma maruz kalması durumunda akımın zamana göre değişimi

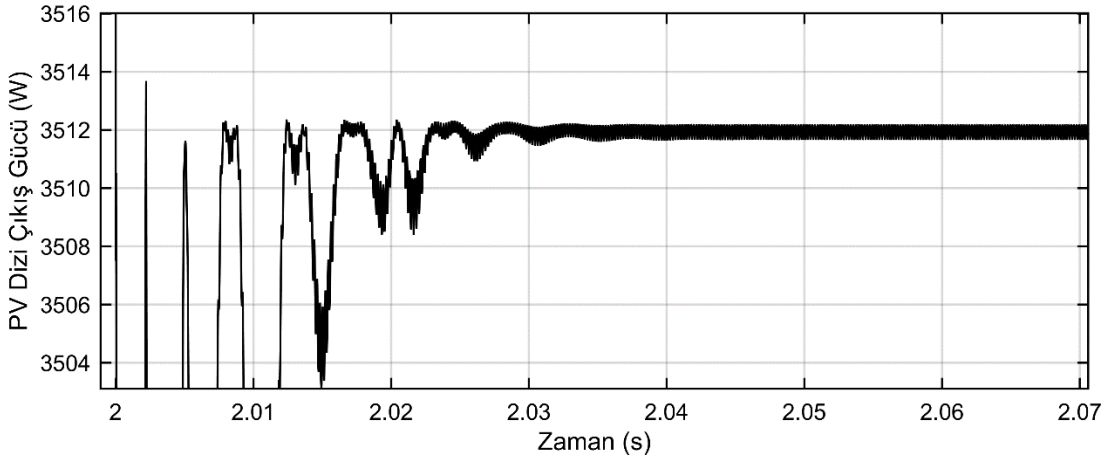


Şekil 4.18. PV dizinin ani artan ve azalan ışınıma maruz kalması durumunda PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi

PV dizi çıkış gücü grafiğindeki a ve b bölgelerinin büyütülmüş şekilleri ve ‘de verilmiştir.



Şekil 4.19. Güç grafiğindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli



Şekil 4.20. Güç grafiğindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli

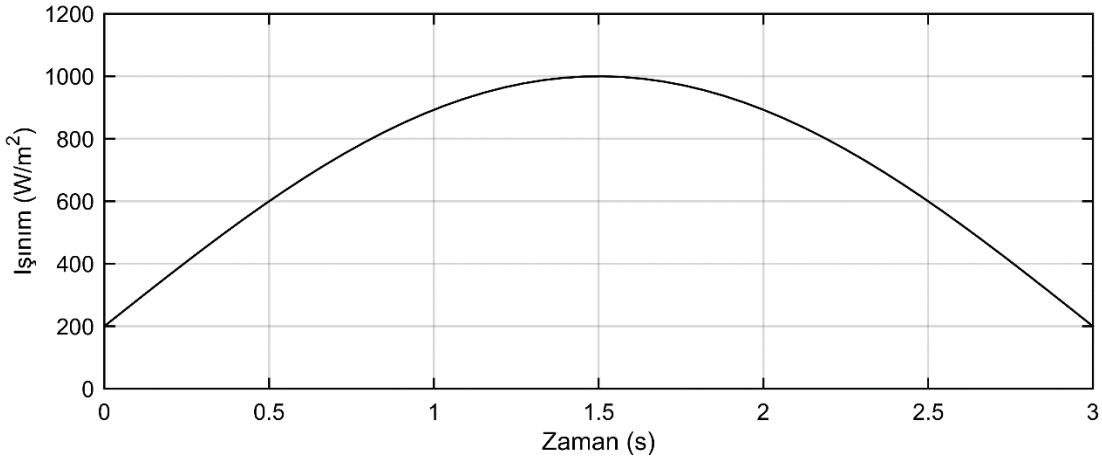
Şekil 4.19'da verilen büyütülmüş görüntüden görüleceği üzere, PV dizi üzerine düşen ışınım 1. s'de 200 W/m^2 değerinden 800 W/m^2 değerine ani olarak yükseldikten sonraki 35 ms içinde bulanık mantık denetleyici PV dizi çıkış gücünü 7 212 W değerine getirmektedir. PV dizinin 800 W/m^2 ışınım değeri için MPP noktasındaki çıkış gücünün 7 216 W olduğu dikkate alındığında algoritma oldukça hızlı ve yüksek bir doğrulukta ışınım artışından sonra PV dizi çıkış gücünü en büyük değerine getirebilmektedir.

Işınım değeri 800 W/m2 değerinden ani olarak 400 W/m^2 değerine düştükten sonra 30 ms içinde 3 512 W değerine ayarlanmaktadır. PV dizinin 400 W/m^2 ışınım altında üretebileceği en büyük güç 3 513 W olduğundan geliştirilen algoritma ani

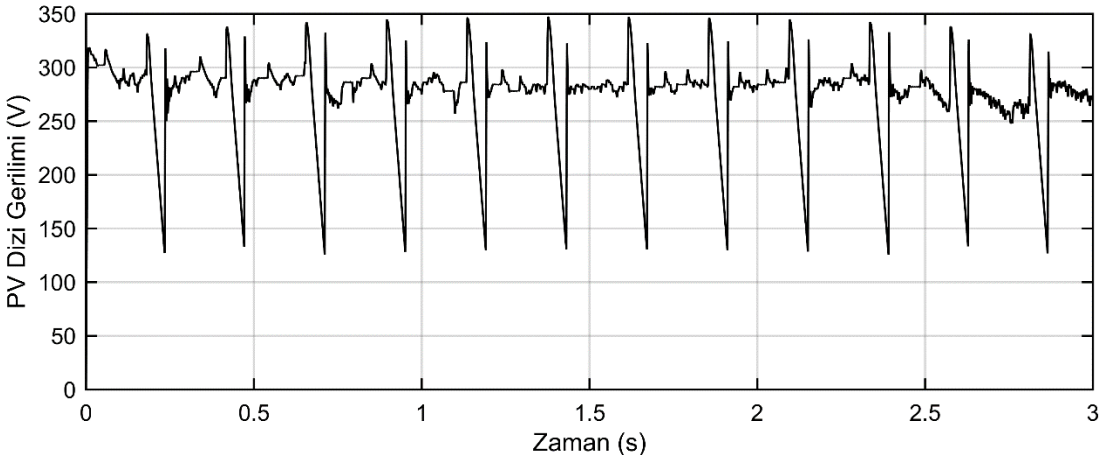
ışınım düşmesinde de MPP noktasını çok yüksek bir doğrulukta takip edebilmektedir.

4.1.4. PV dizinin sinüs eğrisi şeklinde değişen ışınım altında olması durumunda algoritmanın tepkisi

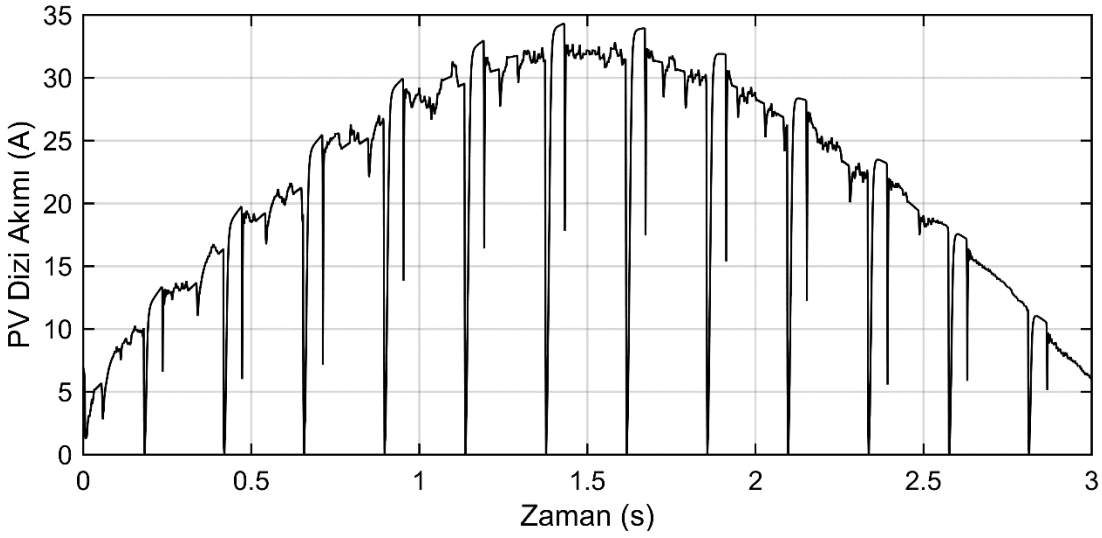
25 ^{0}C sabit hücre sıcaklığında PV diziye Şekil 4.21.'de verilen sinüs eğrisi şeklindeki ışınım uygulanmıştır. Işınım değeri 200 W/m^2 değerinden başlayarak sinüs fonksiyonu şeklinde artar ve 1.5 s anında 1 000 W/m^2 değerine ulaşır. Bu andan itibaren azalmaya başlar ve 3 s anında başlangıçtaki seviye olan 200 W/m^2 değerine düşer. Benzetim süresi 3 s ve gerilim tarama periyodu 180 ms yapılarak PV dizinin gerilim, akım ve güç büyüklükleri, sırasıyla, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de verildiği gibi elde edilmiştir.



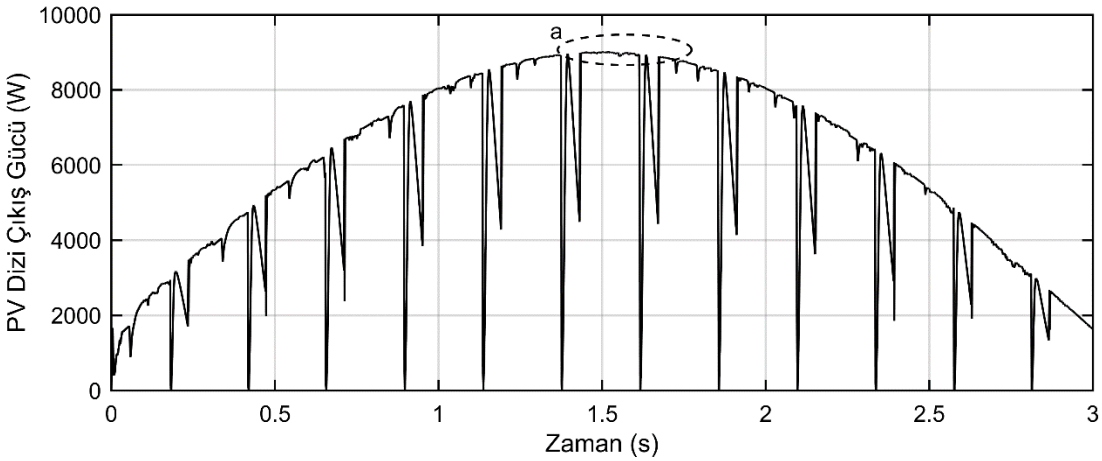
Şekil 4.21. PV diziye uygulanan sinüs eğrisi şeklindeki ışınım



Şekil 4.22. Sinüs eğrisi şeklinde ışınım uygulandığında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi

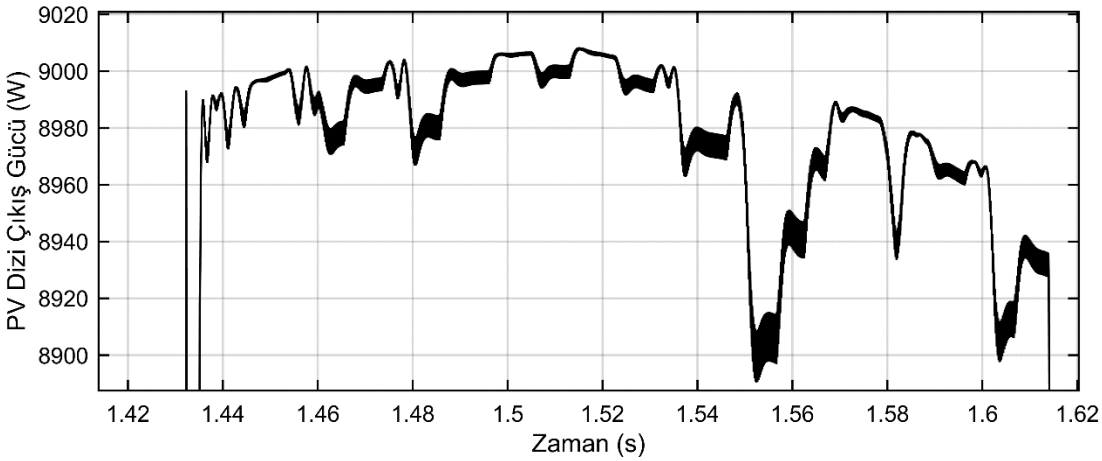


Şekil 4.23. Sinüs eğrisi şeklinde ışınım uygulandığında PV dizi akımının zamana göre değişimi



Şekil 4.24. Sinüs eğrisi şeklinde ışınım uygulandığında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi

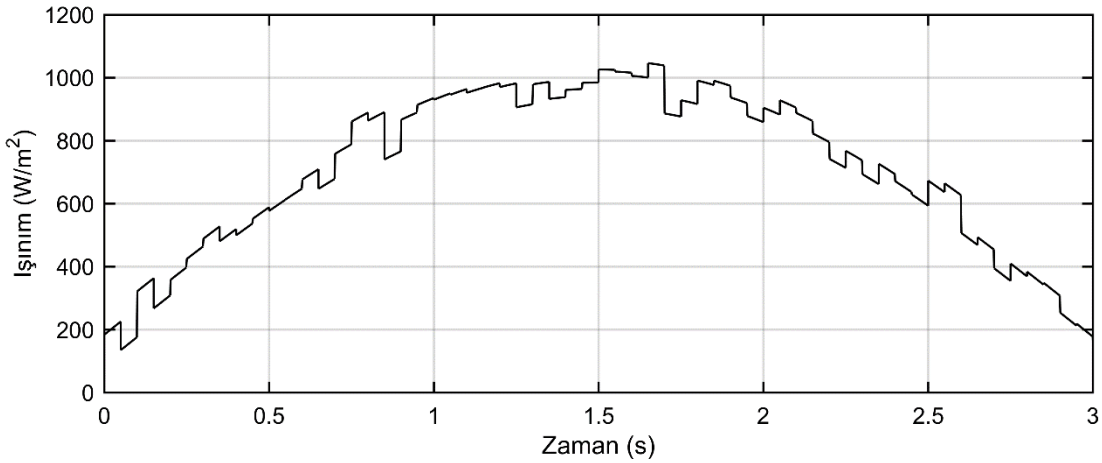
Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de verilen grafiklerden görüleceği üzere geliştirilen algoritma ışınınım sinüs eğrisi şeklinde değişmesi halinde de MPP noktasını yüksek bir doğrulukta takip edebilmektedir. 1.5 s anında ışınım değeri 1 000 W/m^2 değerine ulaştığında PV dizi çıkış gücü de 9 005 W değerine ulaşmaktadır. Algoritmanın bulduğu değer MPP noktasındaki değere (9 010 W) oldukça yakındır.



Şekil 4.25. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli

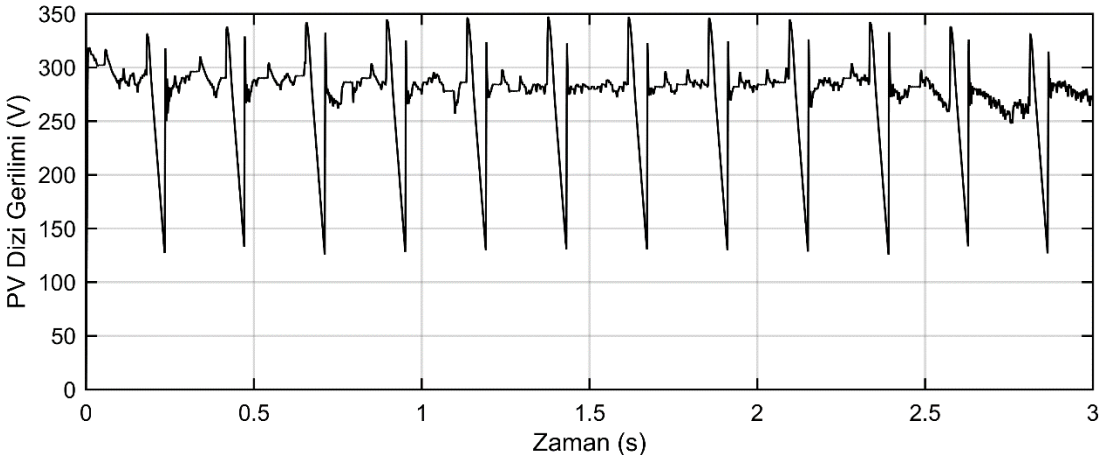
4.1.5. Işınımın bozucu işaret içeren sinüs şeklinde değişmesi halinde algoritmanın tepkisi

PV diziye Şekil 4.26.'de verilen bozucu işaret içeren sinüs şeklindeki ışınım uygulanmıştır.

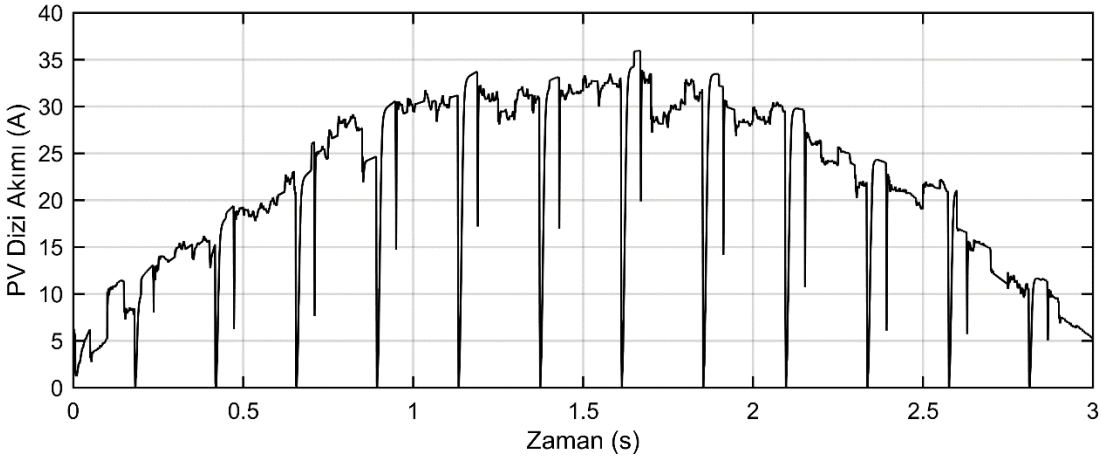


Şekil 4.26. PV diziye uygulanan ve bozucu işaret içeren sinüs eğrisi şeklindeki ışınım

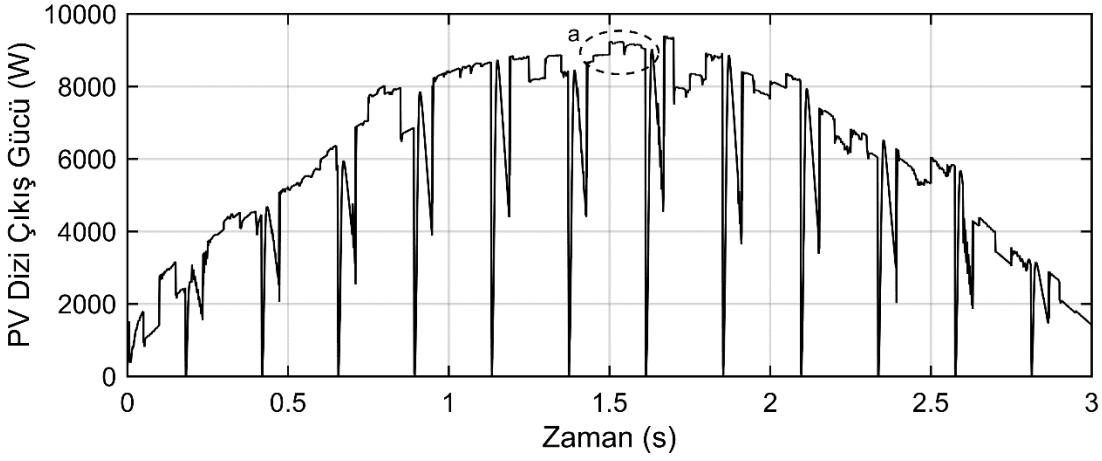
Bozucu işaret içeren sinüs eğrisi şeklindeki ışınım uygulandığında PV dizinin gerilim, akım ve güç büyüklükleri, sırasıyla, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verildiği gibi elde edilmiştir.



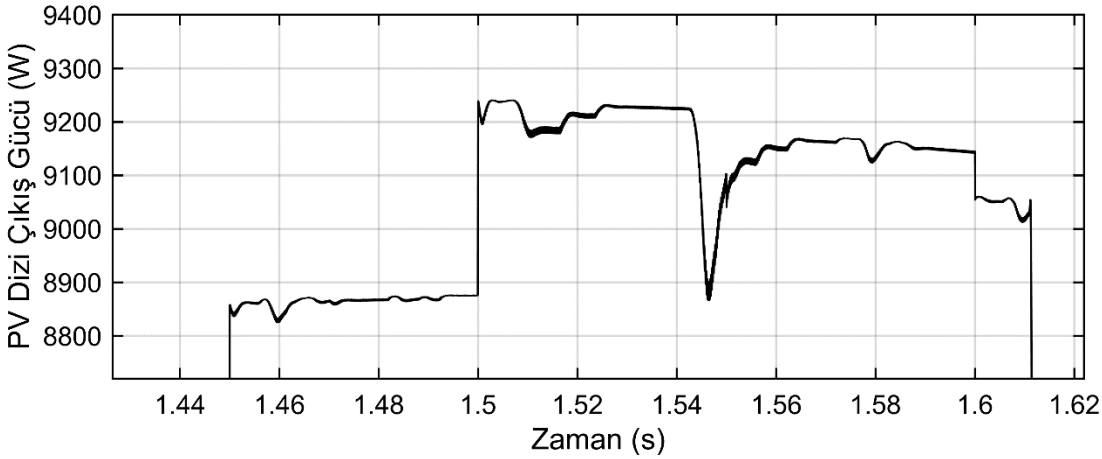
Şekil 4.27. Bozucu işaret içeren sinüs şeklindeki ışınım altında PV dizi geriliminin zamana göre değişimi



Şekil 4.28. Bozucu işaret içeren sinüs şeklindeki ışınım altında PV dizi akımının zamana göre değişimi



Şekil 4.29. Bozucu işaret içeren sinüs şeklindeki ışınım altında PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi



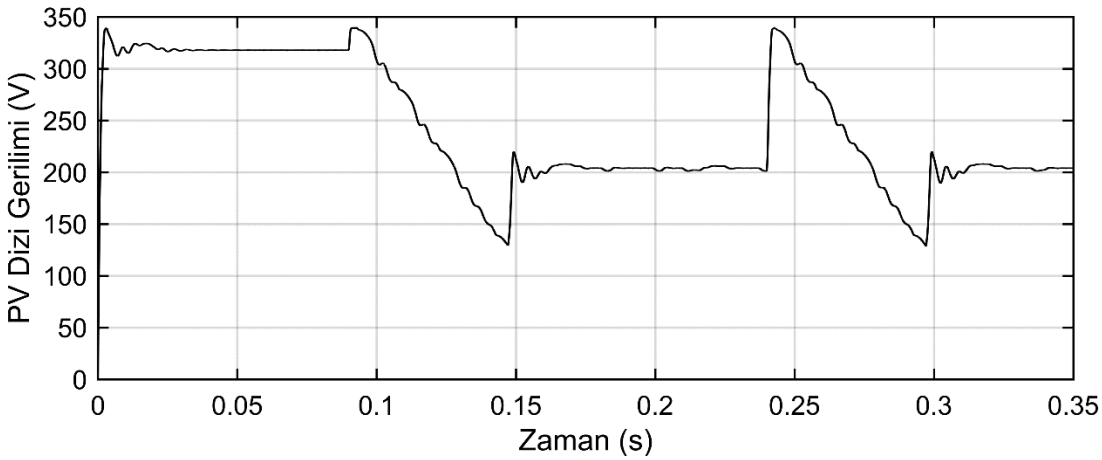
Şekil 4.30. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli

Bozucu işaret içeren sinüs eğrisi şeklinde ışınım uygulanması halinde PV dizi çıkış gücünün MPP noktasını yüksek bir doğrulukta takip edebildiği Şekil 4.29.'de verilen güç eğrisi ve Şekil 4.30.'da verilen güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş hali olan grafikten anlaşılmaktadır.

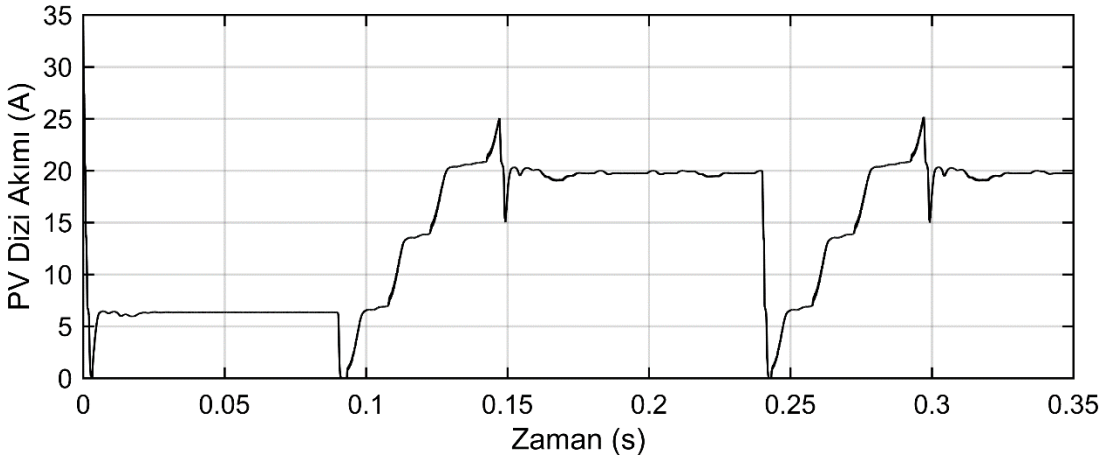
4.2. PV Dizideki Panellerin Farklı Işınımlar Altında Olması Durumu

4.2.1. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda algoritmanın tepkisi

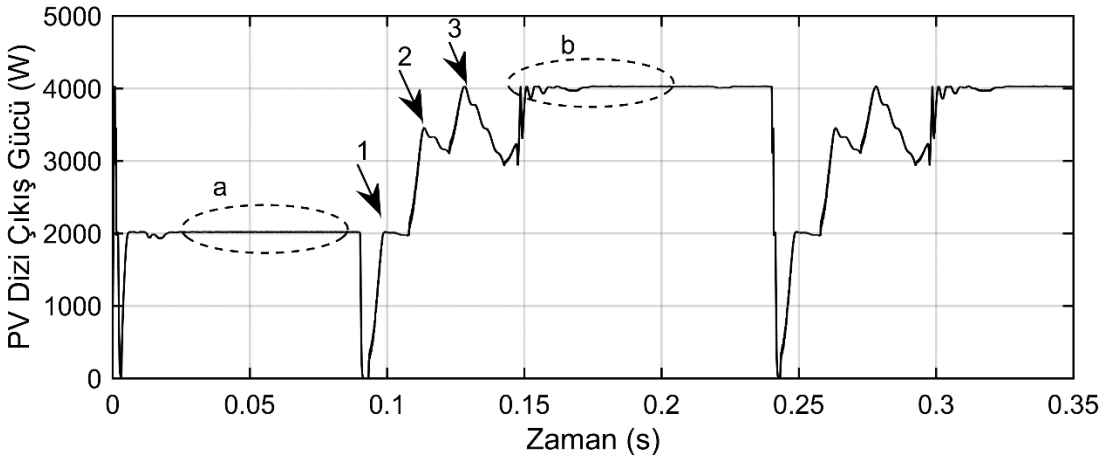
PV dizideki modüller Çizelge 3.5.'de verilen ışınımlar altında iken PV dizinin gerilim, akım ve güç grafikleri, sırasıyla, Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 'de verildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.31. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda geriliminin zamana göre değişimi

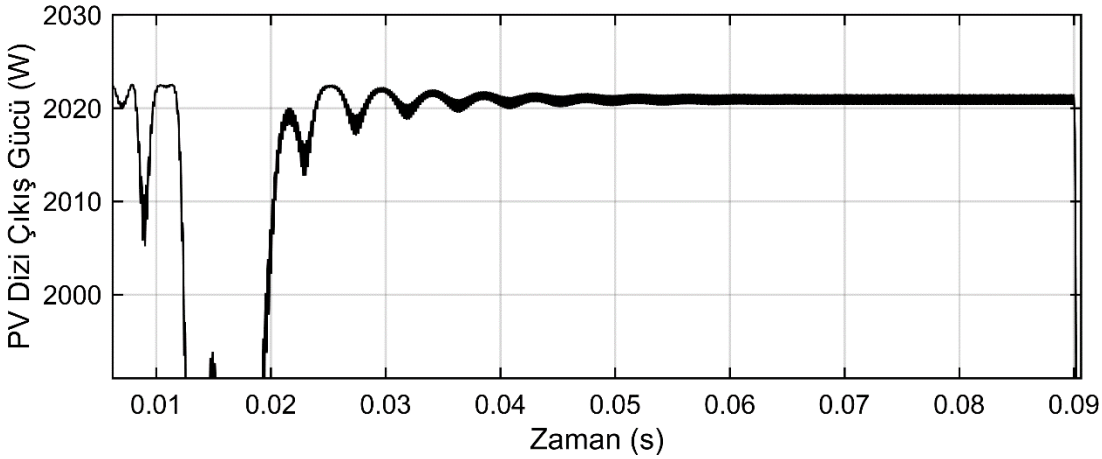


Şekil 4.32. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda akımının zamana göre değişimi

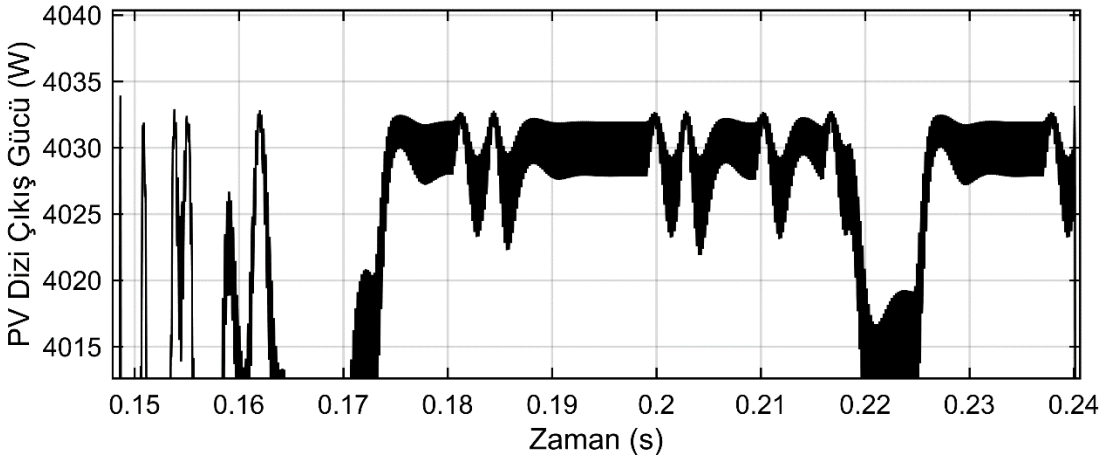


Şekil 4.33. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda çıkış gücünün zamana göre değişimi

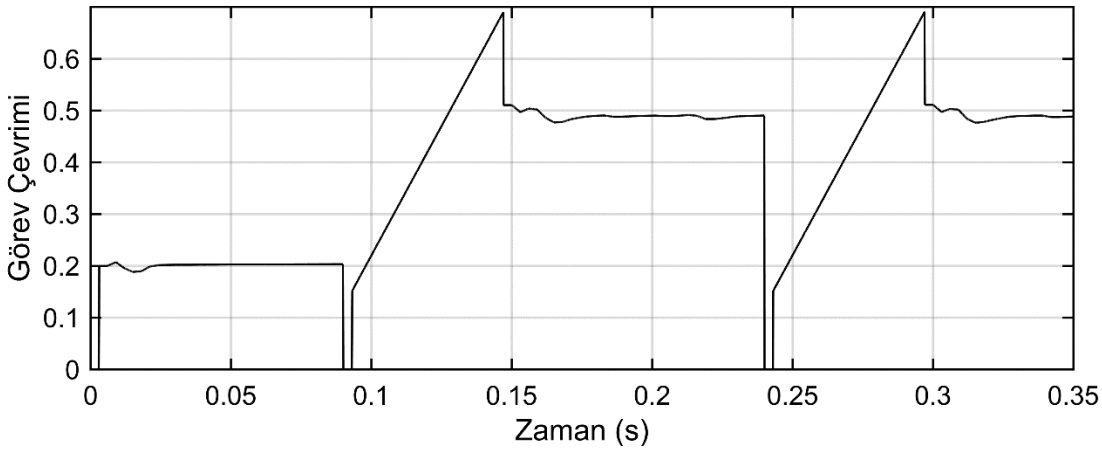
Yatay gölgelenme durumunda bulanık mantık denetleyici 1 ile gösterilen yerel MPP noktasında PV diziyi çalıştırır. 90. ms'den itibaren bulanık mantık denetleyici kapatılır ve gerilim tarama birimi çalışmaya başlar. Tarama süresi boyunca güç eğrisi üzerinde 1, 2 ve 3 ile gösterilen noktalar tespit edilir. Bunlardan 3 ile gösterilen en büyük gücün üretildiği nokta olduğu için algoritma bu noktaya karşılık gelen görev çevrimini kaydeder. Gerilim tarama işlemi sona erdiğinde PV dizi kaydedilen görev çevriminde bir MPPT periyodu süresince çalıştırılır ve ardından bulanık mantık denetleyici yeniden çalıştırılır. Güç eğrisi üzerindeki a ve b bölgelerinin büyütülmüş şekilleri ile görev çevriminin zamana göre değişim grafiği, sırasıyla, 'de verilmiştir.



Şekil 4.34. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli



Şekil 4.35. Güç eğrisindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli



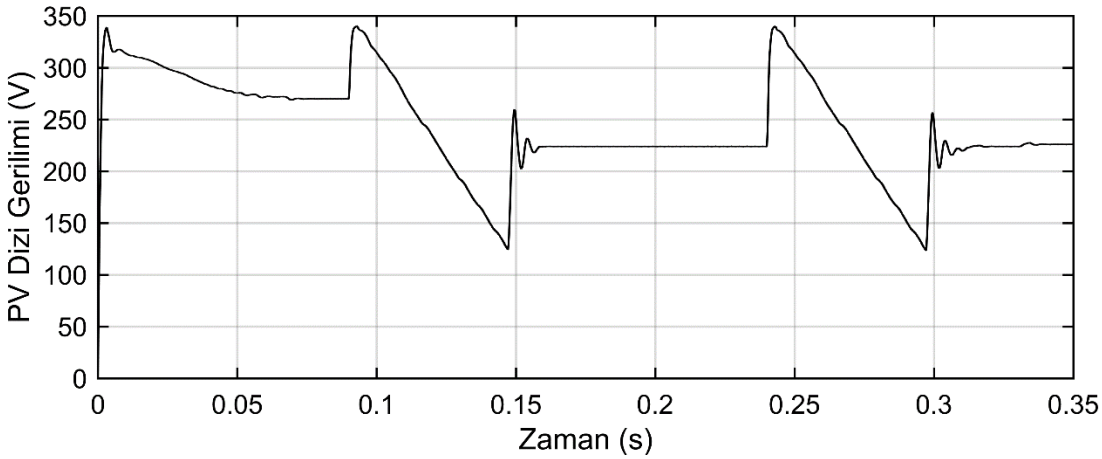
Şekil 4.36. PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda görev çevriminin zamana göre değişimi

Çizelge 3.6.'dan PV dizinin yatay gölgelenmesi durumunda açık devre gerilimine yakın yerel MPP noktasında çıkış gücünün 2 023 W ve genel MPP noktasındaki çıkış gücünün 4 033 W olduğu görülmektedir. Geliştirilen algoritmanın

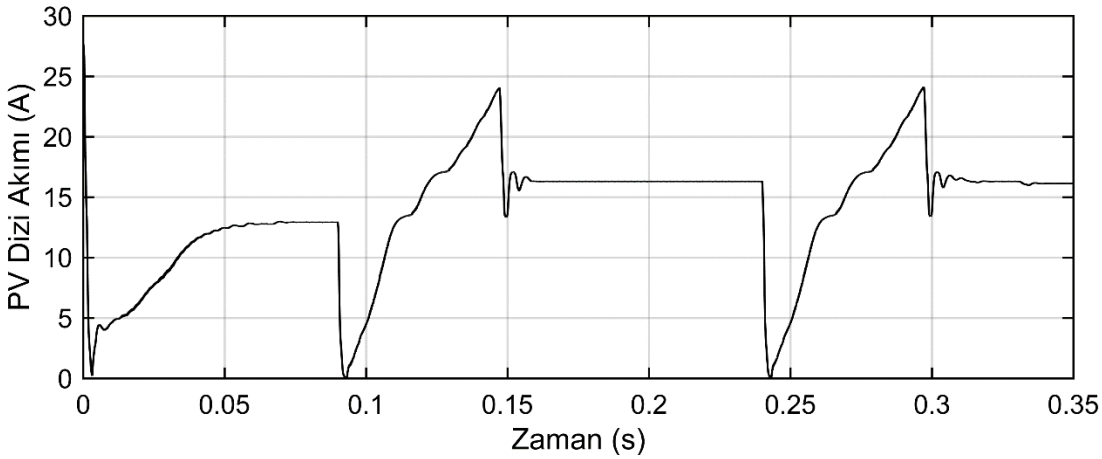
PV diziyi ilk gerilim tarama başlangıcına kadar olan sürede 2 020 W değerinde ve gerilim tarama işleminden sonra 4 030 W değerinde çalıştırdığı Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de verilen büyütülmüş grafiklerden anlaşılmaktadır.

4.2.2. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda algoritmanın tepkisi

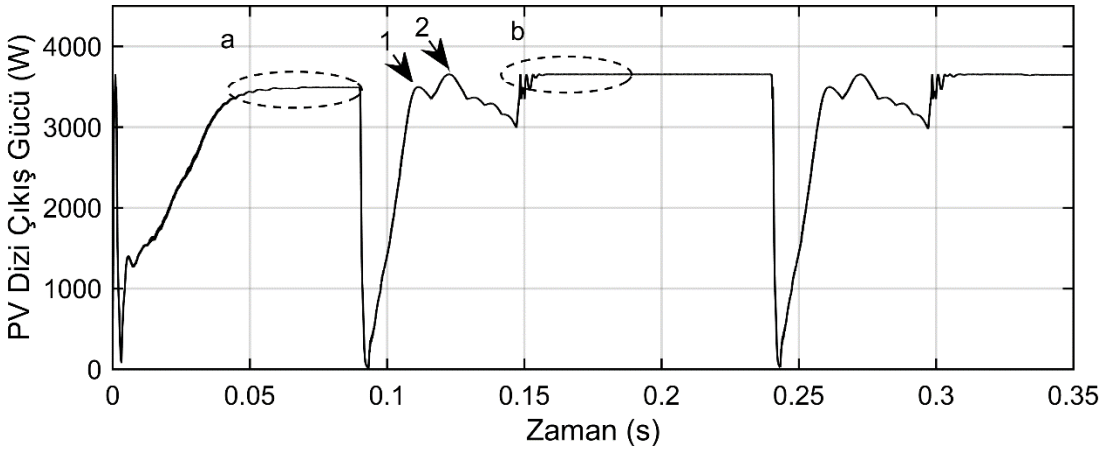
PV dizideki modüller Çizelge 3.7'de verilen ışınımlar altında iken PV dizinin gerilim, akım ve güç grafikleri, sırasıyla, 'de verildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.37. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda geriliminin zamana göre değişimi

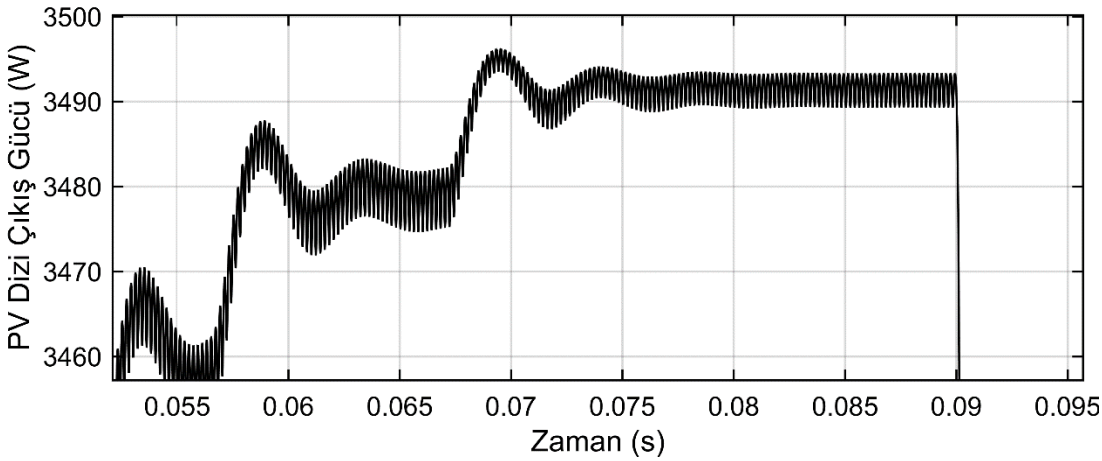


Şekil 4.38. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda akımın zamana göre değişimi

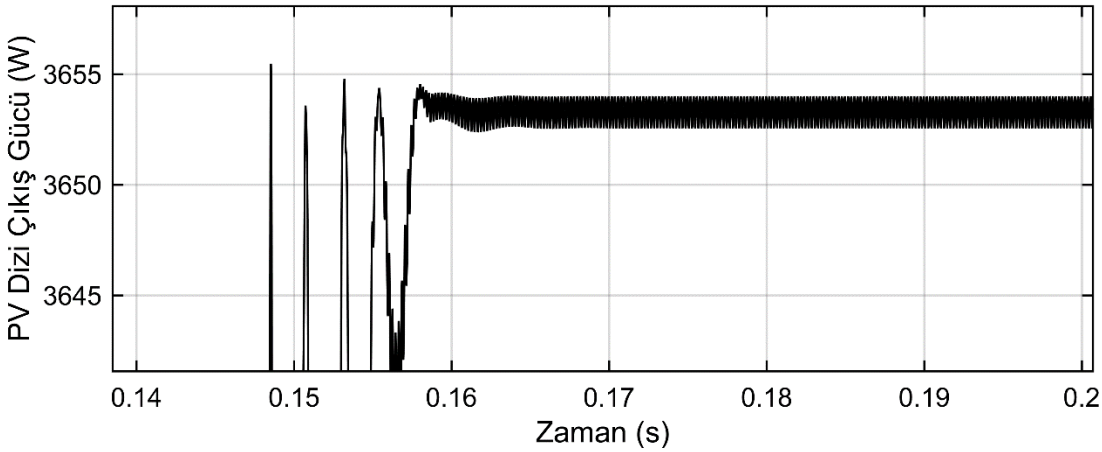


Şekil 4.39. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda çıkış gücünün zamana göre değişimi

PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda bulanık mantık denetleyici PV diziyi bulduğu ilk yerel MPP noktasında çalıştırır. Bu nokta güç eğrisinde 1 ile gösterilmiştir. Bulanık mantık denetleyici kapatılıp gerilim tarama işlemini yapıldığında ise genel MPP noktasının güç eğrisinde 2 ile gösterilen nokta olduğu belirlenir ve tarama işleminin sonunda PV dizi bu noktada çalıştırılır. Daha sonra MPPT sisteminin denetimi yeniden bulanık mantık denetleyiciye aktarılır. Güç eğrisinde a ve b ile gösterilen bölgelerin büyütülmüş şekilleri, sırasıyla, ‘de verilmiştir.

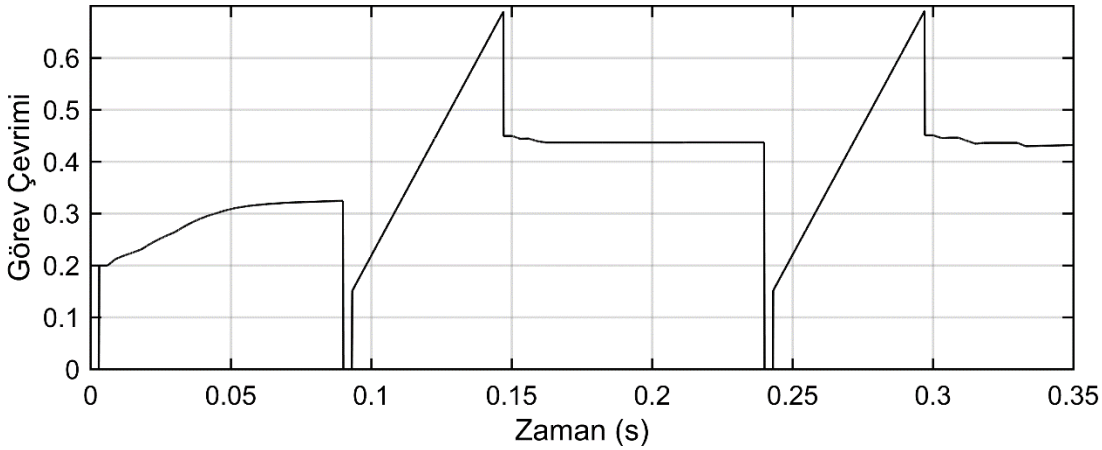


Şekil 4.40. Güç eğrisindeki a bölgesinin büyütülmüş şekli



Şekil 4.41. Güç eğrisindeki b bölgesinin büyütülmüş şekli

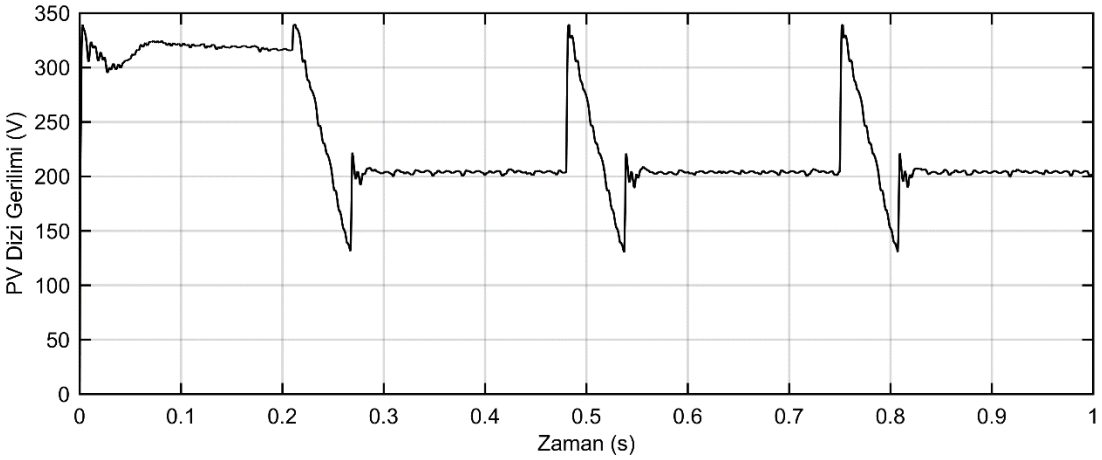
Çizelge 3.8.'de PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda oluşan MPP noktalarındaki çıkış güçleri verilmiştir. Buna göre; açık devre gerilimine yakın olan yerel MPP noktasında PV dizinin çıkış gücü 3 498 W iken genel MPP noktasındaki çıkış gücü 3 654 W'tır. Geliştirilen algoritmanın, ilk gerilim tarama işleminden önce PV diziyi 3 492 W çıkış gücünde çalıştırdığı ve gerilim tarama işleminden sonra bu değerin 3 653 değerine yükselttiği Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilen grafiklerden görülmektedir. Görev çevriminin zamana göre değişim grafiği ise Şekil 4.42.'de verildiği gibi elde edilmiştir.



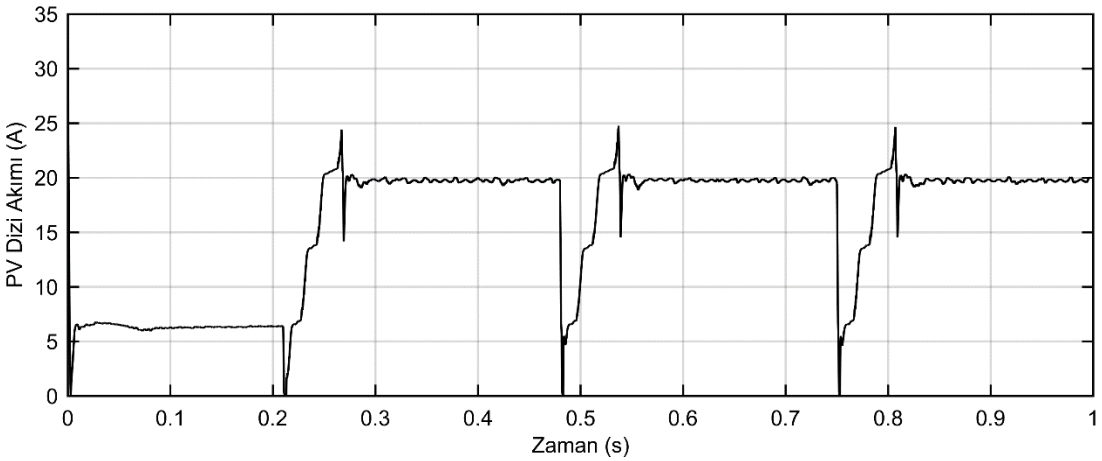
Şekil 4.42. PV dizinin çapraz gölgelenmesi durumunda görev çevriminin zamana göre değişimi

4.2.3. PV dizinin şebeke bağlantılı olması ve panellerin yatay gölgelenmesi durumunda algoritmanın tepkisi

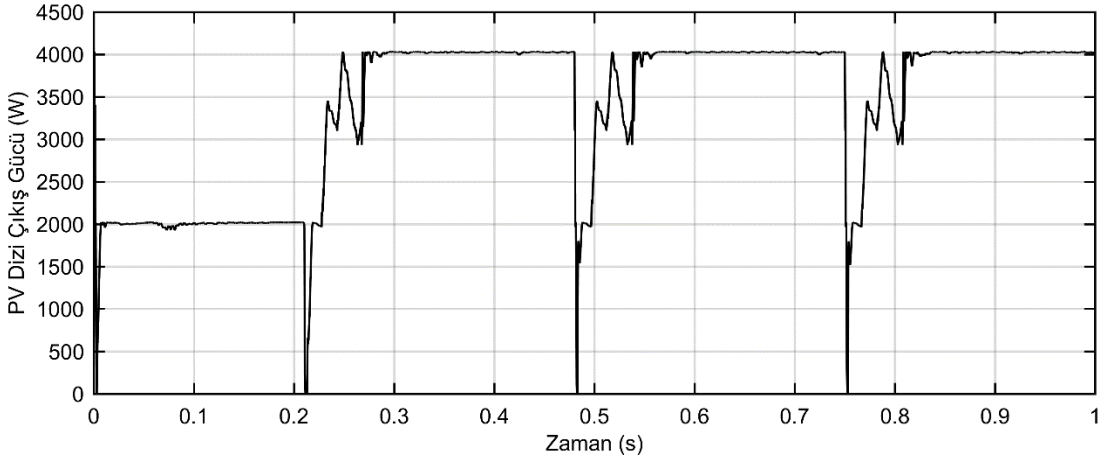
Geliştirilen algoritmanın şebekeye bağlantılı bir PV sistemdeki başarımını ölçmek için Şekil 3.26.'da verilen benzetim modeli kullanılmıştır. PV dizideki modüller Çizelge 3.5.'de verilen ışınım altında ve hücre sıcaklığı 25 ^{0}C iken PV dizinin gerilim, akım ve güç grafikleri, sırasıyla, Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'de verildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.43. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı PV dizi geriliminin zamana göre değişimi

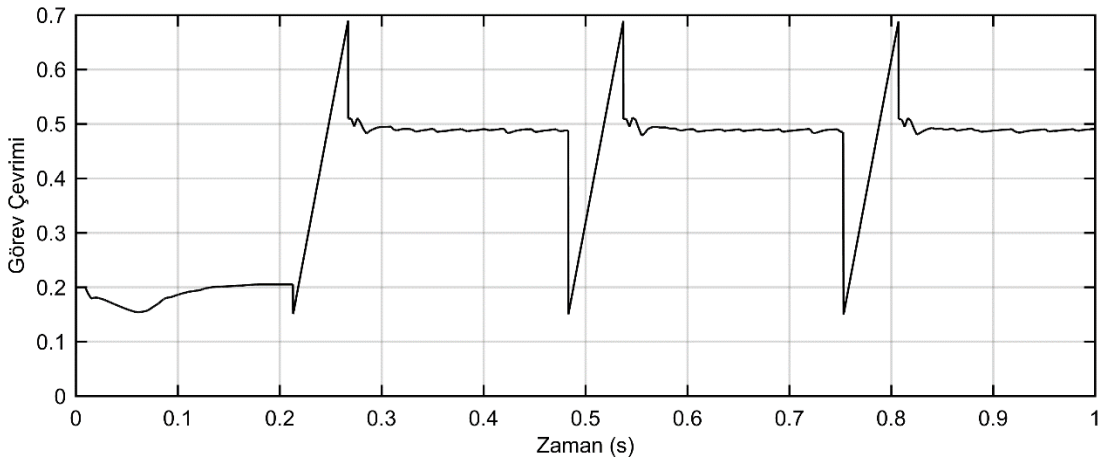


Şekil 4.44. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı PV dizi akımının zamana göre değişimi



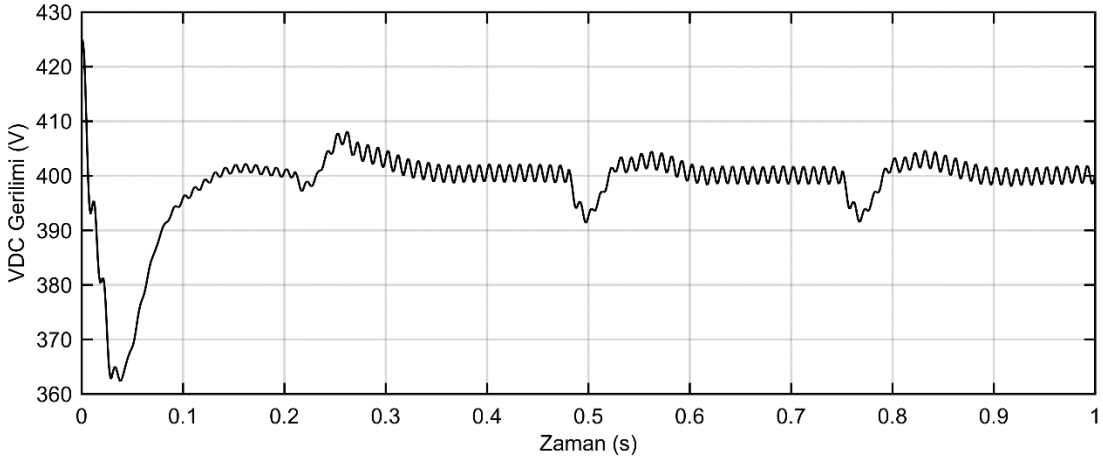
Şekil 4.45. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı PV dizi çıkış gücünün zamana göre değişimi

Görev çevriminin zamana göre değişimi ise Şekil 4.46.'da verildiği gibi elde edilmiştir.

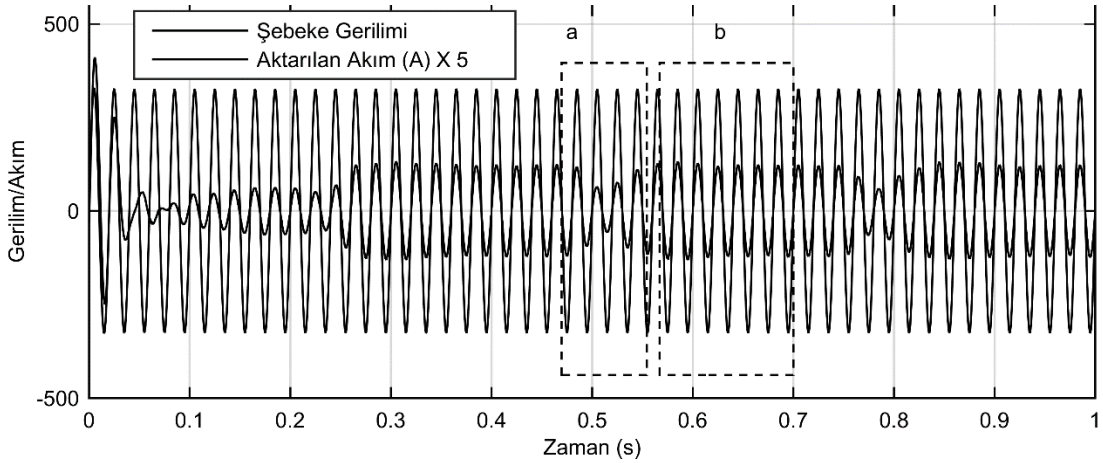


Şekil 4.46. Yatay gölgelenme durumunda şebeke bağlantılı DA – DA dönüştürücüye uygulanan görev çevriminin zamana göre değişimi

Yükselten tip DA – DA dönüştürücü çıkışı ile bir fazlı evirici arasındaki C0 kondansatörü geriliminin (VDC) zamana göre değişim grafiği Şekil 4.47'de ve şebeke gerilimi ile şebekeye aktarılan akımın 5 katı grafikleri Şekil 4.48.'de verilmiştir.

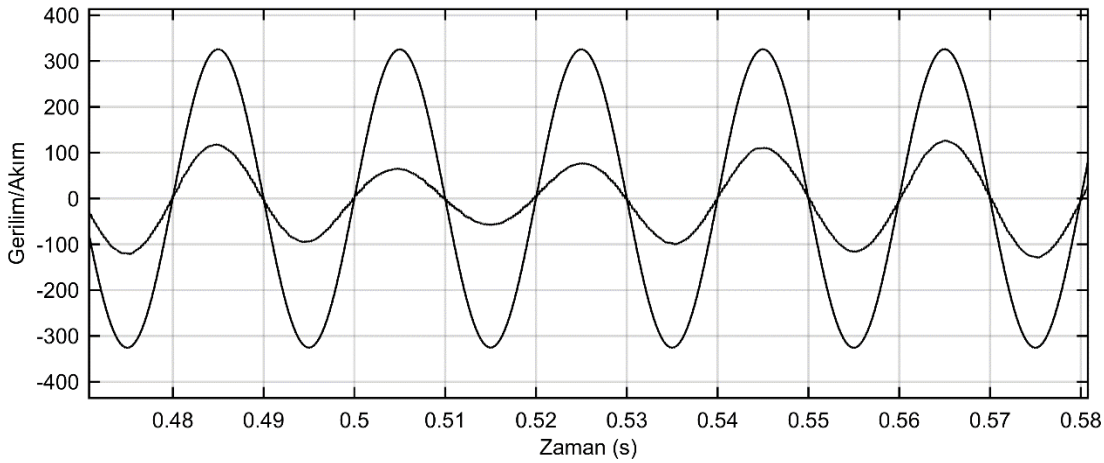


Şekil 4.47. C0 kondansatörü geriliminin zamana göre değişimi

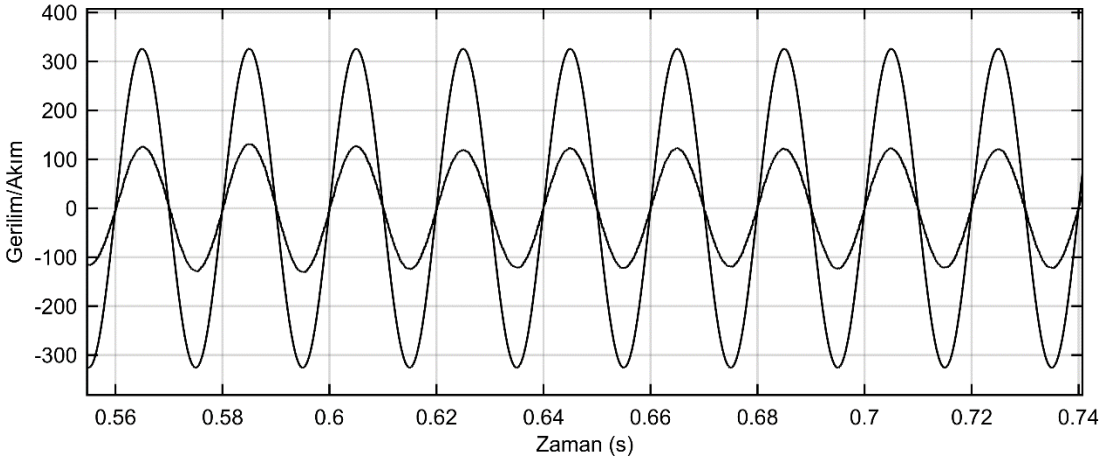


Şekil 4.48. Şebeke gerilimi ve şebekeye aktarılan akım

Şekil 4.48.'de a ve b olarak gösterilen bölgelerin büyütülmüş şekilleri, sırasıyla, Şekil 4.49. ve Şekil 4.50.'de verilmiştir.



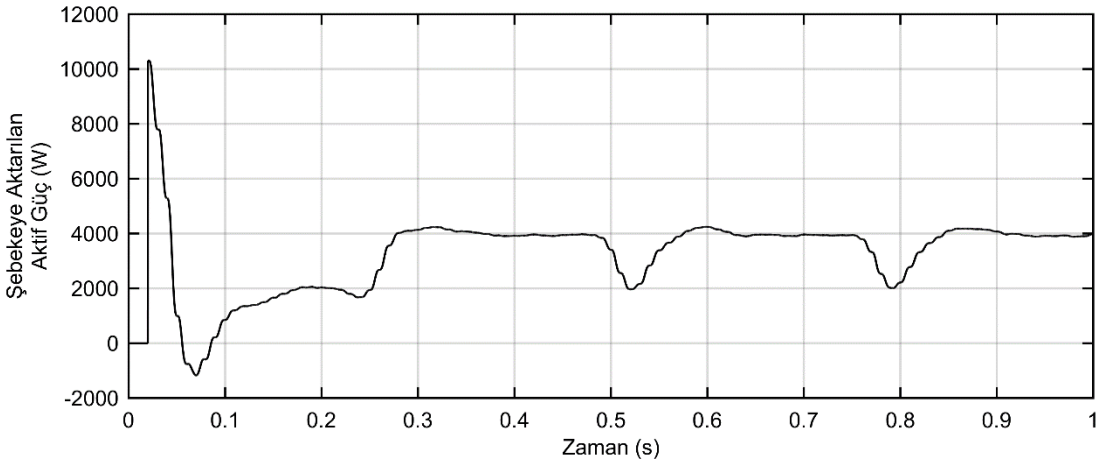
Şekil 4.49. Şebeke gerilimi ve akımı grafiği a bölgesinin büyütülmüş şekli



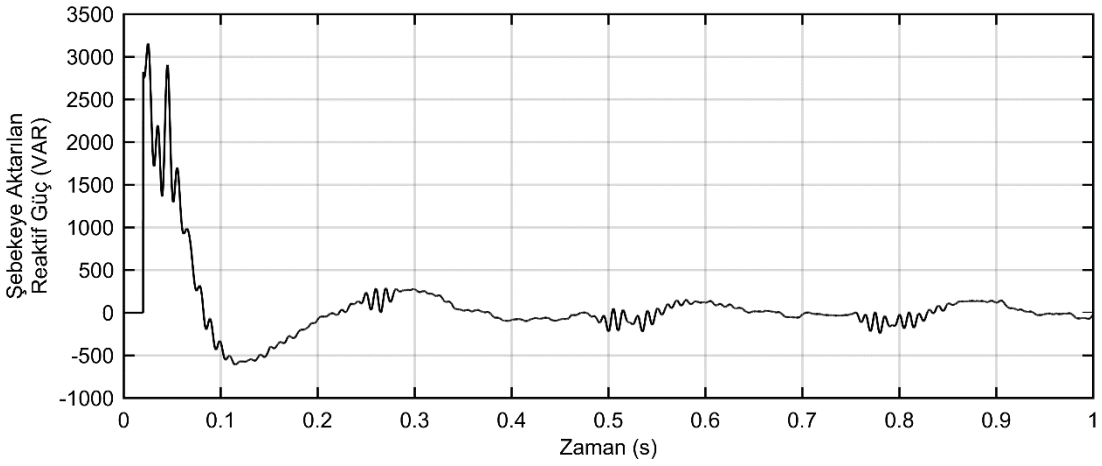
Şekil 4.50. Şebeke gerilimi ve akımı grafiği b bölgesinin büyütülmüş şekli

Yukarıda verilen grafiklerden görüleceği üzere; algoritmanın gerilim tarama süresince C0 kondansatörü üzerinde gerilim ve şebekeye aktarılan akım bir miktar düşmektedir. Ancak, PV dizi açık devre gerilimini ölçme süresi dahil olmak üzere büyük değerli seçilen C0 kondansatörü sayesinde şebekeye sürekli olarak akım aktarılabilmektedir.

Şebekeye aktarılan aktif ve reaktif gücün zamana göre değişim grafikleri, sırasıyla Şekil 4.51. ve Şekil 4.52.'de verilmiştir.



Şekil 4.51. Şebekeye aktarılan aktif gücün zamana göre değişimi



Şekil 4.52. Şebekeye aktarılan reaktif gücün zamana göre değişimi

Şebekeye aktarılan aktif ve reaktif gücün zamana göre değişim grafikleri incelendiğinde; geliştirilen algoritma ile ilk gerilim tarama başlangıcına kadar olan sürede şebekeye aktarılan aktif gücün 2 000 W seviyesine getirildiği ancak gerilim tarama işleminden sonra genel MPP noktası bulunmuş olduğundan aktarılan gücün 4 000 W seviyesine yükseldiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışması ile PV dizilerin kısmi gölgelenmesi durumunda en büyük güç noktasını izleyebilecek bir algoritma geliştirilmiştir. Bulanık mantık denetleyici ve gerilim tarama yöntemlerini birlikte kullanan bu algoritmanın değişik atmosferik koşullardaki başarımı yapılan benzetimlerle ölçülmüştür. Geliştirilen algoritmanın yüksek ışınım şartlarındaki başarımının düşük ışınım şartlarındaki başarımından daha iyi olduğu gözlenmiştir. Değişik kısmi gölgelenme durumları ele alınmış ve bu durumlarda da algoritmanın başarılı bir şekilde en büyük güç noktasının izleyebildiği belirlenmiştir. Genel olarak, geliştirilen algoritmanın en büyük güç noktasını % 99.9 doğrulukta takip edebildiği benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

5.2. Öneriler

Geliştirilen algoritmada PV dizi gerilimi, PV dizi gölgede olsun veya olmasın, belli bir aralıkta taranmakta ve en büyük gücün üretildiği nokta belirlenmeye çalışılmaktadır. Tarama esnasında PV dizi gerilimi sürekli olarak değiştirildiğinden bu anlarda yüke daha düşük güç aktarılmaktadır. Bunun etkisini azaltmak için uygulamada gerilim tarama periyodu artırılabilir.

Yapılacak çalışmalar ile PV dizi gerilimi tarama işlemi sadece PV dizi kısmi gölgelenme altında iken yapılacak şekilde önerilen algoritma geliştirilebilir. Bu sayede gereksiz gerilim tarama işleminin neden olduğu güç kayıpları azaltılabilir.

KAYNAKLAR

ABDULKADIR, M. and YATIM, A.H.M., 2014. Hybrid Maximum Power Point Tracking Technique Based on PSO and Incremental Conductance. IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON), 13-14 Ekim, Johor Bahrus, 271-276.

AHMAD, J., 2010. A Fractional Open Circuit Voltage Based Maximum Power Point Tracker For Photovoltaic Arrays. 2nd International Conference on Software Technology and Engineering (ICSTE), 3-5 Ekim, San Juan, 247-250.

AHMED, J. and SALAM, Z., 2014. A Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV System Using Cuckoo Search With Partial Shading Capability. Applied Energy, 119(2014): 118-130.

ALTAŞ, İ.H., 1999. Bulanık Mantık : Bulanık Denetim. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 64(1999): 76-81.

ANONİM, 1999. Understanding Boost Power Stages in Switchmode Power Supplies. Texas Instruments, ABD, 32s.

ANONİM, 2014. Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy. International Energy Agency (IEA), Fransa, 60s.

ARBONA, E.M., 2014. Integrated Distributed Power Management System for Photovoltaic. Arizona State Unıversıty, Electrical Engineering Department, Arizona, Doktora Tezi, 98s.

ARCHER, M.D. and HILL, R., 2001. Clean Electricity From Photovoltaics. Imperial College Press, Singapore, 870s.

AREZKI, S. and BOUDOUR, M., 2014. Improvement of Power Quality For Hybrid PV-FC Power Supply System. IEEE 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC), 21-24 Eylül, Antalya, 725-730.

BASTIDAS, J.D., RAMOS-RAJA, C.A., FRANCO, C.A. and SPAGNUOLO, G., 2012. Modeling Of Photovoltaic Fields in Mismatching Conditions By Means of Inflection Voltages. IEEE Workshop on Engineering Applications (WEA), 2-4 Mayıs, Bogota, 1-6.

BENDIB, B., BELMILI, H. and KRIM, F., 2015. A survey of The Most Used MPPT Methods: Conventional and Advanced Algorithms Applied For Photovoltaic Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45(2015): 637-648.

BROOKS, W. and DUNLOP, J., 2013. PV Installation Professional Resource Guide. NAPCEP, USA, 160s.

CHEN, K., TIAN, S., CHENG, Y. and BAI, L., 2014. An Improved MPPT Controller for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 5(3): 978-985.

CIPRIANI, G., DI DIO, V., GENDUSO, F., MICELI, R. and LA CASCIA, D., 2015. A New Modified Inc-Cond MPPT Technique And Its Testing in A Whole PV Simulator Under PSC. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 15-19 Mart, Charlotte, 3060-3066.

ÇAKMAK, R., 2012. Fotovoltaik Güç Üretim Sistemleri İçin Bulanık Mantık Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 163s.

DARABAN, S., PETREUS, D. and MOREL, C., 2013. A Novel Global MPPT Based on Genetic Algorithms for Photovoltaic Systems Under The İnfluence of Partial Shading. 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), 10-13 Kasım, Vienna, 1490-1495.

DEVI, M.L. and CHILAMBARASAN, M., 2013. Design and Simulation of Incremental Conductance MPPT Using Self Lift Cuk Converter. Renewable Energy and Sustainable Energy (ICRESE), 5-6 Aralık, Coimbatore, 105-111.

ELGENDY, M.A., ZAHAWI, B. and ATKINSON, D.J., 2011. Dynamic Behaviour Of Hill-Climbing MPPT Algorithms At Low Perturbation Rates. IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011), 6-8 Eylül, Edinburgh, 1-6.

ELLIS, A., BEHNKE, M. and BARKER, C., 2011. PV System Modeling For Grid Planning Studies. IEEE 37th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 19-24 Haziran, Seattle, 2589-2593.

ELNOSH, A., KHADKIKAR, V., XIAO, W. and KIRTELY, J.L., 2014. An Improved Extremum-Seeking Based MPPT for Grid-connected PV Systems With Partial Shading. IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 1-4 Haziran, İstanbul, 2548-2553.

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

ESRAM, T., KIMBALL, J.W., KREIN, P.T., CHAPMAN, P.L. and MIDYA, P., 2006. Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control. IEEE Transactıons on Power Electronics, 21(5): 1282-1291.

FEMIA, N., PETRONE, G., SPAGNUOLO, G. and VITELLI, M., 2005. Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method. IEEE Transactıons On Power Electronics, 20(4): 963-973.

FEMIA, N., PETRONE, G., SPAGNUOLO, G. and VITELLI, M., 2013. Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems. CRC Press, New York, 355s.

HABERLIN, H., 2012. Photovoltaics System Design And Practice, Wiley, İngiltere, 732s.

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

HASHİM, N., SALAM, Z. and AYOB, S.M., 2014. IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 24-25 Mart, Langkawi, 7-12.

HU, Y., CAO, W., WU, J. JI, B. and HOLLIDAY, D., 2014. Thermography-Based Virtual MPPT Scheme for Improving PV Energy Efficiency Under Partial Shading Conditions. IEEE Transactions on Power Electronics, 29(11): 5667-5672.

ISHAQUE, K. and SALAM, Z., 2013. A Deterministic Particle Swarm Optimization Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System Under Partial

Shading Condition. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 60(8): 3195-3206.

ISHAQUE, K., SALAM, Z. and LAUSS, G., 2014. The Performance of Perturb and Observe and Incremental Conductance Maximum Power Point Tracking Method Under Dynamic Weather Conditions. Applied Energy, 119(2014): 228-236.

ISHAQUE, K., SALAM, Z., AMJAD, M. and MEKHILEF, S., 2012. An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)–Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, 27(8): 3627-3638.

JIANG, L. and MASKELL, D.L., 2014. A Simple Hybrid MPPT Technique For Photovoltaic Systems Under Rapidly Changing Partial Shading Conditions. IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 8-13 Haziran, Denver, 782-787.

JIANG, L.L. and MASKELL, D.L., 2014. A Uniform Implementation Scheme For Evolutionary Optimization Algorithms and The Experimental İmplementation Of An ACO Based MPPT For Pv Systems Under Partial Shading, IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG), 9-12 Aralık, Orlando, 1-8.

JIANG, L.L., MASKELL, D.L. and PATRA, J.C., 2012. A Novel Ant Colony Optimization-Based Maximum Power Point Tracking For Photovoltaic Systems Under Partially Shaded Conditions. Energy and Buildings, 58(2013): 227-236.

JOSEPH, A. AND KAMALA, J., 2013. PV Array Characteristics Analysis Under Partial Shading & Modeling of P&O MPPT Applied Boost Convertor Using Matlab/Simulink. International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 10-12 Nisan, Nagercoil, 596-601.

JUMPASRI, N., PINSUNTIA, K., WORANETSUTTIKUL, K., NILSAKORN, T. AND KHAN-NGERN, W., 2014. Improved Particle Swarm Optimization Algorithm Using Average Model on MPPT for Partial Shading In PV Array. International Electrical Engineering Congress (IEECON), 19-21 Mart, Chonburi, 1-4.

KABIR, S. BANSAL, R. and NADARAJAH, M., 2012. Effects of Partial Shading on Photovoltaic with Advanced MPPT Scheme. IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2-5 Aralık, Kota Kinabalu, 354-359.

KAMARZAMAN, N.A. and TAN, C.W., 2014. A Comprehensive Review Of Maximum Power Point Tracking Algorithms For Photovoltaic Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37(2014): 585-598.

KANGAL, H., 2008. Fotovoltaik Sistem Analizi ve Labview Tabanlı MPPT Simülasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138s.

KASHIF, M.F., CHOI, S., PARK, Y and SUL, S.K., 2012. Maximum Power Point Tracking for Single Stage Grid-Connected Pv System Under Partial Shading Conditions. 7th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC), 2-5 Haziran, Harbin, 1377-1383.

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

KLIP, G.J. and YUAN, B., 1995. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Application. Prentice Hall, ABD, 591s.

KOLLIMALLA, S.K. and MISHRA, M.K., 2013. A New Adaptive P&O MPTT Algorithm Based on FSCC Method For Photovoltaic System. IEEE International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 20-21 Mart, Nagercoil, 406-411.

KOTTAS, T.L., BOUTALIS, Y.S. and KARLIS A.D., 2006. New Maximum Power Point Tracker for PV Arrays Using Fuzzy Controller in Close Cooperation With Fuzzy Cognitive Networks. IEEE Transactıons on Energy Conversıon, 21(3): 793-803.

KOTTI, R. and SHIREEN, W., 2012. Fast Converging MPPT Control Of Photovoltaic Systems Under Partial Shading Conditions. IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 16-19 Aralık, Bengaluru, 1-6.

KOTTI, R. and SHIREEN, W., 2015. Efficient MPPT Control For PV Systems Adaptive To Fast Changing Irradiation And Partial Shading Conditions. Solar Energy, 114(2015): 397-407.

KOUTROULIS, E., KALAITZAKIS, K. and VOULGARIS, N.C., 2001. Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System. IEEE Transactıons On Power Electronics, 16(1): 46-54.

LIN, C.H., HUANG, C.H., DU, Y.C. and CHEN, J.L., 2011. Maximum Photovoltaic Power Tracking for The PV Array Using The Fractional-Order Incremental Conductance Method. Applied Energy, 88(12): 4840-4847.

LUQUE, A. and HEGEDUS, S., 2011. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Wiley, İngiltere, 1166s.

LYNN, P. A., 2010. Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics. Wiley, İngiltere, 239s.

MAKI, A. and VALKEALAHTI, S., 2013. Effect of Photovoltaic Generator Components on The Number of MPPs Under Partial Shading Conditions. IEEE Transactıons On Energy Conversion, 28(4): 1008-1017.

MAMDANI, E.H., 1974. Application of Fuzzy Algorithms For Control of Simple Dynamic Plant. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 121(12): 1585-1588.

MANDAL,A. K., 2006. Introductıon To Control Engineering: Modeling, Analysis and Design. New Age International Limited. India, 653s.

MARKVART, T. and CASTANER, L., 2003. Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications. Elsevier, İngiltere, 1015s.

MASOOD, B., SIDDIQUE, M.S., ASIF, R.M. and ZIA-UL-HAQ, M., 2014. Maximum Power Point Tracking Using Hybrid Perturb & Observe and Incremental Conductance Techniques. Engineering Technology and Technopreneuship (ICE2T), 27-29 Ağustos, Kuala Lumpur, 354-359.

MASOUM, M.A.S., DEHBONEI, H. and FUCHS, E.F, 2002. Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems With Voltage- and Current-Based Maximum Power-Point Tracking. IEEE Transactions On Energy Conversıon, 17(4): 514-522.

MASTERS, G. M., 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems. Wiley, USA, 676s.

MATHEW, J.K., KUITCHE, J. and TAMIZHMANI, G., 2010. Test-To-Failure Of Pv Modules: Hotspot Testing. 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 Haziran, Honolulu, 2839-2843.

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

MESSAI, A., MELLIT, A., GUESSOUM, A. and KALOGİROU, S.A., 2011. Maximum Power Point Tracking Using A GA Optimized Fuzzy Logic Controller and Its FPGA Implementation. Solar Energy, 85(2): 265-277.

MUNAKATA, T. and JANI, Y., 1994. Fuzzy Systems: An Overwiev, Communications of The ACM, 37(3): 69-76.

MURTAZA, A., CHIABERGE, M., GIUSEPPE, M.D. and BOERO, D., 2014. A Duty Cycle Optimization Based Hybrid Maximum Power Point Tracking Technique For Photovoltaic Systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 59(2014): 141-154.

PARLAK, K.Ş. and CAN, H., 2012. A New MPPT Method for PV Array System Under Partially Shaded Conditions. 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 25-28 Haziran, Aalborg, 437-441.

QINGSHAN, X., JING, S., HAIHONG, B. and YUKITA, K., 2010. Analysis Of Photovoltaic Array Performance Under Shaded Conditions. IEEE Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 28-31 Mart, Chengdu, 1-4.

RASHID, M.H., 2011. Power Electronic Handbook Devices, Circuits and Applications. Elsevier, USA, 1409s.

REKIOUA, D. and MATAGNE, E., 2012. Optimization of Photovoltaic Power Systems Modelization, Simulation and Control. Springer, London, 296s.

SAFARUDIN, Y.M., PRIYADI, A., PURNOMO, M.H. and PUJIANTARA, M., 2014. Maximum Power Point Tracking Algorithm For Photovoltaic System Under Partial Shaded Condition By Means Updating β Firefly Technique. 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 7-8 Ekim, Yogyakarta, 1-5.

SALAM, J. and AHMED, J., 2014. The Application of Soft Computing Techniques to Improve The Performance of Maximum Power Point Tracker for Pv System During Partial Shading. IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 24-25 Mart, Langkawi, 237-242.

SARANROM, W. and POLMAI, S., 2011. The Efficiency Improvement of Series Connected PV Panels Operating Under Partial Shading Condition By Using Per-Panel DC/DC Converter. 8th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 17-19 Mayıs, Khon Kaen, 760-763.

SEYEDMAHMOUDIAN, M., RAHMANI, R., MEKHILEF, S., MAUNG THAN OO, A., STOJCEVSKI, A., SOON, T.K. AND GHANDHARI, A.S., 2015. Simulation and Hardware Implementation of New Maximum Power Point Tracking Technique for Partially Shaded PV System Using Hybrid DEPSO Method. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 6(3): 850-862.

SHAH, N. and CHUDAMANI, R., 2012. A Novel Algorithm For Global Peak Power Point Tracking in Partially Shaded Grid-Connected PV System. IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2-5 Aralık, Kota Kinabalu, 558-563.

SHERAZ, M. and ABIDO, M.A., 2012. An Efficient MPPT Controller Using Differential Evolution And Neural Network. IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2-5 Aralık, Kota Kinabalu, 378-383.

SIAH, S., LOKA, P., POLSANI, K. and REDDY, S., 2014. The Expansion Opportunity For Off-Grid PV To Go Mainstream: Multiple Case Studies For Village Electrification and Telecom Power-Up in India. IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 8-13 Haziran, Denver, 2765-2766.

SUNDARESWARAN, K., SANKAR, P., NAYAK, P.S.R., SIMON, S.P. and PALANI, S., 2015. Enhanced Energy Output From a PV System Under Partial Shaded Conditions Through Artificial Bee Colony. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 6(1): 198-209.

TAHERI, S. , TAHERI, H., SALAM, Z., ISHAQUE, K. and HEMMATJOU, H., 2012. Modified Maximum Power Point tracking (MPPT) of Grid-Connected PV System Under Partial Shading Conditions. 25th IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE), 29 Nisan - 2 Mayıs, Montreal, 1-4.

TEY, K.S. and MEKHILEF, S., 2014. Modified Incremental Conductance Algorithm for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions and Load Variation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61(10): 5384-5392.

TIWARI, G.N. and DUBEY, S., 2010. Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications. RSC Publishing, London, 423s.

VARDHANA, J.H. and NAICK, B.K., 2014. Optimization of PV MPPT Performance and DC Link Voltage Ripples Compensation Using a Duty Cycle Modifier. IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014), 9-11 Mayıs, Jaipur, 1-6.

VEERACHARY, M. and YADAIAH, N., 2000. ANN Based Peak Power Tracking For PV Supplied DC Motors. Solar Energy, 69(4): 343-350.

VEERASAMY, B., KITAGAWA, W. AND TAKESHITA, T., 2014. MPPT Method For PV Modules Using Current Control-Based Partial Shading Detection. International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), 19-22 Ekim, Milwaukee, 359-364.

VILLALVA, M.G., GAZOLI, J.R. and FILHO, E.R., 2009. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. IEEE Transactions On Power Electronics, 24(5): 1198-1208.

XUETING, W. and HUI, L., 2012. Output Characteristics of PV Array Under Different Insolation and Temperature. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 27-29 Mart, Shanghai, 1-4.
ZADEH, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8 (1965): 338-353.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rüknettin IŞIK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Uğurcuk – 01/01/1971
Telefon : 0533 653 41 91
Faks : 0414 318 32 28
e-mail : ruknettin@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Birecik Lisesi, Birecik, Şanlıurfa	1989
Lisans	: Gazi Üniversitesi, Ankara (Mühendislik-Mimarlık Fak. Elektrik-Elektronik Müh.)	1995
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Şanlıurfa (Fen Bilimleri Ens. Elektrik-Elektronik Müh. A.B.D.)	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1996-Halen	Harran Üniversitesi Birecik MYO	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Elektrik, Bilgisayar Programlama

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

EKLER

EK 1: Kyocera KD325GX-LFB panelinin veri sayfası

KD 300-80 F SERIES

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Standard Test Conditions (STC)
*STC = 1000 W/M² irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum**

	KD325GX-LFB	KD320GX-LFB	
P_{max}	325	320	W
V_{mp}	40.3	40.1	V
I_{mp}	8.07	7.99	A
V_{oc}	49.7	49.5	V
I_{sc}	8.69	8.60	A
$P_{tolerance}$	+5/-3	+5/-3	%

Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT)
*NOCT = 800 W/M² irradiance, 20°C ambient temperature, AM 1.5 spectrum**

T_{NOCT}	45	45	°C
P_{max}	234	230	W
V_{mp}	36.2	36.1	V
I_{mp}	6.47	6.40	A
V_{oc}	45.5	45.3	V
I_{sc}	7.04	6.96	A
PTC	287.8	283.3	W

Temperature Coefficients

P_{max}	-0.45	-0.45	%/°C
V_{mp}	-0.47	-0.51	%/°C
I_{mp}	0.025	0.0065	%/°C
V_{oc}	-0.36	-0.36	%/°C
I_{sc}	0.060	0.060	%/°C
Operating Temp	-40 to +90	-40 to +90	°C

System Design

Series Fuse Rating	15 A
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V
Hailstone Impact	1in (25mm) @ 51mph (23m/s)

* Subject to simulator measurement uncertainty of +/- 3%.
KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice.

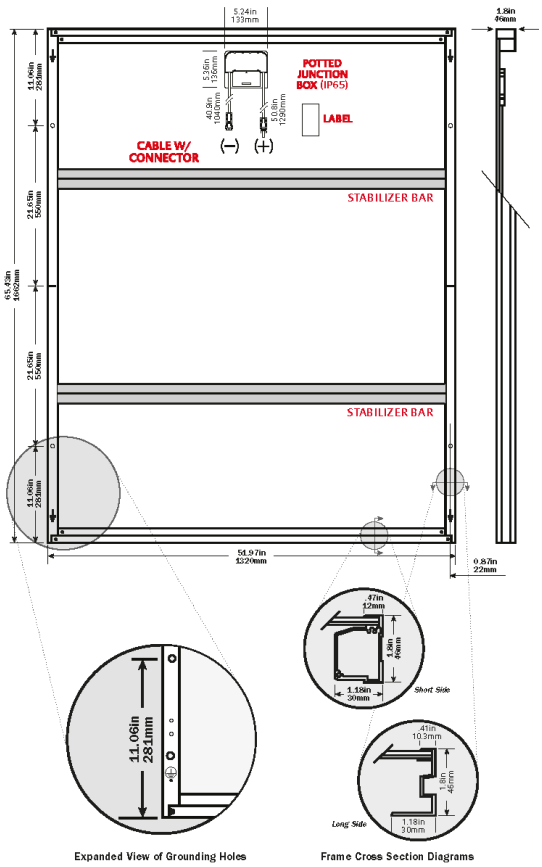
NEC 2008 COMPLIANT
UL 1703 LISTED

MODULE CHARACTERISTICS

Dimensions: *length/width/height*	65.43in/51.97in/1.8in (1662mm/1320mm/46mm)
Weight:	60.6lbs (27.5kg)

PACKAGING SPECIFICATIONS

Modules per pallet:	20
Pallets per 53' container:	22
Pallet box dimensions: *length/width/height*	66in/53in/47in (1675mm/1330mm/1190mm)
Pallet box weight:	1323 lbs (600kg)



Expanded View of Grounding Holes — Frame Cross Section Diagrams

WARNING: Read the instruction manual in its entirety prior to handling, installing & operating Kyocera Solar modules.

Legend
MOUNTING HOLES .35in (9mm) — DRAINAGE HOLES — GROUND HOLE .28in (7mm) (with symbol ⏚ & GR)

010614

OUR VALUED PARTNER

KYOCERA Solar, Inc. 800-223-9580 800-523-2329 fax www.kyocerasolar.com