

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN MAKSİMUM GÜÇ
İZLEME ALGORİTMASI TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahdi HUSSİANİ

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet Bayrak

Nisan 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN MAKSİMUM GÜÇ
İZLEME ALGORİTMASI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahdi HUSSAİNİ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 24.04.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Ertan YANIKOĞLU
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Mehmet BAYRAK
Üye



Yrd. Doç. Dr.
ERDAL MUSAFA YEĞİN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

MAHDİ HUSSAİNİ

26.04.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Bayrak'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	1
1.2. Tezin Amacı	2
1.3. Literatür Araştırması	2
BÖLÜM 2.	
GÜNEŞ PANELİ VE BİLGİSAYAR MODELİ	9
2.1. Pv Hücrenin Yapısı	9
2.2. İdeal Pv Hücresi	10
2.3. Pv Panelin Modellenmesi	11
2.3.1. Pv panelin bilgisayar modeli	13
2.3.2. Sonuçlar	16
BÖLÜM 3.	
GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN YAPISI	18
3.1. Genel Yapı	18
3.2. MPPT	18

3.3. Da-da Yükseltici Dönüştürücü Topolojisi	20
BÖLÜM 4.	
GELENEKSEL MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ YÖNTEMLERİ	23
4.1. Değiştir ve Gözle (D&G)	23
4.1.1. D&G bilgisayar modeli	25
4.1.2. Sonuçlar	25
4.2. Sabit Akım (Constant Current)	26
4.2.1. Da-da yükseltici dönüştürücü modellenmesi	27
4.2.1.1. Da-da yükseltici dönüştürücünün geniş sinyal modeli (Averaged large signal model of boost converter)	30
4.2.1.2. Yükseltici dönüştürücü için küçük sinyal Modeli	32
4.2.1.3. Durum uzay modeli kullanılarak transfer fonksiyonu elde edilmesi	34
4.2.2. Sabit akım bilgisayar modeli	36
4.2.3. Sonuçlar	37
BÖLÜM 5.	
GELİŞTİRİLEN YÖNTEM	39
5.1. YSA Tabanlı MPPT	39
5.2. Yapay Sinir Ağ (YSA)	39
5.3. Dataların Toplanması	42
5.4. Ağ Yapısının Seçilmesi	42
5.5. Ağ Eğitimi ve Testi	43
5.6. Pv Panel Kirliliği	43
5.7. Pv Panel Verimi	44
5.8. Geliştirilen Yöntem Tasarımı.....	45
5.9. Sonuçlar	49
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	52

KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MPPT	: Maksimum güç noktası izleme
YSA	: YAPAY SİNİR AĞI
PID	: Proportional-Integral-Derivative
D&G	: Değiştir ve Gözle
SA	: Sabit Akım
PV	: Photovoltaic
I	: Akım
V	: Gerilim
P	: Güç
W	: Watt
D	: Görev Döngüsü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Artan İletkenlik (Incremental Conductance)	4
Şekil 1.2. Tepe Tırmanma Algoritması (Hill Climbing Algorithm)	4
Şekil 1.3. Modife edilmiş Tepe Tırmanma Algoritması	5
Şekil 1.4. Sabit gerilim algoritması	6
Şekil 1.5. Bulanık Mantık şeması	7
Şekil 2.1. Pv panel hücrenin yapısı	9
Şekil 2.2. PV hücrenin tek diyotlu eşdeğer modeli ve seri / paralel dirençleri dahil edilmiş eşdeğer devresi toplam fenolik madde miktarı	10
Şekil 2.3. Simülasyon için gerekli olan bilgiler	13
Şekil 2.4. Panel termal gerilimi	14
Şekil 2.5. I_{pv} akımı	14
Şekil 2.6. $I_{o,n}$ akımı	14
Şekil 2.7. I_o akımı	15
Şekil 2.8. I_d akımı	15
Şekil 2.9. I akımı	15
Şekil 2.10. 100-810-730 radyasyon seviyeleri için I-V eğrileri	16
Şekil 2.11. 100-810-730 radyasyon seviyeleri için P-V eğrileri	17
Şekil 3.1. Güneş enerji sistemlerinin genel yapısı	18
Şekil 3.2. Pv panelin I-V ve P-V eğrisi	19
Şekil 3.3. Pv panel kısmi gölgelenme modeli	19
Şekil 3.4. Kısmi gölgelenme durumunda P-V eğrisi	20
Şekil 3.5. Yükseltici çevirici	21
Şekil 3.6. Dalga şekilleri	22
Şekil 4.1. P-V eğrisi	24
Şekil 4.2. D&G algoritmanın akış şeması	24
Şekil 4.3. D&G yönteminin simülasyonu	25

Şekil 4.4. Farklı radyasyon değerleri için zaman-gerilim eğrisi	26
Şekil 4.5. Farklı radyasyon değerleri için zaman-güç eğrisi	26
Şekil 4.6. Sabit akım blok şeması	27
Şekil 4.7. Mosfet iletimde iken	28
Şekil 4.8. Mosfet kesimde iken	29
Şekil 4.9. Transfer fonksiyonun blok şeması	34
Şekil 4.10. Sabit akım yönteminin simulasyonu	37
Şekil 4.11. Farklı radyasyon değerleri için zaman –gerilim eğrisi	37
Şekil 4.12. Farklı radyasyon değerleri için zaman –güç eğrisi	38
Şekil 5.1. Yapay sinir modeli	40
Şekil 5.2. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	40
Şekil 5.3. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	40
Şekil 5.4. Tan-sigmoid aktivasyon fonksiyonu	41
Şekil 5.5. MPPT için önerilen YSA yapısı	43
Şekil 5.6. Her hafta sonunda, panel üzerinde toz yoğunlupunun değişimi	44
Şekil 5.7. Panel üzerindeki toz yoğunlupunun değişimi ile Isc değişimi	44
Şekil 5.8. Yıla göre verimin azalması	45
Şekil 5.9. YSA tabanlı mppt tasarımı blok şeması	47
Şekil 5.10. Ağ eğitmek için kullanılan nftool	48
Şekil 5.11. İterasyon sayısına karşılık hata (MSE)	48
Şekil 5.12. Zaman –gerilim eğrisi	49
Şekil 5.13. Zaman –güç eğrisi	50
Şekil 5.14. Zaman –Akım eğrisi	50
Şekil 5.15. Zaman –Güç eğrisi	50
Şekil 5.16. Zaman –Radyasyon eğrisi	50

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. MPPT yöntemlerinin özellikleri	8
Tablo 2.1. Fotovoltaik modülün elektriksel verileri	16

ÖZET

Anahtar kelimeler: Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT), YAPAY SİNİR AĞI (YSA), Değiştir ve Gözle (D&G), Sabit Akım (SA)

Gelişen ve değişen dünyamızda güneş enerjisi son derece önemli bir kaynaktır. Ancak bu kaynağın verimli bir şekilde kullanabilmek çok önemlidir. Bu bağlamda mevcut tezin amacı fotovoltaiik sistemde Maksimum Güç Noktasını izlemek (MPPT) için yapay sinir ağı bu alanda son derece verimli olduğunu ispatlayarak ve de panel verimi ve kirliliği etkisini göz önüne alarak bir önceki çalışmaların dezavantajlarını bertaraf emektir. Pv panelden elde edilen maksimum güç, güneş ışınımı, sıcaklık, kirlilik ve panel verimi gibi bir çok etkene bağlıdır. Bu sebeplerden dolayı MPP sürekli değişmektedir. Böylece, maksimum gücü elde etmek için uygun bir kontrolör tasarlamak önemlidir. Değiştir ve Gözle (D&G) ve Sabit Akım (SA) en çok kullanılan mpp yöntemleridir. D&G yöntemi daha verimli ancak mpp etrafında dalgalanma vardır. SA yöntemi D&G ye göre daha az verim ile çalışır fakat mpp etrafında dalgalanma daha azdır. Bu çalışmada geliştirilen yöntem, D&G ve SA yöntemleri tasarlanarak sonuçları karşılaştırmaktadır. Mevcut çalışma, toz ve panel verimliliğinin etkisini MPPT algoritmalarıyla birlikte ele alan literatürdeki ilk tez çalışmasıdır. Geliştirilen yöntem, SA ve D&G yöntemlerine göre daha verimli ve daha az bir dalgalanma ile çalıştığını ispatlamaktadır.

DESIGN OF MAXIMUM POWR TRACKING ALGORITHM FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

SUMMARY

Keywords: Maxsimum Power Point Tracking (MPPT), Artificial Neural Network (ANN), Perturb and Observation (P&O), Constant Current (CC)

Solar energy is an significant resource in our rapidly changing world. it is very important to use this resource efficiently. The purpose of this thesis is to show the usefulness of Artificial Neural Network (ANN) for tracking Maximum Power Point and taking into account the efficiency of the photovoltaic panel and dust effects to eliminate the disadvantages of the previous works. Maximum Power Point Tracking (MPPT) is a method used to extract maximum power from a pv panel. The maximum power obtained from the Pv panel depends on many factors such as solar radiation, temperature, dust and panel efficiency. Because of these reasons MPP is constantly changing. Therefore, it is important to design a suitable controller to achieve maximum power. Perturb and Observation (P&O) and Constant Current (CC) are the most commonly used MPP methods. The P&O method is more efficient but there is fluctuation around the MPP. The CC method works with less efficiency than P&O but has less fluctuation around the MPP. In this study the proposed method, P&O and CC methods are designed and the results are compared. Based on our knowledge, this is the first study to consider the effect of dust and panel efficiency. The results demonstrate that the proposed method works with more efficient and less fluctuation than CC and P&O methods.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Güneş Enerjisi

Bugünlerde küresel ısınma dünya kamuoyunda hassas bir sorun halindedir. Bu nedenle gelişmiş ülkeler sera gazlarının azaltmasına yönelik bir çok çalışma ve yatırım yapmaktadır. Örnek olarak, 2015 yılında Avrupa Birliğindeki sera gazı emisyonu 1990 yılına kıyasla %22 azalmıştır. Bu sayede 1265 milyon ton CO2 atmosfere salınmamıştır [1]. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji sistemleri yeşil bir kaynak olduğundan önemli bir konu haline gelmiştir.

Güneş enerjisi alanındaki gelişmeler birçok ülkenin ilgisini çekmiş ve güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha ucuz, kurulması daha rahat, kullanılmayan yerlere monte edilebilir ve elektirik enerjisi olmayan uzak yerler için bağımsız tesis olarak kullanılabilir olması nedeniyle tercih edilme sebebi olmuştur. Bu avantajlardan dolayı, Çin, Almanya, Japonya, Amerika ve İtalya gibi gelişmiş ülkeler Güneş enerji üretiminde önde gelen ülkelerdir [2].

Güneş enerjiden elektirik üretmek fosil yakıtlardan üretilen elektrik enerjisine kıyasla daha maliyetlidir. Bu nedenle diğer elektrik üreten kaynaklara kıyasla güneş enerjisinin rekabet gücünü arturmak amacıyla verim odaklı çalışmalar yapılmaktadır.

PV tesislerinin verimini yükseltmek için literatürde pv panel (ticari pv panellerinde % 14-16 arasındadır [3]), inverter (% 95-98 [4]) ve MPPT (% 98'den fazla [5]) yöntemleri odaklı çalışılmaktadır. Ancak pv panelin kurulmuş olduğu alanın

kirlenme oranı ve panelin kullanım yılına bağılı olarakda çalışmalar yardımıyla pv tesisinin verimi daha da artırılmaktadır.

Mevcut olan teknolojiler ile pv panel ve inverterin verimini yükseltmek maliyetlidir. Ancak, Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) verimini yeni kontrol yöntemleri ile yükseltilebilir. MPPT verimini yükseltmek PV panel ve İnverter gibi fazla maliyetli olmadığı için bir çok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tezin amacı ilk pv paneli inceleyerek matematiksel formüllerini açıklamaktadır. Bir sonraki adımda Matlab/Simulink programında pv panelin bilgisayar modeli gerçekleştirilir. Sabit sıcaklık ve değişken radyasyonlar için pv panelin akım-gerilim ve gerilim-güç eğrileri çizilir. 3. Bölümde güneş enerji sistemlerinin yapısından bahs edilecektir. Bu bölümde MPPT ile ilgili kısa bir bilgi verilir ve bu çalışmada kullanılan da-da yükseltici dönüştürücünün topolojisi anlatılmaktadır. 4. Bölümde önce en çok kullanılan MPPT yöntemleri, Değiştir ve gözle (D&G) ve Sabit akım (SA) kontrolü incelenir ve bilgisayar modeli yapılmaktadır. Bu yöntemler basit ve maliyet açısından uygun olduğundan en çok tercih edilen MPPT yöntemleridir. 5. bölümde, geliştirilen yöntem önerilir ve bu yöntem D&G ve SA yöntemleri ile karşılaştırılır. 6. bölümde, Matlab/Simulink programı yardımıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve YSA'nın farklı radyasyonlar için geleneksel yöntemlerden daha iyi olduğu ispatlanmıştır.

1.3. Literatür Araştırması

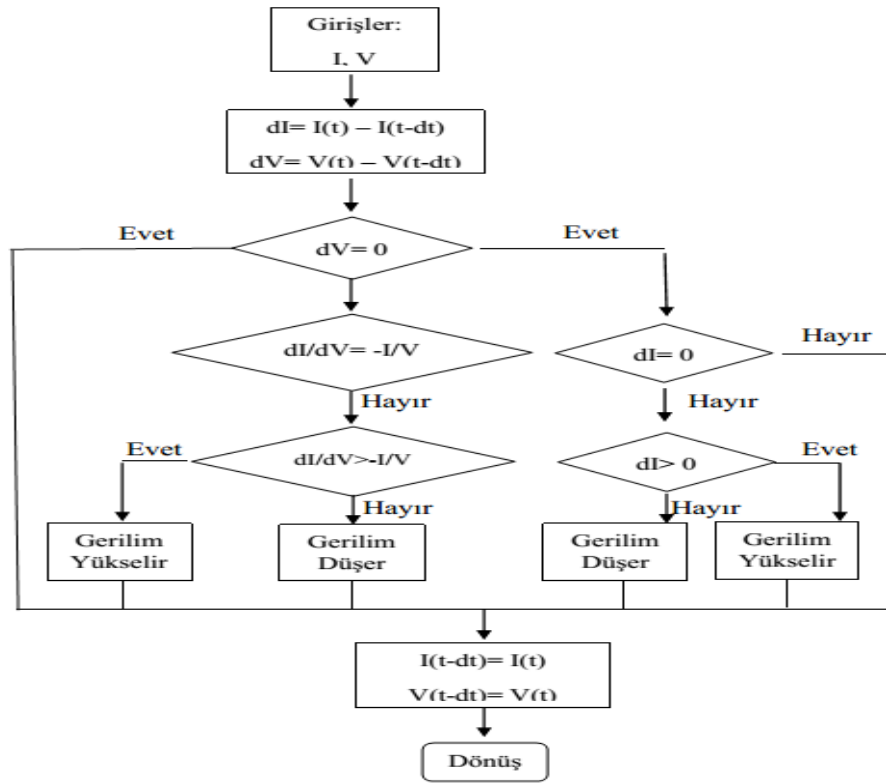
Bu bölüm, fotovoltaik sistemde kullanılan MPPT sistemin literatür araştırması hakkında tartışmaktadır. Literatürde, bir çok MPPT yöntemleri mevcuttur. Sabit Gerilim veya Sabit Akım (Fractional Short Circuit Current or Voltage), Değiştir ve Gözle (Perturb & Observation), Tepe Tırmanma Algoritması (Hill Climbing

Algorithm), Geribesleme (Feedback) ve Artan İletkenlik (Incremental Conductance) 2007 yılına kadar önerilen metodlardır [6][7]. Ortaya koyulan diğer yeni metodlar ise Bulanık Mantık (Fuzzy logic),Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network), Adaptif Değiştir ve Gözle (D&G) veya Artan İletkenlik (Adaptive Perturbation and Observation), Parçacık Sürü Optimizasyon (Particle Swarm Optimization) ve Adaptif bulanık parçacık sürü optimizasyondır (Fuzzy adaptive particle swarm optimization) [8][9].

Hussein ve diğerleri P-V karakteristiğinin I-V ve P-V eğrileri analiz ederek Artan İletkenlik (Incremental Conductance) algoritmasını öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada D&G ve artan iletkenlik (İC) yöntemini karşılaştırıp D&G metodun dezavantajları ve İC metodun değişik hava şartlarında daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir [10].

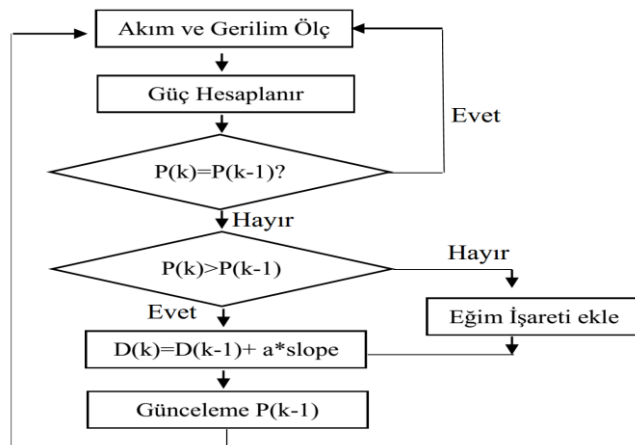
Basit algoritma, başarılı bir şekilde maksimum güç izleme ve maliyeti az olduğu için, D&G popüler bir kontrol yöntemidir. Ancak değişik hava şartlarında D&G yöntemi başarılı olmadığında için bu yöntemin gelişmesi veya diğer metodların ortaya çıkmasını yol açmıştır.

Maksimum güç noktasına (MPP) ulaşmak için adım değişikliğinin büyüklüğüne bağlıdır. Adım büyüklüğü küçük ise MPP'ye daha geç ulaşır, ancak MPP'ye ulaştığı zaman çok az bir dalgalanma ile güç takibi yapar. Adım büyüklüğü büyük ise MPP'ye hızlı ulaşır, ancak MPP'ye ulaştığı zaman dalgalanma ile güç takibi yapar. Bu yöntemin diğer dezavantajı de algoritma karmaşıklığıdır. Ki daha fazla maliyete yol açmaktadır [11].

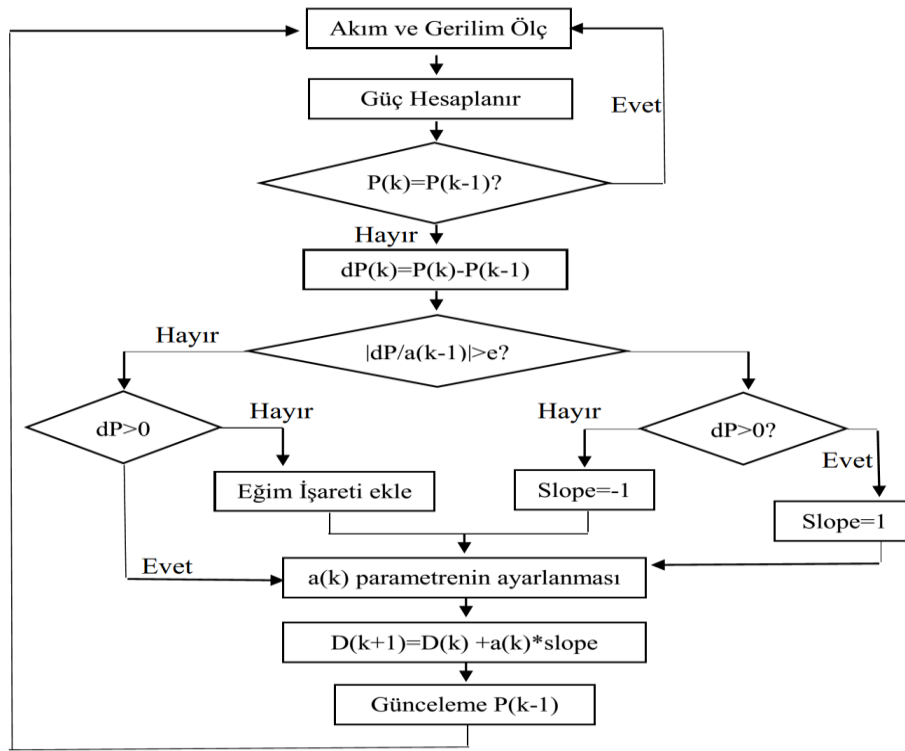


Şekil 1.1. Artan İletkenlik (Incremental Conductance) [12].

Weidong Xiao ve W.G. Dunford Tepe Tırmanma Algoritması (Hill Climbing Algorithm) ve bu yöntemin geliştirilmiş halini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada geliştirilmiş yöntemin değişik hava şartlarında, geçici ve kararlı durumda daha iyi olduğunu ispatlamışlardır [13].



Şekil 1.2. Tepe Tırmanma Algoritması (Hill Climbing Algorithm) [13].



Şekil 1.3. Modife edilmiş Tepe Tırmanma Algoritması (Hill Climbing Algorithm) [13].

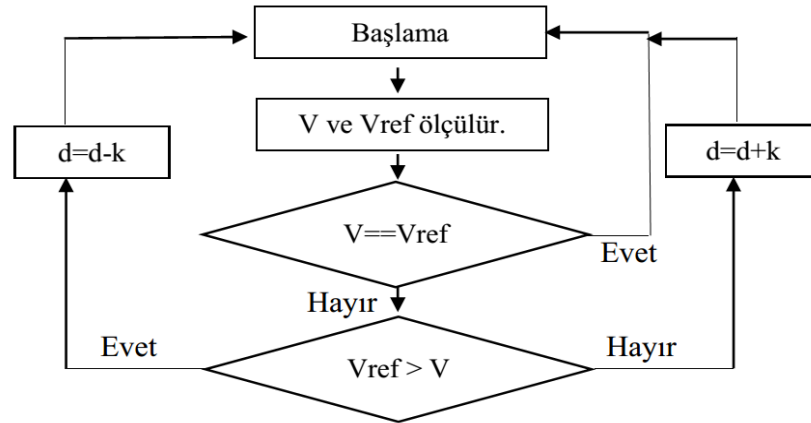
Zheng Shicheng Sabit Gerilim İzleme (Constant Voltage Tracking) yöntemini ortaya koymuştur. Bu metodun prensibi basittir. Sıcaklık ve radyasyon etkileri ihmal edilir. Bu yöntem sıcaklık ve radyasyon değişimindeki durumlarda etkili bir yöntem değildir. Dolayısıyla sabit gerilim izlemenin bazı geliştirmeleri vardır.

-Açık Gerilim (Open Voltage) metodu Sabit gerilim metoduna dayanır. Bu yöntemde MPP geriliminin (V_{mp}) açık devre gerilimin (V_{OC}) yaklaşık % 70-90 ($K_1=0.7-0.9$) arasında varsaymaktadır.

-Sıcaklıklar Metodu de açık gerilim metodunun bir geliştirmesidir: açık devre gerilimi sıcaklık ile doğrusal bir ilişkisi vardır [14][15].

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{OC} \quad (1.1)$$

Denklem 1.1 bir tahmin olduğu için, PV panel hiçbir zaman MPP’de çalışmaz. Doğru MPP’yı bulmakta başarısız olan bu yöntem, kullanılmaması için yeterli bir sebeptir [16]. Diğer yandan bu yöntem basit ve uygulaması ucuz olduğu için bir çok araştırmacı tarafından tercih edilir [16].

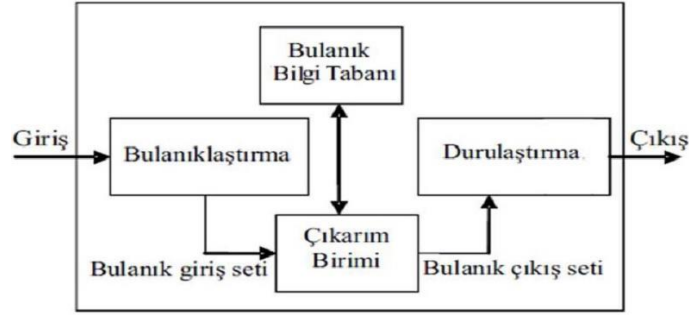


Şekil 1.4. Sabit gerilim algoritması [17].

Kim ve diğerleri Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) kullanarak yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada bulanık mantık bir d.a-d.a yükselticiye uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları, yeni yöntemin performansı tepe tırmanma (Hill Climbing Algorithm) yöntemine göre geçici durum ve kararlı durumda daha hızlı ve daha az dalgalanma ile üstünlüğünü göstermiştir [18].

Swati Singh ve diğerleri P&O yöntemini Bulanık Mantık ile karşılaştırmışlardır. Bulanık mantık değişik radyasyonlarda P&O yöntemine göre daha hızlı ve daha az dalgalanma ile maksimum güç takibi yapmaktadır [19].

Bulanık mantık değişik hava şartlarında daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Ancak bulanık mantık verimi büyük ölçüde uzman bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Bulanık mantığın diğer bir avantajı da matematiksel modele gerek duymaz ve lineer olmayan sistemleri de desteklemektedir [20].



Şekil 1.5. Bulanık Mantık şeması

Wannaya ve diğerleri Yapay Sınır Ağları (Artificial Neural Network) kullanarak maksimum güç noktasını izlemek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerilen algoritma, izleme hızı açısından konvansiyonel metodlardan daha iyi performans gösterip kararlı durumundaki dalgalanma önemli ölçüde azalmıştır [21].

Tawfik ve diğerleri artan iletkenlik metodunu bulanık mantık ile modife etmiştir. Artan iletkenlik yöntemi sabit adımlar ile mppt noktasına ulaşır. Ancak mppt noktasına ulaştığı zaman ve ulaşmakta sabit adımları kullandığı için mppt noktasına bulmakta hem geç hem de kararlı durumda yüksek hata vermektedir. Bulanık mantık kullanarak bu sabit adımları değişken hale getirerek yeni bir yaklaşım sergilemişlerdir [22].

Yukarıdaki bahs edilen yöntemlerin avantajları, dezavantajlarını, kontrol parametreleri, algoritmanın karmaşıklığı, yakınsama hızı, pv panel bağımlılığı ve periyodik ayarlamayı gözden geçirmek önemlidir. Kullanıcının hangi metodu seçmekte zorluklar yaşayabilir. Bu problemi bertaraf etmek için Tablo 1.1.'e dikkat edilmelidir. Tablo 1.1. MPPT yöntemlerinin özelliklerini göstermektedir.

Tablo 1.1. MPPT Yöntemlerinin özellikleri [16].

MPPT Yöntemleri	Panele bağımlılığı	MPP bulabilme	Periyodik ayarlama	Yakınsama hızı	Uygulama karmaşıklığı	Kontrol parametreleri
Tepe tırmanma /D&G	Hayır	Evet	Hayır	Değişir	Az	Gerilim, Akım
Artan İletkenlik	Hayır	Evet	Hayır	Değişir	Orta	Gerilim, Akım
Sabit Gerilim V_{oc}	Evet	Hayır	Evet	Orta	Az	Gerilim
Sabit Akım I_{sc}	Evet	Hayır	Evet	Orta	Az	Akım
Bulanık Mantık	Evet	Evet	Evet	Yüksek	Yüksek	Değişir
Bulanık Mantık+Artan İletkenlik	Evet	Evet	Evet	Yüksek	Yüksek	Gerilim, Akım
Yapay Sınır Ağları	Evet	Evet	Evet	Yüksek	Yüksek	Değişir
Bulanık Mantık+PSO	Evet	Evet	Evet	Yüksek	Yüksek	Değişir

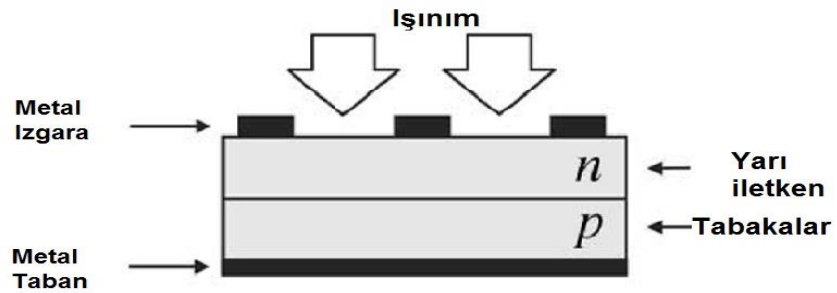
BÖLÜM 2. GÜNEŞ PANELİ VE BİLGİSAYAR MODELİ

2.1. Pv Hücrenin Yapısı

Güneş radyasyonu pv hücreye yansıdığında hücrenin (yarıiletken madde) uçlarında potansiyel farkı oluşur. Bir hücrenin boyutu yaklaşık 100 cm² civarında ve fiziksel yapısı de kare, daire ve dikdörtgen şeklinde imal edilmektedir.

Fotovoltaik (Pv) hücre, hücrenin şekline göre güneş radyasyonunu % 5-30 arasında bir verim ile elektrik enerjisi üretebilir. Bu hücreler bir araya gelerek seri bağlandığında Gerilimi arttırıp paralel bağlamda ise akımı arttırırlar. Bu hücrelerin bir grup olarak bir araya gelmesine ise pv modül denir. Gerekli olan gücü alabilmek amacıyla modüller seri veya paralel biçimde bağlanırlar.

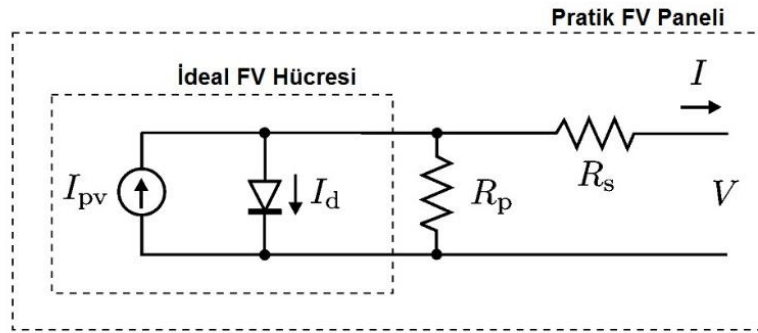
Pv hücreleri yarı-iletken maddeler olan n veya p tipi maddelerden oluşur. bu maddeleri orantılı bir şekilde saf yarıiletkene ilave edilmesi işleme katkılama denir. Yarı-iletkenin türünü (n ya da p), ilave edilen katkı maddeleri ortaya çıkarır [23]. Bir pv hücrenin yapısı Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bir pv hücrenin yapısı [20].

2.2. İdeal Pv Hücresi

Şekil 2.2., ideal ve pratik PV hücrelerinin eşdeğer devrelerini göstermektedir. Denklem 2.1 İdeal pv hücrelerinin akım-gerilim karakteristiğini matematiksel olarak temsil etmektedir.



Şekil 2.2. PV hücrenin tek diyotlu eşdeğer modeli ve seri / paralel dirençleri dahil edilmiş eşdeğer devresi [24].

$$I = I_{pv,cell} - I_{0,cell} \left[\exp\left(\frac{qV}{akT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

$$I_d = I_{0,cell} \left[\exp\left(\frac{qV}{akT}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

$I_{pv,cell}$: Işık tarafından nominal şartlarda ($25C^0$, $1000 \frac{w}{m^2}$) üretilen akımdır

I_d : Shockley diyod denklemdir

$I_{0,cell}$: diyotun ters doyma veya sızıntı akımı

q : Elektron sarjı ($1.60217646 \times 10^{-19} C$)

k : Boltzmann sabiti ($1.3806503 \times 10^{-23} J/K$)

T : p-n bölgesinin sıcaklığı (Kelvin olarak)

a : Diyot idealite faktörü

2.3 Pv Panelin Modellenmesi

Denklem 2.1 ideal pv hücreyi temsil eder, daha gerçekçi bir yaklaşım için ideal hücreye seri ve paralel direnç eklenir (denklem 2.3) [24].

$$I = I_{pv} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V+R_s I}{aV_t} \right) - 1 \right] - \frac{V+R_s I}{R_p} \quad (2.3)$$

V_t : Panelin termal gerilimi,

I : PV panelin çıkış akımı

V : PV panelin çıkış gerilimi

$$V_t = \frac{N_s k T}{q} \quad (2.4)$$

N_s : Seri bağlı hücreler

R_s ve R_p : Seri ve paralel direnç

Denklem (2.1), Şekil 2.2.'de bir diyotlu hücreyi temsil etmektedir. Bazı araştırmacılar, farklı hedefler ve daha gerçekçi bir yaklaşım için kompleks modeller sunmaktadır [25]-[26]. Genelde diğer araştırmacılar tarafından tercih edilen ve basitlik amacıyla, bu çalışmada tek diyotlu model incelenmiştir. Tek diyotlu model pv panel karakteristiğini doğru bir şekilde sunar [27].

Güneş panellerin datasheetlerinde yer alan önemli bilgiler:

$V_{oc,n}$: açık devre gerilimi

$I_{sc,n}$: kısa devre akımı

V_{mpp} : maksimum güç noktasındaki gerilim

I_{mpp} : maksimum güç noktasındaki akım

P_{max} : maksimum güç, $(25C^0, 1000 \frac{w}{m^2})$

k_i : Kısa devre akımının katsayısıdır.

k_v : Kısa devre gerilimin katsayısıdır.

Bu bilgiler genelde STC (Standard Test Condition) şartları için verilir. Bunun yanında bazı pv panel üreticileri farklı radyasyon ve sıcaklık için akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrilerini de sunarlar. Panel datasheetlerinde yer alan diğer önemli husus ise panel verimidir. Pv panellerde verim kurulumdan 10-12 yıl sonra lineer bir şekilde yaklaşık %10 oranında düşmektedir. Bu bilgiler kullanıcıya panel performansını değerlendirip karşılaştırması için yardımcı olabilir. denklem 2.5 güneş radyasyonu tarafından standard $(25C^0, 1000 \frac{w}{m^2})$ koşullarda üretilen akımdır. Bu akım radyasyon ile doğrusal bir ilişkisi var ve sıcaklıktan da etkilenir.

$$I_{pv} = (I_{pv,n} + k_i dT) \frac{G}{G_n} \quad (2.5)$$

$dT = T - T_n$: T gerçek ve nominal sıcaklık (kelvin)

G : Sistem yüzeyindeki radyasyon (metrekare başına düşen güç)

G_n : Nominal radyasyon

E_g : Silisyum için yasak enerji band aralığı değeri

Denklem 2.6, I_0 diyot doyma akımını temsil etmektedir.

$$I_0 = I_{0,n} \left(\frac{T_n}{T}\right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right) \right] \quad (2.6)$$

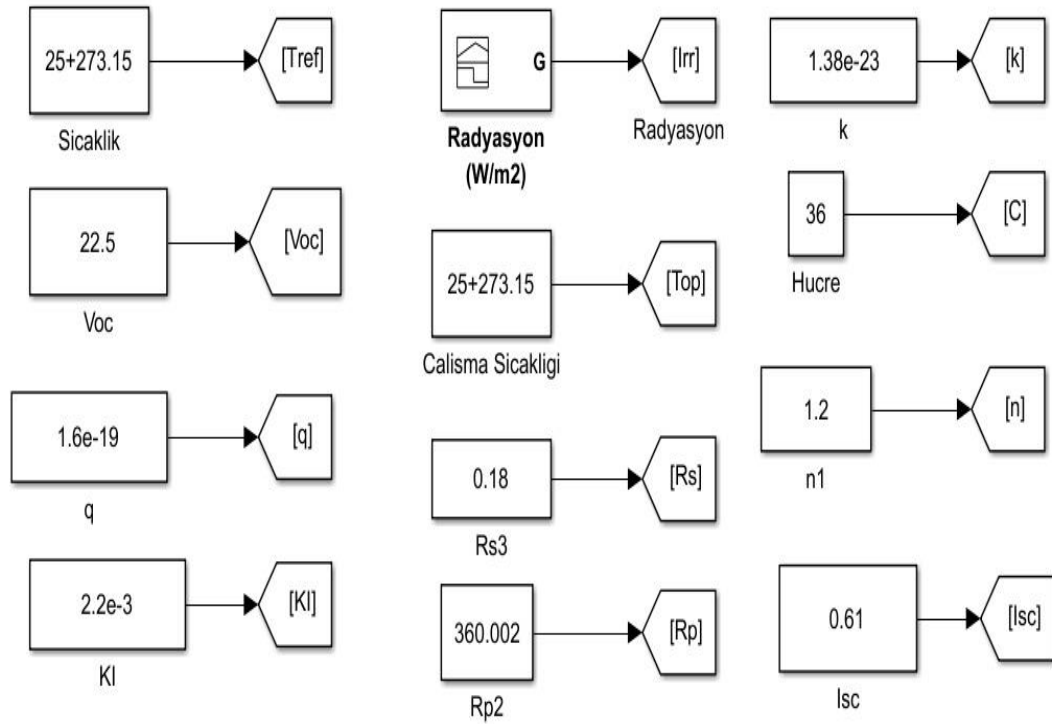
$I_{0,n}$: nominal doyma akımıdır.

$$I_{0,n} = \frac{I_{sc,n}}{\exp\left(\frac{V_{oc,n}}{aV_{t,n}}\right) - 1} \quad (2.7)$$

2.3.1. Pv panelin bilgisayar modeli

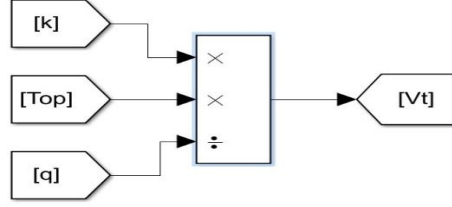
Simulink programında pv paneli oluşturmak için Tablo 2.1. ve pv panelin matematiksel denklemleri kullanarak güneş panelin simülasyonu gerçekleştirilir.

Simülasyon için gerekli olan bilgiler Şekil 2.3.'de gösterilmektedir.



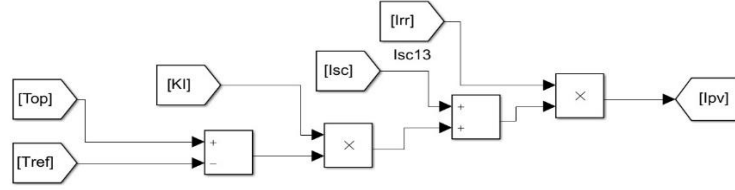
Şekil 2.3. Simülasyon için gerekli olan bilgiler.

Panelin termal gerilimi Şekil 2.4.'te verildiği biçimde hesaplanır.



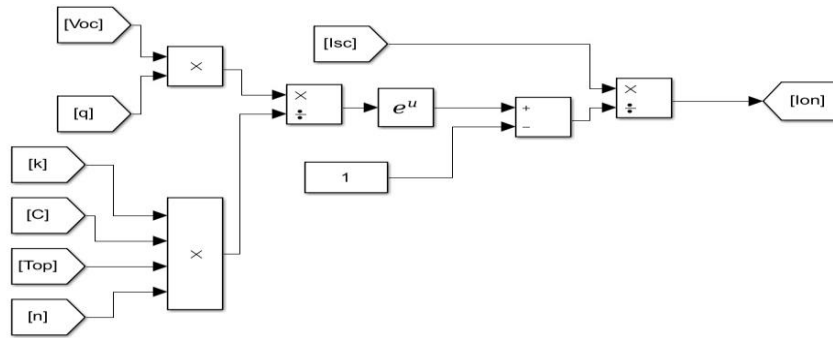
Şekil 2.4. Panel termal Gerilimi (V_t).

I_{pv} ışık tarafından akımı ifade eder ve Şekil 2.5.'te verildiği biçimde hesaplanır.



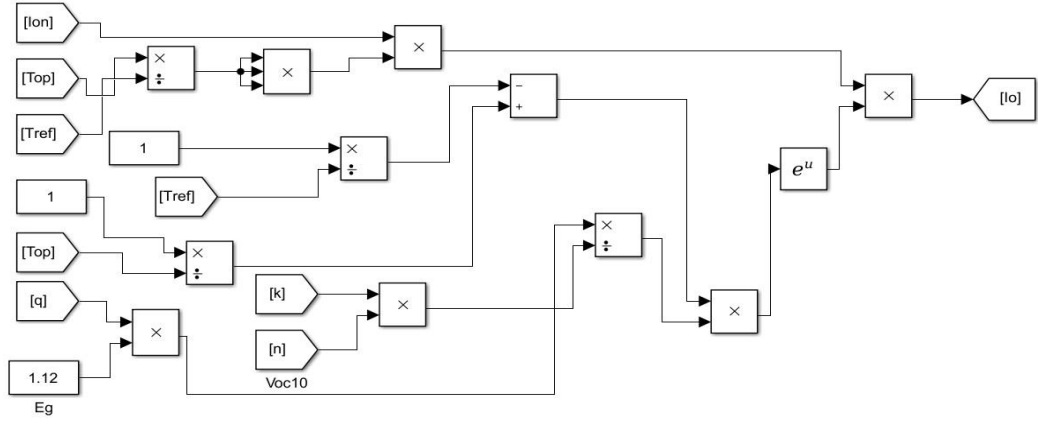
Şekil 2.5. I_{pv} akımı

$I_{o,n}$ nominal doyma akımı temsil eder ve Şekil 2.6.'da verildiği biçimde hesaplanır.



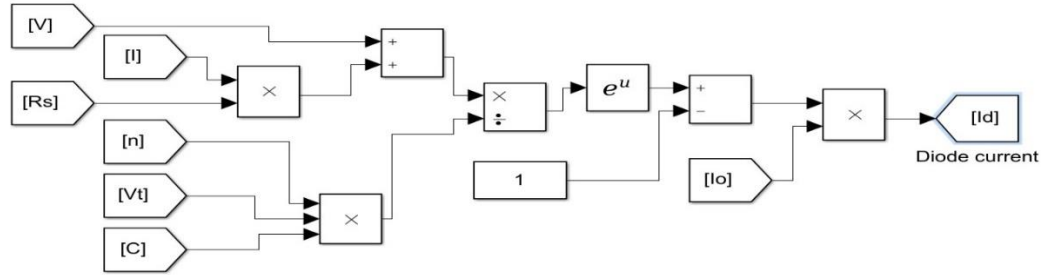
Şekil 2.6. $I_{o,n}$ akımı

I_0 diyot doyma akımı ifade eder ve Şekil 2.7.'de verildiği biçimde hesaplanır.



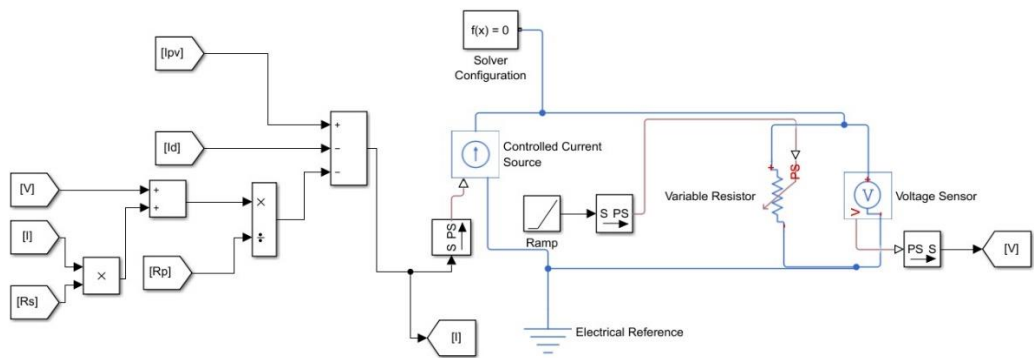
Şekil 2.7. I_0 akımı

I_d Shockley diyod akımı temsil eder ve Şekil 2.8.'de verildiği biçimde hesaplanır.



Şekil 2.8. I_d akımı

I çıkış akımı ifade eder ve Şekil 2.9.'da verildiği biçimde hesaplanır.



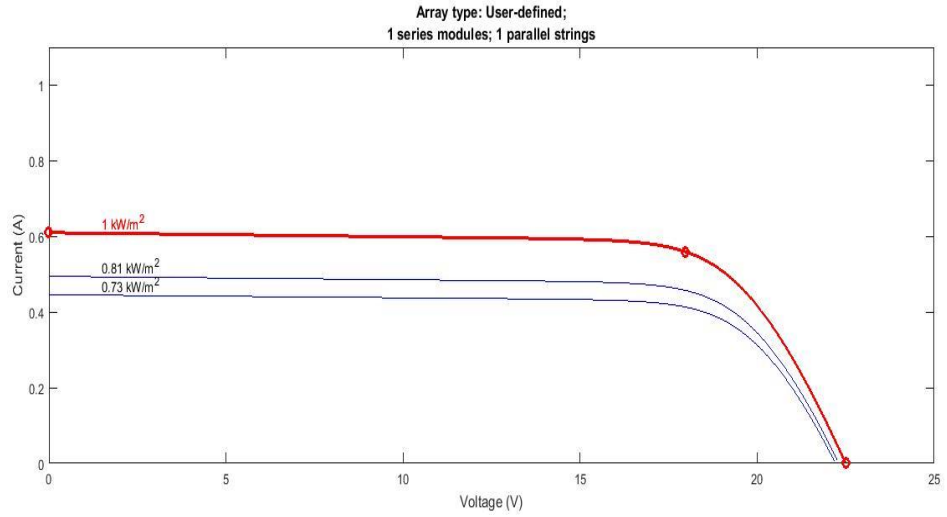
Şekil 2.9. I akımı

2.3.2. Sonuçlar

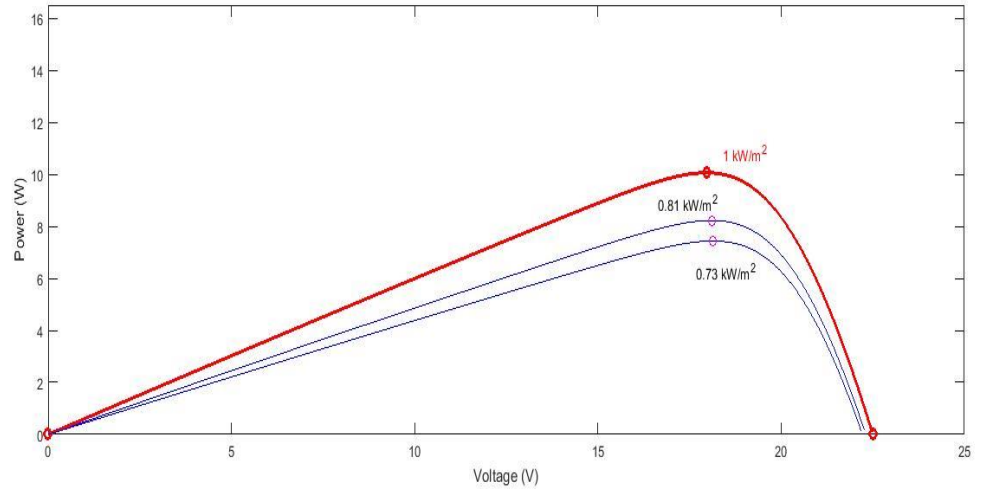
Tablo 2.1., bu çalışmada kullanılan panelin elektriksel bilgilerini göstermektedir. Bu değerler ve farklı radyasyon (1000-810-1000-730) ve sıcaklık (25-45) seviyeleri kullanarak akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrileri Şekil 2.10. ve Şekil 2.11.'de verilmiştir. Radyasyon düşmesi ile akım, gerilim ve gücün azalması Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Fotovoltaik modülün elektriksel verileri

ÜÇE örnekleri	Bütün-etüv
V_{oc} açık devre gerilimi	22,5 V
I_{sc} açık devre akımı	0,61 A
V_{mpp} maksimum güç noktasındaki gerilim	17,96 V
I_{mpp} maksimum güç noktasındaki akım	0,56 A
P_{max} maksimum güç, ($25C^0$, $1000 \frac{W}{m^2}$)	10 W



Şekil 2.10. 100-810-730 radyasyon seviyeleri için I-V eğrileri

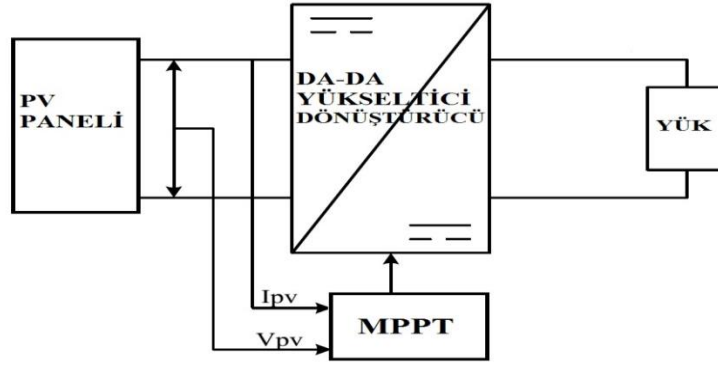


Şekil 2.11. 100-810-730 radyasyon seviyeleri için P-V eğrileri

BÖLÜM 3. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN YAPISI

3.1. Genel Yapı

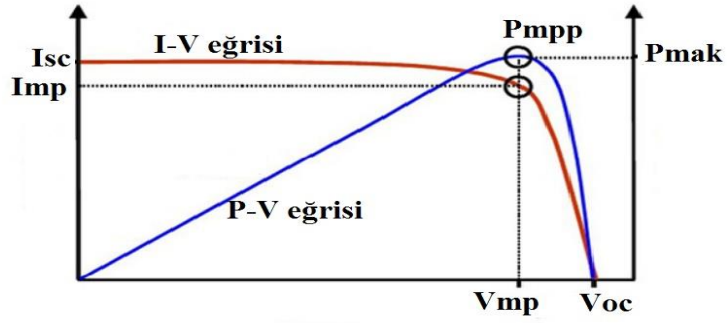
Güneş enerji sistemlerinin genel yapısı Şekil 3.1’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bu yapıda pv panel, mppt, da-da yükseltici dönüştürücü ve yük bulunmaktadır. MPPT, pv panelden maksimum gücü çıkarıp yüke aktarmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu maksimum gücü aktarmak için da-da yükseltici dönüştürücü, pv panel ve yük arasında bir arayüz olarak çalışmaktadır. Pv panelden maksimum gücü çıkarabilmek için, görev döngüsünün değişmesi ile kaynak empedansı ve yük empedansı eşleştirilir [28].



Şekil 3.1. Güneş enerji sistemlerinin genel yapısı

3.2. Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT)

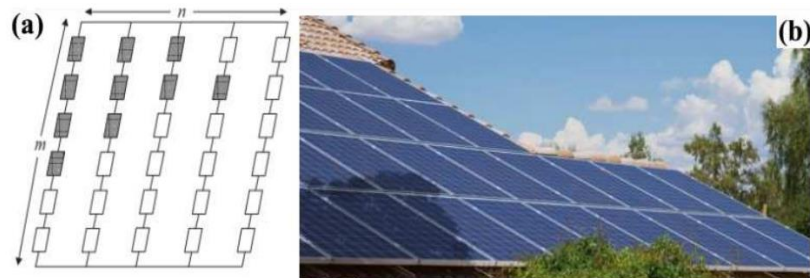
Şekil 3.2., bir Pv panelin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrisini göstermektedir. Eğrideki maksimum gücü elde edebilmek için akım ve gerilim maksimum noktada (I_{mp} ve V_{mp}) olması gerekir.



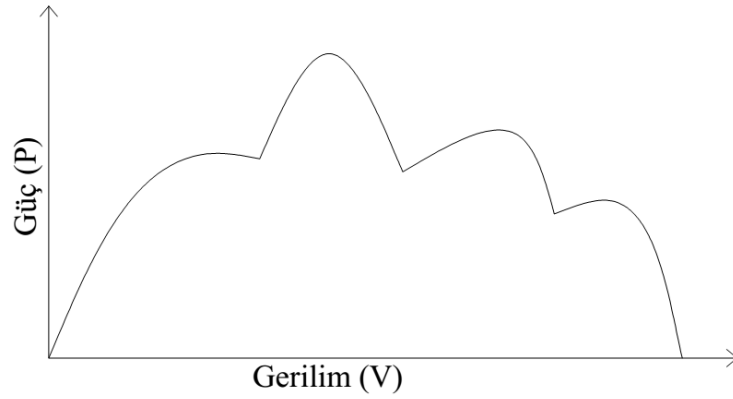
3.2. Pv panelin I-V ve P-V eğrisi

Şekilden de görüldüğü gibi iki eğri nonlineerdir. Radyasyon ve sıcaklık değişimi ile bu eğriler değişmektedir. Bu nedenle maksimum gücü elde etmek için farklı hava şartlarında MPP'yi izlemek önemlidir. MPP'yi izlemek için bir çok farklı yöntem önerilmiştir. Bölüm 4'de en çok kullanılan D&G ve Sabit Akım yöntemleri detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Bir pv panel, seri ve paralel hücreleri kullanılarak oluşur. Bir pv panel maksimum çıkış gücü, tüm hücrelerin maksimum güç değerlerinin toplamına eşittir. Kısmi gölgelenme durumunda, Gölge hücrelerin gücü azalır ve PV panel çıkış gücü eğrisinde farklı maksimum güç noktaları görünmektedir (Şekil 3.4.). Şekil 3.3.'de, kısmi gölgelenme modeli ve gerçek durumda kısmi gölgelenmeyi göstermektedir [42].



Şekil 3.3. (a) pv panel kısmi gölgelenme modeli – (b) gerçek durumda kısmi gölgelenme. [42].



Şekil 3.4. Kısmi gölgelenme durumunda P-V eğrisi

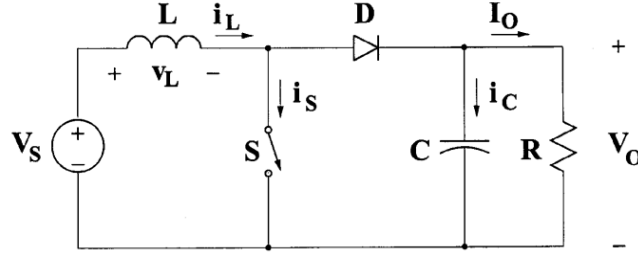
3.3. DA-DA Yükseltici Dönüştürücü Topolojisi

Elektronik devrelerdeki anahtarlama d.a-d.a çeviriciler anahtarlama teknolojisini kullanmaktadır. d.a-d.a çeviriciler, güç kaynağının enerjisini geçici olarak depolayarak gerilim seviyesini değiştirir. Bu enerji depolama işlemi bobin ve kondansatör gibi elemanlar ile yapılmaktadır [29].

bir dc-dc dönüştürücü (d.a-d.a çeviriciler) doğrudan dc'den dc'ye dönüştürür ve d.a-d.a çeviriciler olarak isimlendirilir. DC dönüştürücüler, elektrikli araçlarda, vinçlerinde ve forkliftlerde motor kontrolü için çok sık bir şekilde kullanılmaktadır [30]. Dc dönüştürücüler yumuşak ivmelenmeyi kontrol etmek, verimi yükseltmek ve dinamik tepkiye hızlı cevap vermek için kullanılırlar.

DC-DC dönüştürücüler temel olarak üç farklı yapıda kullanılırlar: Alçaltıcı (buck), Yükseltici (boost) ve Alçaltıcı-Yükseltici (buck-boost). Alçaltıcı çevirici genellikle batarya şarj uygulamalarında, yükseltici çevirici şebeke etkileşimli sistemlerde ve daha esnek kontroller için de Alçaltıcı-Yükseltici çevirici tercih edilmektedir. Yükseltici çevirici (Buck converter) bu çalışmada kullanılmaktadır.

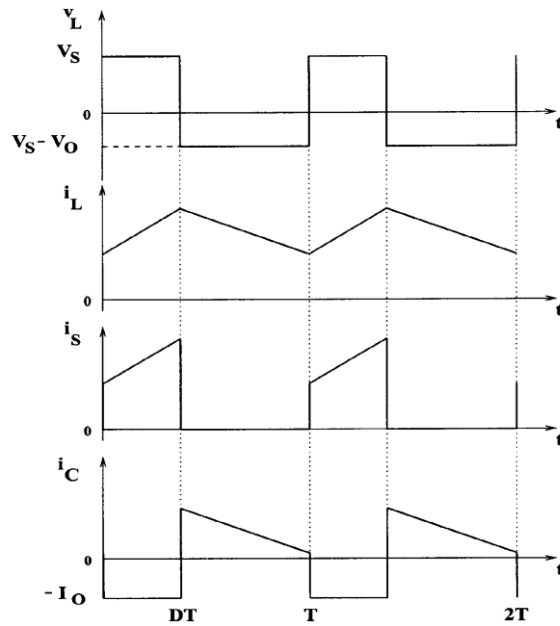
Şekil 3.3.'de bir Yükseltici çevirici devresi görülmektedir. Bu tür Yükseltici çeviricinin çıkış gerilmi giriş gerilminden daha yüksektir.



Şekil 3.3. Yükseltici çevirici

Şekil 3.3., Yükseltici (Boost) dönüştürücüye ait DC giriş gerilimi (V_s), bobin (L), mosfet (S), diod (D), kondansatör (C) ve yük (R) bulunmaktadır. Dönüştürücünün dalga şekilleri Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.

1. İletim durumu: S anahtarı iletime girdiğinde güç kaynağı endüktansa enerji sağlamaktadır.
2. Kesim durumu: S anahtarı kesime girdiğinde bobin enerjisini yüke aktarır [31].



Şekil 3.4. Dalga şekilleri

Boost dönüştürüsünün giriş ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki denklem (3.1) ile ifade edilir.

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (3.1)$$

BÖLÜM 4. GELENEKSEL MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ (MPPT) YÖNTEMLERİ

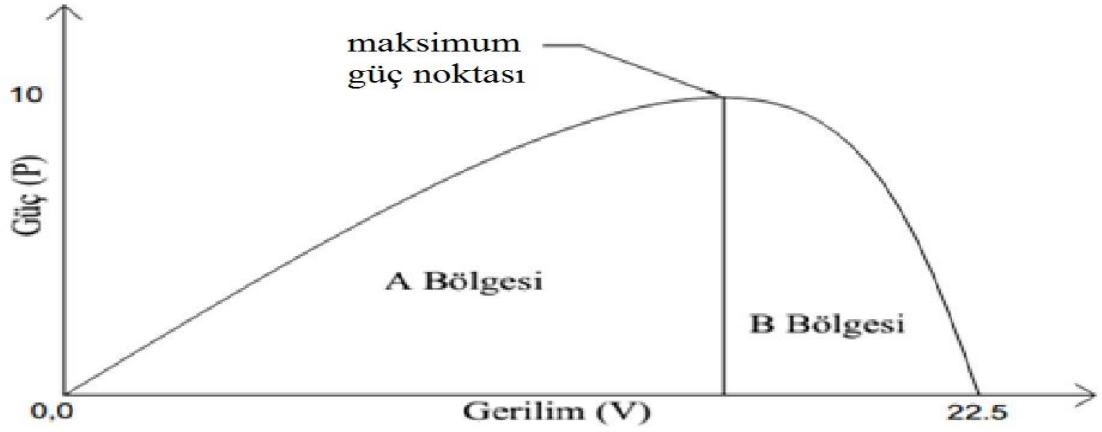
4.1. Değiştir ve Gözle (Perturb and Observation)

Daha önce anlatıldığı gibi, radyasyon ve sıcaklık değişimi ile fotovoltaik panelin maksimum güç noktası değişmektedir. Bu yüzden güneş panelinin maksimum güç noktasını elde etmek için MPPT yöntemlerinin kullanılması ihtiyaç duyarız.

Son yıllarda, maksimum güç noktasını bulmak için bir çok metod ortaya çıkmıştır. Bu teknikler, gerekli sensörler, karmaşıklık, maliyet, yakınsama hızı, ışınlama ve sıcaklıkta doğru MPP bulma gibi birçok faktörlere dayanarak tasarlanmıştır. MPPT yöntemlerinin kapsamlı incelemesi için [32] çalışma önerilebilir.

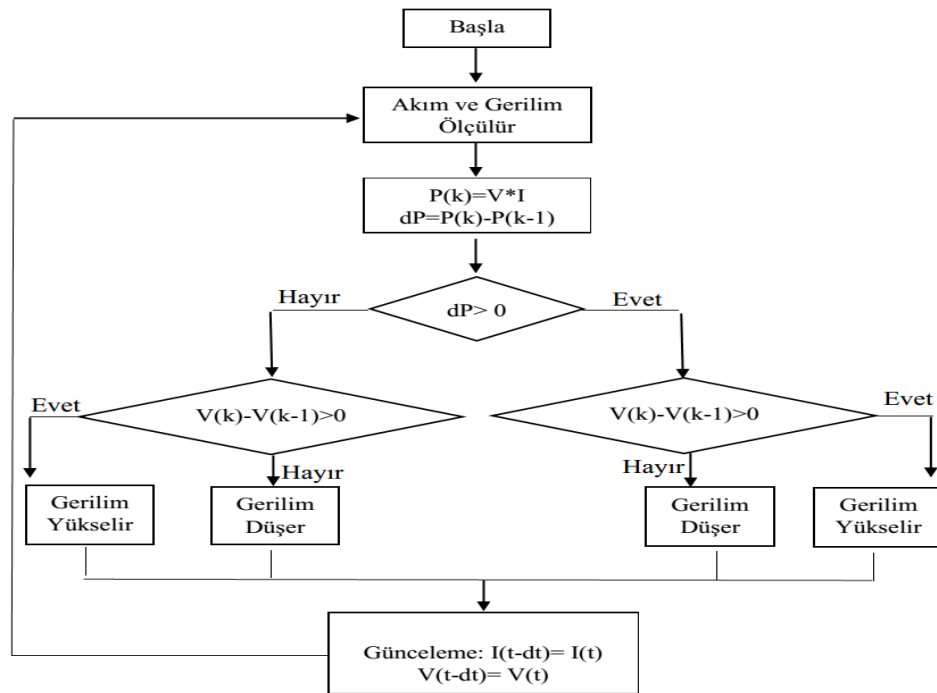
D&G MPPT yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerdir. Bu teknik kolay basit avantajına sahiptir ancak dezavantajları vardır.

Şekil 4.1.'deki P-V eğrisi iki A ve B bölgesine ayırmıştır. A bölgesindeki, çalışma noktası MPP noktasına yaklaştığı zaman güç artmaktadır. Başka bir deyişle, çalışma noktası A alanında iken gerilim artarsa, güç de artar. Bunu aksine, çalışma noktası B alanında iken, gerilimin artmasıyla, PV panelin gücü azalır. Bu olguyu kullanarak birkaç mantıksal durum önerilebilir.



Şekil 4.1. P-V eğrisi

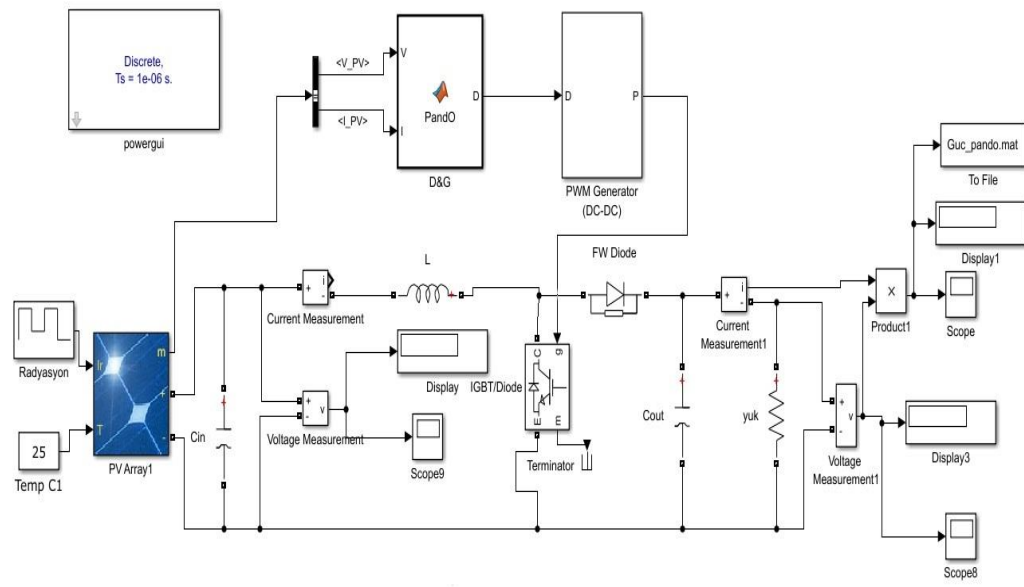
- 1.durum: Eğer çalışma noktası A alanında ise, gerilimin artması ile güç artar.
 - 2.durum: Eğer çalışma noktası A alanında ise, gerilimin azalması ile güç azalır.
 - 3.durum: Eğer çalışma noktası B alanında ise, gerilimin artması ile güç azalır.
 - 4.durum: Eğer çalışma noktası B alanında ise, gerilimin azalması ile güç artar.
- Bu durumları özetlersek D&G'nun akış şeması Şekil 4.2.'de gösterilmiştir [33].



Şekil 4.2. D&G algoritmanın akış şeması [33].

4.1.1. D&G Bilgisayar Modeli

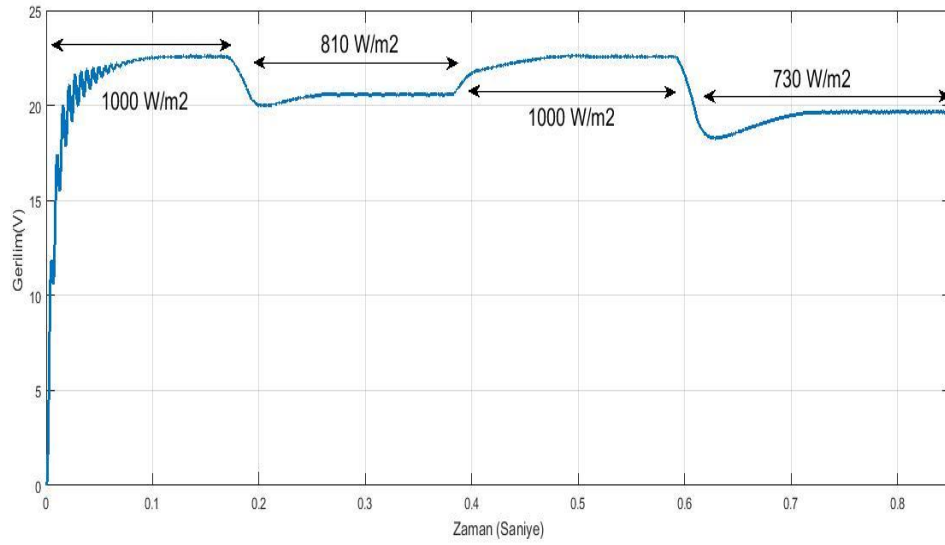
D&G metodunun Simulink simülasyonu Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Bilgisayar modeli Matlab/Simulink programında tasarlanmıştır.



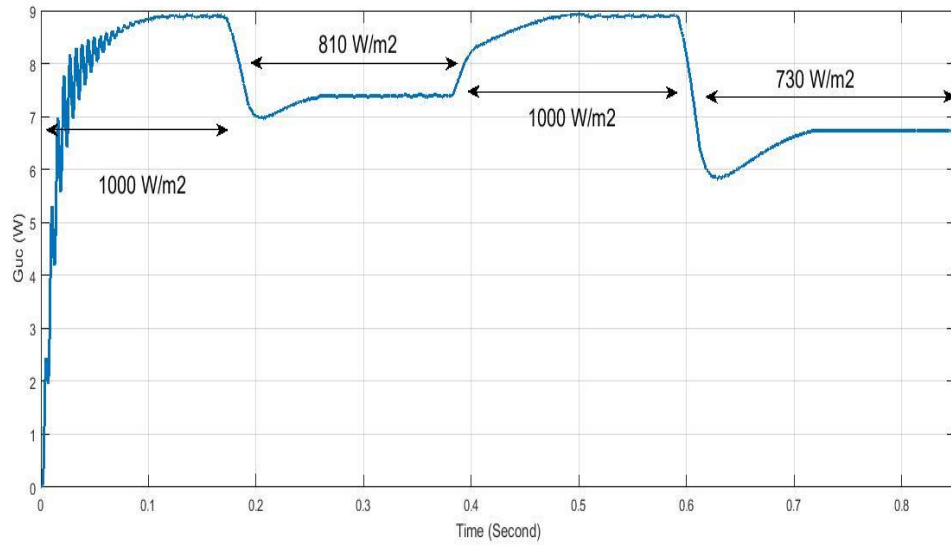
Şekil 4.3. D&G yönteminin simülasyonu

4.1.2. Sonuçlar

D&G metodunun simülasyon sonucu Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te gösterilmiştir. Bu şekilde sıcaklık sabit (25°) ve radyasyon sırasıyla 1000, 810, 1000 ve 730 değerlerini almaktadır. Şekil 4.4. zaman-gerilim eğrisi ve Şekil 4.5. zaman-güç eğrisini göstermektedir. Şekiller'den de görüldüğü gibi geçici ve kararlı durumda dalgalanma vardır.



Şekil 4.4. Farklı radyasyon değerleri için Zaman-Gerilim eğrisi



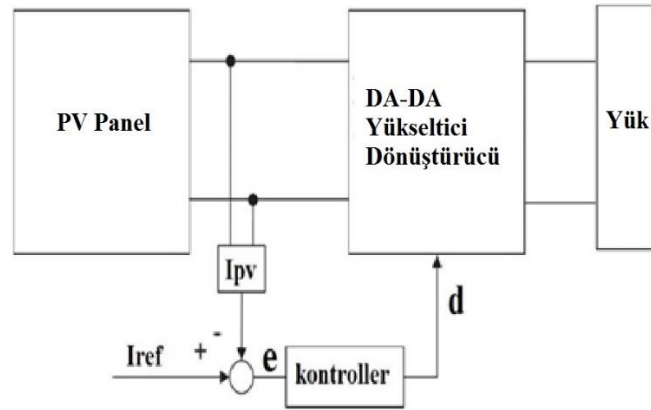
Şekil 4.5. Farklı radyasyon değerleri için Zaman-Güç eğrisi

4.2. Sabit Akım (Constant Current)

Sabit Akım metodu, en basit MPPT yöntemidir. Bu methodda, pv panelin maksimum güç akımı (I_{mpp}), açık devre akımıyla sabit bir orandadır. Sabit akım metodu sabit gerilim metoduna benzer.

$$I_{mpp} \approx k_1 I_{sc} \quad (4.1)$$

k_1 , sabit bir değerdir. k_1 yaklaşık olarak 0.71-0.78 civarındadır. Sabit akım yönteminde k_1 tahmini bir değer olduğundan çalışma noktası hiç bir zaman MPP noktasını bulmaz. Çalışma esnasında akım ölçümü problemlidir. Sürekli olarak PV panelini kısa devre yapmak için genellikle da-da dönüştürücüsüne bir anahtar (mosfet) eklenir, böylece kısa devre akımı (I_{sc}) bir akım sensörü yardımıyla ölçülebilir [32]. Şekil 4.6., sabit akım metodunun şemasını göstermektedir. Bu methodda kontrolör tasarımı gerekir. Bölüm 4.2.1.'de kontrolör tasarımını incelenmiştir.



Şekil 4.6. Sabit akım blok şeması

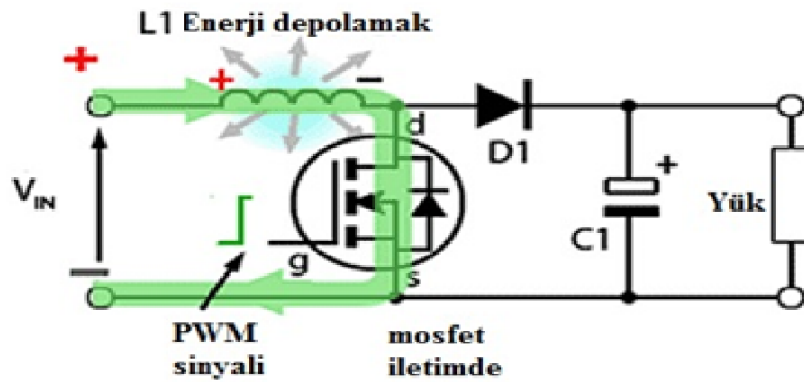
4.2.1 DA-DA Yükseltici Dönüştürücü Modellenmesi

Bütün da-da dönüştürücüleri, endüstride daha kararlı bir DC çıkış gerilimi elde etmek için geniş ölçüde kullanılmaktadır. Kapalı çevre, klasik açık devre kontrol stratejisine göre birçok avantaja sahiptir. Kapalı devre, gerilim dalgalanmalarının azaltılmasına büyük ölçüde yardımcı olur. Bütün da-da dönüştürücülerin transfer fonksiyonlarını küçük sinyal analizi yardımıyla elde edebiliriz. küçük sinyal analizi, dalgalanmanın azaltılmasına ve daha kararlı çıkış geriliminin ulaşılmasına yardımcı olur. Bu sayede kararlı durum çalışma noktası etrafındaki sapma hesaplanır. Bu

çalışmada, ideal da-da boost yükseltici bazı varsayımlarla alınmıştır. küçük sinyal modeli kullanılarak boost yükselticinin transfer fonksiyonu elde edilir.

İletim Durumu:

Şekil 4.7., anahtar (mosfet) iletimde iken yükseltici dönüştürücüsü için eşdeğer devreyi göstermektedir.



Şekil 4.7. Mosfet iletimde iken

İletim durumundaki iki çevreden elde edilen denklemler çıkartılır ve eşdeğer devrenin durum uzay modeli denklem (4.2) ve denklem (4.3) ile ifade edilir. Denklem (4.2)'de i_L ve v_C durum değişkenleri, v_g ve i_z girişleri ifade etmektedir.

İletim durumu (dT_s):

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/RC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} [v_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [i_z] \quad (4.2)$$

$$v_o = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

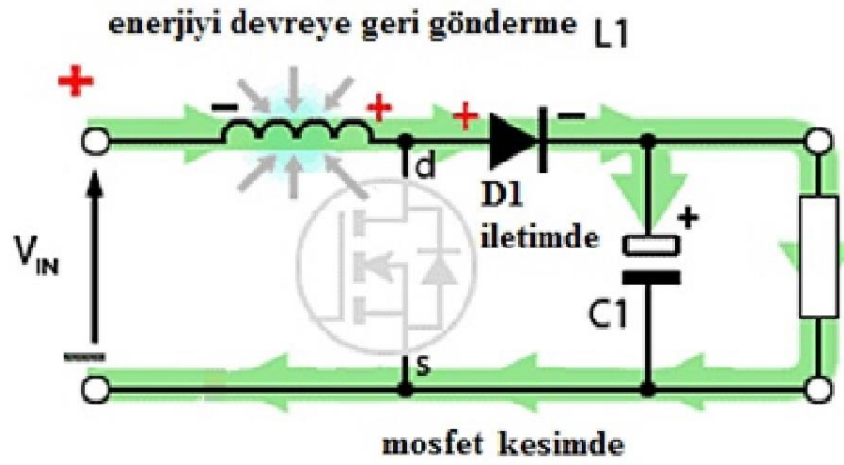
$$i_g = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$\begin{bmatrix} v_o \\ i_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$A_{ON} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/RC \end{bmatrix}, B_{ON} = \begin{bmatrix} 1/L & 0 \\ 0 & -1/C \end{bmatrix}, C_{ON} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Kesim Durumu:

Şekil 4.8., anahtar (mosfet) kesimde iken yükseltici dönüştürücüsü için eşdeğer devreyi göstermektedir.



Şekil 4.8. Mosfet kesimde iken

Kesim durumundaki iki çevreden elde edilen denklemler çıkartılır ve eşdeğer devrenin durum uzay modeli şu şekilde tanımlanabilir. Denklem (4.5)'de v_o ve i_g çıkışları ifade etmektedir.

Kesim durumu $((1-d)T_s)$:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1/L \\ 1/C & -1/RC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} [v_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [i_z] \quad (4.6)$$

$$\begin{bmatrix} v_o \\ i_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$A_{OFF} = \begin{bmatrix} 0 & -1/L \\ 1/C & -1/RC \end{bmatrix}, B_{OFF} = \begin{bmatrix} 1/L & 0 \\ 0 & -1/C \end{bmatrix}, C_{OFF} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

4.2.1.1 Da-da yükseltici dönüştürücünün ortalama geniş sinyal modeli (Averaged large signal model of boost converter)

Geniş sinyal modelini elde etmek için kesim ve iletim durumundaki A, B, C ve D matrislerin birleştirilmesi gerekmektedir.

$$A = A_{ON}d + A_{OFF}(1 - d) \quad (4.8)$$

$$B = B_{ON}d + B_{OFF}(1 - d) \quad (4.9)$$

$$C = C_{ON}d + C_{OFF}(1 - d) \quad (4.10)$$

$$D = D_{ON}d + D_{OFF}(1 - d) \quad (4.11)$$

Yukarıdaki denklemleri yerine koyarsak:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-d}{L} \\ \frac{1-d}{L} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ C & -\frac{1}{C} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Da-Da Yükseltici Dönüştürücünün Ortalama Geniş Sinyal Modeli:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-d}{L} \\ \frac{1-d}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_g \\ i_z \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ i_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Geniş sinyal modeli gerçek sistemi temsil eder ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Geniş sinyal modeli = kararlı hal modeli + küçük sinyal modeli.

$$\dot{X} = Ax + Bu \quad (4.14)$$

$$Y = Cx + Du \quad (4.15)$$

Sistemdeki bütün değişkenler kararlı durum çalışma noktası civarında küçük değişimi vardır. Bu değişkenler aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Denklem (4.16)'da \hat{v}_c terimi küçük sinyali ve V_c terimi kararlı durumu ifade etmektedir.

$$v_c = V_c + \hat{v}_c$$

$$i_L = I_L + \hat{i}_L$$

$$d = D + \hat{d}$$

$$v_0 = V_0 + \hat{v}_0$$

$$v_g = V_g + \hat{v}_g \quad (4.16)$$

4.2.1.2 Yükseltici dönüştürücü için küçük sinyal modeli

Denklem (4.12) gerçek sistemi ifade eder ve hem kararlı durum hem de küçük sinyali içermektedir. Denklem (4.16) denklem (4.12) de yerine yazılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{i}_L + \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-D+\hat{d}}{L} \\ \frac{1-D+\hat{d}}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L + \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_g + \hat{v}_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [\hat{i}_z + \hat{i}_z] \quad (4.17)$$

$$\begin{bmatrix} V_0 + \hat{v}_0 \\ \hat{i}_g + \hat{i}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L + \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Note:

1. kararlı durum, küçük sinyale kıyasla çok büyüktür. Bu yüzden iki küçük sinyal teriminin çarpması ihmal edilebilir ($\hat{x} \cdot \hat{d} = 0$).
2. kararlı durum bir eğime sahip değil, sabit bir dc'ye benzediği için $\frac{dx}{dt} = \dot{x} = Ax + Bu = 0$ [43].

Yukarıdaki varsayımları denklem (4.17) ve (4.18) de uygulayarak sistemin küçük sinyal modeli bulunur. $\dot{x} = 0$ olduğundan denklem (4.17) ve (4.18) aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-D+\hat{d}}{L} \\ \frac{1-D+\hat{d}}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_g + \hat{v}_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [\hat{i}_z + \hat{i}_z] \quad (4.19)$$

$$\begin{bmatrix} V_0 + \hat{v}_0 \\ \hat{i}_g + \hat{i}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

$$Ax = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-D+\hat{d}}{L} \\ \frac{1-D+\hat{d}}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_L + \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix}$$

$$Bx = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_g + \hat{v}_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [\dot{I}_z + \hat{i}_z]$$

$$Cx = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_L + \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix}$$

Ax terimi sadeleştirilir ise:

$$\begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-D+\hat{d})}{L} \\ \frac{(1-D+\hat{d})}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_L + \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_g + \hat{v}_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{C} \end{bmatrix} [\dot{I}_z + \hat{i}_z] =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{1-D}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_L \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{1-D}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\hat{d}_L}{L} \\ \frac{\hat{d}_L}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_L \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\hat{d}_L}{L} \\ \frac{\hat{d}_L}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_c \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [\hat{v}_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [\dot{I}_z] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [\hat{i}_z] \quad (4.21)$$

1. Note ve 2. Notları denklem (4.21)' uygularsak aşağıdaki denklemler sıfır olur.

$$0 = Ax + Bu = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{1-D}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_L \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ -1/C \end{bmatrix} [V_g] \quad 2. \text{ Note}$$

$$0 = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\hat{d}_L}{L} \\ \frac{\hat{d}_L}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_c \end{bmatrix} \quad 1. \text{ Note}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -\frac{1-D+\hat{d}}{L} \\ \frac{1-D+\hat{d}}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L + \hat{i}_L \\ V_c + \hat{v}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ L \\ 0 \end{bmatrix} [V_g + \hat{v}_g] + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/C \end{bmatrix} [\hat{i}_z + \hat{i}_z] =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{1-D}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L & 0 & V_c/L \\ 0 & -1/C & -\hat{i}_L/C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{v}_g \\ \hat{i}_z \\ \hat{d} \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

Aynı işlemi denklem (4.18) için yapılırsa ise denklem (4.23) elde edilir. Denklem (22) ve denklem (23) küçük sinyal modelini temsil etmektedir (\hat{d} kontrol girişidir).

$$\begin{bmatrix} \hat{v}_0 \\ \hat{i}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_c \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

4.2.1.3 Durum uzay modeli kullanılarak transfer fonksiyonu elde edilmesi

Transfer fonksiyonu, frekans domeninde bir sistem çıkışının girişe oranıdır. Şekil 4.9. bir transfer fonksiyonu göstermektedir.



Şekil 4.9. Transfer fonksiyonu blok şeması

Bu bölümde, bir durum uzay modelinden nasıl transfer fonksiyonu elde edileceğini açıklamaktadır. denklem (4.24) ve (4.25) bir durum uzay modelini temsil etmektedir.

$$\dot{X} = Ax + Bu \quad (4.24)$$

$$Y = Cx + Du \quad (4.25)$$

Laplace dönüşümü alınırsa

$$sX(s) = AX(s) + BU(s) \quad (4.26)$$

$$Y(s) = CX(s) + DU(s) \quad (4.27)$$

Denklem (4.26) ve (4.27) bu formda yazılabilir

$$X(s) = (SI - A)^{-1}BU(s) \quad (4.28)$$

$$Y(s) = CX(s) \quad (4.29)$$

Denklem (4.28)'yi denklem (4.29) da yerine yazılır ise

$$Y(s) = C(SI - A)^{-1}BU(s) \quad (4.30)$$

Sonuç olarak transfer fonksiyonu denklem (4.31) gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = C(SI - A)^{-1}B \quad (4.31)$$

Denklem (4.31) a göre herhangi bir giriş için herhangi bir çıkış sinyalinin transfer fonksiyonu elde edilebilir.

Denklem (4.22) ve (4.23)'den de görüldüğü gibi boost dönüştürücünün 3 girişi ($\hat{v}_g, \hat{i}_z, \hat{d}$) ve 2 çıkışı (\hat{v}_0, \hat{i}_g) vardır. Her girişin B matrisinde bir sütünü ve her çıkış için C matrisinde bir satırı vardır. Denklem (4.31)'daki transfer fonksiyonu elde etmek için B matrisindeki gerekli girişin sütün numarası (B_1 matrisi \hat{v}_g için, B_2 matrisi \hat{i}_z için ve B_3 matrisi \hat{d} için kullanılır) ve C matrisindeki gerekli çıkışın satır numarası (C_1 matrisi \hat{i}_g için ve C_2 matrisi \hat{v}_0 için kullanılır) seçilmelidir.

Örnek olarak, çıkış \hat{v}_0 ve giriş \hat{d} ise sistemin transfer fonksiyonu denklem (4.32) gibi ifade edilir.

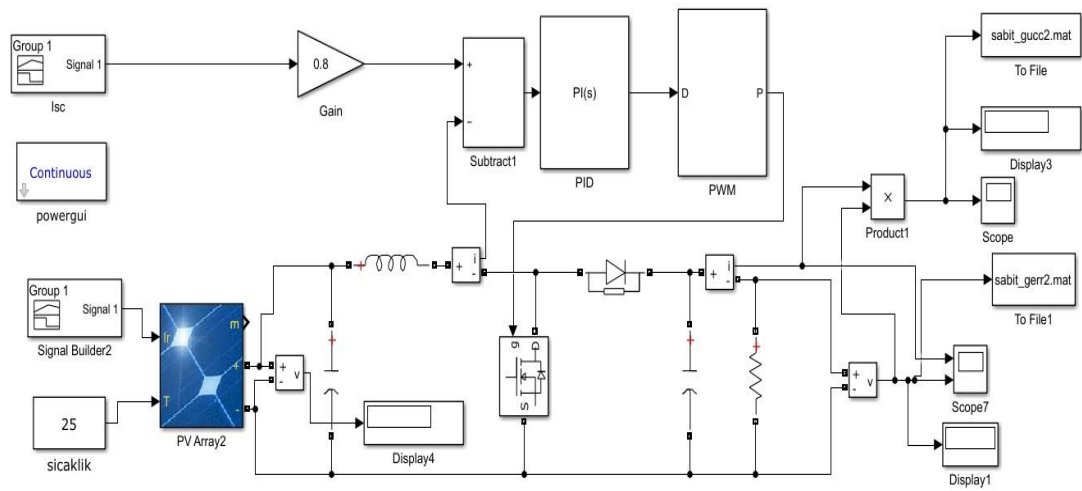
$$\frac{\hat{v}_0}{\hat{d}} = C_1(SI - A)^{-1}B_2 \quad (4.32)$$

Bu çalışmada çıkış \hat{i}_g ve giriş \hat{d} olduğu için sistemin transfer fonksiyonu denklem (4.33) gibi ifade edilir.

$$\frac{\hat{i}_g}{\hat{d}} = C_2(SI - A)^{-1}B_2 \quad (4.33)$$

4.2.2. Sabit akım bilgisayar modeli

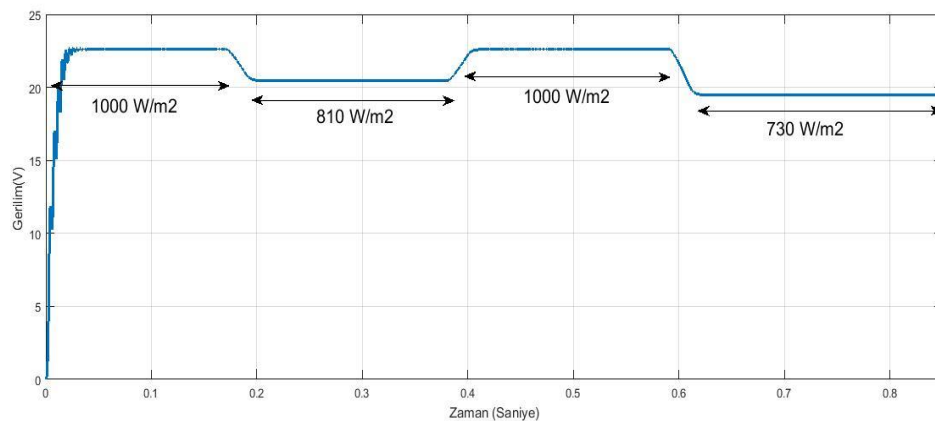
Sabit akım metodunun Simulink simulasyonu Şekil 4.10.'te gösterilmiştir. Bilgisayar modeli Matlab/Simulink programında tasarlanmıştır. PID parametrelerini bulmak için pidtune komutu kullanılmıştır.



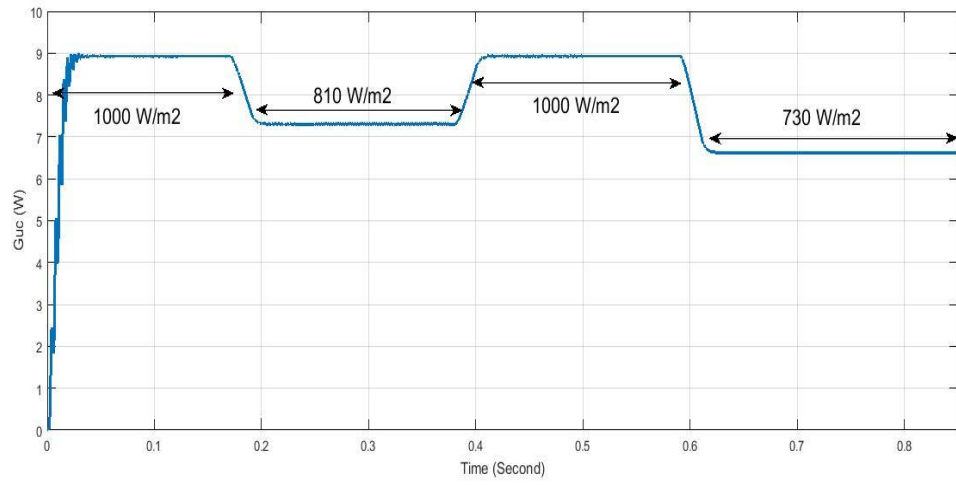
Şekil 4.10. Sabit akım yönteminin simülasyonu

4.2.3. Sonuçlar

Sabit Akım metodunun simülasyon sonucu Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Bu şekilde sıcaklık sabit (25°) ve radyasyon sırasıyla 1000, 810, 1000 ve 730 değerlerini almaktadır. Şekil 4.11. zaman-gerilim eğrisi ve Şekil 4.12. zaman-güç eğrisini göstermektedir. Şekiller'den de görüldüğü gibi geçici ve kararlı durumda dalgalanma vardır.



Şekil 4.11. Farklı radyasyon değerleri için Zaman-Gerilim eğrisi



Şekil 4.12. Farklı radyasyon değerleri için Zaman-Güç eğrisi

BÖLÜM 5. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

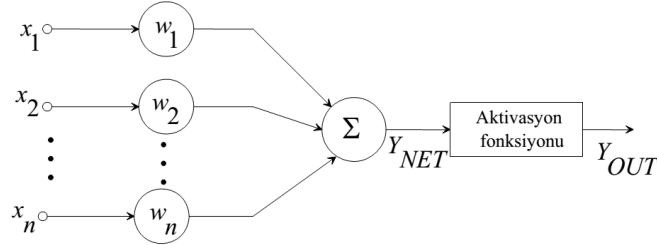
5.1. YSA Tabanlı MPPT

YSA tabanlı mppt daha önce bir kaç araştırmacı tarafından önerilmiştir. Razieh ve arkadaşları YSA tabanlı mppt yöntemini Matlab/Simuink programında tasarlayarak sonuçları analiz etmişlerdir. Bu çalışmada giriş dataları radyasyon ve sıcaklık ve çıkış maksimum güç olarak seçilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, YSA tabanlı mppt farklı radyasyonlarda maksimum gücü izlemek için etkili olduğunu göstermişlerdir. Diğer bir çalışmada ise Adi ve arkadaşları YSA tabanlı mppt yöntemini KY dönvertör ile yapmışlardır. Bu çalışmada giriş dataları radyasyon ve sıcaklık ve çıkış maksimum gerilim olarak seçilmiştir. Bu çalışmada YSA tabanlı mppt, radyasyon ve sıcaklık değişimi ile başarılı bir şekilde gücü izlemiştir. Bütün bu çalışmalarda YSA referans olarak çalışmaktadır. YSA'dan gelen referans, pv panelden elde edilen akım veya güç ile karşılaştırılarak hata PID bloğuna verilir. Bu tezde ise aynı yöntem kullanılmıştır. Ancak daha gerçekçi bir sonuç elde edebilmek için pv panel kirliliği ve verimin etkisi de eklenmiştir. Bilindiği üzere Kirlilikten dolayı panelin maksimum akımı (Imp) azalmaktadır. Diğer taraftan da zaman geçtikçe panelin verdiği maksimum akımı (Imp) düşer. YSA ile yapılan önceki çalışmalarda kirlilik ve verim etkisi göz önünde bulundurulmamıştır. Bu nedenle kirlilik ve verim söz konusu ise güç takibinde yanlış sonuç elde edilir. YSA tabanlı MPPT kontrol yöntemini açıklamadan önce, YSA'ya genel bir bakış yapılmıştır.

5.2. Yapay Sinir Ağları

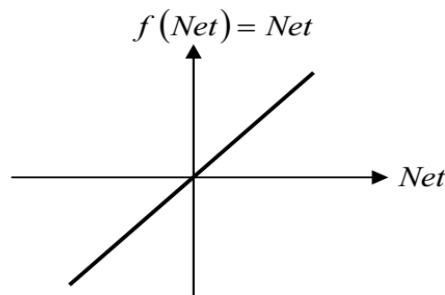
ANN non-lineer sistemlerde giriş ve çıkış arasındaki kompleks ilişkileri insanların biyolojik sinirsel davranışlarına benzetimi yoluyla tasarlanan bir yöntemdir. Şekil 5.1. bir yapay sinir medelini gösterilmektedir.

$$Y_{net} = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n = \sum_{j=1}^n w_jx_j \quad (5.1)$$

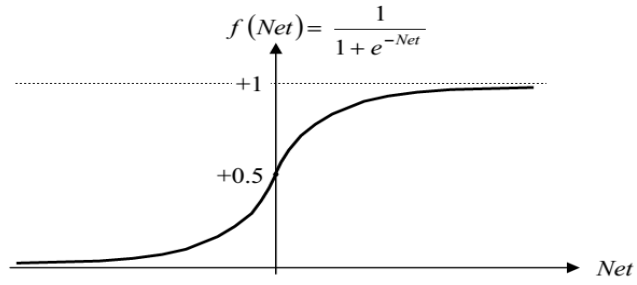


Şekil 5.1. Yapay sinir modeli [34].

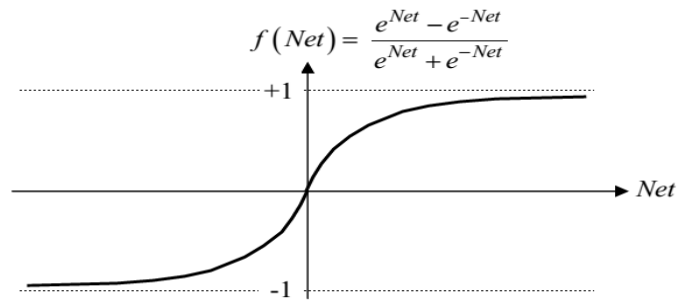
Denklem 5.1'deki $w_1 + w_2 + \dots + w_n$ ve $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ sırasıyla nöron ağırlıkları ve girişleridir. Şekil 5.1.'deki aktivasyon fonksiyonu Y_{net} hesaplar, bir bias ekler ve ardından "ateşleme" gönderip göndermeyeceğini karar verir. Aktivasyon fonksiyonunun ana hedefi, bir yapay sinir ağındaki bir düğümün bir giriş sinyalini bir çıkış sinyaline dönüştürerek ve Bu çıkış sinyali, bir sonraki katmanda bir girdi olarak kullanmaktır [35]. Aşağıdaki aktivasyon fonksiyonları, YSA'de en çok kullanılan fonksiyonlardır. Doğrusal problemeler çözmek amacıyla aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon olarak seçilebilir (Şekil 5.2.). Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur (Şekil 5.3.). Tan-sigmoid fonksiyonu sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur (Şekil 5.4.).



Şekil 5.2. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu [34].



Şekil 5.3. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu [34].



Şekil 5.4. Tan-sigmoid aktivasyon fonksiyonu [34].

YSA, girişler, paralel dağılmış bilgi işlem yapısı, en az bir gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşur. Bu katmanlar nöron adında kendi aralarında bağlı işlem elemanlarına sahiptir [36].

YSA kullanmanın ana avantajları:

- 1-YSA lineer programların yapamadığı non-linear sistemler için çok uygundur.
- 2-YSA'nın bir elemanı başarısız olduğu zaman sistem problemsiz çalışmaya devam edebilir.
- 3-Bir sinirsel ağ öğrenir ve yeniden programlanmaya ihtiyaç duymaz.
- 4-Çeşitli uygulamalar uygulanabilir.

YSA kullanmanın ana dezavantajları:

- 1-Bir sinir ağı çalışmak için eğitime ihtiyaç duyar.

2-Bir sinir ağının mimarisi dizayn etmekte bazen karmaşıktır.

3-Geniş sinir ağları için yüksek işlem zamanına ihtiyaç duyar.

Çalışmamızda girdi olarak sıcaklık ve radyasyon, çıkış olarak Imppp alınmıştır.

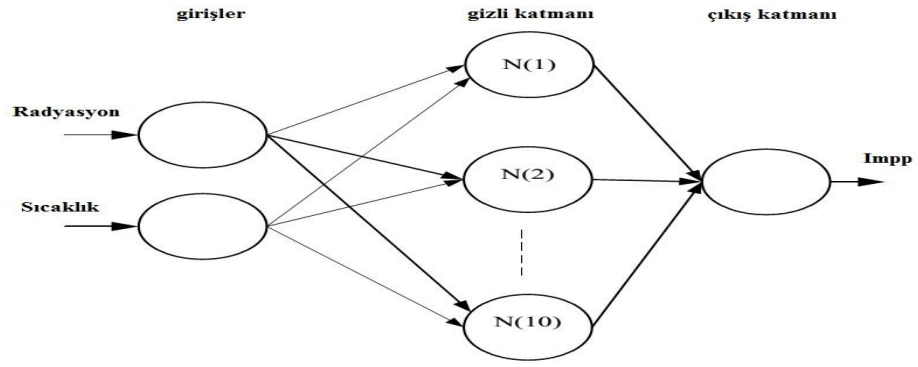
5.3. Dataların Toplanması

İlk aşmada verilerin toplanması gerekmektedir. Radyasyon ve sıcaklığın ilişkili olduğu maksimum akım noktasını ağ eğitimi amacıyla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu elde edilen datalar eğitim datası olarak adlandırılmaktadır.

5.4. Ağ Yapısının Seçilmesi

Klasik olarak sinir ağları minimum iki katmandan oluşmaktadır (bir adet gizli katman ve bir diğer çıkış katmanı). Giriş bilgisi, çıkış verilerinin hesaplandığı ağırlıklı bağlantılarıyla gizli katmanlara bağlanır. Gizli katmanların sayısı ve her katmandaki nöron sayısı ağ performansını kontrol eder. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, en iyi sonuca ulaşmak amacıyla belirli bir problemin gizli katmanlarının sayısı ile birlikte nöronların sayısını seçmenin bir yolunu belirlemenin hiçbir yöntem geliştirilememiştir.

Mevcut tezde iki adet giriş (Solar radyasyon ve sıcaklık) ve iki adet katman(bir adet gizli katman ve bir adet çıkış katman) bulunmaktadır. Gizli katmanın sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile on nörona sahiptir. Çıkış katmanı, maksimum güç noktasındaki akım olan saf doğrusal aktivasyon fonksiyonuna sahip bir nörondan meydana gelmektedir.



Şekil 5.5. Mppt için önerilen YSA yapısı

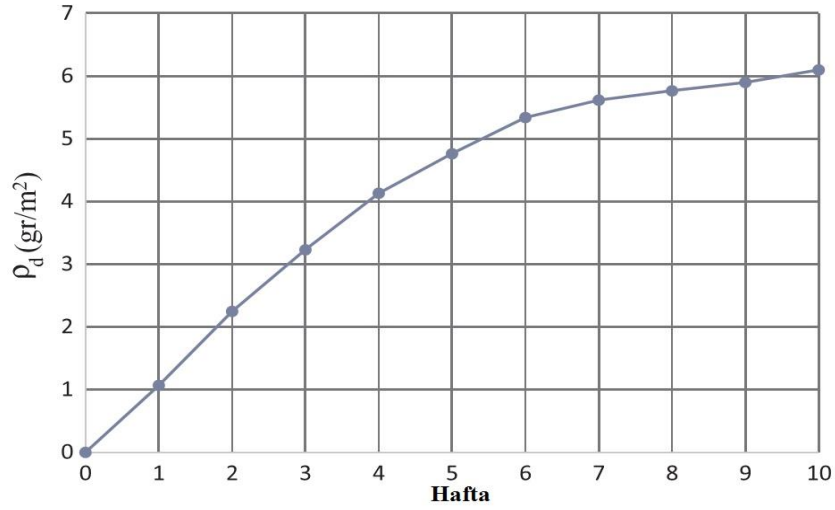
Şekil 5.5. bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağ modeli Şekil 5.5.'de gösterilmektedir.

5.5. Ağ Eğitimi ve Testi

Toplanan eğitim dataları farklı değerler için ağın nasıl bir çıktı vereceğini bulabilmesi ağa aktarılır. Elde edilen verilerin bir kısmı ağı test etmek amacıyla tutulmaktadır. Ağ eğitimi bittikten sonra ağın testi gerçekleştirilmektedir.

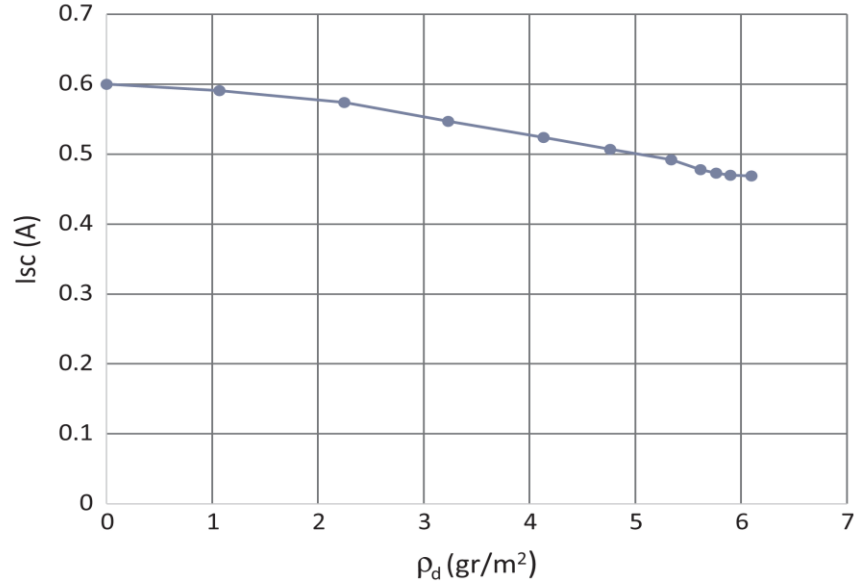
5.6. Pv Panel Kirliliği

Teknolojik ve finansal faydası nedeni ile, pv panel endüstrisi ciddi olarak değerlendirilmektedir. Fotovoltaik panel verimi alanında birçok çalışma yapılmaktadır. Pv panel özelliğinin dışında çevre şartları da performansa etkilemektedir. Bu çevre şartları sisli hava, dumman ve toz kirliliğidir. PV hücrelerin verimliliği, toz kirliliğinden dolayı % 0-26 civarında düşmektedir [37]. bilhassa toz yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde önemli bir etkidir. Bu nedenle toz birikim konsantrasyonu pv panellerinin çıkış verimi üzerindeki etkisi incelenmektedir. Pv panel üzerindeki toz toplanma miktarı, ölçme periyodu ve hava durumuna bağlıdır. Şekil 5.6. her haftanın sonunda pv panel üzerindeki ortalama toz yoğunluğunu ifade etmektedir [38]. Şekil 5.6.'den de görüldüğü gibi, panel yüzeyindeki toz seviyesi sürekli artmaktadır.



Şekil 5.6. Her hafta sonunda, panel üzerinde toz yoğunluğunun değişimi [38].

Şekil 5.7.'dan de görüldüğü gibi, panel üzerindeki toz artmasıyla, I_{SC} düşmektedir.

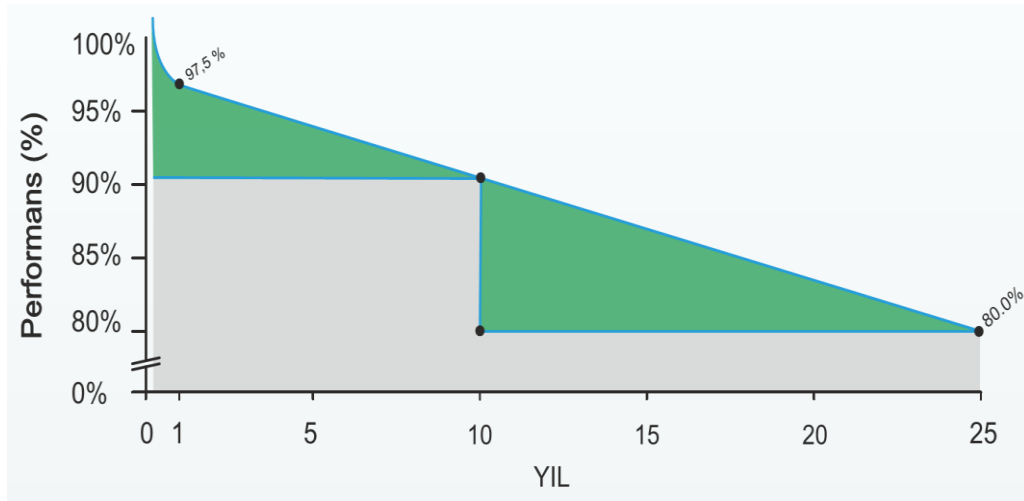


Şekil 5.7. panel üzerindeki toz yoğunluğunun değişimi ile kısa devre akımının değişimi [38].

5.7. Pv Panel Verimi

Güneş pilleri ilk 1800 yılında icat edildi ve verimi % 1'den daha azdı. Bu pilleri faydalı bir kaynağa dönüştürmek bir çok açıdan uygun değildi. 1954 yılında % 6 civarında ilk silikon güneş paneli Bell Labs tarafından icat edildi. 1954 yılından

sonra, pv panel alanındaki gelişmeler hızla artmaya başladı . Günümüzde mevcut olan güneş panellerin verim düzeyleri % 22.5 civarındayken, piyasadaki çoğu paneller % 14 - % 16 arasındadır [39]. Malesef bu verim kalıcı değil ve zamanla düşmektedir. Genelde pv paneller 20 yıl kullanımından sonra verimi % 20 azalır. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) , uzun süreli verimin azalması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Günümüzde üretilen paneller için yılda verimin % 1 azalma kuralı biraz kötümser olduğunu tespit ettiler. Bugün üretilen bir panel 20 yıl sonra nominal gücün % 92'sini üretebilmektedir [40]. Şekil 5.8., bu çalışmada kullanılan panel verimini göstermektedir [41].



Şekil 5.8. yıla göre verimin azalması [40].

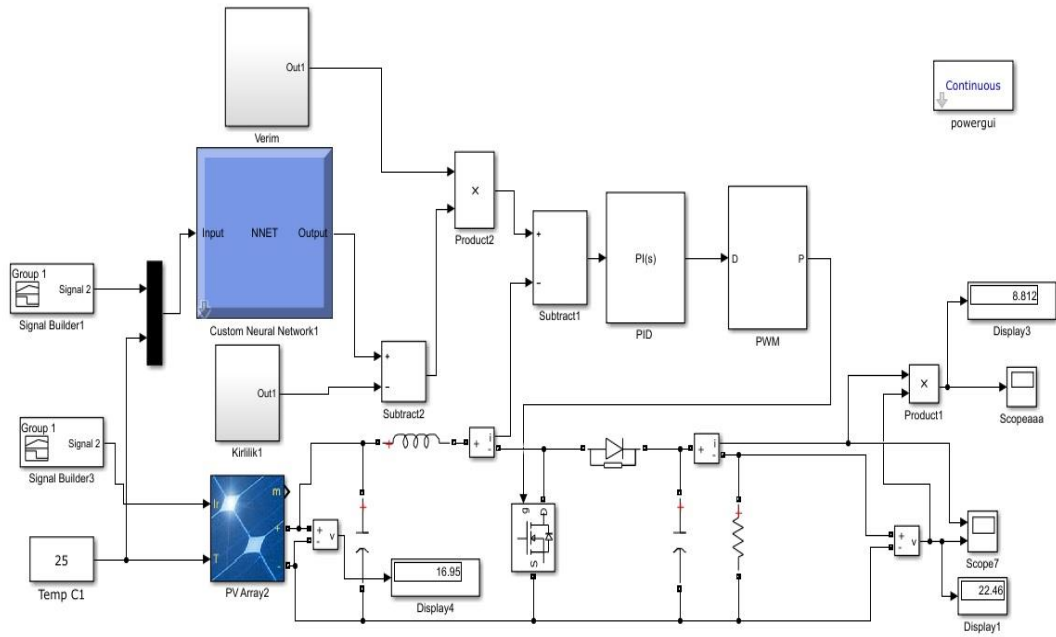
5.8. Geliştirilen Yöntem Tasarımı

Sunulan mppt kontrolörünün blok şeması Şekil 5.9.'de anlatılmaktadır. Radyasyonu ve sıcaklığı YSA'ya giriş eğitim dataları olarak verilmektedir. YSA belli bir sıcaklık ve radyasyon durumlarında, maksimum mevcut akımı (I_{mp}) verir. kirlilik ve verim den dolayı azalan akım miktarını YSA'dan çıkarıp gerçek maksimum akımı (I_{mp}) bulabiliriz. PV modülden gelen gerçek çıkış akım hesaplanmaktadır. Kontrol sinyali üretmek için iki akım (YSA-Kirlilik-Verim ve PV modülünden gelen akımlar) karşılaştırmaktadır ve hata PID bloğuna aktarılmaktadır. PID bloğundan gelen kontrol sinyali PWM bloğuna verilmektedir. DC-DC konvertör PWM sinyali

vasıtasıyla PV modülünün çalışma noktasını belirlemektedir. Önerilen MPPT metodunun en önemli avantajı, hız ile değişen sıcaklık ve radyasyona karşı maksimum akımı bulup ve kararlı durumda maksimum güç noktasında çalışmaktadır. Geçici ve kararlı durumda dalgalanma miktarı azalmıştır.

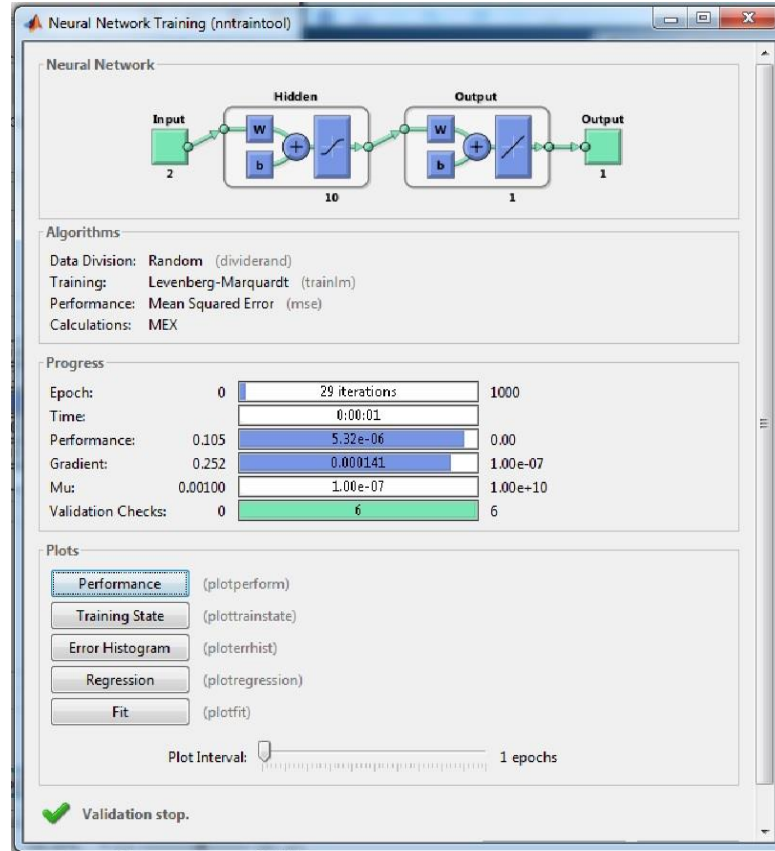
Şekil 5.9 geliştirilen yöntemi gösterir ve Aşağıdaki adımlar ile anlatılmaktadır.

1. Güneşin radyasyonu ve sıcaklığı YSA'de giriş eğitim datası olarak alınmaktadır. Kullanılan eğitim dataları 180 adettir.
2. YSA denetleyicisi belirli bir sıcaklık ve radyasyon koşullarında, maksimum akımı vermektedir.
3. Verim ve Kirlilik hesaplanıp YSA'den gelen değerden çıkartılır.
4. Çalışma akımı ölçülerek PV modülden gelen gerçek çıkış akımı hesaplanmaktadır.
5. YSA, Verim ve Kirlilik ten gelen maksimum akım, PV modülünden gelen akım ile karşılaştırılıp, hata PİD bloğuna aktarılmaktadır.
6. Hata (Error=e) PİD bloğuna verilmekte ve çıkış olarak kontrol sinyali PWM'e aktarılmaktadır.

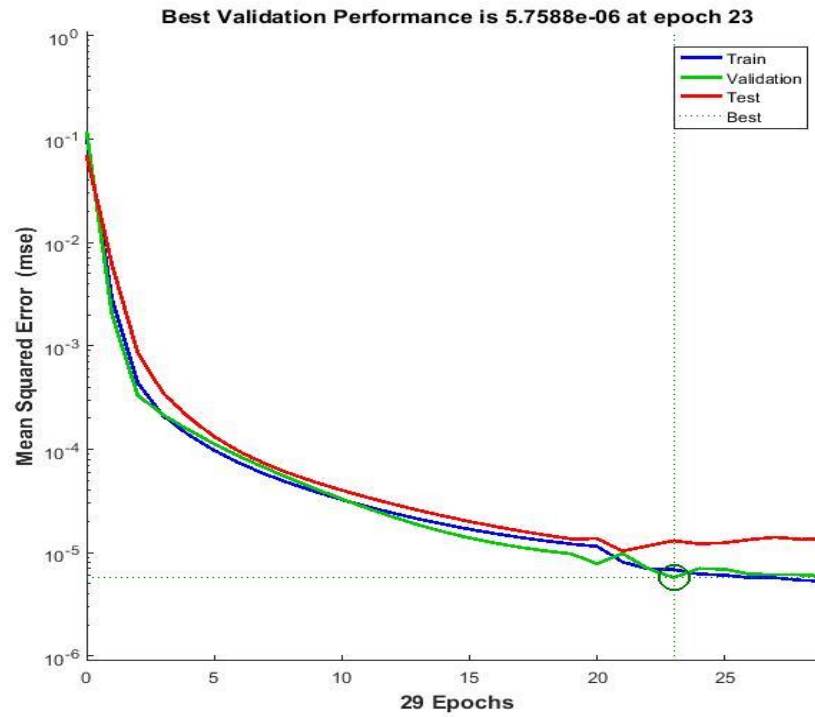


Şekil 5.9. YSA Tabanlı MPPT Tasarımı Blok Şeması

Eğitim dataları, pv panelinin farklı radyasyon ve sıcaklık seviyesine karşılık maksimum akım değerlerini kullanılmaktadır. Bu çalışmada sıcaklık seviyesi (25-65 ,5 °C değişimle) ve radyasyon (50-1000 ,50W/m² değişimle) seçilmiştir. Matlab Neural Network Training (nftool) ağı eğitmek için kullanılmıştır. Şekil 5.10.'da bu çalışmaya ait nftool toolbox gösterilmektedir. Toplam kullanılan datalar 180 addettir. %70 eğitim, %15 test ve %15 onaylama (validation) için kullanılmıştır. 29 iterasyondan sonra hata 5.75e-06 ulaşmış ki bu da YSA'nın yüksek performansını doğrular. Şekil 5.11. iterasyon sayısına karşılık hata'yı (MSE) göstermektedir.



Şekil 5.10. Ağı eğitmek için kullanılan nftool

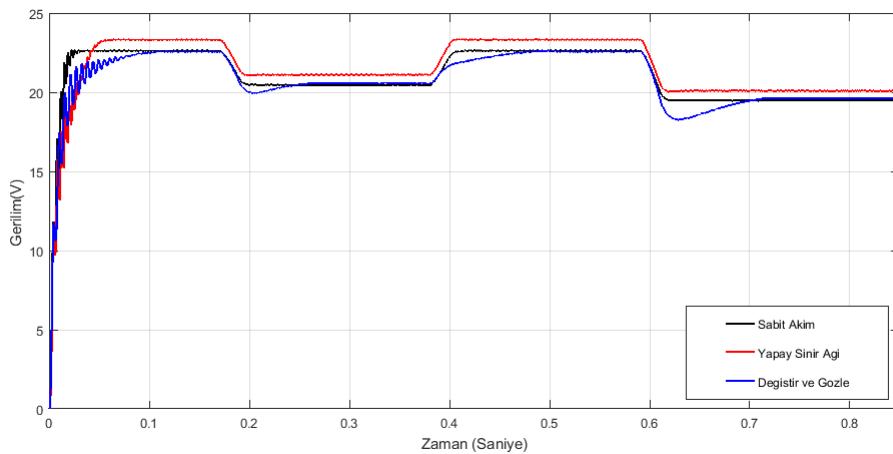


Şekil 5.11. İterasyon sayısına karşılık hata (MSE)

5.9. Sonuçlar

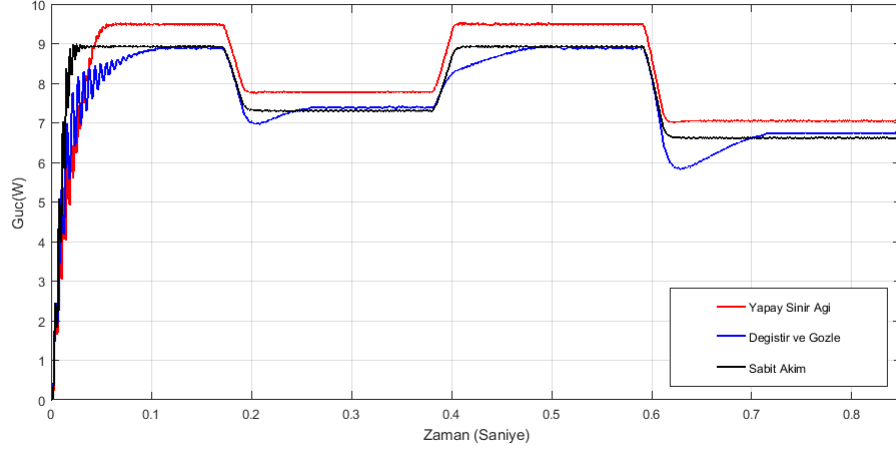
YSA, D&G ve SA yöntemlerin simulasyon sonuçları Şekil 5.12., Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'te gösterilmektedir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi gerilim, g ve akım eğrileri, geliştirilen yöntemde maksimum noktayı izlemektedir. Üstelik dalgalanma geçici durum ve kararlı durumda azalmıştır. Bu Şekilde sıcaklık sabit (25°) ve radyasyon sırasıyla 1000, 810, 1000 ve 730 değerlerini almaktadır.

Bu çalışmada kirlilik etkisini göstermek için bir haftanın sonundaki kirlilik oranı ve buna karşılık olarak azalan akım miktarı Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'deki gerçek eğriler temel alınarak simulasyon yapılmıştır. Şekil 5.15.'deki 2.eğriden görüldüğü üzere pv panel kirliliğinin dahil edilmediği durumda radyasyon sensörü ortamın radyasyonunu YSA aktararak normal Şartlarda panelin maksimum güç çekmesi için gereken Impv vermektedir. Ancak panel üzerinde bulunan kirlilikten dolayı panel ortam radyasyonunu tam bir Şekilde alamamaktadır. Bu nedenle maksimum güç noktasının yeri değişmektedir. Geliştirdiğimiz bu algoritme ile panelin kirlilik durumunda hesaba katarak her durumda en yüksek verim panelden çekilmiştir. Şekil 5.15.'deki 1.eğri pv panel kirliliğinin dahil edildiği durumu göstermektedir. Şekil 5.12. zaman-gerilim eğrileri göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi YSA tabanlı MPPT diğer yöntemlerden daha üstün performans göstermektedir.

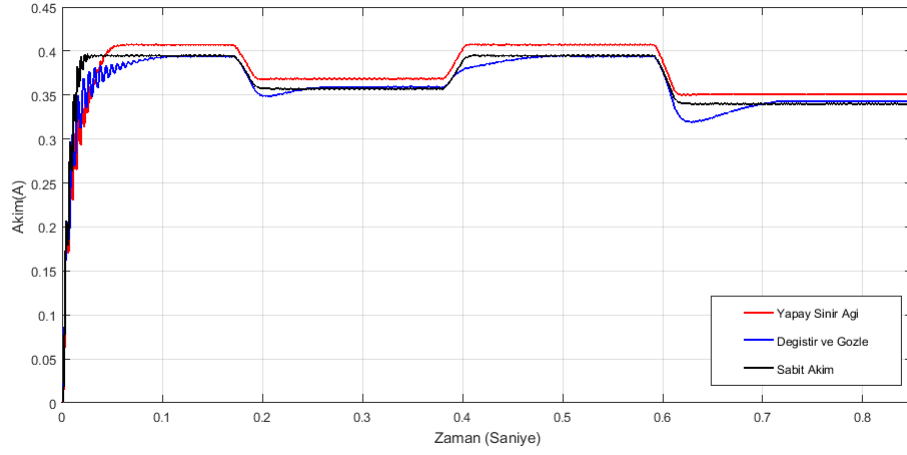


Şekil 5.12. Zaman-Gerilim eğrisi

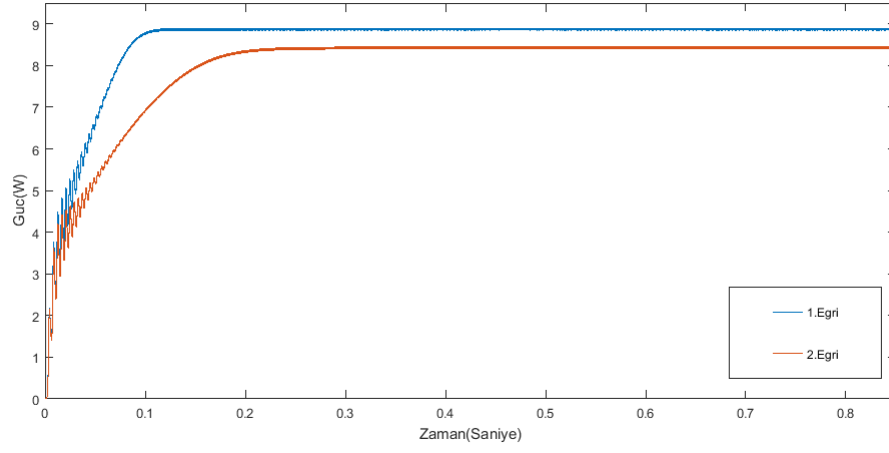
Şekil 5.13. zaman-güç ve Şekil 5.14. zaman-akım eğrileri göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi YSA tabanlı MPPT diğer yöntemlerden daha üstün performans göstermektedir.



Şekil 5.13. Zaman-Güç eğrisi

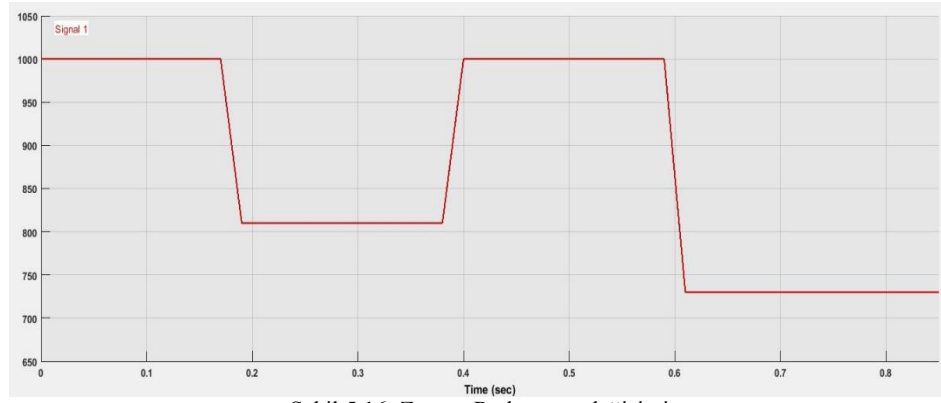


Şekil 5.14. Zaman-Akım eğrisi



Şekil 5.15. Zaman-Güç eğrisi

Şekil 5.16. zaman-radyasyon değişimini göstermektedir. Daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek amacıyla farklı radyasyonlar verilmiştir.



Şekil 5.16. Zaman-Radyasyon değişimi

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Değişir ve Gözle (D&G) , Sabit Akım ve geliştirilen yöntem matlab/simulink programı kullanılarak tasarlanmaktadır. YSA ile yapılan önceki çalışmalarda panelin kirlilik etkisi hesap katılmamıştır. Bu etki hesaba katılmaz ise YSA'dan gelen referans pv panelin kirlilik etkisini algılamaz ve yanlış bir referans verir. Dolayısıyla PID bloğuna gönderilen hata yanlış olacaktır. Aynı şekilde pv panelin yıla göre düşen verim etkisi göz önünde bulundurulmamıştır. Eğer bu faktör hesaba katılmaz ise YSA'dan gelen referans pv panelin verimden dolayı azalan akım miktarını algılamaz ve yanlış bir referans verir. Dolayısıyla PID bloğuna gönderilen hata yanlış olacaktır. Bu tezde ise bu dezavantajları önlemek için iki faktör (kirlilik ve verim) hesaba katılmıştır. Tasarlanan verim bloğu, zaman geçtikçe pv panelin veriminden dolayı azalan akımın yüzdesini hesaplar ve ysa'dan çıkan akım ile çarpmaktadır. Diğer taraftan zaman geçtikçe pv panel üzerinde biriken toz artar, bu etkiden dolayı azalan akım miktarını kirlilik bloğu algılar ve ysa'dan gelen akımdan çıkartmaktadır.

Sonuç olarak, geliştirilen yöntemin, diğer iki metoddan daha fazla enerji topladığı gösterir ve YSA ile yapılan önceki çalışmaların dezavantajlarını gidermektedir. Ayrıca geçici durumda ve kararlı durumda dalgalanma azalmaktadır. Geliştirilen yöntemin algoritması karmaşık ve maliyet açısından diğer metodlara göre daha yüksektir. Ancak topladığı daha fazla enerji ile bu sorunu ortadan kaldırmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] www.ec.europa.eu., Erişim Tarihi: 12.02.2018.
- [2] www.interestingengineering.com., Erişim Tarihi: 12.02.2018.
- [3] www.news.energysage.com., Erişim Tarihi: 11.02.2018.
- [4] www.solarchoice.net., Erişim Tarihi: 11.02.2018.
- [5] www.solar-electric.com., Erişim Tarihi: 11.12.2016.
- [6] ESRAM, T., Kimball, J. W., Krein, P. T., Chapman, P. L., Midya, P., Dynamic maximum power point tracking of photovoltaic arrays using ripple correlation control. *IEEE Trans., Power Electron.*, vol. 21, no. 5, pp. 1282–1291, 2006.
- [7] Thulasiyammal, C., Sutha, S., An Efficient Method of MPPT Tracking System of a Solar Powered Uninterruptible Power Supply Application. 1st International Conference on Electrical Energy Systems, 2011.
- [8] Rosa, A., Mastromauro, Marco, L., Antonio, D. A., Control Issues in Single Stage Photovoltaic Systems MPPT, Current and Voltage Control. *IEEE Transactions On Industrial Informatics.*, Vol. 8, No. 2, 2012.
- [9] A. Mathew., A. I. Selvakumar., New MPPT for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive network. *IEEE Trans. Energy Conv.*, vol. 21, no. 3, pp. 793 –803, 2006.
- [10] K, H, Hussein., I, Muta., T, Hoshino., M, Osakada., Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions. *IEEE Proc.-Gener. Transmission and Distribution*, Vol. 142, No. 1, 1995.
- [11] Sakshi Gupta., Neha Sharma., A Literature Review of Maximum Power Point tracking from a PV array with high Efficiency. Volume 4, Issue 1 | ISSN: 2321-9939, pp. 157. 2016.

- [12] Reisi, R., Moradi, H., Jamasb, S., Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 433–443, 2013
- [13] W. Xiao and W. G. Dunford., A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems. *IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, pp. 1957–1963. 2004.
- [14] G.J. Yu., Y.S. Jung., J.Y. Choi., G.S. Kim., A novel two-mode MPPT control algorithm based on comparative study of existing algorithms.
- [15] Kiranmayi, R., Reddy, K.V., Kumar, M.V., Modeling and a MPPT method for solar cells.
- [16] ESRAM, T., Patrick L. Chapman., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE, transactions on energy conversion*, vol. 22, no. 2, pp.441. June 2007.
- [17] Ghislain REMY., Olivier BETHOUX., Claude MARCHAND., Hussein DOGAN., Review of MPPT Techniques for Photovoltaic Systems. *Laboratoire de Génie Electrique de Paris (LGEP) / SPEE-Labs. CNRS UMR 8507.*
- [18] Chung-Yuen Won., Duk-Heon Kim., Sei-Chan Kim., Won-Sam Kim., and Hack-Sung Kim A New Maximum Power Point Tracker of Photovoltaic Arrays Using Fuzzy Controller. *IEEE*, pp.396-403, 1994.
- [19] Swati Singh., Lini Mathew., Shimi S.L., Design and Simulation of Intelligent Control MPPT Technique for PV Module Using MATLAB/ SIMSCAPE. *IJAREEIE*, Vol. 2, Issue 9, 2013
- [20] M. Veerachary., T. Senjyu., K. Uezato., Neural-network-based maximum-power-point tracking of coupled-inductor interleaved-boost-converter-supplied PV system using fuzzy controller. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 50, no. 4, pp. 749–758, Aug. 2003.
- [21] Panom Petchjaturorn., Phaophak Sirisuk, et al., A Solar-powered Battery Charger with Neural Network Maximum Power Point Tracking Implemented on a Low-Cost PIC-microcontroller.
- [22] Tawfik Radjai., Lazhar Rahmani., Saad Mekhilef., Jean Paul Gaubert., Implementation of a modified incremental conductance MPPT algorithm with direct control based on a fuzzy duty cycle change estimator using dSPACE. Elsevier Ltd, pp.325-337, 2014.

- [23] www.dergi.ituieee.com., Erişim Tarihi: 06.02.2018.
- [24] Marcelo Gradella Villalva., Jonas Rafael Gazoli., Ernesto Ruppert Filho., Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 24, NO. 5, page.1109-1201, MAY 2009.
- [25] J. A. Gow., C. D. Manning., Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies. IEE Proc. Elect. Power Appl., vol. 146, no. 2, pp. 192–201, 1999.
- [26] J. Hyvarinen., J. Karila., New analysis method for crystalline silicon cells, in Proc. 3rd World Conf. Photovoltaic Energy Convers., vol. 2, pp. 1520–1523. 2003.
- [27] C. Carrero., J. Amador., S. Arnaltes., A single procedure for helping PV designers to select silicon PV module and evaluate the loss resistances, Renewable Energy, vol. 32, no. 15, pp. 2578–2588, Dec. 2007.
- [28] Subudhi, Bidyadhar and Pradhanhen, Raseswari —A comparative study on maximum power point tracking technique for photovoltaic power system, IEEE Trans. on Sustainable energy., vol. 4, pp. 89-98, Jan.2013.
- [29] www.elprocus.com, Erişim Tarihi: 10.11.2017.
- [30] Muhammad h. rashid. 2004 . Power electronics (circuits, devices, and application), third edition, page 166, PEARSON Education, Inc.
- [31] Nejat tuncay., Metin Göktaşan., Seta boğasayan., güç elektroniği, 2.baskı, sayfa 175-176, Literatur Yayıncılık
- [32] T. ESRAM, P.L. CHAPMAN, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, June 2007.
- [33] Akihiro Oi., Sep 2005. Design and simulation of photovoltaic water pumping system., California Polytechnic State University, M.S thesis.
- [34] Ali, g., Yapay sinir aği ve bulanık mantık tabanlı algoritmalar tayini, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü, Doktora Tezi. Temmuz 2006
- [35] www.towardsdatascience.com., Erişim Tarihi: 12.03.2018.

- [36] Hatem diab, August 2012. Intelligent Maximum Power Tracking and Inverter hysteresis Current Control of Grid-connected PV Systems, International Conference on Advances in Power Conversion and Energy Technologies, IEEE, India.
- [37] Hai Jiang, Lin Lu, Ke Sun, Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules, Elsevier, 25 April 2011.
- [38] Aslan Gholami, Iman Khazaei, Shahab Eslami, Majid Zandi, Ehsan Akrami, Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance, Elsevier, 10 November 2017.
- [39] www.cleantechnica.com., Erişim Tarihi: 22.02.2018.
- [40] www.engineering.com., Erişim Tarihi: 12.03.2018.
- [41] www.solarturk.com., Erişim Tarihi: 23.02.2018.
- [42] Z.Erdem, A Review of MPPT Algorithms for Partial Shading Conditions, Sakarya university, Department of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 132 (2017).
- [43] M.F. Aldurunz, Design of discrete time controllers for dc-dc boost converter, Sakarya university, Department of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 132 (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Mahdi Hussaini, 01.05.1991'da Afganistanda'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Afganistanda'da tamamladı. 2015 Yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini bitirmiştir. Şu anda Sakarya üniversitesinde yüksek lisansını sürdürmektedir.