

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FV SİSTEMLERDE GÜNEŞİ TAKİP EDEN SİSTEM
TASARIMI VE MPPT KONTROLÜ İLE ENERJİNİN
YÜKE MAKSİMUM OLARAK AKTARILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed İkbāl ORT

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2016

**FV SİSTEMLERDE GÜNEŞİ TAKİP EDEN SİSTEM
TASARIMI VE MPPT KONTROLÜ İLE ENERJİNİN
YÜKE MAKSİMUM OLARAK AKTARILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammed İkbāl ORT
(504131143)**

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol Ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tufan KUMBASAR

HAZİRAN 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131143 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammed İkbāl ORT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FV SİSTEMLERDE GÜNEŞİ TAKİP EDEN SİSTEM TASARIMI VE MPPT KONTROLÜ İLE ENERJİNİN YÜKE MAKSİMUM OLARAK AKTARILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Tufan KUMBASAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İbrahim EKSİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 02 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 06 Haziran 2016

Eşime ve oğluma, aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca danışmanlığımı yürüten ve gerek eğitimim, gerekse yüksek lisans tezimin hazırlanışı sırasında gösterdiği kolaylıklar ve rehberliği, tecrübelerini paylaşarak bana yol göstermesi için değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Tufan KUMBASAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans eğitim sırasında bana yardımcı olan, başta değerli hocalarım Prof. Dr. İbrahim EKSİN ve Prof. Dr. Leyla GÖREN SÜMER olmak üzere bütün Kontrol Ve Otomasyon Bölümü hocalarına teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, anneme, babama ve kardeşime bana verdikleri destek ve anlayışları için ve yüksek lisans eğitimim boyunca destekleriyle yanımda olan ve özellikle tez hazırlanış sürecinde gösterdiği sabır ve desteğiyle bana güç veren çok değerli eşime sonsuz minnettarlığımı sunarım.

Haziran 2016

Muhammed İkbâl ÖRT
(Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Güneş Enerjisi	1
1.1.1 Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli	2
1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	2
1.2 Tez Çalışması.....	3
2. FOTOVOLTAİK PANEL VE MODELLENMESİ.....	5
2.1 Fotovoltaik Hücresinin Fiziksel Yapısı	6
2.2 Fotovoltaik Sistemlerin Modellenmesi.....	7
2.2.1 İdeal FV Hücre’nin Matematiksel İfadesi	7
2.2.2 FV Panellerin Modellenmesi	8
2.3 FV Panelin Simülasyonu	10
2.3.1 FV Panelin MATLAB/Simulink Modelinin Oluşturulması	10
2.3.2 FV Panelin Simülasyon Sonuçları.....	11
3. GÜNEŞİ TAKİP EDEN SİSTEM (GTES)	17
3.1 GTES Yapıları Ve Çeşitleri.....	18
3.1.1 Sistem Yapıları.....	18
3.1.2 Sistem Çeşitleri.....	19
3.2 Literatür Araştırması	20
3.3 Sistem Ekipmanları Ve Modellenmesi	24
3.3.1 DC Motor Ve Modellenmesi	27
3.3.1.1 DC Motor Eşdeğer Devresi Ve Eşitlikleri.....	27
3.3.1.2 DC Motor MATLAB/Simulink Modeli	29
3.3.2 Işığa Duyarlı Sensör Ve Modellenmesi	29
3.3.3 Güneşin Modellenmesi.....	32
3.3.4 Etkili Radyasyon Değerinin Hesaplanması Ve Modellenmesi	34
3.4 Sistemin Genel Yapısı Ve PID Kontrolör Tasarımı	35
3.4.1 Güneşi Takip Eden Sistem(GTES)	35
3.4.2 PID Kontrolör Ve Tasarım Aşamaları.....	37
3.4.2.1 Genel PID Kontrolör Yapısı.....	37

3.4.2.2 GTES İçin PID Kontrolör Tasarım Aşamaları.....	37
3.4.2.3 Tasarlanan PID Kontrolörün Performansı	41
3.5 GTES Modelinin Simülasyonu ve Sabit Açılı FV Panel İle Karşılaştırılması	42
4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİLERİ (MPPT)	45
4.1 MPPT Yöntemleri	48
4.1.1 Değiştir&Gözle Yöntemi(D&G)	48
4.1.2 Artan İletkenlik Yöntemi.....	50
4.1.3 Kısmi Açık-Devre Gerilim Yöntemi	51
4.1.4 Kısmi Kısa-Devre Akım Yöntemi.....	52
4.1.5 Bulanık Mantık Yöntemi	52
4.2 Literatür Araştırması	54
4.3 MPPT Sistem Ekipmanları Ve Farklı MPPT Yöntemlerinin Modellenmesi..	56
4.3.1 DC-DC Dönüştürücüler.....	56
4.3.1.1 Yükselten Dönüştürücü Yapısı	57
4.3.1.2 Yükselten Dönüştürücü Modellenmesi.....	59
4.3.2 Sabit Adımla Değişen D&G Yöntemi.....	59
4.3.2.1 Yapısı	60
4.3.2.2 Modellenmesi	62
4.3.2.3 Simülasyon Sonucu	62
4.3.3 Değişken Adımla Değişen D&G Yöntemi	64
4.3.3.1 Yapısı	64
4.3.3.2 Modellenmesi	65
4.3.3.3 Simülasyon Sonucu	65
4.3.4 Bulanık Mantık Kontrol Yöntemi.....	70
4.3.4.1 Yapısı	70
4.3.4.2 Modellenmesi	71
4.3.4.3 Simülasyon Sonucu	74
4.3.5 Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yöntemi.....	76
4.3.5.1 Yapısı	76
4.3.5.2 Modellenmesi	78
4.3.5.3 Simülasyon Sonucu	79
4.4 Sonuç	80
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	81
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	89
EK A.1	91
EK A.2	92
EK A.3	93
EK A.4.....	94
ÖZGEÇMİŞ	95

KISALTMALAR

IEA	: International Energy Agency
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
PV	: Photovoltaic
FV	: Fotovoltaik
GTES	: Güneşi Takip Eden Sistem
MPPT	: Maximum Power Point Tracker - Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
LDR	: Light Dependent Resistor
PID	: Proportional-Integral-Derivative
DC	: Direct Current
FPGA	: Field Programmable Gate Array
CAN	: Controller Area Network
D&G	: Değiştir&Gözle

SEMBOLLER

I	: Akım
V	: Gerilim
P	: Güç
W	: Watt
I_{fv}	: Fotovoltaik Akım
β_1, β_2	: Sensör Açıları
θ	: Panel Açısı
α	: Güneş Açısı
D	: Duty Cycle - Görev Döngüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Ülkeler Bazında Fotovoltaik Kapasite (MW_p).....	3
Çizelge 2.1: İdeal FV Hücre Denkleminin Parametreleri.....	8
Çizelge 2.2: Eşitlik (2.4)'te Verilen Parametrelerin Açıklamaları.....	9
Çizelge 2.3: KC200GT Solar Panel Parametreleri (25° ve $1000W/m^2$ Koşullarında).....	13
Çizelge 3.1: DC Motor Parametreleri.....	29
Çizelge 3.2: Güneş Radyasyon Verileri.....	33
Çizelge 4.1: D&G Yönteminin İşleyiş Adımları	48
Çizelge 4.2: Artan İletkenlik Yönteminde Maksimum Güç Noktasının Bulunması	50
Çizelge 4.3: Çizelge 4.2'nin Eşitlik (4.1)'e Göre Tekrar Düzenlenmesi.....	50
Çizelge 4.4: Yükselten Dönüştürücü Parametreleri.	59
Çizelge 4.5: Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün Çıkış Üyelik Fonksiyon Değerleri.	71
Çizelge 5.1: MPPT Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	83

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Global Yıllık Radyasyon Dağılımı.	2
Şekil 1.2 : Türkiye Yıllık Radyasyon Dağılımı.	3
Şekil 2.1 : Pratik Bir FV Sistemin $I - V$ Karakteristiği.	5
Şekil 2.2 : Fotovoltaik Hücresinin Fiziksel Yapısı.	6
Şekil 2.3 : FV Sistemin Eşdeğer Devresi: Bir-Diyot Modeli.	7
Şekil 2.4 : FV Sistemin Eşdeğer Devresi: İki-Diyot Modeli.	7
Şekil 2.5 : FV Sistem Devresinin MATLAB/Simulink Modeli.	10
Şekil 2.6 : Eşitlik (2.2)'nin MATLAB/Simulink Modeli.	11
Şekil 2.7 : Eşitlik (2.4)'ün MATLAB/Simulink Modeli.	11
Şekil 2.8 : Eşitlik (2.7)'nin MATLAB/Simulink Modeli.	12
Şekil 2.9 : FV Sistemin Genel MATLAB/Simulink Modeli Ve FV Sistem Bloğu.	12
Şekil 2.10 : Nominal Koşullar Altında FV Sistemin $I - V$ Eğrisi.	13
Şekil 2.11 : Nominal Koşullar Altında FV Sistemin $P - V$ Eğrisi.	14
Şekil 2.12 : Sabit Radyasyon Değerinde Farklı Sıcaklık Değerleri İçin $I - V$ Eğrisi.	14
Şekil 2.13 : Sabit Sıcaklıkta Farklı Radyasyon Değerleri İçin $I - V$ Eğrisi.	15
Şekil 3.1 : Bir GTES'nin blok diyagramı.	18
Şekil 3.2 : İçleri sıvı ile doldurulmuş iki adet tüp içeren pasif takipçi.	19
Şekil 3.3 : Çeşitli şekillerde yerleştirilmiş ışığa duyarlı sensörler.	20
Şekil 3.4 : Güneş Tespit Mekanizması.	21
Şekil 3.5 : Güneş Takip Sisteminin Blok Diyagramı.	21
Şekil 3.6 : Sistemin Mekanik Yapısı.	22
Şekil 3.7 : İki Eksenli Güneş Takip Sistemi.	23
Şekil 3.8 : Güneş Takip Sistemi Sensörleri.	23
Şekil 3.9 : Solar Pozisyon Parametreleri.	24
Şekil 3.10 : GTES - Blok Diyagramı.	25
Şekil 3.11 : GTES'de Ekipmanların Konumlandırılması.	26
Şekil 3.12 : DC Motorun Şematik Gösterimi.	27
Şekil 3.13 : DC Motorun Blok Diyagramı.	28
Şekil 3.14 : DC Motor MATLAB/Simulink Modeli Ve Sistem Bloğu.	29
Şekil 3.15 : LDR Sensörün Direncinin Işığın Şiddetiyle Değişimi.	30
Şekil 3.16 : LDR Sensör MATLAB/Simulink Modeli ve Sistem Bloğu.	31
Şekil 3.17 : Güneş MATLAB/Simulink Modeli ve Sistem Bloğu.	33
Şekil 3.18 : Güneş Modelinden Elde Edilen Radyasyon Verisi.	34
Şekil 3.19 : Etkili Radyasyon Değerini Hesaplayan Model.	35
Şekil 3.20 : GTES Tam Modeli.	36

Şekil 3.21	: Kapalı Çevrim Sistemin PID İle Kontrolü.....	37
Şekil 3.22	: MATLAB/Simulink PID Tune Aracı.....	38
Şekil 3.23	: PID Tune Aracının Sistemi Lineerleştirme Sonucu.	38
Şekil 3.24	: Sistemin Giriş-Çıkış Verisinin Alınması.	39
Şekil 3.25	: Sistem Tanıma Aracına Verilerin Aktarılması.	39
Şekil 3.26	: Sistem Yapısının Seçimi.	40
Şekil 3.27	: Sistem Modelinin Oluşturulması.	40
Şekil 3.28	: PID Tune Kullanılarak Kontrolör Parametrelerinin Ayarlanması.	41
Şekil 3.29	: FV Panel Ve Güneş Açılarının Karşılaştırılması.	41
Şekil 3.30	: GTES İle Oluşan, FV Panel Üzerindeki Etkili Radyasyon Değeri. ...	42
Şekil 3.31	: Sabit Açılı Sistem Modeli.	42
Şekil 3.32	: 90° Sabit Açılı Sistem İle Oluşan Etkili Radyasyon Değeri.	43
Şekil 3.33	: Elde Edilen Radyasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.1	: FV Panelin Çalışma Eğrileri Ve Maksimum Güç Noktası.	45
Şekil 4.2	: Farklı Radyasyon Değerlerinde Maksimum Güç Noktasının Değişimi.....	46
Şekil 4.3	: Farklı Sıcaklık Değerlerinde Maksimum Güç Noktasının Değişimi.	46
Şekil 4.4	: MPPT'li FV Sistemin Genel Blok Diyagramı.....	47
Şekil 4.5	: Anlık Radyasyon Değişiminde D&G Yönetiminin Davranışı.	49
Şekil 4.6	: Artan İletkenlik Yöntemi Akış Diyagramı.	51
Şekil 4.7	: Bulanık Sistemin İç Yapısı.	53
Şekil 4.8	: Örnek Üyelik Fonksiyonu.	53
Şekil 4.9	: MPPT'li FV Sistem MATLAB/Simulink Modeli.	56
Şekil 4.10	: Simülasyonda Kullanılan Radyasyon Değerleri.....	57
Şekil 4.11	: Yükselten Dönüştürücü Yapısı.	58
Şekil 4.12	: Yarıiletken Anahtarın İletim Durumu.....	58
Şekil 4.13	: Yarıiletken Anahtarın Kesim Durumu.	58
Şekil 4.14	: Yükselten Dönüştürücü MATLAB/Simulink Modeli Ve Bloğu.....	60
Şekil 4.15	: D&G Yönteminin Akış Diyagramı.....	61
Şekil 4.16	: Yeniden Düzenlenmiş D&G Akış Diyagramı.	61
Şekil 4.17	: Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin Modellenmesi.	62
Şekil 4.18	: 0.1 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız Simülasyonu.....	63
Şekil 4.19	: 0.1 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'lı Simülasyonu.....	63
Şekil 4.20	: 0.01 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız Simülasyonu... ..	64
Şekil 4.21	: 0.01 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'lı Simülasyonu.....	65
Şekil 4.22	: Değişken Adımla Değişen D&G Yöntemi Akış Diyagramı.	66
Şekil 4.23	: Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin Modellenmesi.	66
Şekil 4.24	: $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız Simülasyonu.....	67
Şekil 4.25	: $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız D Görev Döngüsü.	67
Şekil 4.26	: $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken Simülasyonu.	68
Şekil 4.27	: $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken D Görev Döngüsü.	68

Şekil 4.28	: $\varepsilon = 1/1000$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken Simülasyonu.	69
Şekil 4.29	: $\varepsilon = 1/1000$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken D Görev Döngüsü.	69
Şekil 4.30	: Tagaki-Sugeno Kural Yapısı İle Oluşturulan Bulanık Mantık MPPT Kontrolör.	70
Şekil 4.31	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün Giriş Üyelik Fonksiyonları.	71
Şekil 4.32	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolör Kurallar Tablosu.	71
Şekil 4.33	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolör Kural Yüzeyi.	72
Şekil 4.34	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolör MATLAB/Simulink Modeli.	73
Şekil 4.35	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 1. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Gerçekleştirilmiş Simülasyonu.	74
Şekil 4.36	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 1. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Elde Edilen D Görev Döngüsü.	74
Şekil 4.37	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 2. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Gerçekleştirilmiş Simülasyonu.	75
Şekil 4.38	: Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 2. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Elde Edilen D Görev Döngüsü.	75
Şekil 4.39	: Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yapısının Blok Diyagramı.	76
Şekil 4.40	: PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle Sistem Tanımlama Yapılması.	77
Şekil 4.41	: PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle Sistem Simülasyonunun Yapılması.	77
Şekil 4.42	: PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle Toplanan Verilerin Gösterimi.	78
Şekil 4.43	: PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle PI Kontrolör Parametrelerinin Ayarlanması.	78
Şekil 4.44	: Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yapısı MATLAB/Simulink Modeli.	79
Şekil 4.45	: Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yapısı Simülasyon Sonucu.	79
Şekil 4.46	: Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yapısı İle Elde Edilen D Görev Döngüsü.	80
Şekil A.1	: Sabit Adımla Değişen D&G Yöntemine Ait MATLAB Kodları.	91
Şekil A.2	: Yeniden Düzenlenmiş D&G Yöntemine Ait MATLAB Kodları.	92
Şekil A.3	: Değişken Adımla Değişen D&G Yöntemine Ait MATLAB Kodları.	93
Şekil A.4	: Sabit Adımla Değişen D&G + PI Yöntemine Ait MATLAB Kodları.	94

FV SİSTEMLERDE GÜNEŞİ TAKİP EDEN SİSTEM TASARIMI VE MPPT KONTROLÜ İLE ENERJİNİN YÜKE MAKSİMUM OLARAK AKTARILMASI

ÖZET

Özellikle son 20 yılda teknolojinin ve sanayinin gelişimine bağlı olarak enerji ihtiyacı artarak devam etmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için birçok farklı kaynak kullanılmaktadır.

Fosil yakıtlar, enerji ihtiyacını karşılamak için geçmişten günümüze kadar en yaygın kullanılan enerji kaynağı olmuştur. Halen birçok ülkenin başlıca enerji kaynağı olmasına rağmen, doğaya saldıkları zehirli gazlar ve çevreye verdikleri zarar sebebiyle önemi gittikçe azalmaktadır. Fosil yakıtların kullanımının azaltılmak istenmesine rağmen enerji ihtiyacının önemli bir oranda artmaya devam etmesi, bu enerji ihtiyacının farklı kaynaklardan teminine zemin hazırlamıştır.

Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında önemli ölçüde artış gözlenmiştir. Bu kaynaklar içerisinde en önemli yenilenebilir enerji kaynağı, şüphesiz güneştir. Güneşe ulaşılabilmesinin kolay olması yanında yeryüzünde bulunan bütün enerji kaynaklarından daha fazla potansiyel enerji barındırması, güneşi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ilk sıraya yerleştirmiştir.

Güneş enerji sistemlerinin maliyetleri azalan bir eğilim göstermesine rağmen hala yapılan yatırımların geri dönüş süresinin uzun olması ve atmosferik koşullardan kaynaklı bazı olumsuz durumlardan dolayı, güneş enerjisi sistemlerinde bulunduğu koşullar altında üretebilecekleri maksimum enerjiyi üretmeleri ve bu enerjinin kayıpsız bir şekilde kullanılacağı yüke aktarılması büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında da bu konular ele alınmıştır.

Öncelikle güneş enerjisinin potansiyeli, ülkemiz ve dünyadaki kurulu sistem güçleri verilerek güneş enerjisinin ne denli önemli bir enerji kaynağı olduğu vurgulanmıştır.

Sonrasında güneş enerjisinden elektrik üretmekte kullanılan fotovoltaiik hücre ve panel yapıları verilerek matematiksel olarak bu yapıların modelleri oluşturulmuştur.

Sonraki bölümde ise güneşi takip eden fotovolatik bir sistemin tasarımı yapılarak, bu sistemin kontrolü PID kontrolör ile yapılmıştır. Bu bölümde kullanılan radyasyon verileri, geçmiş yıllara ait gerçek radyasyon verileridir.

Son olarak fotovoltaiik sistemler yardımıyla üretilen enerjinin yüke maksimum olarak aktarılmasını sağlayan maksimum güç noktası takipçisinin dört farklı yöntemler tasarımı yapılmış ve bu sistemlerin birbirine göre avantajları ve dezavantajları verilmiştir.

Her bir bölümde modellemesi yapılan sistemlerin MATLAB/Simulink yardımıyla simülasyon modelleri oluşturulmuş ve çalışma içerisinde verilen koşullar altında simülasyonları yapılmıştır. Maksimum güç noktası takipçilerinin simülasyonundan elde edilen veriler karşılaştırılarak en iyi sonucu veren sistemler belirtilmiştir.

DESIGNING SMART SOLAR TRACKER FOR PV SYSTEMS AND TRANSFERING ENERGY TO THE LOAD WITH MPPT

SUMMARY

Especially in last four decades, due to development of technology and industry, the need of energy continues to increase by the time. An there many resources to produce energy from. But most of them are harmful for environment to use for producing energy.

Fossil fuels are very common energy sources for producing energy form the past until now. Still most countries' number one energy resources are fossil fuels in despite of releasing greenhouse gases in very large amounts.

Most used energy resource is coal in the world. Because it is easy to produce and cost of it is more less when compare to other resources. But the damage is enormous for the environment. But usage of coal and other fossil fuels is decreasing slowly by time with countries taking action for toxic contaminant these fuels produces.

However, there is still remaining one problem to supply increasing energy need when these fuels' usage is decreasing. For that, countries and entrepreneurs search for other supplies for energy like renewable energy sources.

Renewable energy sources have an increasingly important for producing energy generation in last two decades. Besides reducing the depending on fossil fuels, also they reduce the emission of greenhouse gases. Some of renewable energy resources are solar energy, wind power, hydropower, geothermal energy and bio energy. While these renewable energy resources other than solar energy strongly depends on some conditions like location, atmospheric conditions and large areas, the only basic need for solar energy is sun.

The most important renewable energy source is solar power with no doubt. Besides being easy reachable, having potential energy more than other renewable sources makes solar energy most important green energy. Also because of its ubiquity, abundance and sustainability, solar energy is the most essential source among the other renewable energy sources.

A variety of technologies convert sunlight to usable energy for buildings. The most commonly used solar technologies for homes and businesses are solar water heating, passive solar design for space heating and cooling, and solar photovoltaics or using mirrors and boilers for electricity.

For producing electricity from sun, photovoltaic cells/panels are most common method among the others. Photovoltaic cells convert light into electrical direct current by taking advantage of the photoelectric effect. Many of solar photovoltaic cells form photovoltaic panels to produce more energy. And by connecting these panels in series or parallel, energy production in big scales like Megawatts or Gigawatts is satisfied.

Producing energy by photovoltaic panels are consisted of some methods like fixed mounted photovoltaic panels or photovoltaic panels using solar trackers. For fixed mounted systems, panels are mounted on steel construction materials with a fixed angle to the sun's trajectory. This angle depends on system's location on earth. For instance, while a system on ecuador line has 0° angle with the surface of earth, in Turkey this angle must be around 25° to produce more energy.

For the systems shich track the sun's trajectory, there are several methods. One of them is passive solar trackers. This method based on thermal expansion of matter. When the two tracker which makes the panel move expose to the sun within different time line, the most heated tracker makes the system move towards to it.

The other basic system to track the sun is active solar tracker. These systems include motor, motor driver, sensors and control units with appropriate contruction for moving. In these systems, generally, the information which comes from sensors evaluates in control unit and by that motor is controlled to track sun trajectory.

Over the years, reserchers have proven that smart solar trackers maximize the energy prodeded from solar systems. In many research, solar trackers' performance has compared to fixed solar systems. And it is shown that there is an increase between %20 – %50 at produced energy in solar systems with solar tracker compared to fixed systems.

For photovoltaic panels or systems, there is a certain point for output that power is maximum at. While considering the difficulties for producing the electricity from solar systems, it is significant to make system at this point without a loss.

When a photovoltaic panel connects directly to the load, output of panel will work rarely at the maximum power point and it will not be optimal.

Many reserch proposed new methods or a development in an existing method for transferring energy from PV panel to load. They are called "Maximum Power Point Tracker - MPPT" mainly. Their aim is to find which point PV cell/array produces maximum energy and make load to have same energy via DC-DC converters.

The costs of solar energy are decreasing slowly by time. However, it is still not cheap and for some negative effects originating from atmospheric circumstances, to produce maximum energy that PV systems can produce under existing conditions and to transfer this energy to the load with no loss brings forward. For that this thesis aims to examine producing maximum energy from solar systems and transfer it to load without loss.

In the first chapter, some information about potential of solar energy on earth's surface has been given. To give an opinion to reader, a table is created for installed solar energy in some countries. As reader will see in this chapter, installed solar energy capacity grows year by year. Every country makes investments in solar energy. For Turkey, it is growing in a big percentage. In 2014, installed solar energy for Turkey was almost %90 of the all capacity.

After that, physical structure of PV cell and array that produces electricity from solar irradiation has been introduced. Also equations for PV solar cell are given and by that a mathematical model for PV cell and array is created. At the end of this chapter, a MATLAB/Simulink model has developed and for different irradianations

and temperatures, this model simulated for a real PV array specifications based on its datasheet.

In third chapter, solar tracker systems have been introduced. Firstly different types of solar trackers are given. Later a smart solar tracking system with two light dependent sensor and a DC motor with PID controller is designed. To specify PID controller parameters, a tool which MATLAB/Simulink PID Tuner provide is used. In simulation part, the system simulated for tracking sun and compared to fixed panels with 45° , 90° and 135° . Irradiation on PV panel's surface is found more with solar tracker system. It has shown by a graph.

In fourth chapter, first some general information is given for different types of MPPT techniques. Their advantages and disadvantages are given for whom think to design an MPPT for a PV system to keep in mind. After that, four different MPPT structure is given and modelled in MATLAB/Simulink. Their performances for different system parameters such as irradiation at different levels, sudden change in irradiation are evaluated via simulation and two systems that produce best performance are given in last section.

Finally in the last chapter, a comparison has made for simulated systems both in third and fourth chapters. For sun tracking systems, results evaluated in the manner of irradiances which obtained from fixed PV systems and PV systems with solar tracker. After that for different MPPT methods which has been simulated in fourth chapter are compared. Two MPPT methods which gave the best result are introduced. A table is created for comparison MPPT models.

1. GİRİŞ

1950 yılından itibaren dünyada artan sanayileşmeyle birlikte enerji üretimi ve kullanımı artan bir dereceyle önem arz etmeye başlamıştır. Özellikle son 10-20 yıl göz önüne alındığında, gelişen teknolojiyle birlikte enerji ihtiyacı sürekli bir artış göstermiştir.

Enerji ihtiyacının bu artışına bağlı olarak, geleneksel enerji kaynaklarının bu ihtiyaca binaen hızla azalması ve maliyetlerinin artması, alternatif enerji kaynaklarına olan ilginin ve araştırmaların çoğalmasına neden olmuştur [1].

Ayrıca fosil yakıtların tüketiminin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, küresel çapta meydana getirdiği olumsuz koşullar göz önüne alındığında güneş ve rüzgar enerjisi gibi temiz enerji kaynaklarına olan ihtiyacın ne denli önemli olduğu aşikar olacaktır.

1.1 Güneş Enerjisi

Bir senede yeryüzüne düşen güneş ışıınım enerjisinin yeryüzünde bulunan bütün fosil yakıtların toplamının yaklaşık 160 katı kadardır. Ayrıca bütün enerji üretim tesislerinde yapılan üretiminse yaklaşık 15.000 katı kadardır [2]. Güneş enerjisinin çok farklı kullanım alanları ve şekilleri olmakla birlikte, çoğu alternatif enerji kaynakları gibi herhangi bir bölge veya zamana bağlı olmaması ve yılın her günü enerji üretilebilir olması güneş enerjisini diğer enerji kaynaklarından daha önemli bir hale getirmektedir.

Bütün bu sebepler göz önüne alındığında alternatif enerji kaynakları arasında artan ihtiyaca cevap verebilecek en önemli kaynağın güneş enerjisi olduğu ortaya çıkmaktadır.

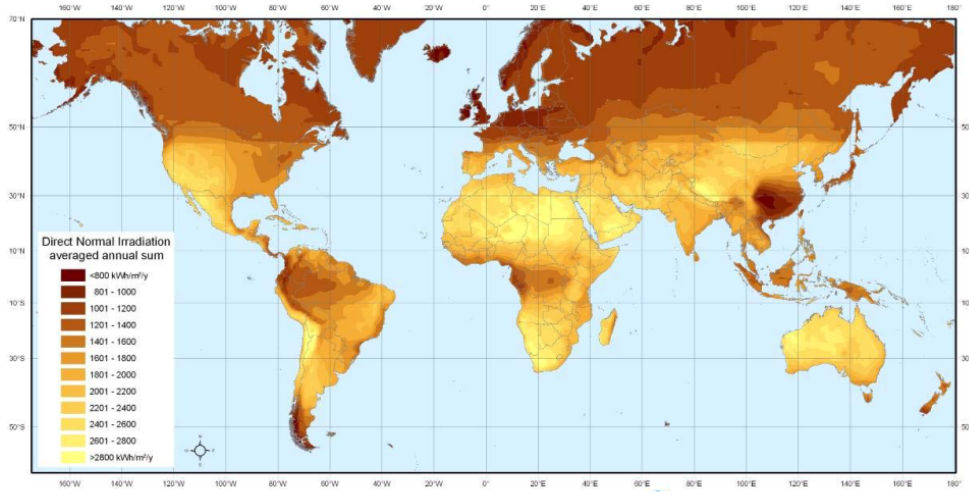
Güneş enerji sistemleri genelde 3 kategoriye ayrılabilir: şebekeden bağımsız sistemler, şebeke bağımlı sistemler, hibrit sistemler. Şebeke bağımsız sistemler, enerji

sistemlerinden uzak yerler için uygun olurken, enerjiye ulaşımı olan yerler için şebeke bağımlı sistemler önem kazanmaktadır.

1.1.1 Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli

Yeryüzü atmosferi dışında güneş ışıma enerjisi yaklaşık olarak $1370W/m^2$ iken, yansımalar ve kırılmalar sonucunda yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi miktarı $0 - 1100W/m^2$ olmaktadır [3]. Bu değerler göz önüne alındığında mevcut güneş enerjisi potansiyelinin enerji tüketimine oranı yaklaşık 9000:1 olmaktadır [4].

Dünyada yıllık radyasyon dağılımını gösteren harita Şekil 1.1’de verilmiştir [5].



Şekil 1.1 : Global Yıllık Radyasyon Dağılımı.

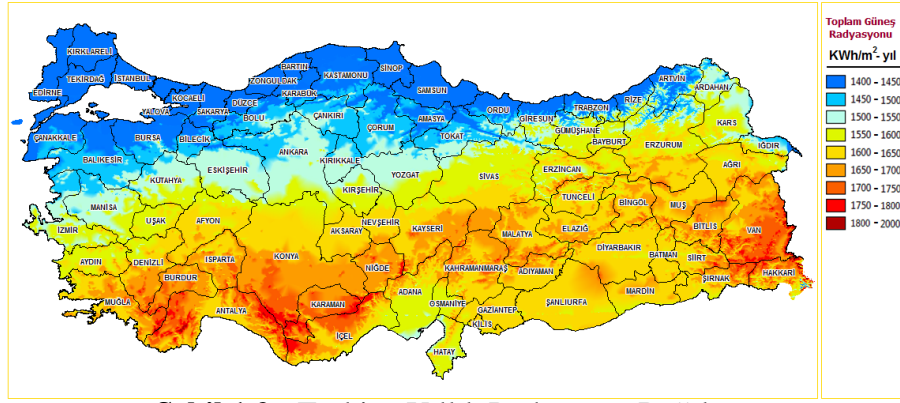
1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyeli, birçok Avrupa ülkesinin sahip olduğu potansiyelden daha fazla olmasına rağmen başta yatırım maliyetleri olmak üzere çeşitli sebeplerden dolayı yeteri kadar gelişim gösterememiştir.

Türkiye’nin radyasyon dağılımını gösteren harita Şekil 1.2’de verilmiştir [6].

Ülkemizde son yıllarda yenilenebilir enerji için sağlanan devlet destekleriyle beraber [7] güneş enerjisi üretiminde artış görülmektedir. IEA-PVPS 2014 verilerine göre güneş enerjisinden elektrik üretiminde zirvede olan ilk 10 ülke ve Türkiye’nin verileri Çizelge 1.1’de gösterilmektedir [8,9].

Son 20-30 yılda yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacın artmasına bağlı olarak güneş enerjisi ile alakalı birçok çalışma yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmalar, panel



Şekil 1.2 : Türkiye Yıllık Radyasyon Dağılımı.

Çizelge 1.1 : Ülkeler Bazında Fotovoltaik Kapasite (MW_p).

Ülke	2014 Yılına Kadar Olan Kapasite	2014 Yılında Eklenen
Almanya	38,235	1,898
Çin	28,050	10,640
Japonya	23,300	9,700
İtalya	18,313	385
Amerika	18,280	6,201
Fransa	5,632	927
İspanya	5,388	22
İngiltere	5,230	2,402
Avustralya	4,136	910
Belçika	3,115	75
Türkiye	58	40

verimliliğinin artırılması, güneşten elde edilecek enerjinin maksimum seviyeye çıkarılması, elde edilen enerjinin yüke olabildiğince az kayıpla aktarılması v.b. amaçlar taşımaktadır.

Güneş enerjisinde radyasyonun günlük ve mevsimlik değişimleri önemli bir noktadır. Ayrıca güneş panellerinden enerji üretiminin günlük güneşlenme saatleriyle sınırlı olduğu bir gerçektir. Bütün bu belirtilen sebeplerden dolayı güneşten alınabilecek maksimum enerjinin elde edilmesi ve bu enerjinin kullanılacağı yük kısmına maksimum şekilde aktarılması, büyük önem arz etmektedir ve birçok araştırmaya konu edilmiştir.

1.2 Tez Çalışması

Tezin birinci bölümünde güneş enerjisi hakkında bilgi verilerek dünyada ve ülkemizdeki potansiyelleri verilmiştir. Ayrıca bazı ülkeler bazındaki üretim miktarları verilerek okuyucuya güneş enerjisinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Sonrasında

Üretimdeki problemlerden bahsedilerek tezde oluşturulacak sistemin hangi konularda güneş enerjisi üretimine katkıda bulunacağı hakkında bilgi verilmektedir.

İkinci bölümde ise güneş ışığını elektriksel enerjiye eviren güneş pilleri ve bu güneş pillerinin biraraya gelerek oluşturduğu güneş panellerinin fiziksel özellikleri ve iç yapıları hakkında bilgi verilecektir. Sonrasında bu fiziksel özelliklere bağlı olarak MATLAB/Simulink ortamında güneş panelinin modellenme aşamaları anlatılarak bir Simulink modeli oluşturulacaktır.

Bu tezin üçüncü bölümünde, güneşten maksimum enerji üretimini sağlayan güneşi takip eden sistemler hakkında bilgi verilerek, yapılan literatür araştırması ile çeşitli sistemler hakkında bilgi verilecektir. Sonrasında bu tez çalışması esnasında oluşturulan güneşi takip eden sistemin tasarımı aşamaları verilerek bu sistemin MATLAB/Simulink ortamında modellenmesine yer verilecektir. Bu bölümde son olarak bu sistemin gerçek güneş radyasyon verilerine dayalı simülasyonu yapılarak sonuçlar verilecektir.

Dördüncü bölümde ise güneşten üretilen enerjinin elektriksel yüke maksimum olarak aktarılmasını sağlayan Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT - Maximum Power Point Tracker) sistemler hakkında bilgi verilerek bir literatür araştırması sunulacaktır. Sonrasında dört farklı yöntem ve kontrol yapısı kullanılarak tasarlanan MPPT sistemlerinin tasarımı aşamaları verilerek MATLAB/Simulink ortamında simülasyonu yapılacaktır. Bölümün sonunda ise bu dört farklı sistemin ıktıları verilerek sonuçlar tartışılacaktır.

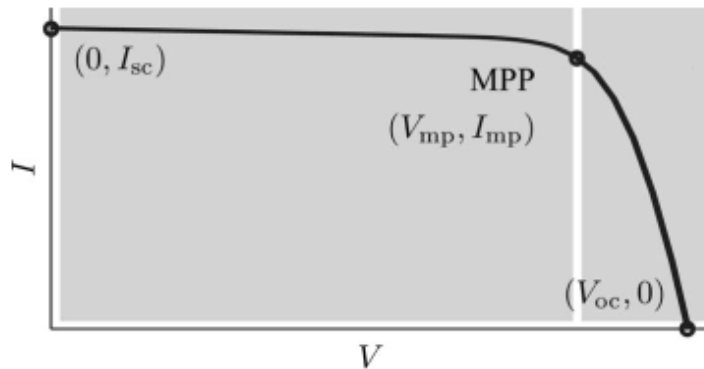
2. FOTOVOLTAİK PANEL VE MODELLENMESİ

Temel olarak bir fotovoltaik(FV) sistemi, güneş ışınlarından elektrik üreten sistem olarak tanımlamak mümkündür. Bu sistem, FV sistemlerin en temel birimi olan güneş pili olarakta bilinen FV hücre olabileceği gibi, bu FV hücrelerin seri ve paralel olarak birbirine bağlanmasıyla elde edilen FV panel(güneş paneli) de olabilir.

FV hücre güneş ışınından elektrik üretmeye yarayan en temel ve basit birimdir. Yapısı bir yarıiletken elektronik eleman olan diyota çok benzemektedir. Başka bir deyişle; FV hücre, ışıktan elektrik üreten bir diyottur.

FV sistem uygulamalarında, hücrelerin veya panellerin birbirine bağlanmasıyla çıkış terminallerinde akım ve gerilim elde edilmektedir. Bu akım ve gerilim ışıklandırma veya küçük DC motor uygulamalarında direk yüke bağlanarak kullanılabileceği gibi, daha büyük yük içeren karmaşık sistemlerde FV sistem ile yük arasında elektronik dönüştürücüler kullanmak gerekmektedir.

FV sistemler, çıkışında lineer olmayan bir akım-gerilim($I - V$) karakteristiğine sahiptir. Dolayısıyla yukarıda belirtilen dönüştürücülerin tasarım aşamalarında FV sistemin doğru modellenmesi önem arz etmektedir. Bir FV sistemin $I - V$ karakteristiği Şekil 2.1’te görülmektedir.



Şekil 2.1 : Pratik Bir FV Sistemin $I - V$ Karakteristiği.

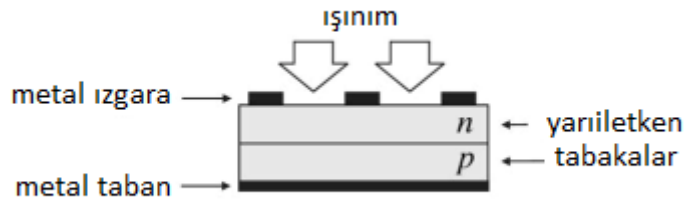
Ayrıca FV sistemlerin doğru modellenmesi, yüke maksimum gücü aktarmaya yarayan MPPT uygulamalarında da önemli hale gelmektedir. Çünkü FV sistemlerin maliyetleri ve birinci bölümde bahsedilen güneş enerjisinden elektrik üretimindeki kısıtlamalar

göz önüne alındığında üretilen gücün herhangi bir kayıp olmadan yüke aktarılması gerekmektedir. Bu da doğru modellenen FV sistemler üzerinden yapılacak uygun dönüştürücü tasarımları ile mümkün olacaktır.

2.1 Fotovoltaik Hücresinin Fiziksel Yapısı

FV hücresinin yapısı yarıiletken bir malzemeden yapılan ışığa duyarlı p-n ekleminden oluşan bir diyot olarak tanımlanabilir. Karanlık ortamda bir FV hücresinin $I - V$ karakteristiği diyoda çok benzemektedir. Bununla beraber güneş ışığına maruz bırakılan FV hücrede elektron-boşluk çiftleri oluşmaya başlar. Sonrasında aynı bölgedeki elektrik alan yardımıyla bu çiftler birbirinden ayrılır ve FV hücresinin çıkışında kullanılabilir bir güç oluştururlar [10]. Basitçe FV çalışma sistemi; solar radyasyonun Emilimi, p-n ekleminden serbestçe hareket edebilen yapıların oluşturulması ve bu yapıların FV sistemin çıkışında toplanması olarak tanımlanabilir [11].

FV hücreler farklı üretim yöntemlerini kullanan birkaç farklı yarıiletken malzemeden yapılırlar. Ama kullanım yaygınlığı en çok olanlar, maliyeti ve üretimi göz önüne alındığında monokristal ve polikristal silisyum yapıda olanlardır. Şekil 2.2 'de bir FV hücresinin fiziksel yapısı görülmektedir.



Şekil 2.2 : Fotovoltaik Hücresinin Fiziksel Yapısı.

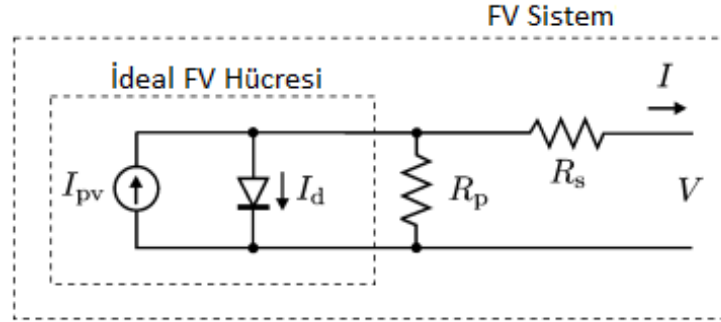
Bir FV hücrede elektrik taşıyıcılarının oranı, FV hücresinin üretiminde kullanılan yarıiletkenin soğurma kapasitesine ve ışığın gücüne bağlıdır. Soğurma kapasitesi ise temel olarak yarıiletken bant aralığına, hücre yüzeyindeki yansımaya, yarıiletken taşıyıcılarının iç yapılarına, sıcaklığa ve birkaç farklı etmene dayalıdır.

FV üretime dayalı sistemlerde elektronik dönüştürücülerin tasarımında FV sistemin elektriksel karakteristiklerini bilmek önemlidir. FV sistem(hücre, panel) üreticileri kullanıcılara deneysel verilere dayanan veri setleri sağlamaktadır. Ve bu veri setleri FV

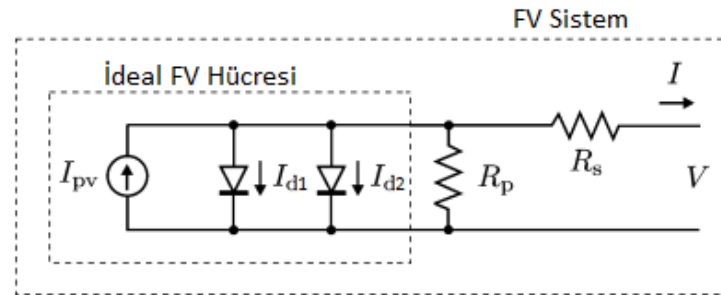
sistemin $I - V$ eğrisinin matematiksel modelini elde etmek için kullanılabilir. Bunun yanında bazı üreticiler ise farklı çalışma koşulları için $I - V$ eğrilerini kullanıcılara vermektedirler [12].

2.2 Fotovoltaik Sistemlerin Modellenmesi

FV sistemlerle alakalı yapılan çalışmalarda birden fazla model ortaya konmuştur. Bunlardan en önemlileri Şekil 2.3’de görülen bir-diyot modeli ve Şekil 2.4’te görülen iki-diyot modelidir [13]. Bu modeller üzerine yapılan araştırmalarda, modellerin elektriksel özelliklerini belirlemede bazı metodlar geliştirilmiştir. Güneş radyasyonunun düzgün bir dağılım gösterdiği durumda FV sistemlerin elektriksel parametreleri bu modellerden elde edilebilmektedir [14]. Daha sade olduğu için bir-diyot modeli daha çok tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında da FV sistemlerin modellenmesinde bir-diyot modeli tercih edilmiştir.



Şekil 2.3 : FV Sistemin Eşdeğer Devresi: Bir-Diyot Modeli.



Şekil 2.4 : FV Sistemin Eşdeğer Devresi: İki-Diyot Modeli.

2.2.1 İdeal FV Hücre’nin Matematiksel İfadesi

İdeal bir FV hücrenin en temel matematiksel ifadesi [11]:

$$I = I_{fv,hucres} - \underbrace{I_{0,hucres} \left[\exp \left(\frac{qV}{akT} \right) - 1 \right]}_{I_d} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir.

(2.1) eşitliğindeki parametrelerin açıklaması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : İdeal FV Hücre Denkleminin Parametreleri.

Sembol	Açıklama
$I_{fv,hucres}$	Güneş ışığı(radyasyon) tarafından üretilen akım
I_d	Shockley diyot denklemi
$I_{0,hucres}$	Diyotun ters doyma veya sızıntı akımı
q	Elektron şarjı ($1.60217646 \times 10^{-19} C$)
k	Boltzmann sabiti ($1.3806503 \times 10^{-23} J/K$)
T	$p - n$ bölgesinin sıcaklığı (Kelvin olarak)
a	Diyot idealite faktörü

2.2.2 FV Panellerin Modellenmesi

FV paneller birkaç FV hücrenin biraraya gelmesiyle oluşan yapılardır. Dolayısıyla (2.1) denkleminin bir FV panelin $I - V$ karakteristiğini belirtmesini beklemek yanlış olacaktır. Bununla beraber (2.1) temel FV hücre denklemine birkaç parametre eklenmesiyle FV panelin $I - V$ karakteristiği gözlenebilir [11]. Sonuç olarak FV panelin matematiksel ifadesi:

$$I = I_{fv} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + R_s I}{V_t a} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (2.2)$$

şeklinde elde edilir. Burada V_t , panelin termal gerilimi olmak üzere denklem (2.3)’te eşitliği verilmiştir.

$$V_t = \frac{N_s k T}{q} \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.2)’de verilen R_s eşdeğer seri direnci, R_p eşdeğer paralel direnci ve (2.3)’de verilen N_s ise seri olarak bağlanan hücre sayısını ifade etmektedir. Eşitlik 2.2, Şekil 2.1’de görülen $I - V$ eğrisinin çıkış noktasıdır.

FV panel modellemesi için eşitlik (2.2) kullanılırken karşılaşılan zorluklardan biri, eşitlikteki parametrelerin hepsinin FV panel üreticileri tarafından sağlanmamasıdır.

Genellikle panel üreticileri ürettikleri panellerin veri sayfalarında; nominal açık devre gerilimi ($V_{oc,n}$), nominal kısa devre akımı ($I_{sc,n}$), maksimum güç noktasındaki gerilim (V_{mp}) ve akım (I_{mp}), açık devre gerilimi/sıcaklık katsayısı (K_V), kısa devre akımı/sıcaklık katsayısı (K_I) ve maksimum deneysel tepe çıkış gücü ($P_{max,e}$) gibi parametreleri vermektedirler. Bu parametreler solar radyasyon ve sıcaklık değerlerinin nominal değerleri için virilmektedir. Dolayısıyla öncelikle eşitlik (2.2)'de kullanılacak olan diğer parametrelerin çıkarımı yapılmalıdır.

Işık şiddetinin miktarı $p - n$ eklemesindeki şarj yüklü blokların üretimini, dolayısıyla sistem tarafından üretilen akımı doğrudan etkilemektedir. FV hücrenin ışık tarafından üretilen akımı I_{fv} , solar radyasyon değişimine bağlı olarak lineer bir değişim göstermektedir ve eşitlik (2.4)'e göre sıcaklıktan da etkilenmektedir [15].

$$I_{fv} = (I_{fv,n} + K_I \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (2.4)$$

Bu eşitlikteki parametrelerin açıklamaları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Eşitlik (2.4)'te Verilen Parametrelerin Açıklamaları.

Sembol	Açıklama
$I_{fv,n}$	Işık tarafından nominal şartlarda ($25^\circ, 1000W/m^2$) üretilen akım
ΔT	$T - T_n$ (Asıl ve nominal sıcaklıklar (Kelvin))
G	Sistem yüzeyindeki radyasyon (metrekare başına düşen güç)
G_n	Nominal radyasyon

Diyot doyma akımı I_0 ve bu akımın sıcaklıkla olan ilişkisi ise eşitlik (2.5)'teki gibi açıklanabilir:

$$I_0 = I_{0,n} \left(\frac{T_n}{T} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte E_g , yarıiletkenin bant aralık enerjisidir ($25^\circ C$ 'de Silisyum için $E_g = 1.12eV$). Ayrıca nominal doyma akımı I_0 :

$$I_{0,n} = \frac{I_{sc,n}}{\exp(V_{oc,n}/aV_{t,n}) - 1} \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu eşitlikte $V_{t,n}$, nominal sıcaklık T_n 'de seri-bağlı hücrelerin termal gerilimidir.

Bütün bu verilen FV sistem eşitliklerinin yanında, çok daha geniş bir aralıktaki sıcaklık değerleri için modelin açık devre geriliminin deneysel veriyle daha iyi uyuşabilmesi için eşitlik (2.5)'te belirtilen I_0 aşağıdaki gibi tanımlanabilir [12]:

$$I_0 = \frac{I_{sc,n} + K_I \Delta T}{\exp((V_{oc,n} + K_V \Delta T)/aV_t) - 1} \quad (2.7)$$

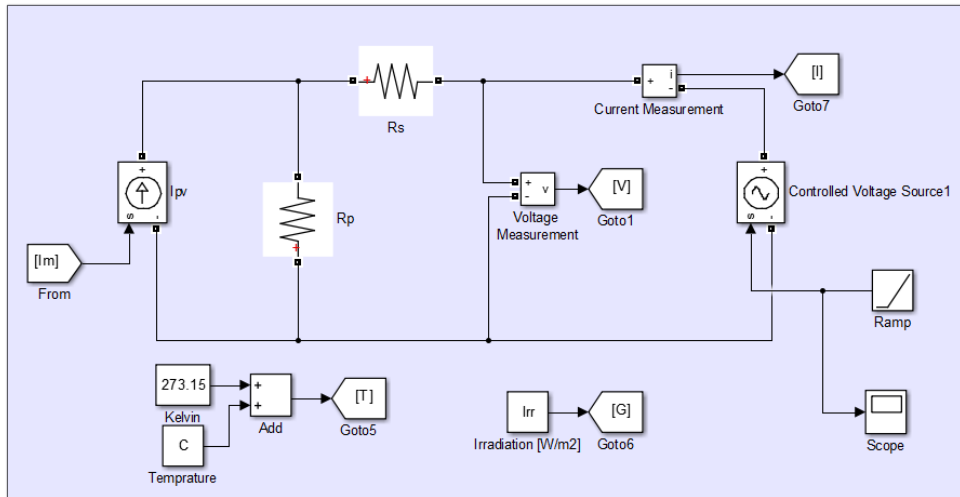
Bu eşitlik modeli basitleştirmekle beraber açık devre gerilimi civarındaki ve $I - V$ eğrisinin diğer bölgelerindeki model hatalarını da yok eder.

2.3 FV Panelin Simülasyonu

Bir FV panelin, Şekil 2.4'te verilen eşdeğer devresi ve temel olarak eşitlikler (2.2), (2.4) ve (2.7) kullanılarak, çeşitli devre simülasyon programlarıyla simülasyonu yapılabilir. Önceki bölümlerde verilen eşitlikler ve veriler kullanılarak MATLAB/Simulink ortamında geliştirilen simülasyon modeli bu bölümde verilecektir.

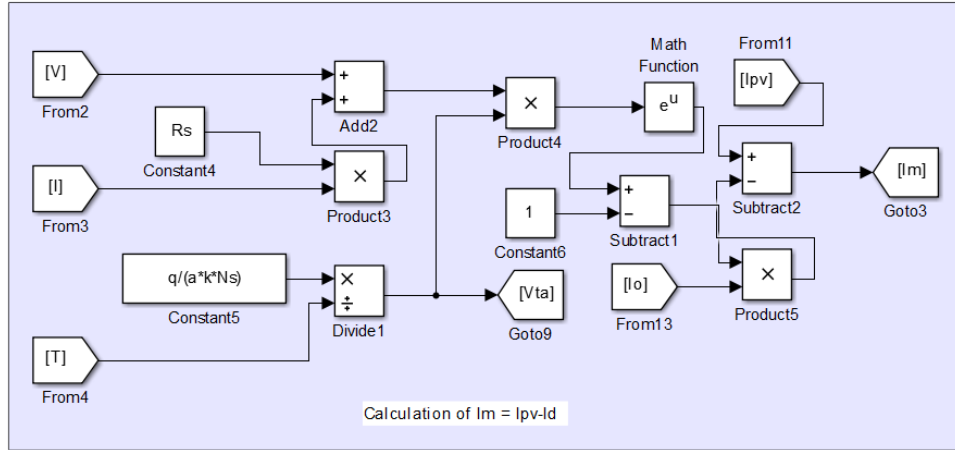
2.3.1 FV Panelin MATLAB/Simulink Modelinin Oluşturulması

Öncelikle Şekil 2.4'te verilen devrenin Simulink modeli, Şekil 2.5'teki gibi oluşturulmuştur.

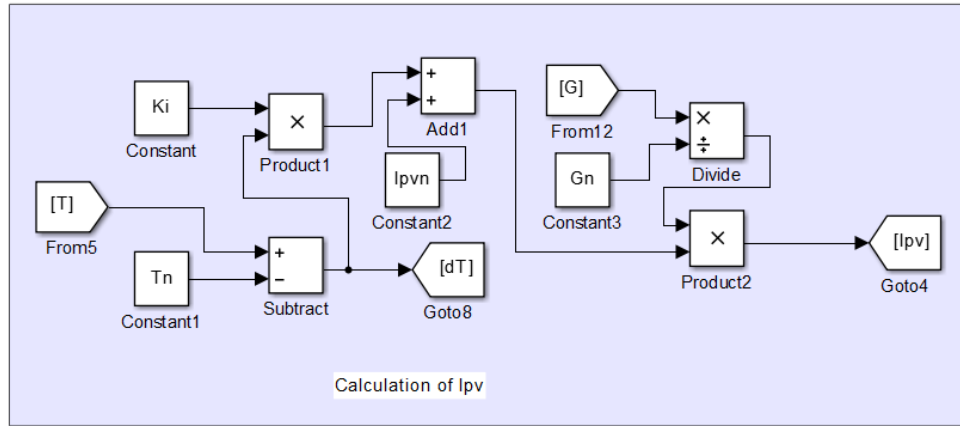


Şekil 2.5 : FV Sistem Devresinin MATLAB/Simulink Modeli.

Sonrasında eşitlikler (2.2), (2.4) ve (2.7)'nin Simulink modelleri sırasıyla Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8'te verildikleri gibi oluşturulmuşlardır.



Şekil 2.6 : Eşitlik (2.2)'nin MATLAB/Simulink Modeli.



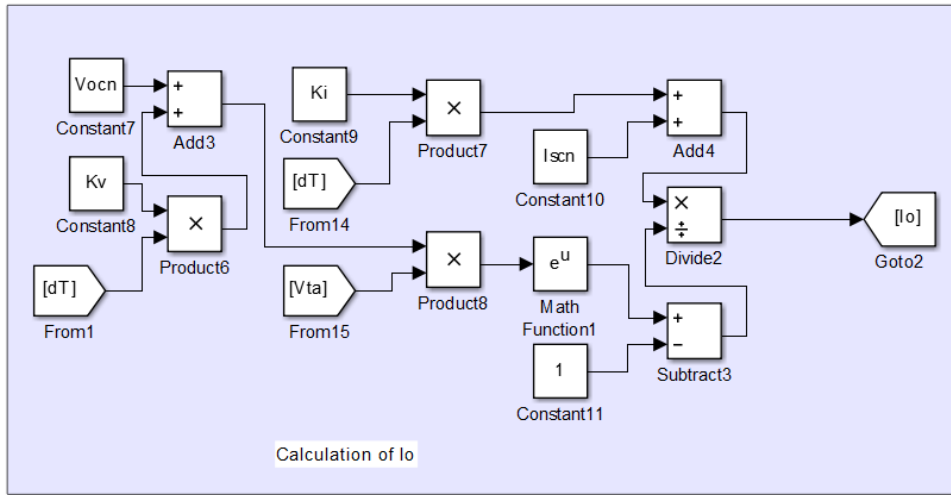
Şekil 2.7 : Eşitlik (2.4)'ün MATLAB/Simulink Modeli.

Son olarak, FV sistemin bütün modeli ve sistem bloğu Şekil 2.9'da verilmiştir.

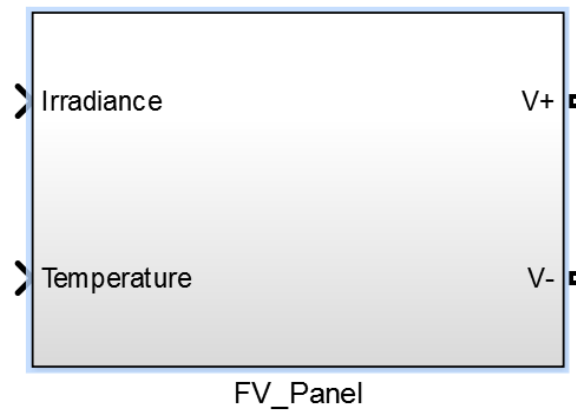
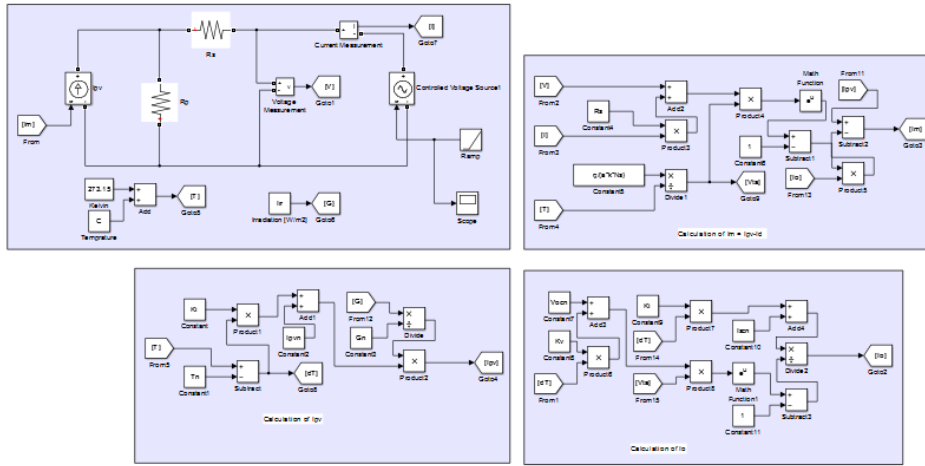
2.3.2 FV Panelin Simülasyon Sonuçları

Matematiksel modeli oluşturulan FV sistemin, MATLAB/Simulink modeli de oluşturulduktan sonra öncelikle nominal değerler (25° ve $1000W/m^2$) için simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonrasında farklı sıcaklık ve farklı radyasyon değerleri için simülasyon tekrarlanarak sıcaklık ve radyasyonun FV panelin $I - V$ eğrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Bütün bu simülasyonların gerçekleşmesi için gerekli olan FV panel parametreleri [12] Çizelge 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.8 : Eşitlik (2.7)'nin MATLAB/Simulink Modeli.

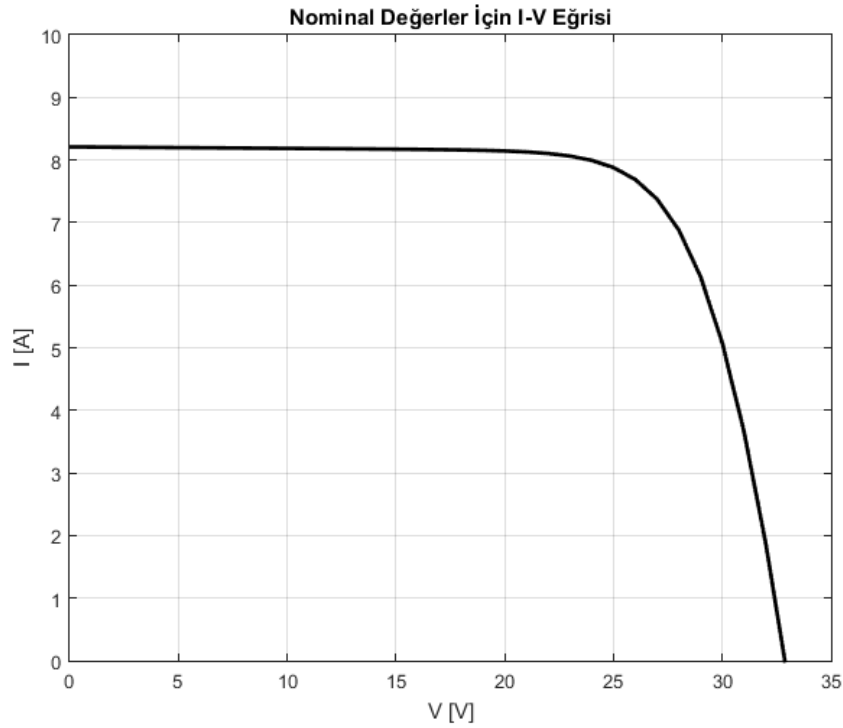


Şekil 2.9 : FV Sistemin Genel MATLAB/Simulink Modeli Ve FV Sistem Bloğu.

Çizelge 2.3 : KC200GT Solar Panel Parametreleri (25° ve $1000W/m^2$ Koşullarında).

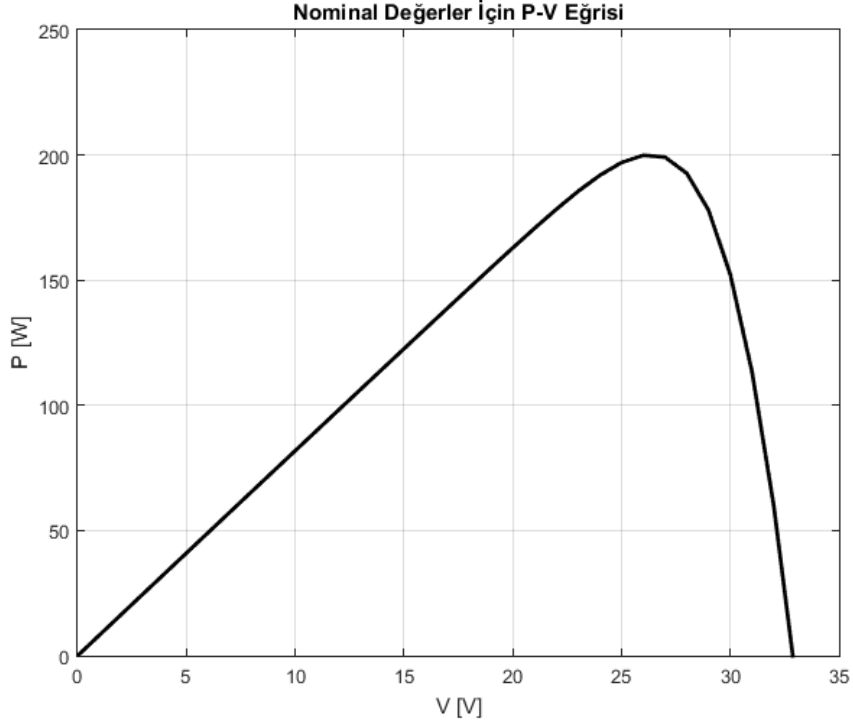
Parametre	Değer
I_{mp}	7.61 A
V_{mp}	26.3 V
$P_{max,m}$	200.143 W
I_{sc}	8.21 A
V_{oc}	32.9 V
$I_{o,n}$	8.214 A
a	1.3
K_V	-0.1230 V/K
K_I	0.0032 A/K
N_s	54
R_p	415.405 Ω
R_s	0.221 Ω

Nominal koşullar altında FV panelin $I - V$ ve $p - V$ eğrileri sırasıyla Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de gösterilmiştir.

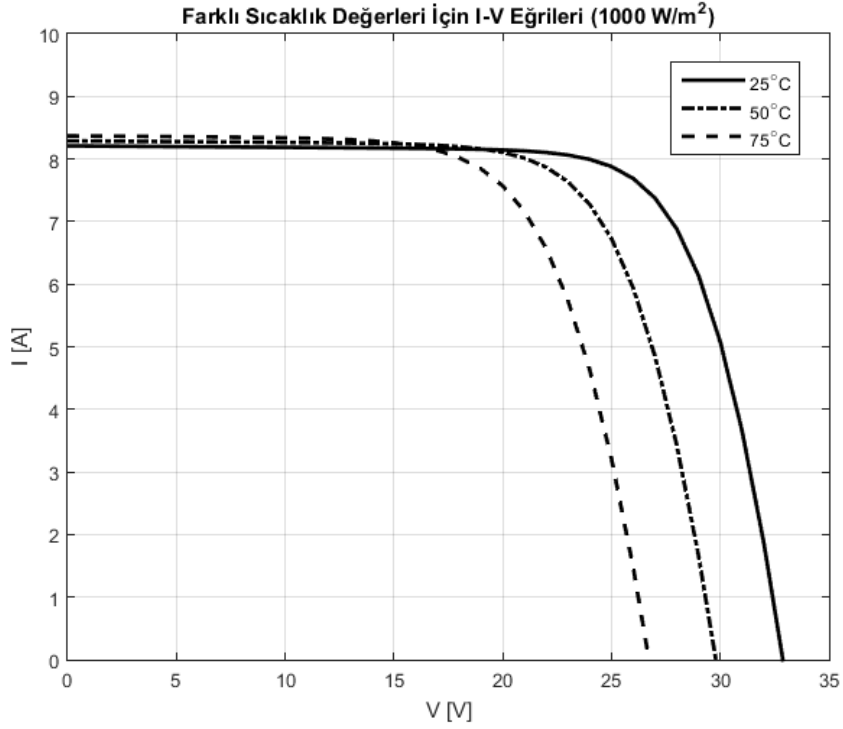


Şekil 2.10 : Nominal Koşullar Altında FV Sistemin $I - V$ Eğrisi.

Sabit $1000W/m^2$ radyasyon ve farklı sıcaklık değerlerinde FV panelin $I - V$ eğrilerindeki değişim Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere sıcaklık artırıldıkça FV panel çıkışındaki akım değerinde fazla bir değişim gözlenmezken, gerilim değerinde azalma söz konusudur.

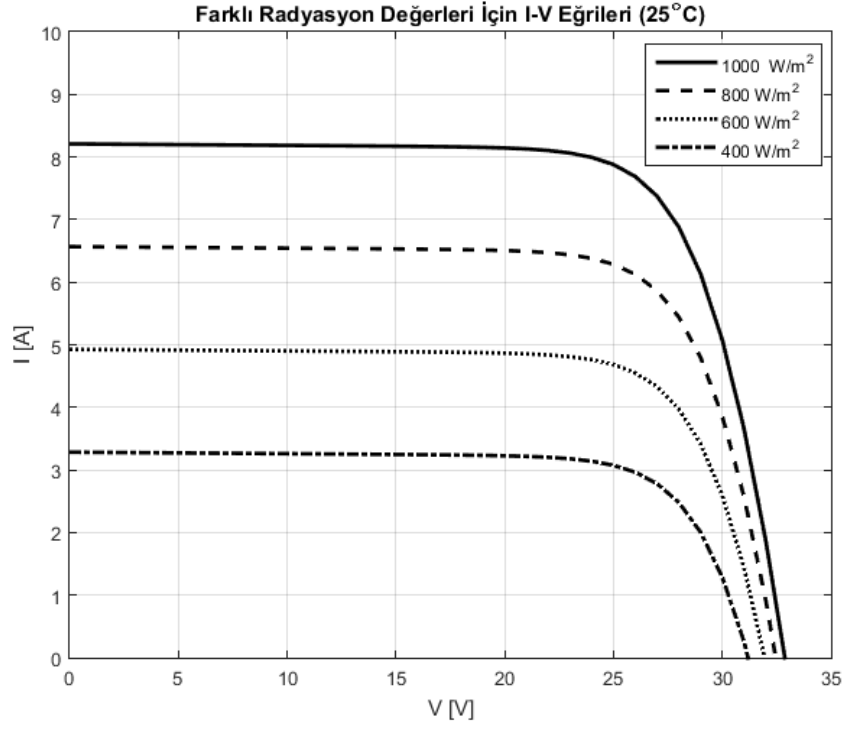


Şekil 2.11 : Nominal Koşullar Altında FV Sistemin $P - V$ Eğrisi.



Şekil 2.12 : Sabit Radyasyon Değerinde Farklı Sıcaklık Değerleri İçin $I - V$ Eğrisi.

Son olarak sabit 25°C’de ve farklı radyasyon değerleri için FV panelin $I - V$ eğrileri Şekil 2.13’te gösterilmiştir. Sıcaklık değişiminin aksine, şekilden de görüleceği gibi FV panelin çıkış geriliminde küçük bir değişim gözlenirken akımda ise büyük oranda azalmalar görülmektedir.



Şekil 2.13 : Sabit Sıcaklıkta Farklı Radyasyon Değerleri İçin $I - V$ Eğrisi.

3. GÜNEŞİ TAKİP EDEN SİSTEM (GTES)

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde doğada en rahat ulaşılabilecek enerji kaynağı olmasına rağmen, yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarından elektrik üretiminde olumsuz etkisi olan birçok faktör vardır.

FV sistemlerin verimliliği; başta iklim koşullarına bağlı olan solar radyasyon değerine, çevresel sıcaklık değişimlerine ve rüzgar hızına, tasarlanan elektriksel dönüştürücü sisteminin yüklerle uyumluluğuna ve solar panellerin doğru konumlandırılmasına bağlıdır. Günümüzde kullanılan sistemlerin çoğu sabit olduğundan, FV panellerin yüzeyine ulaşan radyasyon ile üretebilecekleri maksimum elektrik enerjisini üretemeyecekleri açıktır [16].

Güneşi takip eden sistem(GTES), çeşitli yöntemlerle gün boyunca güneşi takip ederek, güneş ışınlarının entegre edildiği FV sisteme dik gelmesini sağlayan sistemlerdir. Bu şekilde FV paneller üzerine düşen radyasyonla maksimum enerji üretmeye başlayacaktır.

Solar takipçiler geliştirilmeye başlanmadan önce, FV sistemler sistemin yeryüzündeki konumu göz önüne alınarak kabul edilebilir bir açıyla kurulmaktaydı. Bu eğim açısı, sistem tasarlanırken güneşin kışın üreteceği veya yazın üreteceği radyasyon değerlerinden hangisinin seçildiğine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Çünkü güneş ışınlarının yeryüzü ile yaptığı açı mevsimlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin; güney yarım kürede kurulması planlanan bir sistemin "güneye", kuzey yarım kürede kurulması planlanan bir sistemin ise "kuzeye" eğimli halde konumlandırılması, üretilen enerji miktarını artıracaktır.

Bir FV panelin, panel yüzeyine ulaşan radyasyon ile üretebileceği en yüksek enerjiyi üretmesi ancak güneş ışınlarının panel yüzeyine 90°'lik açıyla gelmesine bağlıdır. Dolayısıyla üretilen enerjinin maksimum olması için güneş ışınlarının yönünü kontrol edemeyeceğimiz için FV panellerin hareketli düzenekler üzerine montajı

yapılıp sistemin güneşi takip etmesi ve üzerine düşen güneş ışınlarının panele geliş açısının 90° olması sağlanabilir [17].

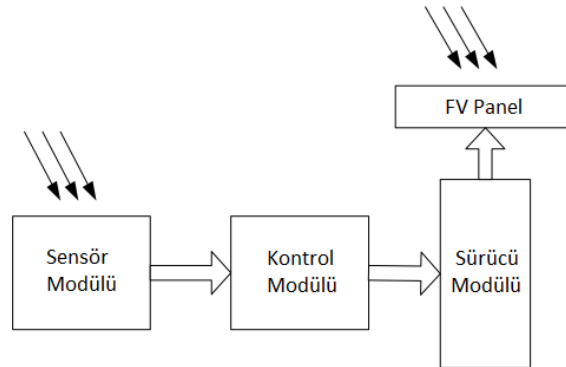
Son 20-30 yıldır GTES ile alakalı çalışmalar göstermiştir ki, akıllı solar takipçiler enerji üretimini FV sistemin kapasitesi dahilinde olabilecek en üst seviyeye çıkarmaktadır. Ayrıca gün geçtikçe maliyetleri azalmasına rağmen, şu anda FV sistemlerden elektrik üretimi hala önemli derecede pahalıdır. Bu nedenle kurulacak olan bir FV sistemde atmosferik koşullardan kaynaklı olumsuzlukların yanında bir de sistemden tam verim alamamak yapılan yatırımın geri kazanım süresini oldukça uzatacaktır. Dolayısıyla kurulan bir FV sistemden elde edilebilecek maksimum enerjiyi almak bu açıdan önemlidir. Bunun için kullanılacak en uygun maliyetli ve kolay yöntemlerden biri güneşi takip eden sistem(GTES) kullanılmasıdır.

Yapılan çalışmalar iyi tasarlanmış bir güneş takip sisteminin, FV sistem verimini sabit konumlandırılmış bir FV sisteme göre %20 ile %50 arasında artırdığını ortaya koymuştur [16].

3.1 GTES Yapıları Ve Çeşitleri

3.1.1 Sistem Yapıları

GTES yapıları, hem mekanik hem de elektriksel parçalardan oluşan yapılardır. Mekanik ekipmanlar, FV panel hareketini sağlayacak olan uygun konstrüksiyon ve bu yapı ile elektriksel elemanlar arasındaki bağlantıyı sağlayacak ekipmanlardan oluşmaktadır. Elektriksel kısım ise basitçe motor, motor sürücüsü, kontrolcü ve çeşitli sensörlerden(örneğin; ışığa duyarlı sensör) oluşmaktadır. En genel haliyle örnek bir GTES'nin blok diyagramı, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



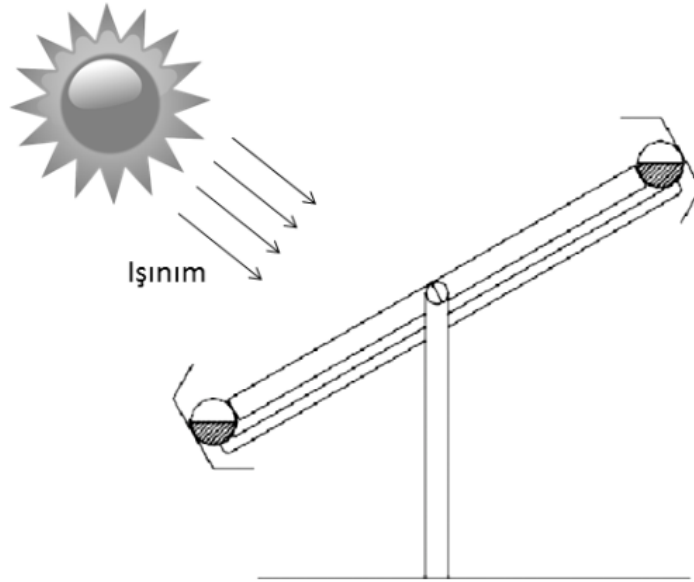
Şekil 3.1 : Bir GTES'nin blok diyagramı.

Bazı GTES yapılarında elektriksel kısım içerisinde enerji depolamaya yarayan sistemler(örneğin; batarya, akü) ve bu sistemleri şarj edecek elektronik sistemler de kullanılabilir. Bu sayede GTES'nin enerjisi kesilmeden güneşi takip etmesi sağlanabilmektedir.

3.1.2 Sistem Çeşitleri

Bir GTES, güneşin bütün konumlarını takip edebilirse FV sistem en yüksek seviyede elektrik üretimini sağlayacaktır. Bu da solar takipçinin hem güneşin günlük yataydaki hareketini, hem de güneşin sezonluk dikeydeki hareketini takip etmesiyle mümkün olacaktır. Bu sebeple güneş takipçilerini iki ana kategoriye ayırabiliriz: pasif(mekanik) takipçiler ve aktif(elektriksel) takipçiler [18].

Bunlardan pasif takipçiler, temel olarak maddenin termal genişlemesi prensibine veya şekil hafızalı alaşıma dayalı olarak çalışırlar. Bu tip sistemler genellikle birbirine zıt hareket eden iki harekete geçirici mekanizmaya sahiptirler. Bu sistemler birbirinden farklı şekilde aydınlatıldıkları zaman ortaya çıkan dengelenmemiş kuvvet farkı, sistemi kuvvetler arasında bir denge oluşturacak bir şekilde harekete geçirir. Örnek bir pasif takipçi Şekil 3.2'de görülmektedir.



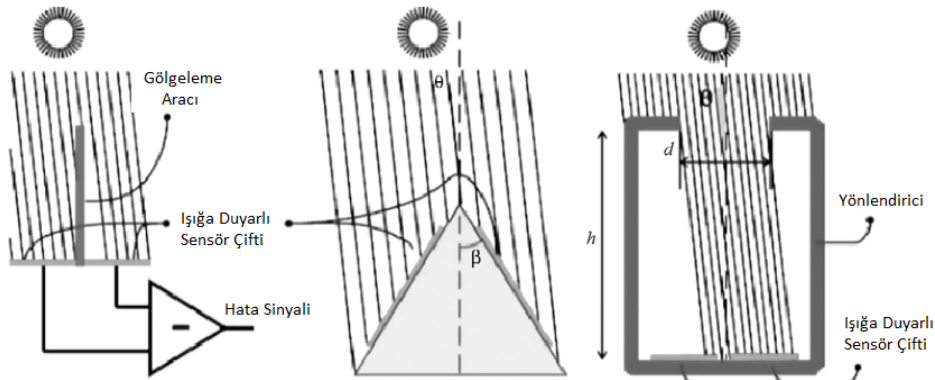
Şekil 3.2 : İçleri sıvı ile doldurulmuş iki adet tüp içeren pasif takipçi.

Aktif takipçiler ise mikroişlemci ve elektro-optik sensör tabanlı, bilgisayar kontrollü tarih ve zaman tabanlı, iki yüzslü solar hücre tabanlı ve bu üç sistemin biraraya gelmesiyle olabilir.

Elektro-optik sistemler, genellikle birbirine paralel olmayan şekilde yerleştirilmiş en az iki ışığa duyarlı sensörden veya solar hücreden oluşabilir. Böylelikle bütün sensörler güneş ışınını eşit algılayana kadar sistem hareketi sağlanır. Sistemin bağlı olduğu DC motor, mikroişlemci yardımıyla kontrol edilerek istenen yöne doğru hareket ettirilir.

İki yüzölü solar hücre ise güneşin pozisyonunu algılayarak sistemi istenen pozisyona hareket ettirir. Bu sistemlerde solar hücreler(paneller) direk olarak sistem hareketini sağlayan DC motora bağlanırlar. Dolayısıyla sistemde bulunan batarya ve motor sürücü gibi elektronik ekipmanlar elenmiş olur. Bu nedenle bu sistemler uzay ve kara uygulamaları için basit ve güvenilebilir bir uygulama sunmaktadır.

Bilgisayar kontrollü tarih ve zaman tabanlı sistemlerde ise, bilgisayar çeşitli zaman ve tarih algoritmaları kullanarak güneşin konumunu hesaplamaya çalışır ve bunun neticesinde belirlenen konuma doğru sistemin hareketini sağlayacak kontrol işareti üretilir. Şekil 3.3'te örnek sensör yapıları gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Çeşitli şekillerde yerleştirilmiş ışığa duyarlı sensörler.

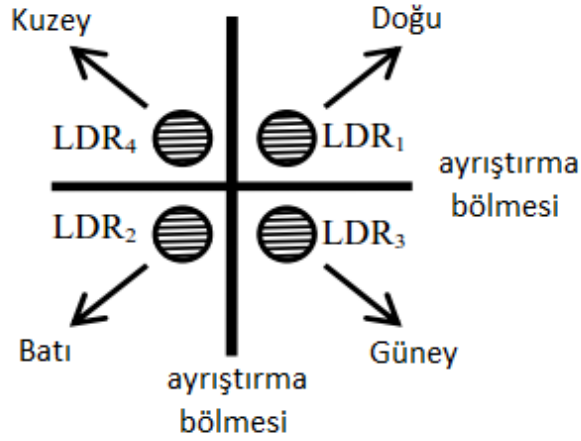
GTES'lerle alakalı yapılan karşılaştırmalı bir çalışma göstermiştir ki takip sisteminin kullandığı enerji miktarı, bu sistemin kullanılmasında kaynaklı artan enerji miktarının %2 – %3'üne denk gelmektedir. Ayrıca iki eksenli takip sağlayan bir sistemin sabit bir sisteme göre %72'ye, tek eksenli takip sağlayan sisteme göre ise %30'a varan elektrik üretimi sağladığı görülmüştür [19].

3.2 Literatür Araştırması

Güneşten üretilebilecek enerjinin maksimum seviyede olmasını sağlamak için etkili yöntemlerden biri güneşi takip eden enerji sistemlerinin kullanılmasıdır. Çok çeşitli takip sistemlerinin kullanılması yanında düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir,

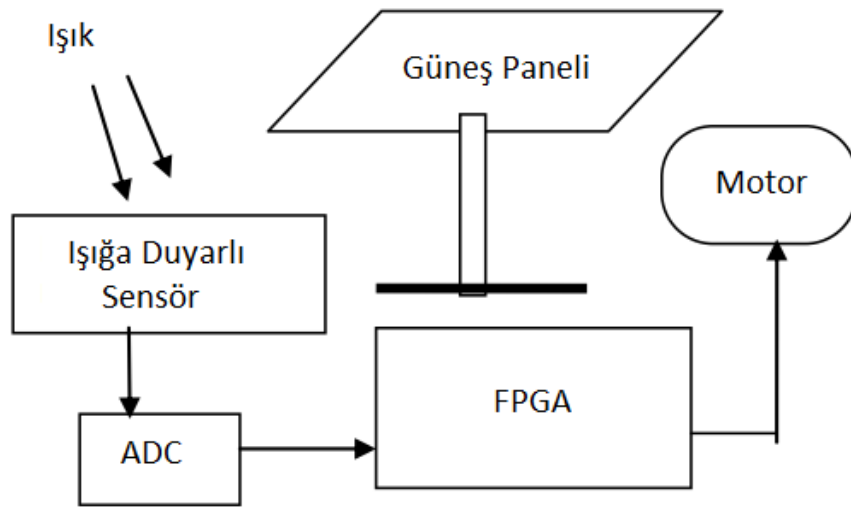
araştırmalara en çok konu olan ve uygulaması en çok yapılan güneş takip sistemleri genellikle bir veya iki eksenli olmak üzere güneşi takip eden sistemler olmuştur.

Louchene ve değerleri yaptıkları çalışmada, şekil 3.4'te görüldüğü şekilde, farklı yönlerle konumlandırılmış ve birbirinden izole edilmiş dört adet ışığa duyarlı sensörden bilgi alarak sistemin 2 ekseninde hareketini kontrol eden bir sistem geliştirmişlerdir. Sensörlerden gelen bilgileri tasarladıkları bulanık sistemde değerlendirerek 2 yönde harekete olanak sağlayan 2 adet doğru akım motorunun kontrolünü yapmışlardır [20].



şekil 3.4 : Güneş Tespit Mekanizması

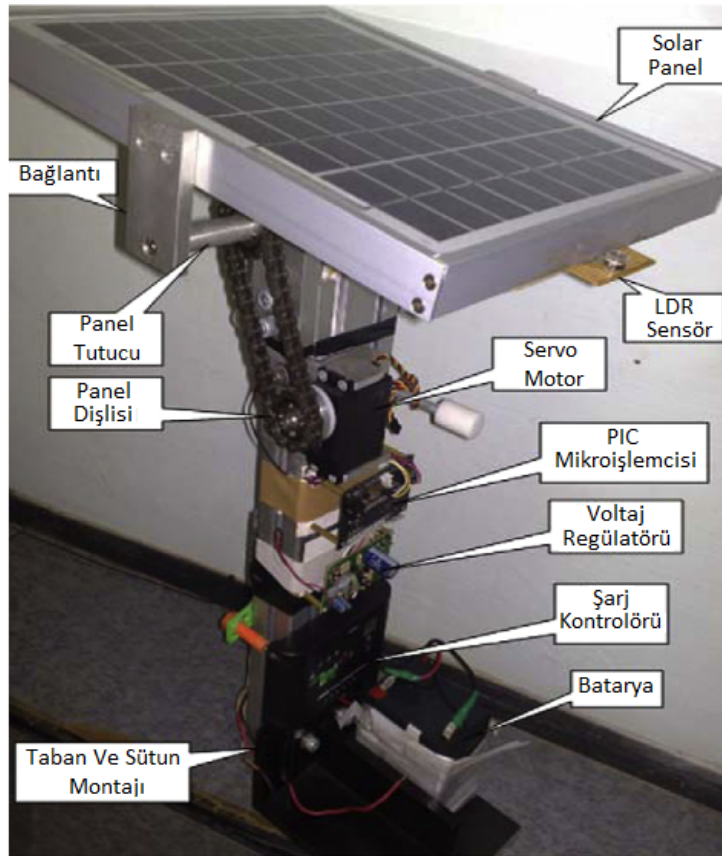
Hon ve diğerleri ise yaptıkları çalışmada ışığa duyarlı sensörlerden aldıkları bilgileri FPGA tabanlı bir sistem üzerinden değerlendirerek gerçek zamanlı bir kontrol yapmayı amaçlamışlardır [21]. Sistemin blok diyagramı şekil 3.5'te gösterilmektedir.



şekil 3.5 : Güneş Takip Sisteminin Blok Diyagramı.

Chin ve diğerleri, 1 eksenle hareket sağlayan sistemde 2 adet ışığa duyarlı sensör kullanarak sistemin hem MATLAB/Simulink ortamında simülasyonunu gerçekleştirmişler ve sistemi mekanik olarak oluşturmuşlardır [22]. Sistem yapısı Şekil 3.6'da görülmektedir. Çalışmayı yapanlar, tasarladıkları sistemin 3 farklı moda çalışmasını öngörmüşlerdir:

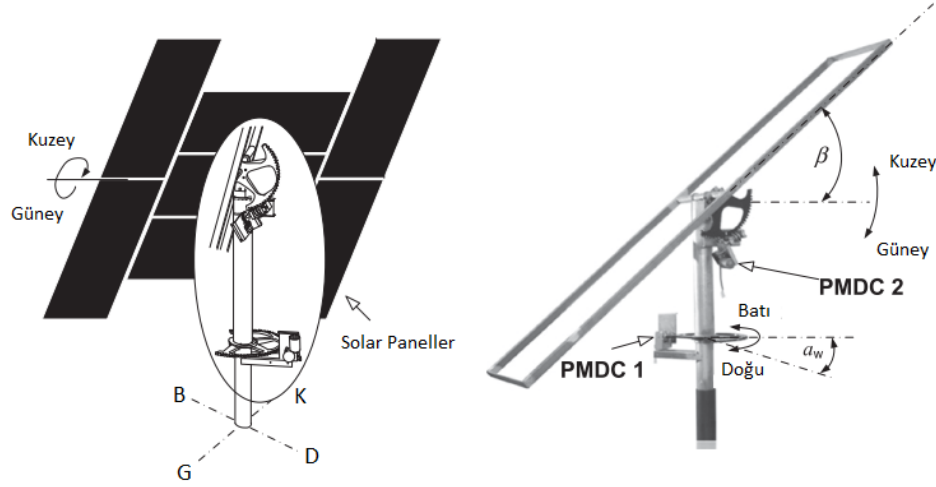
1. Otomatik Mod: Bu moda sistemin sensörlerden gelen bilgi doğrultusunda istenilen eksenle hareketi sağlanmaktadır.
2. Önkonumlanmış Mod: Sensörlerden sağlıklı bilgi alınamadığı durumda sistemin her 15 dakikada bir 2 derece doğu-batı yönünde dönecek şekilde hareketi sağlanmıştır. Gece olduğunda sistem otomatik olarak doğuya dönmektedir.
3. Manuel Mod: Sistem, elle istenen pozisyona ayarlanmaktadır.



Şekil 3.6 : Sistemin Mekanik Yapısı.

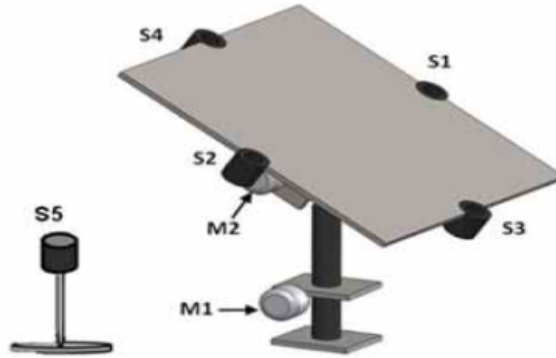
Seme ve Stumberger yaptıkları çalışmada geçmiş yıllara ait 5 yıllık güneş konumu verilerini kullanarak güneşin izlediği yörüngeyi tespit etmeyi amaçlamışlardır. Güneşin yörüngesini optimizasyon problemi şeklinde ele alarak, sistemde kullanılan

PMDC motorların optimizasyon sonucunda ortaya çıkacak yörüngeyi izlemeleri sağlanmıştır [23]. Sistem olarak Şekil 3.7’deki gibi bir tasarımı uygun görmüşlerdir.



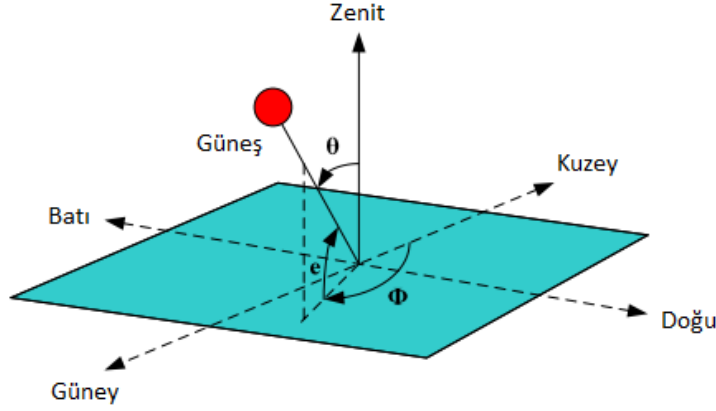
Şekil 3.7 : İki Eksenli Güneş Takip Sistemi.

Ozuna ve diğerleri, diğer ışığa duyarlı sistemlere ek olarak 5. bir sensör kullanma önerisinde bulunmuşlardır. Sensörlerden ikisi yatayda, ikisi dikeyde hareketi sağlarken, bunlara ek olarak bulunan sensör gece/gündüz durumunu algılayarak güneş ışığının yeterli olmadığı durumlarda sistemin boşa çalışmasını engellemektedir [24]. Sensörlerin nasıl konumlandırılacağı Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8 : Güneş Takip Sistemi Sensörleri.

Rizal ve diğerleri, hazırladıkları bir program sayesinde koordinatları verilen bir noktaya göre güneşin konumu ve açılarını hesaplayıp panellerin yönünün bu veriye uygun olarak değişimini gerçekleştiren bir çalışma yapmışlardır. Güneşin yeryüzündeki bir noktaya göre oluşan açıları Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Panellerin uzaktan kontrolünde ise CAN haberleşme protokolü kullanılarak büyük kapasiteli güneş enerji sistemlerinin kontrolü tek bir merkezden sağlanabilir hale getirilmiştir [25].



Şekil 3.9 : Solar Pozisyon Parametreleri.

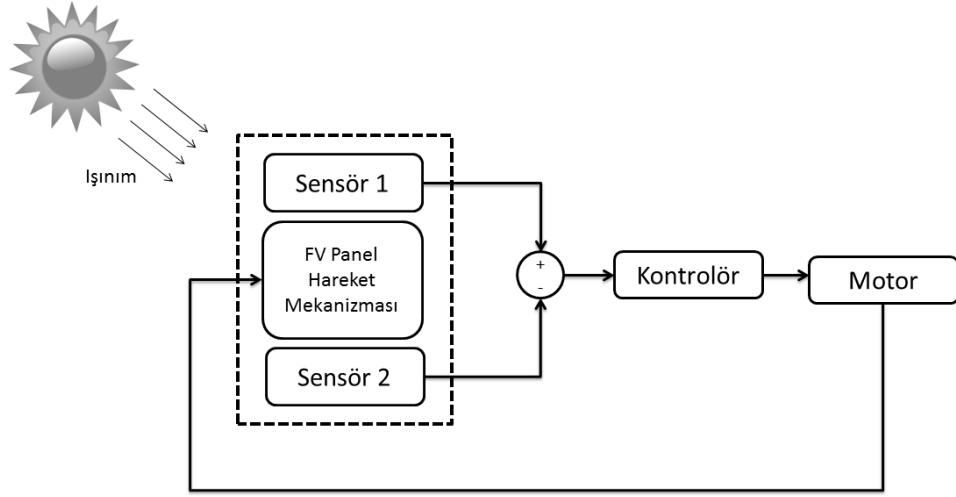
Guo ve diğerlerinin yaptığı çalışmada ise 45 derecelik açılarla yerleştirilen iki solar hücre sayesinde güneşin açısı belirleniyor ve mikroişlemci ile değerlendirilen bu bilgiler ile panellerin konumunu değiştiren step motorun hareketi sağlanıyor [16].

Son olarak Mousazadeh ve diğerlerinin 31 farklı çalışmayı inceleyerek sabit güneş enerjisi sistemleri ile güneşi takip eden sistemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarından da görüleceği gibi, iyi tasarlanmış ve en uygun ekipmanlarla desteklenmiş olan güneş enerjisi sistemleri, sabit güneş enerjisi sistemlerine nazaran büyük oranlarda enerji üretim artışı sağlamaktadır [18].

3.3 Sistem Ekipmanları Ve Modellenmesi

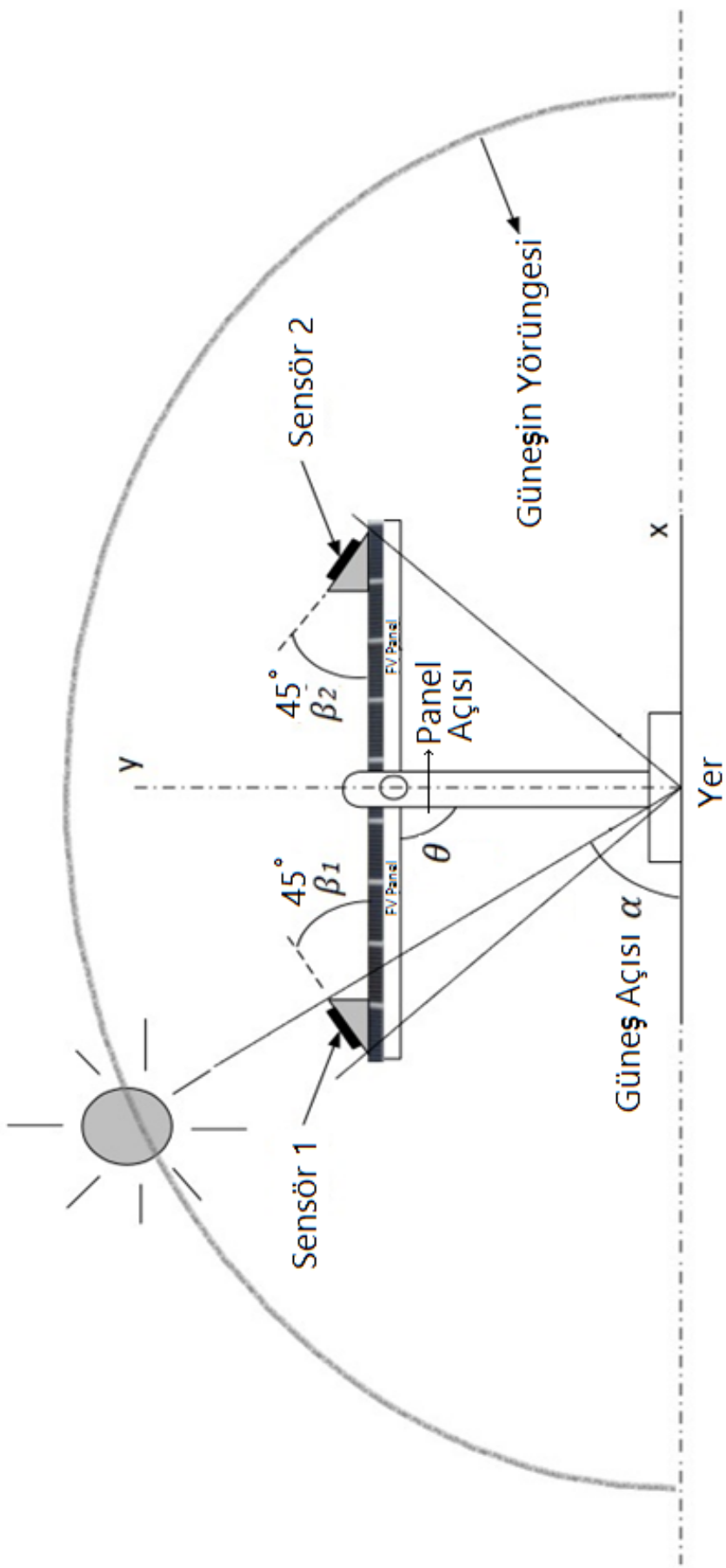
Şekil 3.10'da sensörlerden oluşan ve bu tez için konu edilen GTES'nin blok diyagramı gösterilmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere güneş ışınları ışığa duyarlı sensörler üzerinde bir etki oluşturacaktır. Her iki sensörün üreteceği bilgi karşılaştırılacak ve karşılaştırma sonucunda kontrolör, motorun yönünü değiştirecek bir kontrol işareti uygulayacaktır. Motor ise, bağlı olduğu FV sistemin yönünü değiştirerek güneşi takip etmesini sağlayacaktır.

Tasarlanacak sistemde ışığa duyarlı sensörler FV panelin her iki ucuna paneller 45°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilecek ve sensörlerden gelen voltaj değerinin karşılaştırılması yapılacaktır. Burada sensörlerin birbirine zıt bir şekilde ve açıyla yerleştirilmesinin sebebi, her iki sensöre de güneş ışınlarının farklı bir açıyla gelmesini sağlayarak sağlıklı bir sensör çıkışı üretebilmektir.



Şekil 3.10 : GTES - Blok Diyagramı.

GTES yapısı, sensörlerin ve FV panelin konumlandırılması Şekil 3.11’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



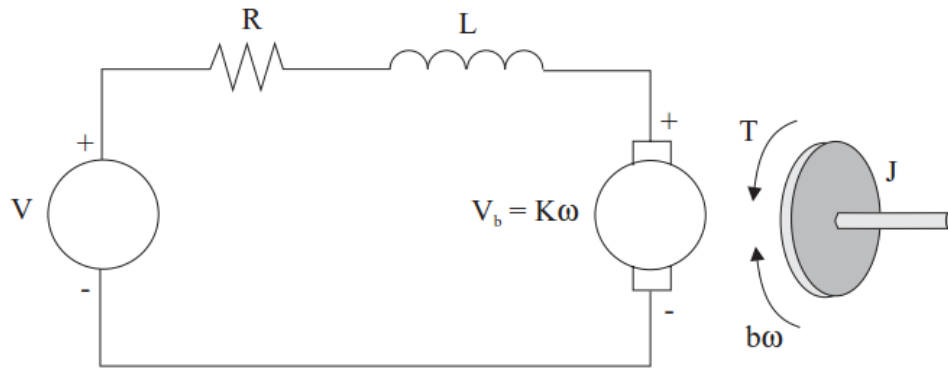
Şekil 3.11 : GTES’de Ekipmanların Konumlandırılması.

3.3.1 DC Motor Ve Modellenmesi

3.3.1.1 DC Motor Eşdeğer Devresi Ve Eşitlikleri

DC motorlar endüstri uygulamalarında birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin; otomotiv sektöründe aynaların yönünü değiştirmede, koltukların konumunu belirlemede, havalandırma sisteminde havanın akışını yönlendirmede; endüstride ise akışkanların ve sıvıların kontrolünde kullanılan valflerde, klima sistemlerinde havanın akış yönünü belirlemede ve bunlar gibi birçok alanda DC motorlar kullanılmaktadır.

Şekil 3.12’de DC motorun şematik gösterimi verilmiştir. Burada sistemin girişi armatür voltajı(V) olarak belirtilen ve bir kaynak ile kontrol edilen giriştir. Ayrıca ω motor şaftının açısal hızı ve motor şaft açısı θ olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.12 : DC Motorun Şematik Gösterimi.

DC motorun torku, T armatür akımı i 'ye bağlı olarak 3.1'deki gibi tanımlanabilir:

$$T = Ki \quad (3.1)$$

Elektro-motor kuvveti V_b , açısal hızla ilişkili olarak;

$$V_b = K\omega = K \frac{d\theta}{dt} \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır.

Bunların dışında Şekil 3.12'den;

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} = Ki \quad (3.3)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K \frac{d\theta}{dt} \quad (3.4)$$

olarak yazılabilir.

Laplace transformunu kullanarak, eşitlikler (3.3) ve (3.4) yeniden yazılırsa;

$$Js^2 \theta(s) + bs \theta(s) = KI(s) \quad (3.5)$$

$$LsI(s) + RI(s) = V(s) - Ks\theta(s) \quad (3.6)$$

olarak elde edilir.

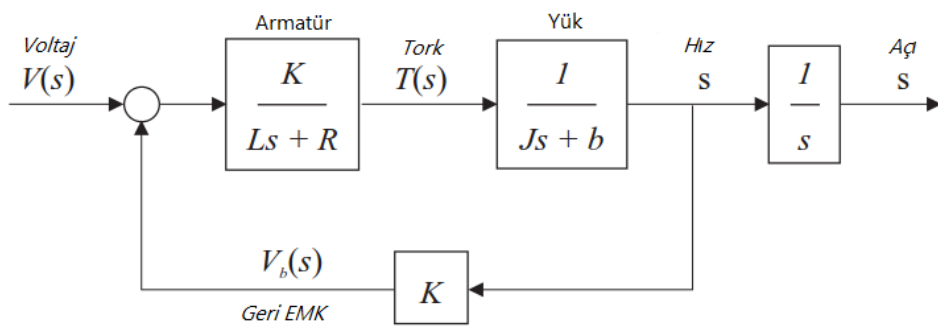
Bunun yanında eşitlik (3.6)'dan $I(s)$ 'i yeniden düzenlersek;

$$I(s) = \frac{V(s) - Ks\theta(s)}{R + Ls} \quad (3.7)$$

elde ederiz ve bu eşitliği (3.5)'te yerine yazarsak (3.8)'i elde ederiz.

$$Js^2 \theta(s) + bs \theta(s) = K \frac{V(s) - Ks\theta(s)}{R + Ls} \quad (3.8)$$

Eşitlik (3.8)'e göre DC motorun blok diyagramı ise Şekil 3.13'teki gibi oluşturulabilir.



Şekil 3.13 : DC Motorun Blok Diyagramı.

Bütün bu verilen eşitliklerden ve DC motorun blok diyagramından sonra, giriş gerilimi $V(s)$ ile çıkış açısı θ arasındaki transfer fonksiyonu eşitlik (3.9)'daki gibi bulunabilir:

$$G_a(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s[(R + Ls)(Js + b) + K^2]} \quad (3.9)$$

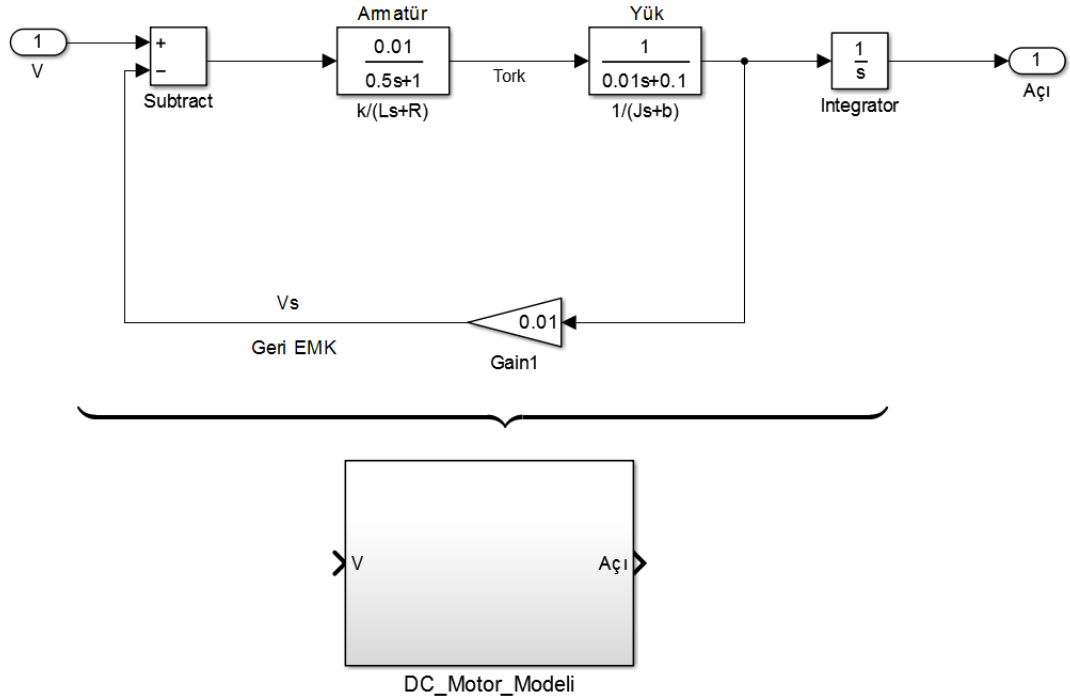
3.3.1.2 DC Motor MATLAB/Simulink Modeli

GTES'ye uygun DC motor parametreleri [16] Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : DC Motor Parametreleri

Parametre	Değer
Eylemsizlik Momenti (J)	$0.01 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$
Sönümleme Oranı (b)	0.1 Nms
Elektromotor Güç Sabiti (K_f)	0.01 Nm/Amp
Geri Yöndeki Elektromotor Güç Sabiti (K_e)	0.01 s.s/rad
Elektriksel Direnç (R_m)	1 ohm
Elektriksel İndüksiyon (L_m)	0.5 H

Eşitlik (3.9) ile verilen sistemin transfer fonksiyonuna, Çizelge 3.1'deki DC motor parametrelerine ve Şekil 3.13'te verilen DC motor blok diyagramına uygun olarak oluşturulan DC motor MATLAB/Simulink modeli ve sistem bloğu Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

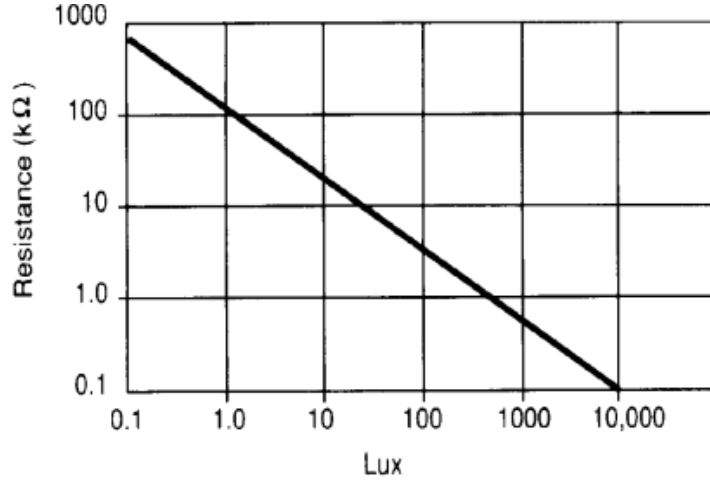


Şekil 3.14 : DC Motor MATLAB/Simulink Modeli Ve Sistem Bloğu.

3.3.2 Işığa Duyarlı Sensör Ve Modellenmesi

Işığa duyarlı sensörler, üzerlerine düşen aydınlanma şiddetinin yoğunluğuna göre dirençlerini değiştiren sensörlerdir. Fotodirenç olarakta bilinen ışığa duyarlı

sensörlerin maliyet ve kullanım açısından en yaygın kullanılanları LDR(Light Dependent Resistor) sensörlerdir. Şekil 3.15'te Sunrom markasına ait LDR sensör veri sayfasından alınan direncin ışığın şiddetine bağlı olarak değişimini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 3.15 : LDR Sensörün Direncinin Işığın Şiddetiyle Değişimi.

Bu grafikten de görüleceği gibi ışık şiddetine bağlı olarak direncin değişimi yaklaşık olarak $1\text{lux} \approx 8.68\text{ohm}$ oranında olmaktadır. Ayrıca LDR sensörlerin direnç değişim oranları Lux birimi ile verilmiştir. Dolayısıyla bu sensörlerin radyasyon değerine bağlı olarak değişimi $1\text{W}/\text{m}^2 = 0.249\text{lux}$ olarak alınabilir. Bunlara bağlı olarak LDR direncinin radyasyonla değişimi $1\text{W}/\text{m}^2$ radyasyon için eşitlik (3.10)'da tanımlanmıştır:

$$R_{LDR} = 2.16\Omega / \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (3.10)$$

Bu tez çalışmasında güneşin yönünü belirlemek için iki adet LDR kullanılmaktadır. Bu sensörlerin, gerilim bölücü devreleri kullanılarak üzerine düşen ışığın dirençlerini değiştirmesiyle beraber gerilimlerinin de değişmesi sağlanmıştır. Dolayısıyla gerilim bölücü devresine bağlanmış bir LDR sensörün radyasyona bağlı olarak değişimi eşitlik (3.11)'deki gibi tanımlanabilir:

$$V_{LDR} = V_g \frac{R}{R + R_{LDR} G_{LDR}} \quad (3.11)$$

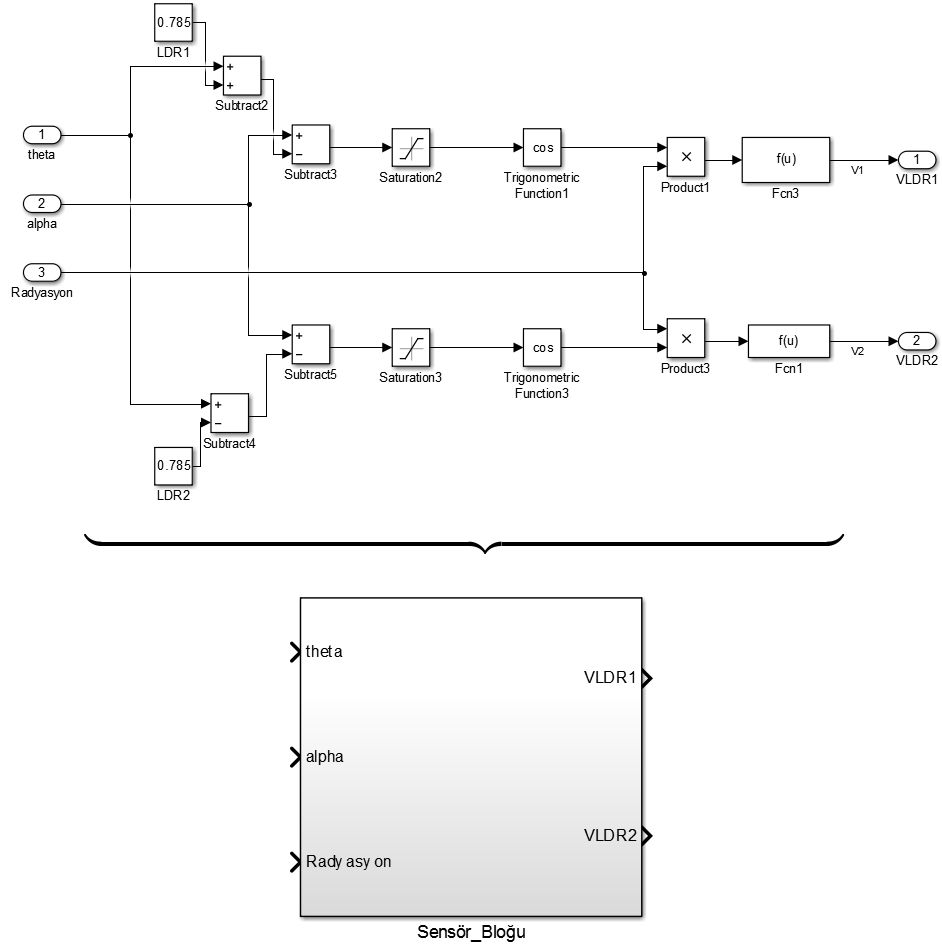
Bu eşitlikte V_{LDR} , sensörün çıkış gerilimi; V_g , gerilim bölücü devresinin giriş gerilimi(6V); R , gerilim bölücü devresindeki seri direnç(100Ω); R_{LDR} , sensör direnci ve G_{LDR} , sensör üzerine düşen etkili radyasyon değeridir [16].

Sensör üzerine düşen etkili radyasyon değeri, sensör yüzeyine dik olarak düşen radyasyon değeri olarak tanımlanmaktadır. Etkili radyasyon değerinin hesaplanması eşitlik(3.12)'deki gibidir:

$$G_{LDR_i} = G * \cos[\alpha - (\theta - \beta_i)] \quad i = 1, 2 \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte G , güneş radyasyon değeri; α , güneşin FV panel ile yaptığı açı; θ , panel açısı ve β , sensörlerin FV panel yüzeyi ile yaptığı açılardır. Bu değerler, Şekil 3.11'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Bütün bu değerlere ve eşitliklere bağlı olarak oluşturulan MATLAB/Simulink modeli Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : LDR Sensör MATLAB/Simulink Modeli ve Sistem Bloğu.

Eşitlik (3.11) ile belirtilen kısım, modelde MATLAB fonksiyon blokları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde açıların hesaplanması sonucunda aradaki farkın 90° 'den büyük olması durumu gözetilerek bir limit koyulmuştur. Çünkü gerçekte aradaki açı farkının 90° 'den büyük olması demek sistem ve sensörler üzerinde herhangi bir radyasyon değeri olmadığı anlamına gelmektedir. Bu da iki durumda mümkün olur; ya saat gündüz saati değildir ve ortam karanlıktır, ya da güneş FV panelin arkasında kalmıştır. Her iki halükarda da sensörler ve FV sistem çıkış üretmeyecektir. Bunu garanti altına almak için modelde açı farkı -90° ve $+90^\circ$ arasında sınırlandırılmıştır.

3.3.3 Güneşin Modellenmesi

GTES simülasyonu için gerekli olan bir diğer veri güneş radyasyon ve zaman verisidir. Bunun için MATLAB/Simulink ortamında gerçek güneş radyasyon verileri kullanılarak bir model oluşturulmuştur.

Bu modelde güneşin FV panel ile yaptığı açı, eşitlik (3.13) ile hesaplanmaktadır.

$$\alpha = \delta * t + \phi \quad (3.13)$$

Bu eşitlikte α , güneşin FV panel ile yaptığı açı; δ , güneş açısının bir saniyedeki değişimi; t , sistem zamanı (bir saniye aralıklarla) ve ϕ , güneşin başlangıç açısıdır. Bu modelde ayrıca güneşin doğduğu ve battığı zaman aralığında 180° 'lik bir açı değişimi olduğu kabul edilerek güneş açısının değişimi buna uygun olarak ayarlanmıştır.

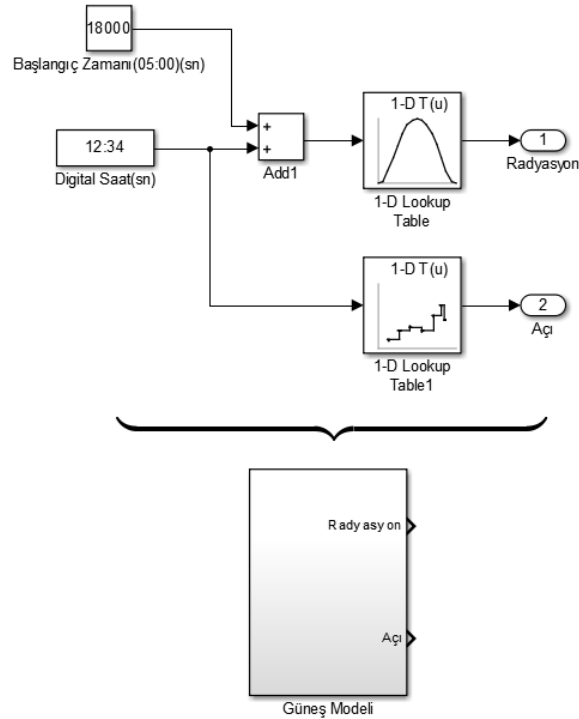
Güneş radyasyon verisi olarak National Renewable Energy Laboratory (NREL) kurumunun kayıt aldığı 1991-2010 yıllarını kapsayan radyasyon verilerinden Amerika Texas eyaletinin Alice şehrine ait 10.06.2005 tarihine ait veriler kullanılmıştır. Bu verilerin seçilmesi yıl olarak rasgele olup, gün olarak yaz günü seçilmesi günün uzun olup yeterince radyasyon değeri sağlamasındandır. Seçilen gün için radyasyon verisi 05:00-21:00 arasında alınmıştır. Bu değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Buradaki ETR değeri, metrekare başına atmosfer yüzeyine ulaşan solar radyasyon değeridir. Çizelgede ayrıca güneşin verilen koordinatlara göre açıları da verilmiştir.

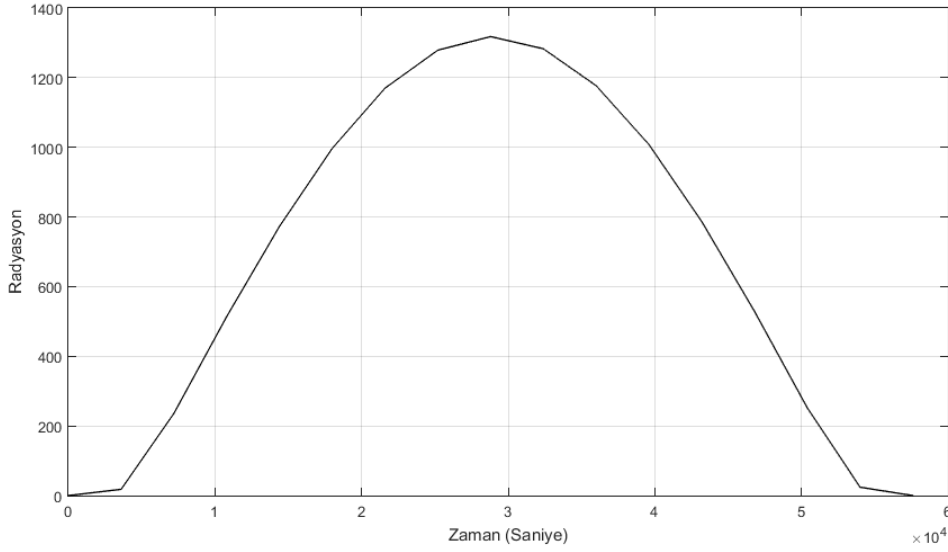
Şekil 3.17'de Çizelge 3.2'deki veriler kullanılarak güneş için oluşturulan MATLAB/Simulink modeli görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Güneş Radyasyon Verileri

GG-AA-YYYY	SS:DD	Zenit	Azimet	ETR
10.6.2005	01:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	02:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	03:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	04:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	05:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	06:00	87.9	64.8	18
10.6.2005	07:00	79.7	69.2	236
10.6.2005	08:00	67.2	75.0	514
10.6.2005	09:00	54.2	80.4	773
10.6.2005	10:00	41.0	86.0	997
10.6.2005	11:00	27.8	93.0	1170
10.6.2005	12:00	14.7	106.5	1279
10.6.2005	13:00	6.0	176.9	1318
10.6.2005	14:00	14.0	252.1	1283
10.6.2005	15:00	27.1	266.6	1177
10.6.2005	16:00	40.3	273.7	1008
10.6.2005	17:00	53.5	279.3	787
10.6.2005	18:00	66.4	284.7	529
10.6.2005	19:00	79.0	290.5	252
10.6.2005	20:00	87.6	295.1	24
10.6.2005	21:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	22:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	23:00	99.0	-99.0	0
10.6.2005	24:00	99.0	-99.0	0



Şekil 3.17 : Güneş MATLAB/Simulink Modeli ve Sistem Bloğu.



Şekil 3.18 : Güneş Modelinden Elde Edilen Radyasyon Verisi.

Çizelge 3.2’den de görüleceği gibi radyasyon değeri saat 05:00 itibari ile başladığından oluşturulan modelde başlangıç zamanı da saat 05:00 için saniye cinsinden girilmiştir.

Bu veriler ışığında güneş modelinden elde edilen radyasyon değişimi Şekil 3.18’de verilmiştir.

3.3.4 Etkili Radyasyon Değerinin Hesaplanması Ve Modellenmesi

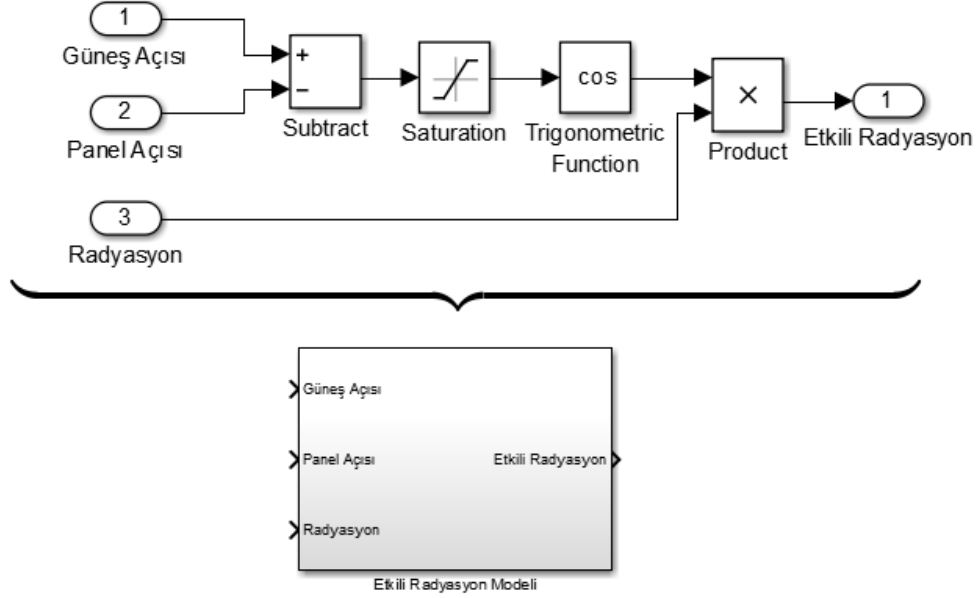
FV panelin üreteceği enerjinin doğru bir şekilde hesaplanması için panel yüzeyine 90° ’lik açıyla gelen güneş radyasyon değerinin hesaplanması ve bu işlemten sonra panel modeline bu radyasyon değerinin gönderilmesi önemlidir. Aksi takdirde, direk olarak güneş modelinden elde edilen veri kullanılırsa, bu durumda FV sistemin güneşi takip edip etmemesi arasında bir fark olmayacaktır.

Bu nedenle güneş modelinden elde edilen radyasyon değerinin panel üzerinde oluşturduğu etkili radyasyon değeri eşitlik (3.14) ile hesaplanabilir.

$$G_{FV_panel} = G * \cos(\alpha - \theta) \quad (3.14)$$

Burada G_{FV_panel} , FV panel yüzeyindeki etkili radyasyon değeri; G , güneş radyasyon değeri; α , güneşin FV panel ile yaptığı açı ve θ , panel açısıdır.

Eşitlik (3.14)’e bağlı olarak etkili radyasyon değerinin modellenmesi ve sistem bloğu Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 : Etkili Radyasyon Değerini Hesaplayan Model.

Bu modelde de açıların farkına limit koyulması, sensör modellenmesinin anlatıldığı kısımdaki sebeple aynıdır. Açı farkının 90° 'den fazla olduğu durumda FV panel üzerinde güneş radyasyonunun olmadığı anlamına gelecektir ve dolayısıyla etkili radyasyon değeri olmayacaktır.

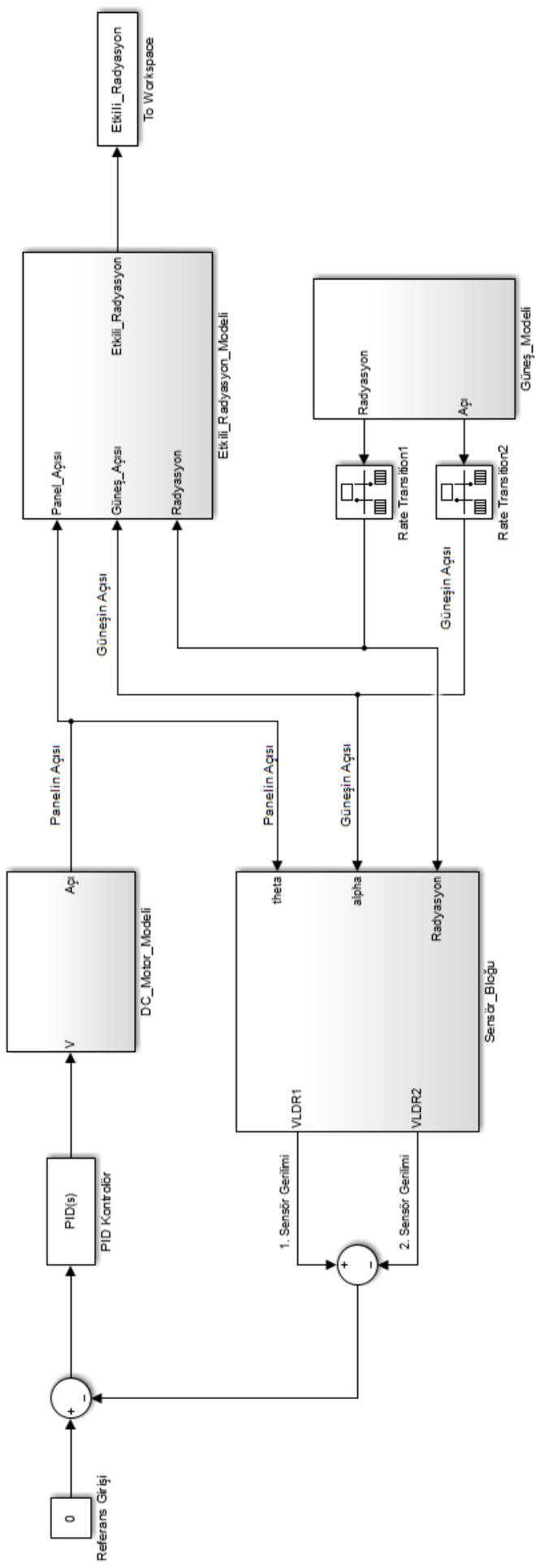
3.4 Sistemin Genel Yapısı Ve PID Kontrolör Tasarımı

Bu kısma kadar verilen eşitlikler, grafikler ve modeller ile bir GTES'yi oluşturan en temel elemanlar tanımlandı. Bu elemanların özellikleri verilerek sistemin genel yapısının oluşturulması adım adım tamamlandı.

Bu bölümde ise bütün bu modeller biraraya getirilerek GTES oluşturulacak ve FV sistemin yönünü değiştiren DC motorun kontrolü bir PID kontrolör yardımıyla sağlanacaktır.

3.4.1 Güneşi Takip Eden Sistem(GTES)

Şekil 3.10'da bu teze konu edilen GTES'nin blok diyagramı verilmişti. Tasarlanmak istenen sistem kısaca belirtmek gerekirse; güneş modeli, iki adet ışığa duyarlı sensör, bir adet DC motor ve etkili radyasyon değerini hesaplayan kısımlardan oluşmaktaydı. Önceki bölümlerde modellemeleri yapılan tüm bu yapıların biraraya getirilerek oluşturduğu GTES, Şekil 3.20'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir



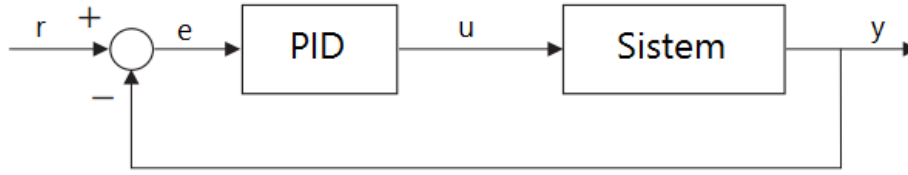
Şekil 3.20 : GTES Tam Modeli.

3.4.2 PID Kontrolör Ve Tasarım Aşamaları

3.4.2.1 Genel PID Kontrolör Yapısı

Günümüzde endüstri uygulamalarında en çok kullanılan ve bir çok araştırmaya konu olmuş en yaygın kontrolör tipi PID(Orantı-Türev-İntegral) kontrolörlerdir.

Şekil 3.21’de en genel haliyle bir PID kontrolörlü kapalı çevrim sistem görülmektedir.



Şekil 3.21 : Kapalı Çevrim Sistemin PID İle Kontrolü.

Şekilde belirtilen ifadeler sırasıyla; r , referans işaretini; e , hata işaretini; u , kontrol işaretini ve y ise sistem çıkışını ifade etmektedir.

PID kontrolörlerin, lineer, zamanla değişmeyen sistemler için transfer fonksiyonu ise eşitlik (3.15)’teki gibi tanımlanmaktadır:

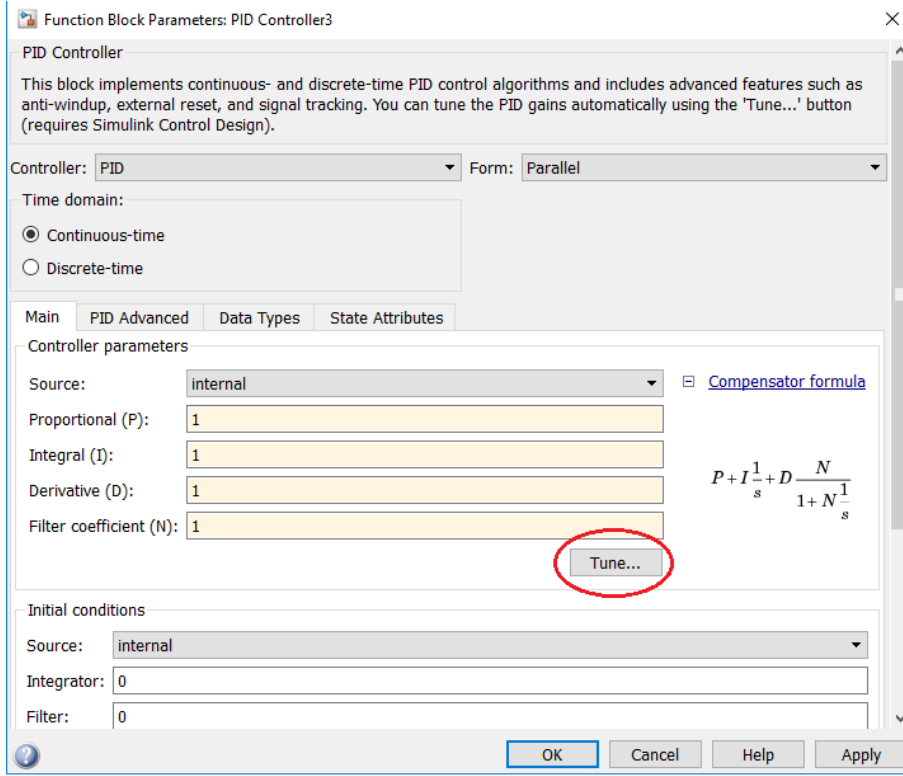
$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.15)$$

Burada K_p , K_i ve K_d sırasıyla oransal, integral ve türevsel kazançlardır. Ve kontrolö tasarımı da bu katsayıların belirlenmesi işlemi yapılacaktır.

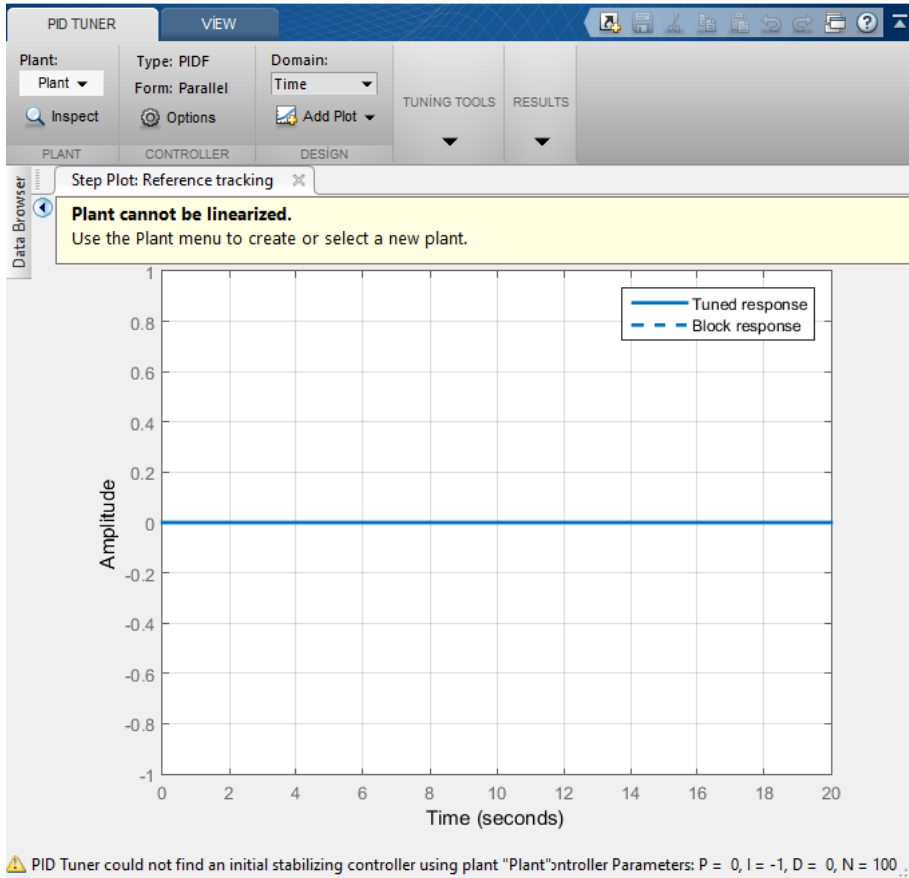
3.4.2.2 GTES İçin PID Kontrolör Tasarım Aşamaları

Şekil 3.20 ile verilen GTES için PID kontrolör tasarımı, MATLAB/Simulink PID Kontrolör bloğu içerisinde bulunan ve MATLAB’ın kullanıcılarına sunduğu etkili bir PID tasarım aracı olan PID Tune aracı kullanıldı [26–28]. (Şekil 3.22).

Öncelikle PID Tune aracı açılarak MATLAB’ın oluşturulan sistem modeline uygun bir lineer model oluşturup oluşturamayacağına bakıldı. Fakat gerek güneş modeli ve gerekse sensör bloğunda kullanılan bazı lineer olmayan yapılardan dolayı Şekil 3.23’te görüldüğü gibi PID Tune aracı uygun bir lineer model oluşturamadı.

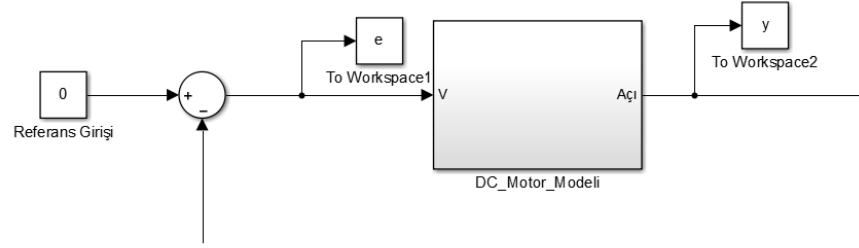


Şekil 3.22 : MATLAB/Simulink PID Tune Aracı.



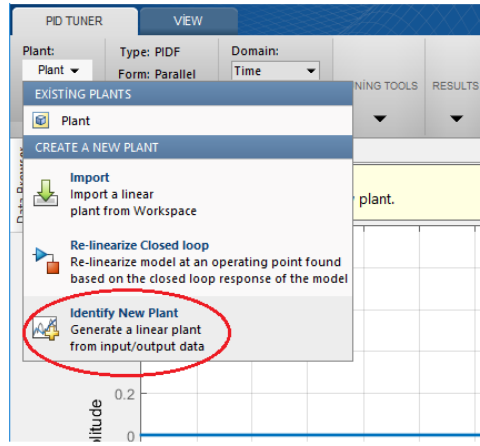
Şekil 3.23 : PID Tune Aracının Sistemi Lineerleştirme Sonucu.

Bunun üzerine öncelikle modeli oluşturulmak istenen sistemin Şekil 3.24'teki gibi giriş ve çıkış sinyallerinden 1000 saniyelik örnekler alındı.

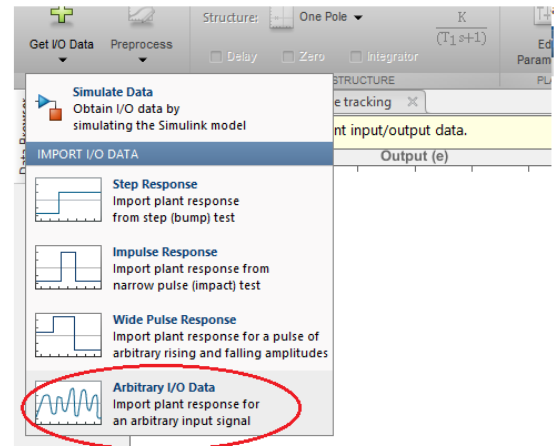


Şekil 3.24 : Sistemin Giriş-Çıkış Verisinin Alınması.

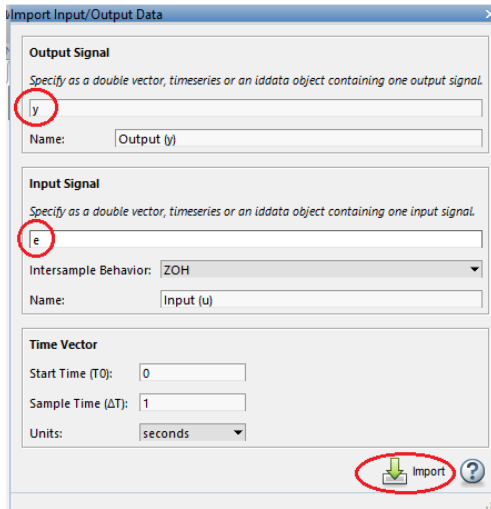
Sonrasında PID Tune aracının sunduğu sistem tanıma aracı kullanılarak, alınan giriş ve çıkış sinyal örnekleri bu araca aktarıldı. Sonrasında sistem modelini oluşturma aşamasına geçildi. Şekil 3.25'te bu işlemin adımları görülmektedir.



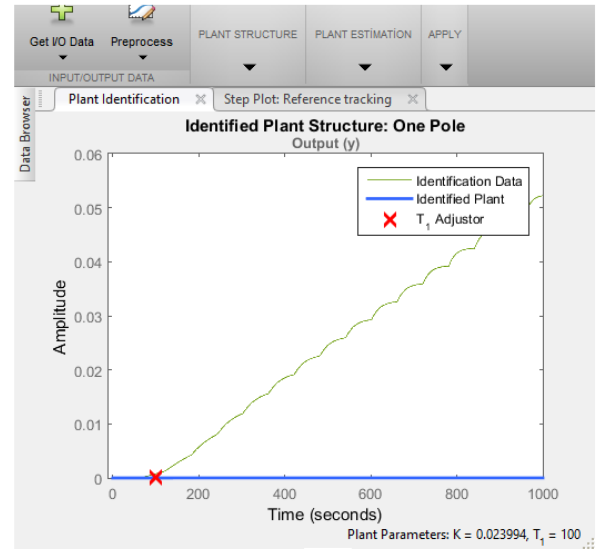
a



b



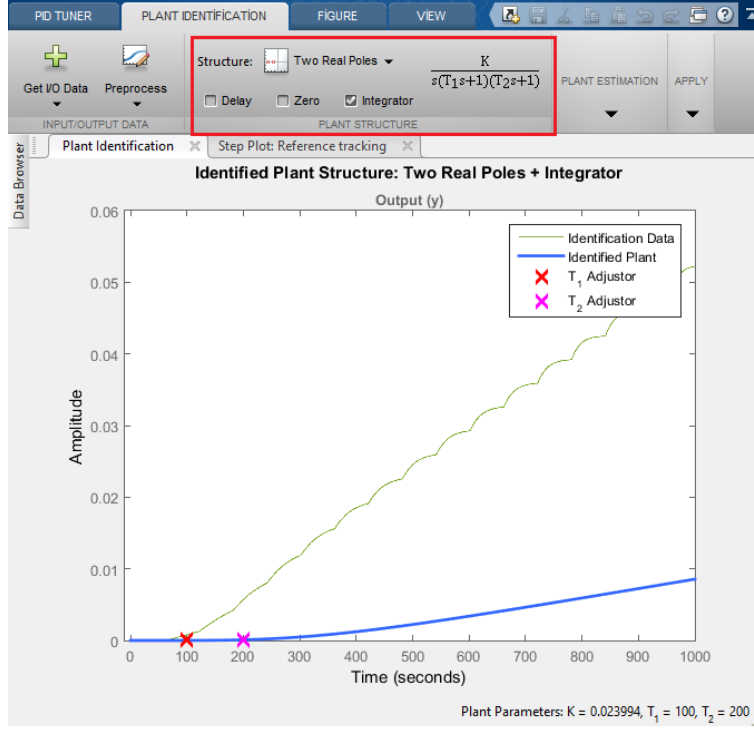
c



d

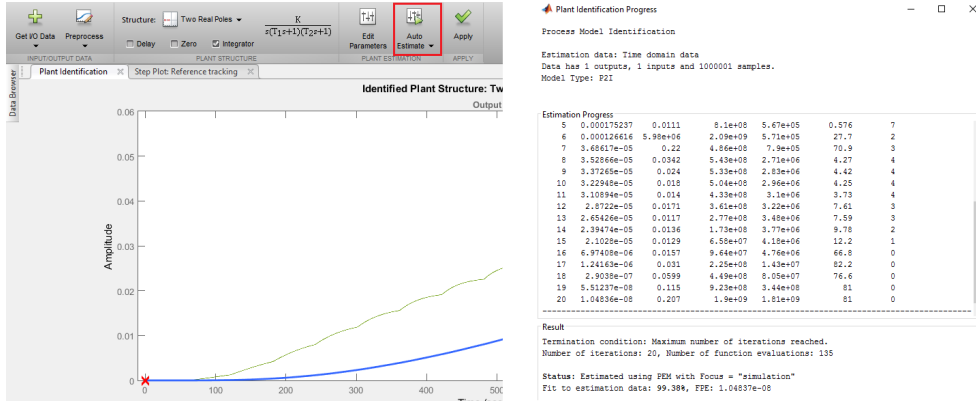
Şekil 3.25 : Sistem Tanıma Aracına Verilerin Aktarılması.

GTES'nin DC motor modelinin iki gerçek kökü ve bir integratör içermesinden dolayı Şekil 3.26'da görüldüğü gibi sistem yapısı bu şekilde seçildi.



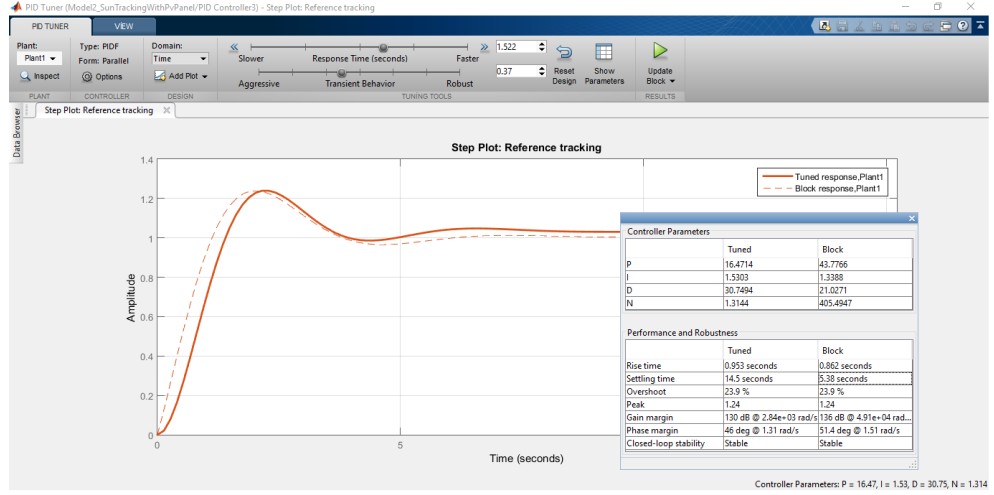
Şekil 3.26 : Sistem Yapısının Seçimi.

Bu aşamadan sonra aktarılan verilere uygun sistemi belirlemek için "Auto Tune" seçeneği kullanıldı. "Auto Tune", 20 iterasyon sonrasında verilerimize en uygun sistem modelini Şekil 3.27'de gösterildiği gibi oluşturdu.



Şekil 3.27 : Sistem Modelinin Oluşturulması.

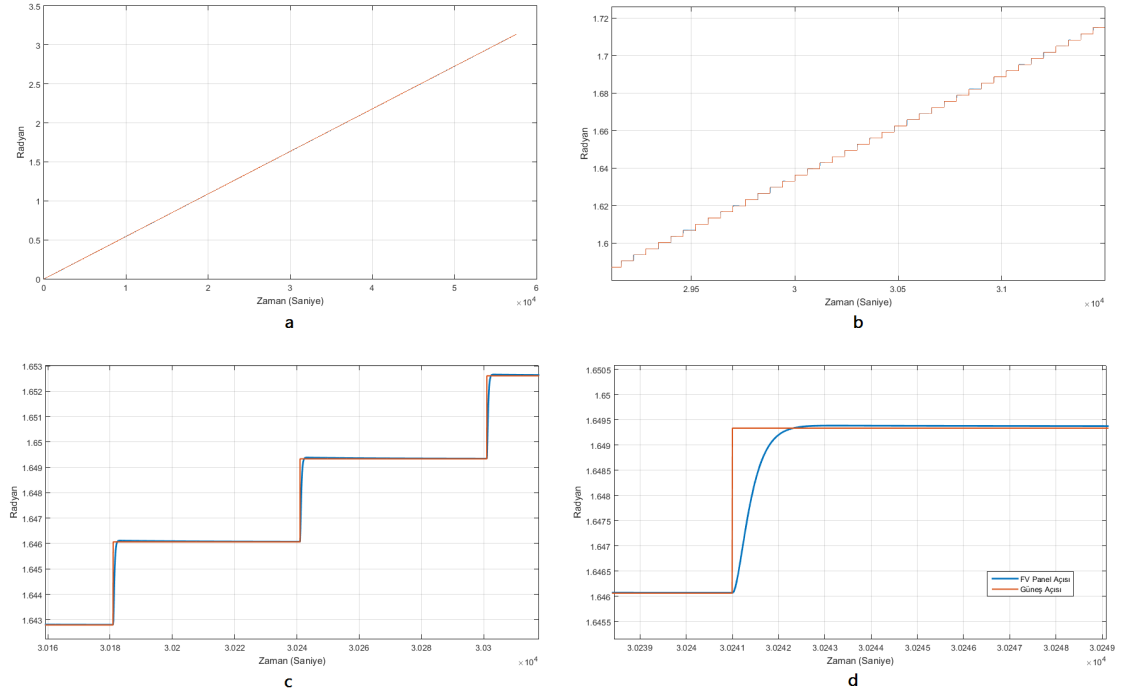
Bütün bu işlemler sonucunda, sistem modeli oluşturulduktan sonra PID kontrolörün parametrelerini ayarlamak için Şekil 3.28'de gösterildiği gibi sistem modeli PID Tune aracına aktarıldı ve sistem parametreleri $K_p = 43.7766$, $K_i = 1.3388$ ve $K_d = 21.0271$ olacak şekilde ayarlandı ve kontrolör tasarımı tamamlandı.



Şekil 3.28 : PID Tune Kullanılarak Kontrolör Parametrelerinin Ayarlanması.

3.4.2.3 Tasarlanan PID Kontrolörün Performansı

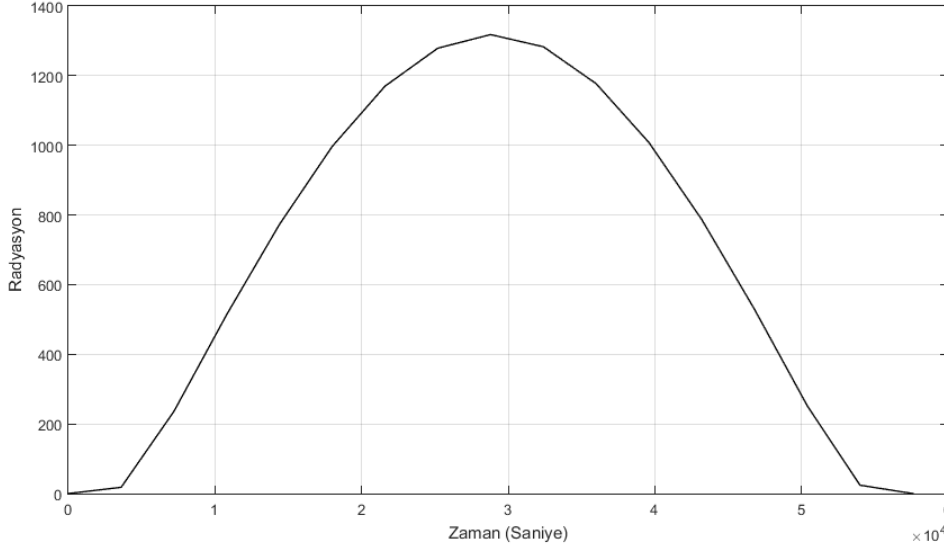
BİR önceki bölümde tasarımı yapılan PID kontrolör ile sistemin 57600 saniye (Bütün radyasyon değerleri için) simülasyonu gerçekleştirildi. Bu simülasyona göre FV panel açısının güneş açısına göre değişimi Şekil 3.29’te görülmektedir. Bu sonuca göre sistemin güneşi başarılı bir şekilde takip ettiği söylenebilir.



Şekil 3.29 : FV Panel Ve Güneş Açılarının Karşılaştırılması.

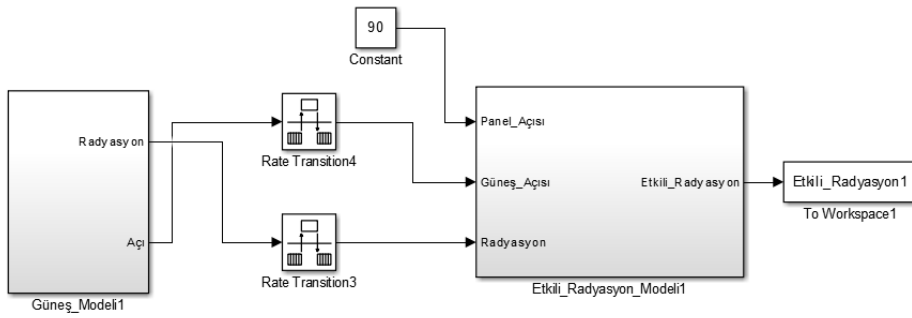
3.5 GTES Modelinin Simülasyonu ve Sabit Açılı FV Panel İle Karşılaştırılması

Modeli oluşturulan GTES'nin simülasyonu sonucunda oluşan etkili radyasyon değerleri Şekil 3.30'da gösterilmiştir. Şekil 3.18'deki güneş radyasyon verisi ile karşılaştırıldığında sistemin, güneşi en iyi şekilde takip ederek güneş radyasyon değerlerinin FV panel üzerine ihmal edilebilir kayıplar dışında başarılı bir şekilde ulaşmasını sağlamıştır.



Şekil 3.30 : GTES ile Oluşan, FV Panel Üzerindeki Etkili Radyasyon Değeri.

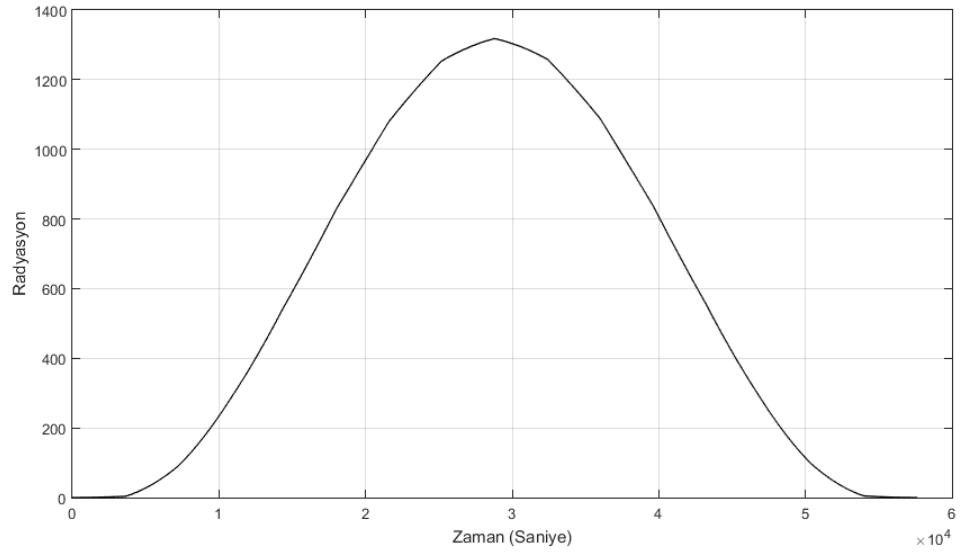
GTES'in sabit açılı bir sisteme göre karşılaştırmasını yapmak için Şekil 3.31'da belirtilen sistem modeli oluşturuldu.



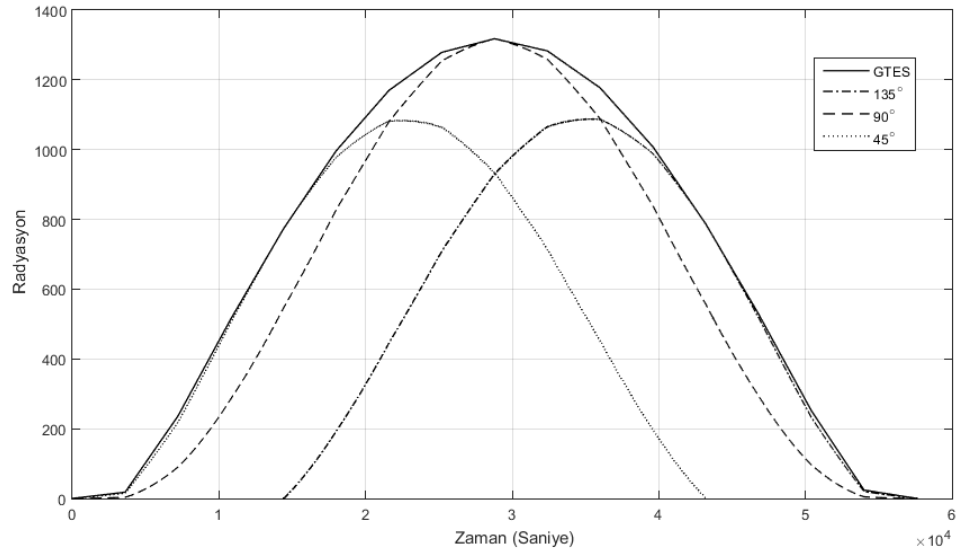
Şekil 3.31 : Sabit Açılı Sistem Modeli.

Bu sistemden 90° sabit açı ile elde edilen etkili radyasyon değeri Şekil 3.32'de gösterildiği şekilde elde edildi.

Simülasyon, panelin 45° 'lik ve 135° 'lik sabit açıları için tekrar edildi. Bütün radyasyon değerlerinin karşılaştırması 3.33'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32 : 90° Sabit Açılı Sistem İle Oluşan Etkili Radyasyon Değeri.



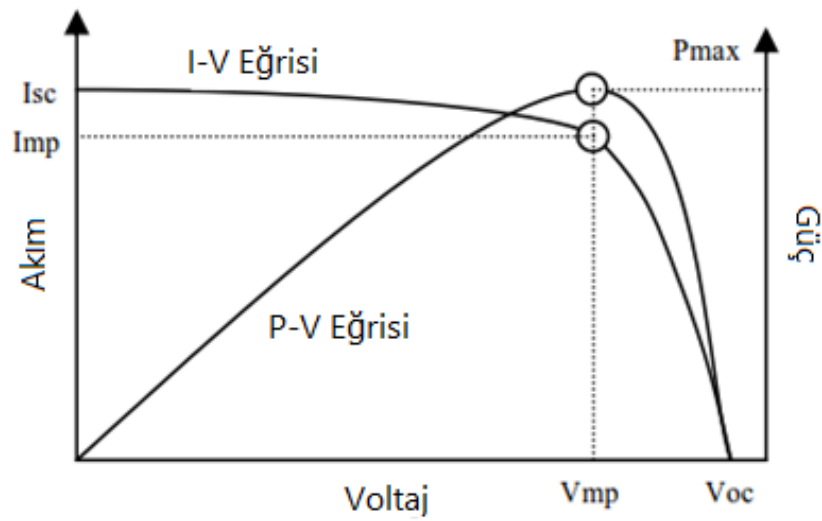
Şekil 3.33 : Elde Edilen Radyasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Şekil 3.33’deki radyasyon değerleri karşılaştırıldığında GTES’in, sabit açılı sisteme göre FV panel üzerine daha fazla radyasyon düşmesine olanak sağladığı görülmektedir. Her ne kadar 90°’lik açı ile konumlandırılan sistem GTES’ye yaklaşık bir sonuç versede, sistemden maksimum enerji elde etmek söz konusu olduğunda FV panellerde GTES kullanmak daha uygun olacaktır.

4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİLERİ (MPPT)

Yenilenebilir enerji sistemleri içerisinde güneş enerjisinin önemine ve ulaşım kolaylığına tezin önceki bölümlerde vurgu yapılarak, FV sistemlerde karşılaşılan zorluklardan ayrıntılı olarak bahsedildi. Ayrıca kurulan FV sistem maliyetlerinin yüksek olması ve üretilen enerjinin güneş radyasyon değerine ve mevsimlik güneş hareketlerine yüksek oranda bağlı olması sebebiyle FV sistemden üretilen enerjinin anlık koşullar dahilinde maksimum yapılmasının öneminden bahsedildi. Bu enerji üretimini maksimum yapmak içinse güneşi takip eden sistem(GTES) kullanılmasının önemine vurgu yapılarak bu konuda yapılan çalışmanın ayrıntıları verildi.

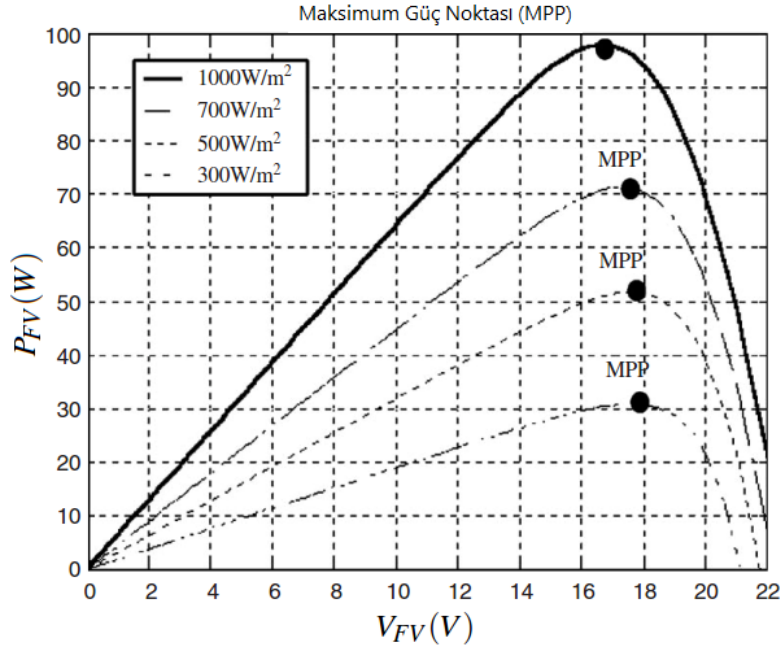
Bütün bu yapılan çalışmaların yanında enerji üretimini maksimum yapmak, FV panel çalışma karakteristiği göz önünde bulundurulduğunda, her zaman bu enerjinin sistem tarafından yüke maksimum olarak aktarılacağı garantisini vermez. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'deki FV panel $I - V$ ve $P - V$ eğrileri göz önünde bulundurulduğunda panel çıkışının geniş bir elektriksel alanda çalışma imkanı sağladığı görülmektedir. Fakat Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi, bu geniş çalışma aralığında gücün maksimum seviyeye ulaştığı sadece bir maksimum güç noktası bulunmaktadır.



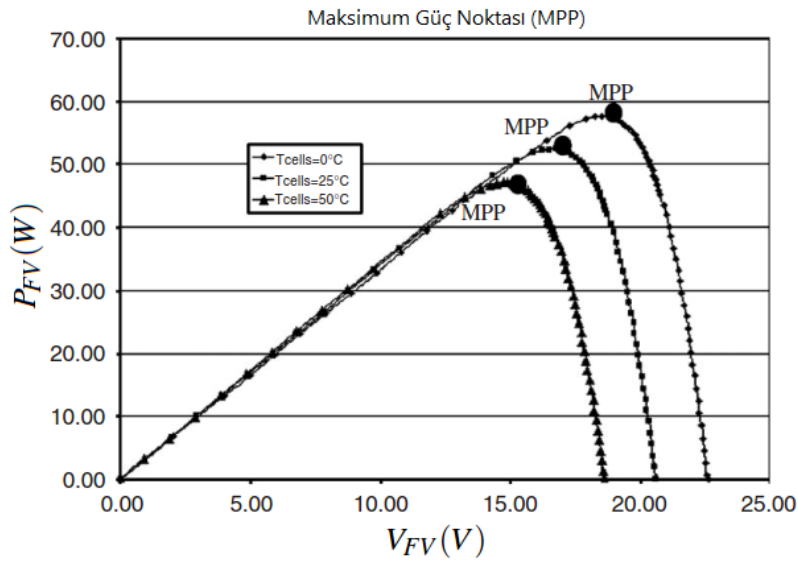
Şekil 4.1 : FV Panelin Çalışma Eğrileri Ve Maksimum Güç Noktası.

Dolayısıyla panelin ürettiği enerjinin direk olarak yüke bağlanması durumunda, FV panel çıkışı nadiren maksimum güç noktasında çalışacaktır ve bu çalışma noktası optimal olmayacaktır [29].

Maksimum güç noktasının farklı radyasyon ve sıcaklık değerleri altındaki değişimi Şekil 4.2’te ve Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Dolayısıyla her bir FV sistemde bu maksimum güç noktalarının bulunarak sistemin bu noktalar civarında çalıştırılması önem arz etmektedir.



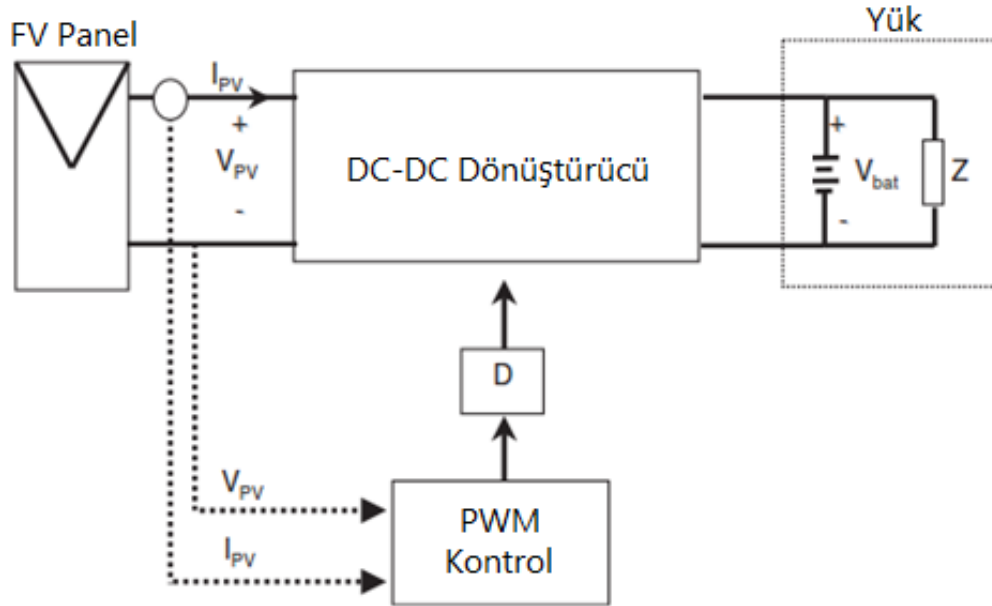
Şekil 4.2 : Farklı Radyasyon Değerlerinde Maksimum Güç Noktasının Değişimi.



Şekil 4.3 : Farklı Sıcaklık Değerlerinde Maksimum Güç Noktasının Değişimi.

DC-DC güç dönüştürücüleri, enerji kaynağı ile yük arasında maksimum enerji aktarımı yapabilen önemli elektronik devrelerin başında gelmektedirler [30]. Bu sebeple yük ve FV panel arasında bir DC-DC dönüştürücü ile panelin akım veya gerilimi kontrol edilerek yükün her zaman alabileceği maksimum enerjiyi almasını sağlamak önemlidir. Bu da maksimum güç noktası izleyici(Maximum Power Point Tracker - MPPT) yöntemleri kullanarak DC-DC dönüştürücüyü kontrol etmekle mümkün olacaktır.

MPPT tarafından çözülmek istenen temel problem, hangi sıcaklık ve radyasyon değeri altında olursa olsun FV panel çıkışında elde edilebilecek maksimum enerjiye ulaştıracak FV panel çalışma gerilimine veya akımına otomatik olarak karar vermektir [31]. Şekil 4.4’de MPPT’li bir FV sistemin genel blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.4 : MPPT’li FV Sistemin Genel Blok Diyagramı.

Tezin bu bölümünde de çeşitli MPPT yöntemleri tanıtılarak literatürde MPPT ile ilgili ne gibi çalışmalar yapıldına yer verilecektir. Daha sonra bir DC-DC yükselten dönüştürücü yapısı verilerek MATLAB/Simulink ortamında modellemesi yapılacaktır. 4 farklı MPPT yönteminin yapıları, MATLAB/Simulink modellemeleri ve belirli bir radyasyon değeri için simülasyonu yapılarak performans açısından bu yöntemlerin karşılaştırmaları yapılacaktır.

4.1 MPPT Yöntemleri

Enerji sistemine bağlanacak yük profili, değişen atmosferik koşullar ve sistemin çalışma koşulları göz önüne alındığında günümüze kadar birçok farklı MPPT yöntemi geliştirildiği görülmektedir [32]. Bunlardan bazıları daha önce geliştirilen bir sistemi geliştirmeye dönük çalışmalarken, bazıları ise yeni ve daha öncekilerden farklı yöntemlerdir.

Geliştirilen yöntemler farklı çalışmalarda farklı ana başlıklar altına toplanmıştır. Bunlar yöntemin işleyiş şekline ve parametrelerine bağlı olarak ortaya konulan ana başlıklar olmuşlardır. Bu ana başlıklarla alakalı olarak literatür bilgisi 4.2 bölümünde verilmiştir.

Bu bölümde MPPT yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilecektir.

4.1.1 Değiştir&Gözle Yöntemi(D&G)

Bu yöntem MPPT çalışmalarında en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Kolay uygulanabilir olması ve sağladığı kabul edilebilir doğruluk açısından tercih edilebilirliği yüksek bir yöntemdir.

Bu yöntem, maksimum güç noktasının gerçekleştiği noktayı bulmak için FV panel gerilimini(akımını) değiştirip gerçekleşen değişikliğin gözlenmesi esasına dayanır. Eğer gerilimde(akımda) bir yönde yapılan değişiklik sonucu gücün arttığı gözleniyorsa, gerilim(akım) aynı yönde değiştirilmeye devam edilir. Eğer güçte bir azalma söz konusu ise bu sefer aksi yönde değişim gerçekleştirilir [33]. Çizelge 4.1’de bu değişimin yönleri ve güçteki değişimler verilmiştir [34].

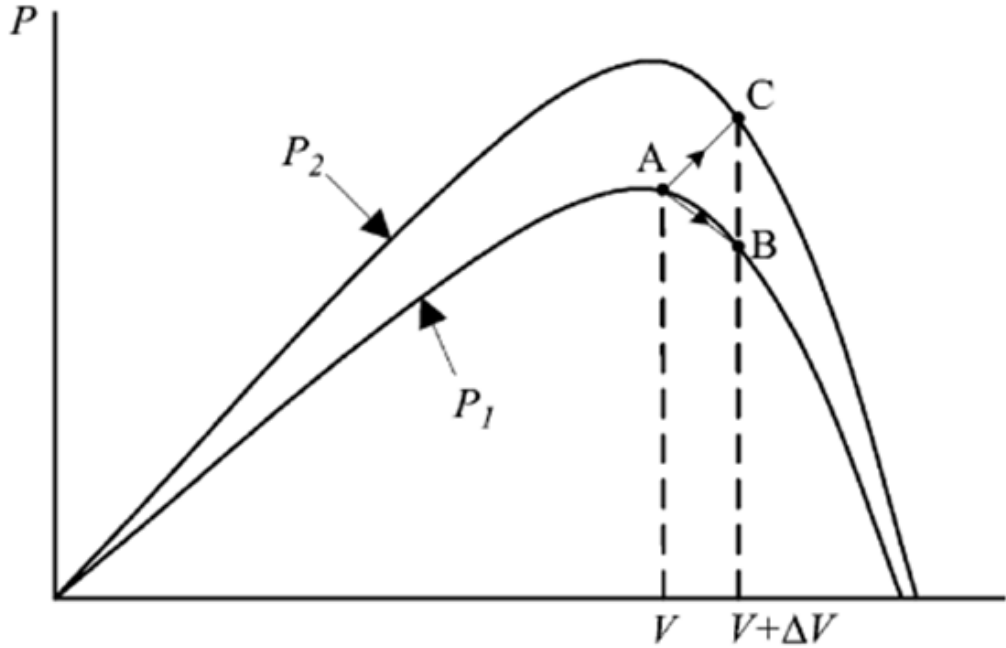
Çizelge 4.1 : D&G Yönteminin İşleyiş Adımları

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

Çizelge 4.1’de verilen işlem maksimum güç noktasına ulaşana kadar devam eder. Sonrasında bu nokta çevresinde osilasyon yapmaya başlayacaktır. Osilasyonu azaltmak için değişim adımlarını küçültmek yeterli olacaktır. Fakat bu sefer de maksimum güç noktasına ulaşmak daha uzun sürecektir. Dolayısıyla burada bir performans-osilasyon alış-verişi söz konusudur.

Yukarıda belirtilen probleme çözüm olarak geliştirilen bir yöntem, gerilimdeki(akımdaki) değişimlerin değişken olmasıdır. Böylece sistem maksimum güç noktasından uzakta çalışırken değişim adımları büyük olacak ve maksimum güç noktasına hızlı bir şekilde ulaşacaktır. Bu noktaya yaklaşıldığında ise değişim adımları azalacak ve maksimum güç noktasına ulaşıldığında değişim olmayacaktır [35].

D&G yönteminin bir dezavantajı, anlık radyasyon değişimlerinde hatalı bir şekilde çalışabilmesidir. Bu durum Şekil 4.5’te gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : Anlık Radyasyon Değişiminde D&G Yönetiminin Davranışı.

Bu şekilden de görüleceği üzere sistem A noktasında çalışırken bir sonraki adım pozitif yönde olduğunda, atmosferik koşulların aynı kaldığı durumda sistem B noktasına ulaşacak ve güçteki azalmadan dolayı sistem bir sonraki adımda negatif yönde bir değişim gerçekleştirecektir. Ama tam da A noktasından B noktasına geçişte, radyasyonun bir çevrim süresinden daha az bir sürede artması durumunda sistem C noktasına ulaşacaktır. Ve güçteki değişim artmasından dolayı sistem bir sonraki

adımında da pozitif bir değişim gerçekleştirerek maksimum güç noktasından gittikçe uzaklaşacaktır.

4.1.2 Artan İletkenlik Yöntemi

Artan iletkenlik yönteminde FV panel güç-gerilim($P - V$) eğrisinin eğimi incelenmektedir. Bu eğimin durumuna göre sistemin maksimum güç noktasının neresinde olduğuna karar verilerek FV panel çalışma gerilimindeki değişim ona göre ayarlanmaktadır [34].

Çizelge 4.2’de artan iletkenlik yönteminde sistem çalışma geriliminin eğime bağlı olarak konumu verilmektedir.

Çizelge 4.2 : Artan İletkenlik Yönteminde Maksimum Güç Noktasının Bulunması

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$dP/dV = 0$	Maksimum Güç Noktasında
$dP/dV > 0$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$dP/dV < 0$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

İletkenlik eğim denklemi, eşitlik (4.1)’deki gibi düzenlenebilir:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (4.1)$$

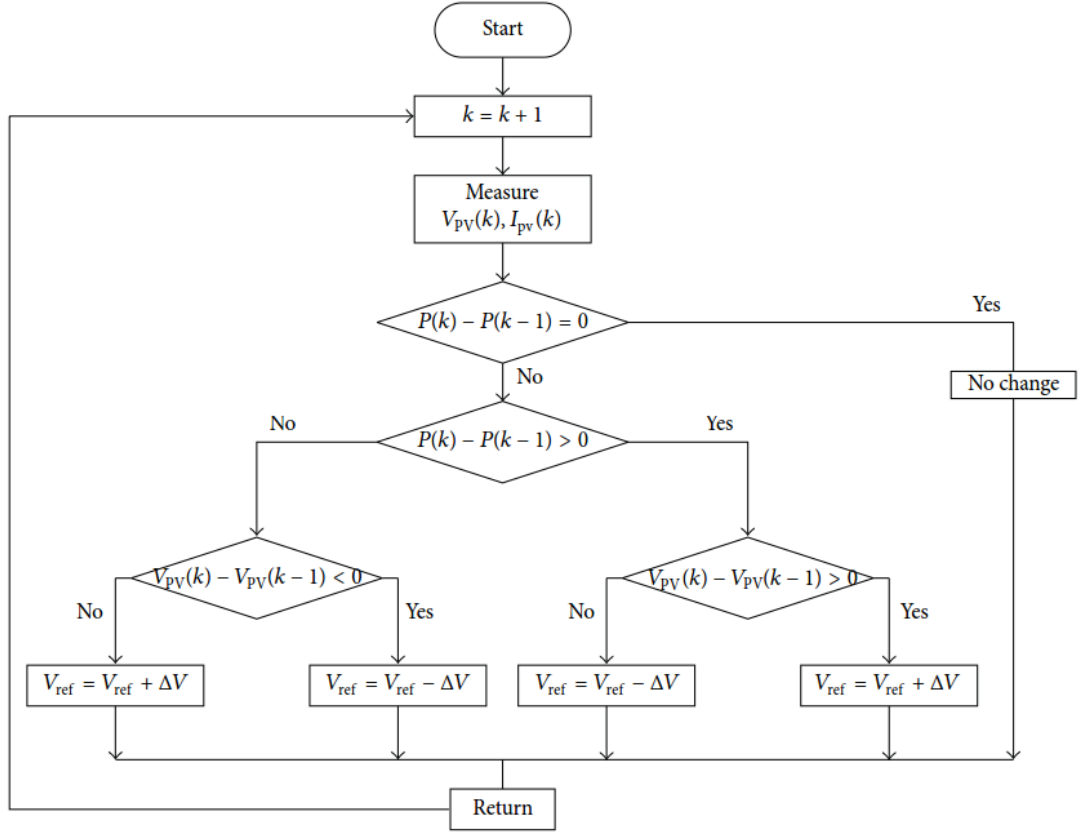
Bu eşitliğe göre Çizelge 4.2 tekrar düzenlenirse, Çizelge 4.3’teki durum elde edilir.

Çizelge 4.3 : Çizelge 4.2’nin Eşitlik (4.1)’e Göre Tekrar Düzenlenmesi

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$\Delta I / \Delta V = -I/V$	Maksimum Güç Noktasında
$\Delta I / \Delta V > -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$\Delta I / \Delta V < -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

Artan iletkenlik yönteminin çalışma prensibi ile D&G yönteminin çalışma prensibi birbirine benzerdir. Fakat artan iletkenlik yönteminde maksimum güç noktasının bulunması eğim üzerinden gerçekleştiğinden ani atmosferik değişimlerde ve düşük güneş radyasyon değerlerinde D&G yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir [32].

Bu yöntemin çalışma prensibini gösteren örnek bir akış diyagramı Şekil 4.6’de verilmiştir.



Şekil 4.6 : Artan İletkenlik Yöntemi Akış Diyagramı.

4.1.3 Kısmi Açık-Devre Gerilim Yöntemi

FV panelin açık devre gerilimi(V_{OC}) ile maksimum güç noktası arasında, değişen radyasyon ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak, eşitlik (4.2)'deki gibi bir lineer ilişki vardır.

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{OC} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte; V_{MPP} , maksimum güç noktası gerilimi; k_1 , oransal sabit ve V_{OC} , FV panelin açık devre gerilimidir. k_1 değeri, kullanılan FV panel karakteristiklerine bağlıdır ve bu yöntemde herşeyden önce, sistemde kullanılacak FV sisteminde deneysel olarak test edilip elde edilmelidir. Yapılan deneylerde bu değerin 0.71 ile 0.78 arasında olduğu belirtilmiştir [34].

Bu yöntemde bir kere k_1 değeri belirlendikten sonra, FV sistem uçlarının anlık olarak devreden ayrılmasıyla elde edilecek V_{OC} gerilimi ile V_{MPP} hesaplanabilir. Fakat bu uygulama anlıkta olsa sistemde enerji kaybına yol açacağı için bu yöntem için bir dezavantajdır.

Ayrıca eşitlik (4.2) bir yaklaşım olduğundan sistemin hiçbir zaman gerçek maksimum güç noktasında çalışmayacağı açıktır. Fakat tasarlanan FV sistemlere bağlı olarak bu durum bir dezavantaj teşkil etmeyebilir. Ayrıca uygulama kolaylığı ve ucuz olması sebebiyle kısmi açık devre gerilim yöntemi uygulamalarda çokça kullanılmaktadır.

4.1.4 Kısmi Kısa-Devre Akım Yöntemi

Değişen radyasyon ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak, FV panelin kısa devre akımıyla maksimum güç noktasındaki akım değeri arasında lineer bir ilişki vardır [34]. Bu ilişki;

$$I_{MPP} \approx k_2 I_{SC} \quad (4.3)$$

olarak tanımlanabilir. Burada k_2 oransal sabittir ve tıpkı kısmi açık devre gerilim yönteminde olduğu gibi sistemde kullanılan FV panel karakteristiğine bağlıdır.

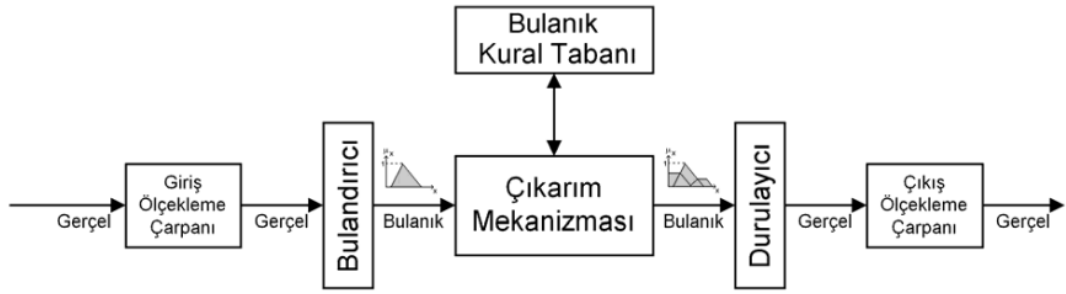
Bu yöntemde, sistem çalışma halindeyken I_{SC} akımını ölçmek sorun oluşturmaktadır. Çünkü bu ölçümü yapabilmek için sisteme fazladan şalter koymak gerekmektedir. Bu da sistemde kullanılacak eleman sayısını ve maliyeti artırmaktadır.

4.1.5 Bulanık Mantık Yöntemi

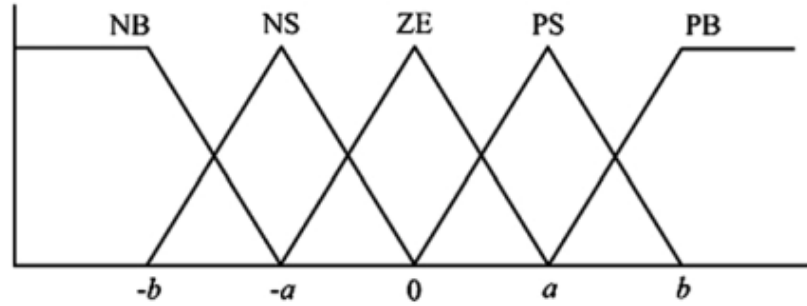
Özellikle son yıllarda FV sistem çalışmalarında bulanık mantık kullanımı önemli ölçüde artış göstermiştir [29]. Dayanıklı ve diğer kontrol yöntemlerine göre sistem modelinin tam bilinmesine gerek olmaması, FV sistem uygulamalarında bulanık mantık kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Şekil 4.7’de bulanık bir sistemin iç yapısı görülmektedir [36].

Bu şekilden de görüldüğü gibi bulanık mantık yapısı üç ana kısımdan oluşmaktadır: bulanıklaştırma, çıkarım mekanizması ve durulayıcı. Bulanıklaştırma sürecinde, giriş değişkenleri Şekil 4.8’de görüldüğü gibi bir üyelik fonksiyonu yardımıyla dilsel verilere dönüştürülür [31].



Şekil 4.7 : Bulanık Sistemin İç Yapısı.



Şekil 4.8 : Örnek Üyelik Fonksiyonu.

Çıkarım mekanizmasında ise bir dizi EĞER-O HALDE kurallar tabanı tanımlanarak kontrolör davranışı belirlenir. Durulayıcı kısmında ise yine üyelik fonksiyonları kullanılarak dilsel veri, anlamlı bir sayısal veriye dönüştürülür.

Bulanık mantık MPPT kontrolörler genellikle hata E ve hatanın değişimi ΔE olmak üzere iki girişle tasarlanırlar. Maksimum çalışma noktasında gücün çalışma gerilimine göre değişimi sıfır olacağından, hata E ve hatanın değişimi ΔE , eşitlik (4.4) ve (4.5)'teki gibi tanımlanabilir.

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (4.4)$$

$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (4.5)$$

Bütün bu tanımlamalar ve kurallar tabanı oluşturulduktan sonra bulanık mantık kontrolörün çıkışı, DC-DC dönüştürücünün anahtarlama sinyali D olmaktadır.

Yapılan uygulamalarda bulanık mantık MPPT kontrolörlerin değişen atmosferik koşullar altında iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, unutulmamalıdır ki

bulanık kontrol yapısının performansı kullanıcı bilgisine veya tasarımı gerçekleştiren kişinin hata ve kural tabanlarını uygun bir şekilde oluşturmaya bağlıdır [34].

4.2 Literatür Araştırması

MPPT yöntemleri ile alakalı çalışmalar, özellikle son yıllarda teknolojinin gelişimine bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ilginin artmasından dolayı artış göstermiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanılmasının amaçlanması birçok farklı MPPT yönteminin ortaya çıkmasına ve daha önce yapılan MPPT çalışmalarının da geliştirilmesine yol açmıştır.

Xiao ve Dunford, yaptıkları çalışmada klasik D&G yöntemini geliştirerek yeni bir yöntem elde etmişlerdir. Geliştirdikleri yeni yöntemde hem D&G yöntemindeki değişim adımlarını otomatik olarak belirleyecek bir sistem tasarlamışlar, hem de DC-DC dönüştürücü kontrolünde yeni bir anahtarlama yöntemi geliştirmişlerdir [35].

Qin ve Lu ise, hem klasik D&G yönteminin MATLAB/Simulink ortamında simülasyonunu gerçekleştirmişler, hem de yöntemin değişim adımını değişken yaparak MPPT performansında iyileştirme gerçekleştirmişlerdir. Her iki yöntemin de simülasyonunu yaparak karşılaştırmışlar ve değişken adımla D&G yönteminin daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Abdelselam ve Ahmed, öncelikle D&G yönteminde, geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmaları sistem yapılarına göre sınıflandırarak performanslarını incelemişlerdir. Sonrasında D&G yönteminde yaptıkları değişikliklerle hem değişim adımı PI kontrolör yardımıyla belirleyerek sistemin herhangi bir başlangıç değerine ihtiyaç duymasını ortadan kaldırmışlardır, hem de dönüştürücü anahtarlama işaretini PI kontrolörle kontrol ederek sistemin performansını geliştirmeyi amaçlamışlardır. Hazırladıkları deneysel bir düzeneikle tasarımını yaptıkları sistemi gerçek zaman verisi üzerinden test etmişlerdir [37].

Hahm ve diğerleri, yaptıkları çalışmada FV sistemlerin parçalı gölgelenme durumlarında farklı MPPT yöntemlerinin performansını gözlemlemek için MATLAB ortamında modelleme ve simülasyon yapmışlardır. D&G ve artan iletkenlik yöntemlerini ele aldıkları çalışmalarında farklı atmosferik koşullar için yöntemlerin performanslarını incelemişlerdir [38].

Liu ve diğerkleri ise, artan iletkenlik yöntemini ele alarak, bu yöntemdeki değışim adımlarını değışken yapacak bir yöntem geliştirmişlerdir. MATLAB/Simulink ortamında geliştirdikleri model ile sabit adımla ve değışken adımla artan iletkenlik yöntemlerini karşılaştırarak performanslarını incelemişlerdir [39].

Chatterji ve Kumar, kısmi kısa devre akım yöntemini geliştirerek, maksimum güç noktasının bulunmasında solar radyasyon değışerini kullanmışlardır. Klasik kısmi kısa devre akım yönteminin dezavantajlarını ortadan kaldırarak, geliştirdikleri modelle sistemin klasik D&G yöntemine göre performansını incelemişlerdir [30].

Won ve diğerkleri, bulanık mantık MPPT kontrolörü tasarlayarak yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Tasarladıkları bulanık MPPT kontrolörde giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarını ve kural tabanını tanımlayarak, bu yöntemin hem simülasyonunu yapmış, hem de deneysel bir düzenek üzerinden yöntemin performansını incelemişlerdir. Performans açısından, klasik D&G ile karşılaştırdıkları yöntemlerinin daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır.

Esrar ve Chapman, birbirinden farklı birçok MPPT yöntemini inceleyerek her bir yöntemin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Yaptıkları bu kapsamlı çalışmada yöntemleri gerçek maksimum güç noktası takipçisi olup olmadıkları, analog veya dijital çalışmalarını, yöntemlerin maliyetleri ve FV panel bağımlı olup olmadıkları gibi birçok parametre açısından karşılaştırmışlardır [34].

Salas ve diğerkleri yaptıkları çalışmada literatürdeki MPPT yöntemlerini inceleyerek, yöntemleri dolaylı ve direk kontrol yöntemleri olarak iki genel başlık altında toplamışlardır. Bu sınıflandırmada dolaylı kontrol yöntemleri, kullanılan FV panel karakteristiklerine bağılyken; direk kontrol yöntemleri, sistemin gücünü anlık takip ederek maksimum güç noktasına ulaşmayı hedeflemektedirler [40].

Son olarak Reisi ve diğerkleri, MPPT yöntemlerini çevrimiçi yöntemler ve çevrimdışı yöntemler olmak üzere iki ana başlık altına toplayarak, oluşturdukları MATLAB/Simulink modeli ile yöntemlerin simülasyonlarını yapmışlardır. Bu simülasyon sonucunda MPPT yöntemlerinin temel karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Belirledikleri verim kriterine göre yaptıkları simülasyon sonucunda en

verimli yöntemlerin yapay sinir ağları ve inceledikleri hibrid yöntemin olduğunu belirtmişlerdir [31].

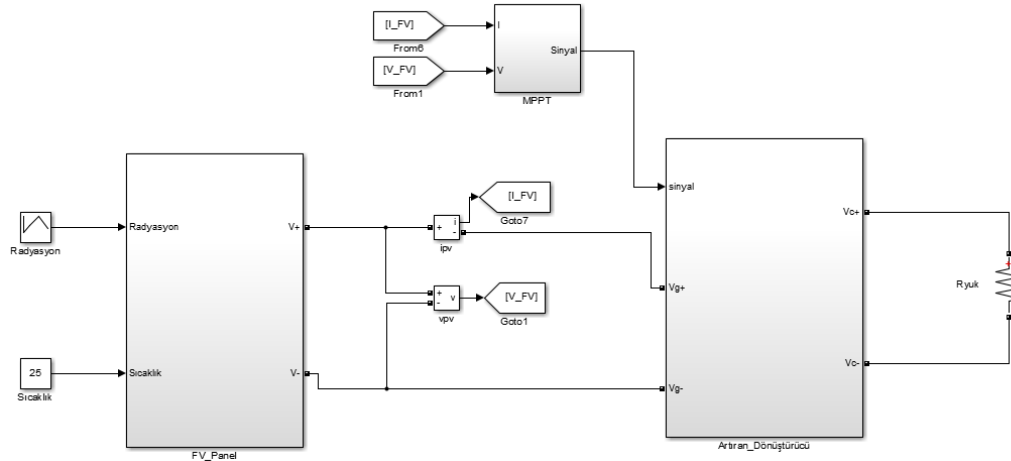
4.3 MPPT Sistem Ekipmanları Ve Farklı MPPT Yöntemlerinin Modellenmesi

MPPT'li FV sistemler, eğer şebeke bağlantılı değil ve enerji depolayan bir ekipman içerimiyorsa en basit haliye FV panel, DC-DC dönüştürücü, MPPT bloğu ve yük kısmından oluşmaktadırlar. Şekil 4.3'te örnek bir sistem bloğu gösterilmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde DC-DC dönüştürücü yapıları ile alakalı bilgi verilecek ve FV sistemde kullanılacak dönüştürücü yapısı anlatılarak MATLAB/Simulink ortamında modellemesi yapılacaktır.

Ayrıca tez çalışmasında tasarımı yapılan dört farklı MPPT yöntemi ile alakalı ayrıntılı bilgi verilerek, her bir model için MATLAB/Simulink modelleri tasarlanacaktır. Son olarak bütün MPPT modellerinin aynı koşullar(sıcaklık ve radyasyon) altında simülasyonu yapılarak yöntemlerin karşılaştırılması yapılacaktır.

Oluşturulan MATLAB/Simulink modelinin genel yapısı Şekil 4.9'de verilmiştir.

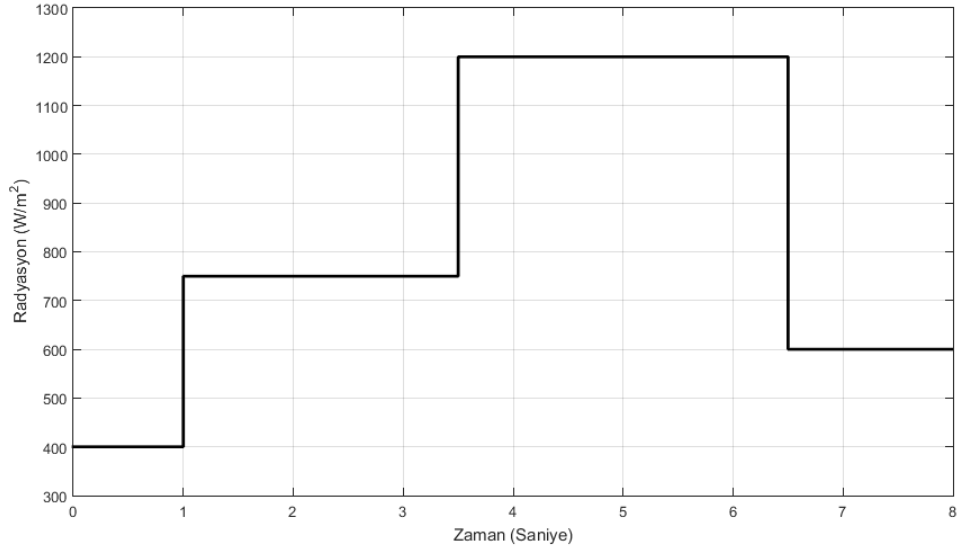


Şekil 4.9 : MPPT'li FV Sistem MATLAB/Simulink Modeli.

Modellenen bütün yöntemlerin simülasyonu sabit 25° sıcaklıkta ve Şekil 4.10'te verilen radyasyon değerleri ile yapılmıştır.

4.3.1 DC-DC Dönüştürücüler

DC-DC dönüştürücüler endüstride çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Özellikle güç elektroniğinde büyük öneme sahip DC-DC dönüştürücüler; ayarlanabilir



Şekil 4.10 : Simülasyonda Kullanılan Radyasyon Değerleri.

gerilimli bir çıkış veren güç kaynağı uygulamalarında, aralarında gerilim farkı olan herhangi iki elektronik devrenin arasında ayarlayıcı görev de üstlenebilmektedirler.

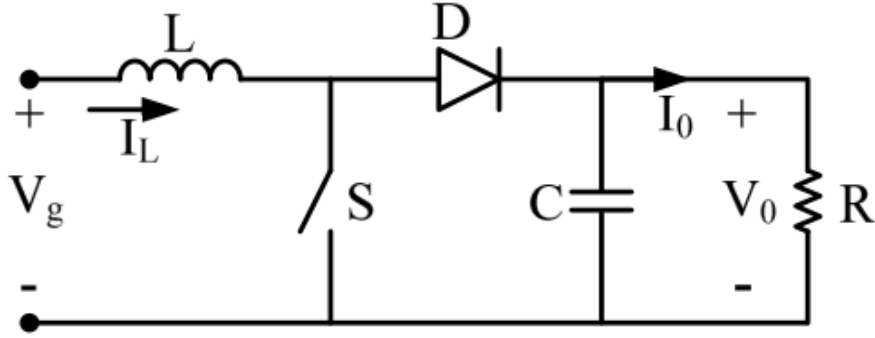
DC-DC dönüştürücüler iki kısımdan oluşmaktadırlar: elektriksel işlemlerin yapıldığı güç kısmı ve dönüştürücünün anahtarlamasını kontrol etmeye yarayan kontrol kısmı. Güç kısmında istenilen özelliklere sahip elektriksel işareti üretmeye yarayan yarı iletken malzemeler ve filtre elemanları yer almaktadır. Kontrol kısmında ise elektriksel kısmı kontrol eden anahtarlama işaretinin üretilmesi gerçekleştirilir([41].

DC-DC dönüştürücüler temel olarak üç farklı yapıda kullanılırlar: düşüren dönüştürücü(buck), yükselten dönüştürücü(boost) ve düşüren-yükselten dönüştürücü(buck-boost).

Bu tez çalışmasında yükselten dönüştürücü yapısı kullanılmıştır. Bu bölümde de yükselten dönüştürücü yapıları ile ilgili bilgi verilerek oluşturulan MATLAB/Simulink sistem modeli ve parametreleri verilecektir.

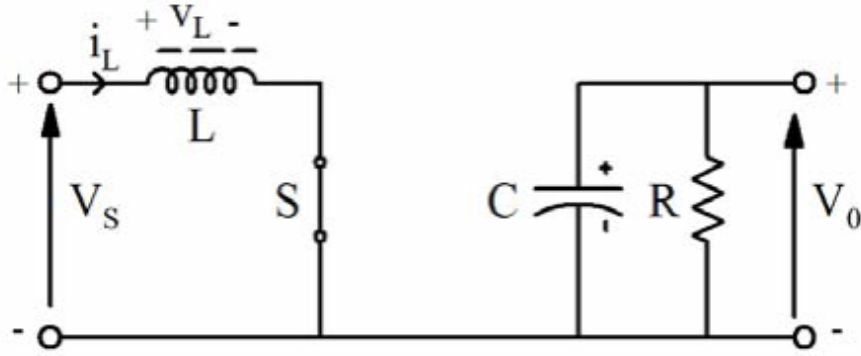
4.3.1.1 Yükselten Dönüştürücü Yapısı

Yükselten dönüştürücü yarı iletken anahtar(mosfet, IGBT), diyot, bobin ve kapasite elemanlarından oluşmaktadır. Şekil 4.11’de yükselten dönüştürücü yapısı görülmektedir.



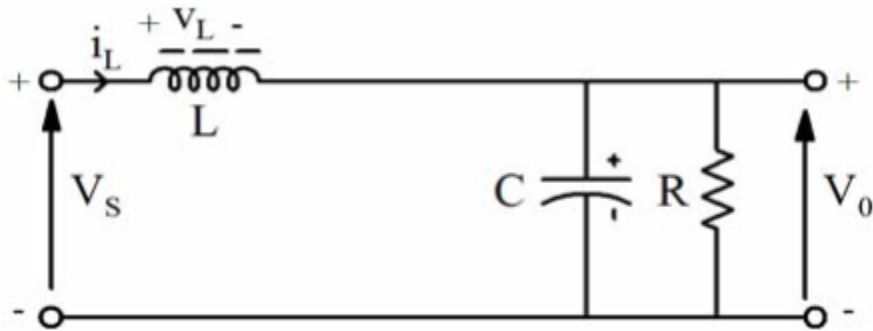
Şekil 4.11 : Yükselten Dönüştürücü Yapısı.

Dönüştürücünün çalışma prensibi şu şekildedir: Şekil 4.12’da görüldüğü gibi S anahtarı iletime geçtiğinde bobinden geçen akım artar ve bobin üzerinde enerji depolanmaya başlar.



Şekil 4.12 : Yarıiletken Anahtarın İletim Durumu.

Anahtar Şekil 4.13’deki gibi kesime gittiğinde, bobinden akmakta olan şarj akımı, D diyotu üzerinden C kapasitesine ve R yüküne doğru akmaya başlar. Bobin, enerjisini boşaltır ve bobin üzerindeki gerilimin polaritesinin yönü gerilim kaynağının polaritesi ile aynı olur. ve D diyotu üzerinden yüke bağlanır. Böylece çıkış geriliminin seviyesi yükseltilir ve D diyotu da kesime gider [42].



Şekil 4.13 : Yarıiletken Anahtarın Kesim Durumu.

Yükselten dönüştürücü için bu çalışmada önemli olan giriş geriliminin çıkış gerilimi ile olan ilişkisidir ve ilişki eşitlik (4.6)'da verilmiştir.

$$\frac{V_c}{V_g} = \frac{1}{1-D} \quad (4.6)$$

Burada V_c , dönüştürücünün çıkış gerilimi; V_g , dönüştürücünün giriş gerilimi ve D , anahtarlama elemanının iletimde olduğu sürenin, iletim ve kesimde olduğu toplam süreye oranıdır ve görev döngüsü olarak tanımlanır.

4.3.1.2 Yükselten Dönüştürücü Modellenmesi

Önceki bölümde yapısı ve çalışma yöntemi verilen yükselten dönüştürücünün MATLAB/Simulink modeli ve sistem bloğu Şekil 4.14'te verilmiştir.

Burada; C, giriş sinyalini filtre etmek için kullanılan kapasitör; C1, çıkış sinyalini filtre etmek için kullanılan kapasitör; L, bobin; IGBT, anahtarlama kullanılan yarıiletken ve PWM Generator bloğu ise, kendisine gelen 0-1 arasındaki sinyal değerlerini görev döngüsü D'ye çeviren Simulink bloğudur.

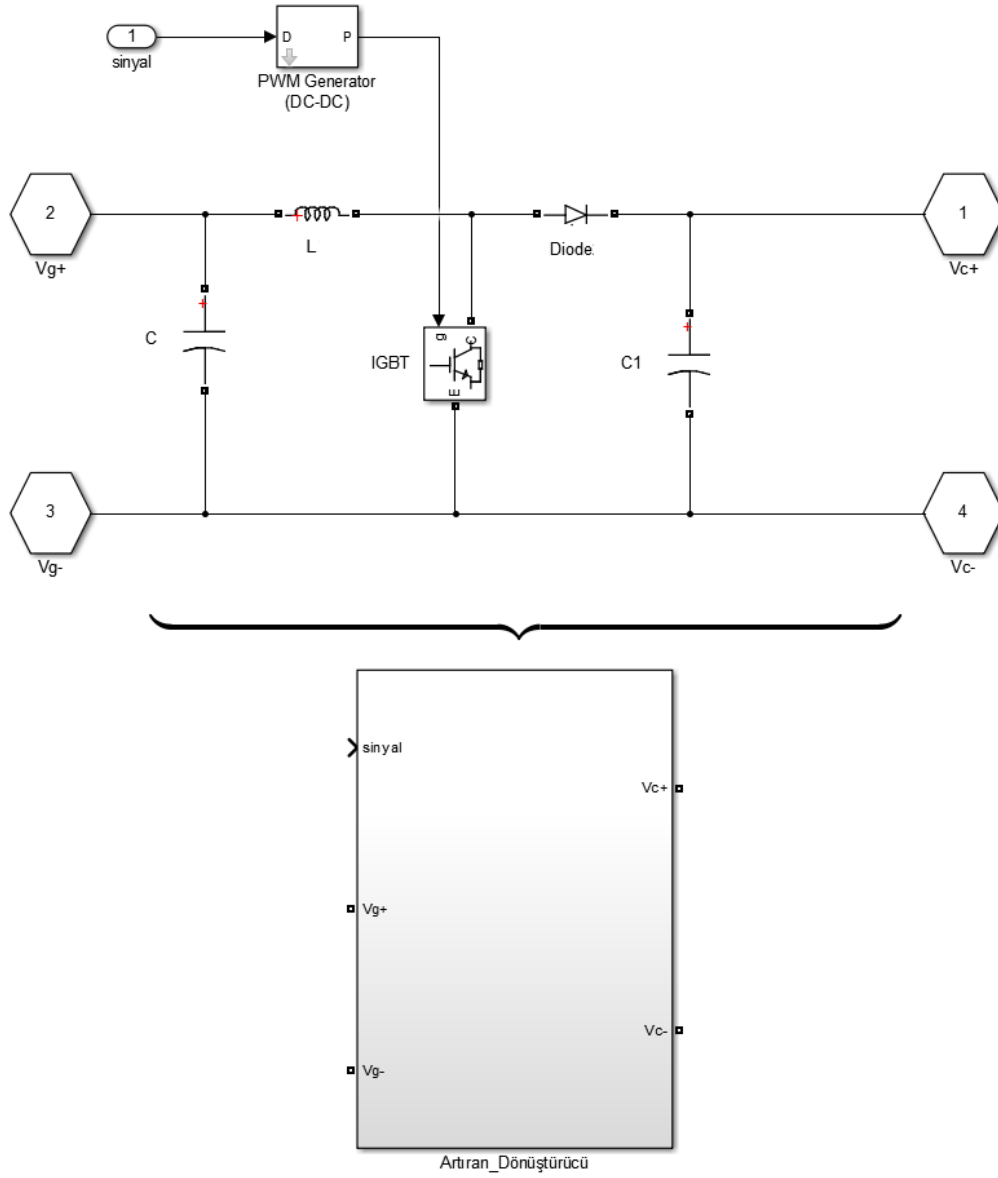
Oluşturulan bu yükselten dönüştürücü modelinin parametreleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Yükselten Dönüştürücü Parametreleri.

Parametre	Değer
Bobin L	$1mH$
Kapasitör C	$1000\mu F$
Kapasitör $C1$	$330\mu F$
Yük R	15Ω

4.3.2 Sabit Adımla Değişen D&G Yöntemi

MPPT yöntemlerinden en çok kullanılanlardan biri olan Değiştir&Gözle(D&G) yöntemi hakkında bölüm 4.1.1'de bilgi verildi. Bu bölümde ise bu tez çalışmasında kullanılan D&G yönetiminin akış diyagramları verilerek sistemin MATLAB/Simulink modeli oluşturulacaktır. Sonrasında Şekil 4.10'te verilen radyasyon değerleri ile simülasyonu gerçekleştirilecektir.

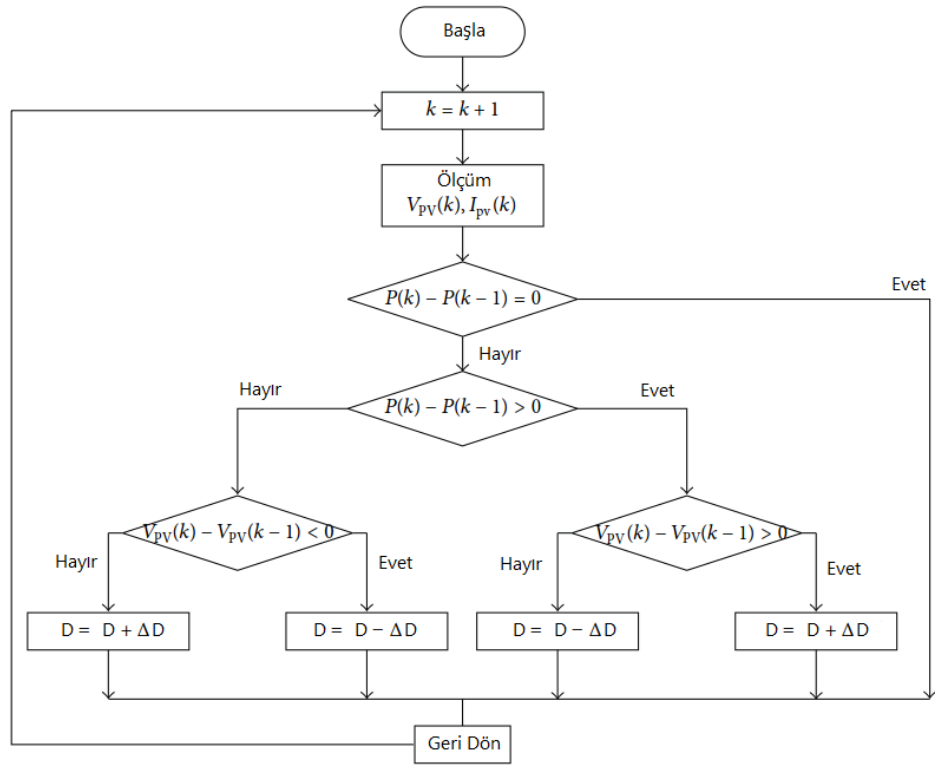


Şekil 4.14 : Yükselten Dönüştürücü MATLAB/Simulink Modeli Ve Bloğu.

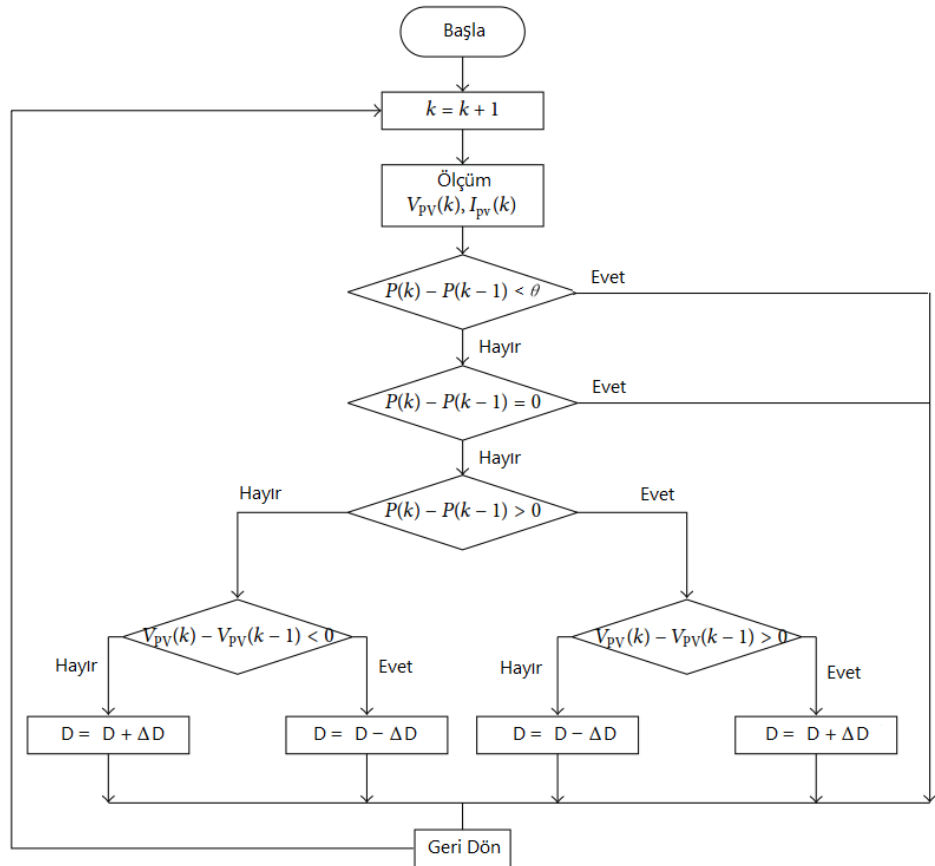
4.3.2.1 Yapısı

Oluşturulan sabit adımla değişen D&G yönteminin akış diyagramı Şekil 4.15'te verilmiştir.

Fakat bu akış diyagramı modele uygulanıp simülasyonu gerçekleştirildiğinde, dönüştürücünün çok küçük güç değişimlerinde de tepki vererek dönüştürücü güç çıkışında osilasyona sebep olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden Şekil 4.15'te verilen akış diyagramı, Şekil 4.16'da verildiği gibi tekrar düzenlendi.



Şekil 4.15 : D&G Yönteminin Akış Diyagramı.



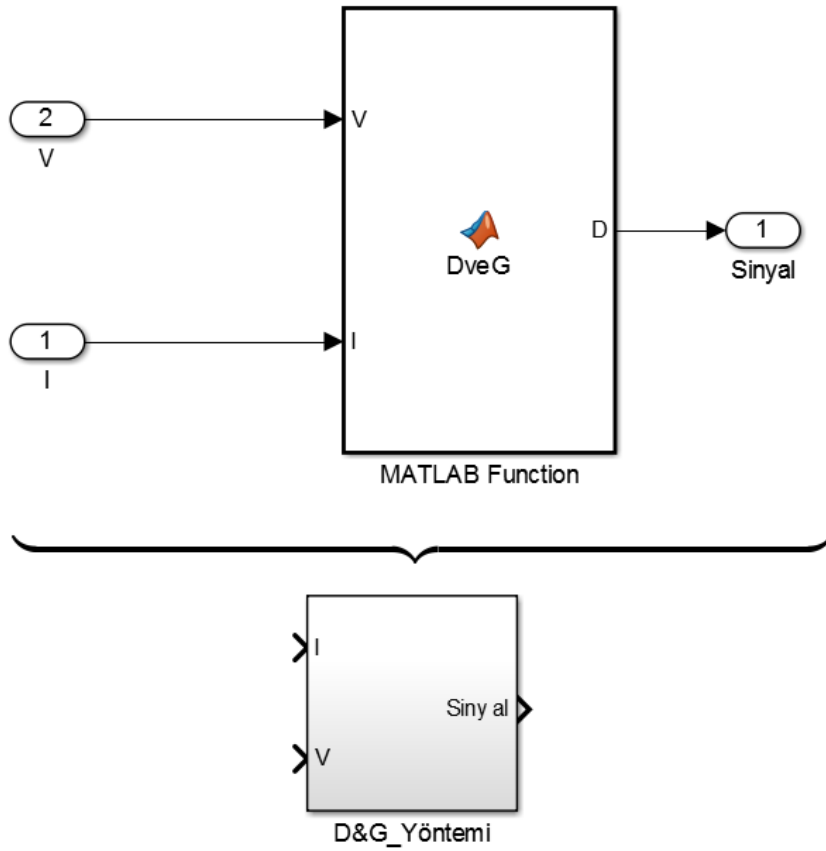
Şekil 4.16 : Yeniden Düzenlenmiş D&G Akış Diyagramı.

Bu akış diyagramında güç değişiminin kontrolünde bir sapma miktarı belirtilerek sistemin çok küçük güç değişimlerinde tepki vermemesi garanti altına alınmıştır.

Her iki akış diyagramının MATLAB kodları EKLER bölümünde verilmiştir.

4.3.2.2 Modellenmesi

Sabit adımla değişen D&G yönteminin MATLAB/Simulink modeli Şekil 4.17’de verilmiştir.



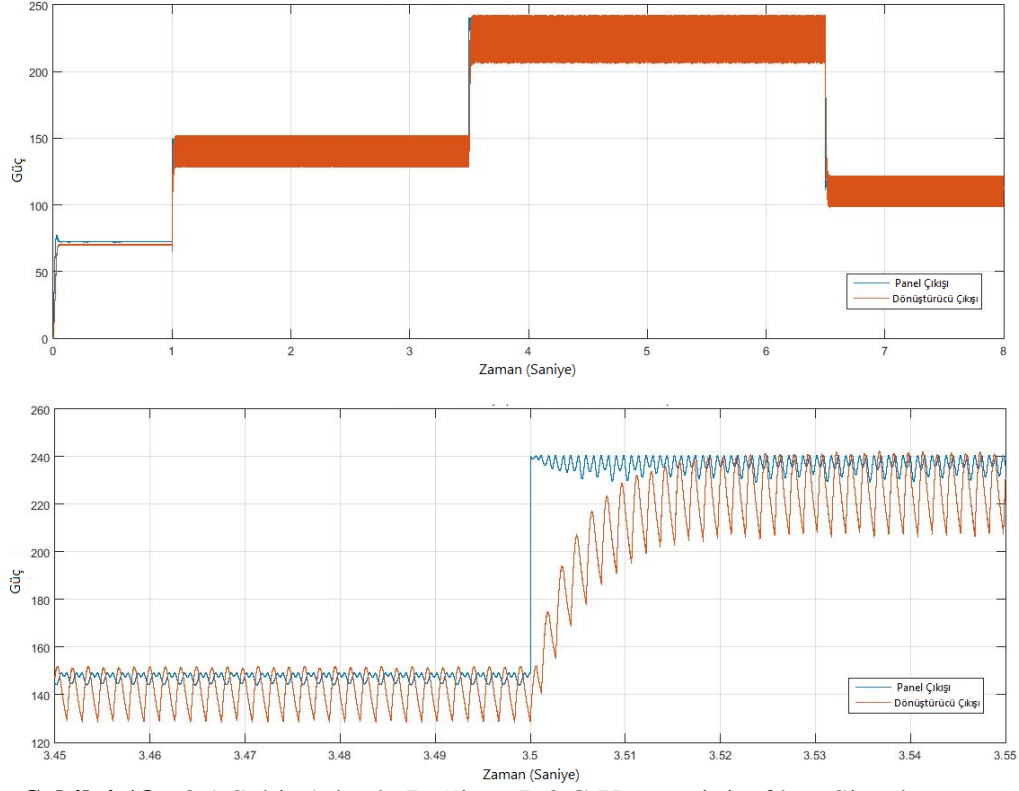
Şekil 4.17 : Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin Modellenmesi.

4.3.2.3 Simülasyon Sonucu

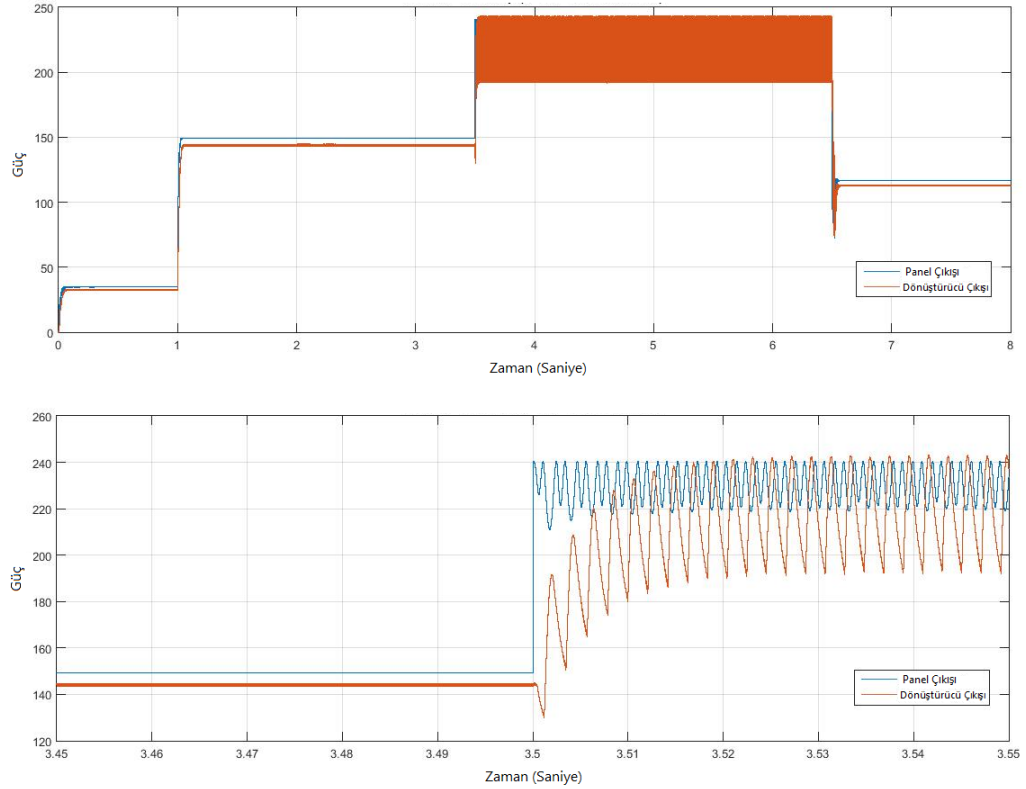
Şekil 4.12’da verilen radyasyon değeri ve sabit 25° sıcaklık altında sabit adımla değişen D&G yönetiminin simülasyonu yapılmıştır.

Simülasyon önce, adım miktarı 0.1 seçilerek sapma miktarı $\theta = 0.05$ yokken ve varken gerçekleştirildi. Sonuçlar Şekil 4.18 ve 4.19’da verilmiştir.

Bu sonuçlardan da görüleceği gibi sistem sapma miktarı θ yokken küçük güç değişikliklerinde de harekete geçerek dönüştürücü çıkışında salınımına sebep



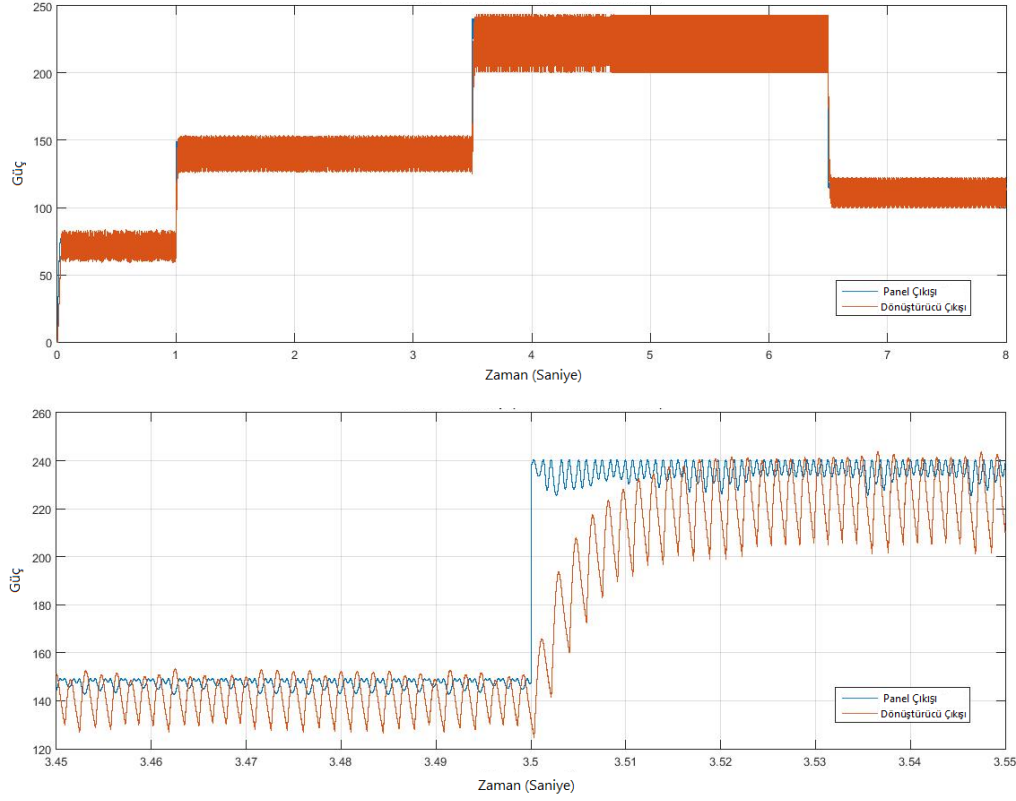
Şekil 4.18 : 0.1 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız Simülasyonu.



Şekil 4.19 : 0.1 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'lı Simülasyonu.

olmaktadır. Fakat sapma miktarı olduğu zaman sistem salınım yapmadan FV panel çıkışını takip etmektedir.

Bu simülasyondan sonra, adım miktarı 0.01 seçilerek sapma miktarı $\theta = 0.05$ yokken ve varken gerçekleştirildi. Sonuçlar Şekil 4.20 ve 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20 : 0.01 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız Simülasyonu.

Adım miktarının 0.1 olduğu zamandaki gibi sistem θ varken salınımsız çıkış vermiştir.

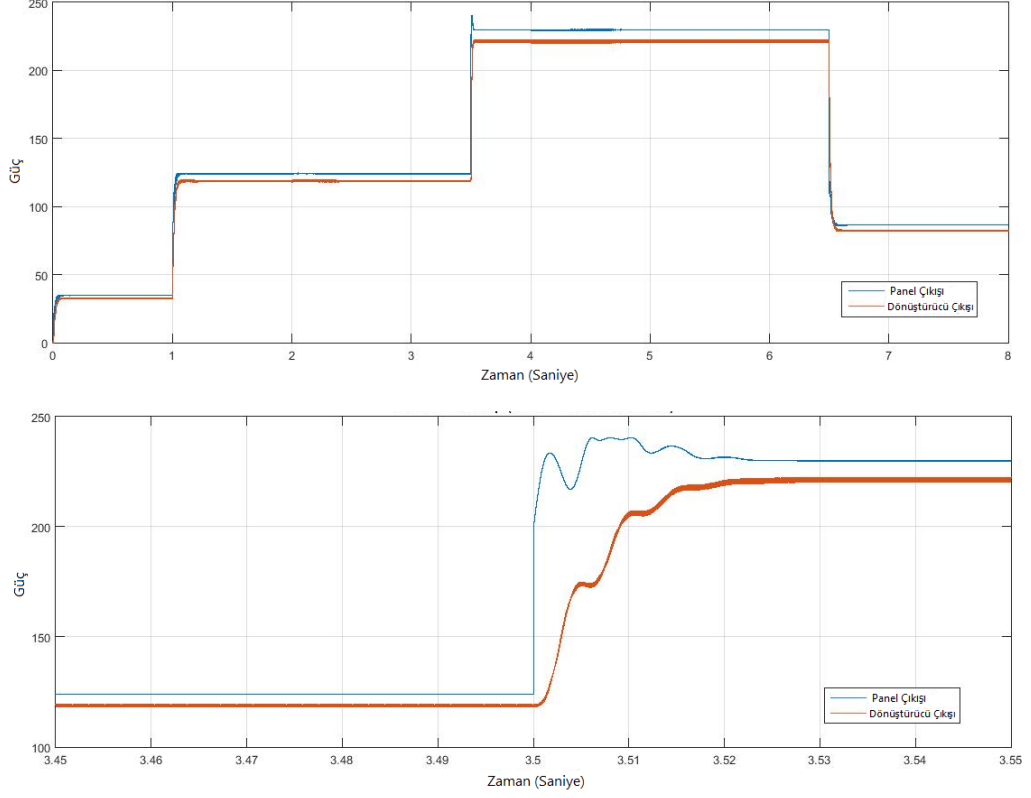
Adım miktarları karşılaştırıldığında ise, 0.1 adımla değişen sistem düşük radyasyon değerlerinde 0.01 adımla değişen sisteme göre daha iyi sonuç vermiştir. Fakat bunun dışında yüksek radyasyon değerlerinde sonuçlar hemen hemen aynı olmaktadır.

4.3.3 Değişken Adımla Değişen D&G Yöntemi

Değişken adımla değişen D&G yönteminin sabit adımla değişene göre avantajlarından bölüm 4.1.1’de bahsedildi. Bu bölümde ise kullanılan değişken adımla değişen D&G yönteminin yapısından bahsedilerek modellenmesi ve simülasyonu yapılacaktır.

4.3.3.1 Yapısı

Değişken adımla değişen D&G yönteminde adım miktarının hesaplanması eşitlik (4.7) ile yapılmaktadır.



Şekil 4.21 : 0.01 Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'lı Simülasyonu.

$$\lambda(K+1) = \varepsilon |\Delta P| / \lambda(K) \quad (4.7)$$

Bu eşitlikte $\lambda(K+1)(0 < \lambda(K) < 1)$ olmak üzere D görev döngüsü ayarlama parametresidir. $\Delta P = P(K) - P(K-1)$ olmak üzere güçteki değişim miktarı ve ε ise ölçekleme faktörüdür. Bu yöntemde de küçük güç değişimlerindeki osilasyonlardan kurtulmak için sapma miktarı θ tanımlanmıştır.

Bu yöntemin akış diyagramı Şekil 4.22'de verilmiştir.

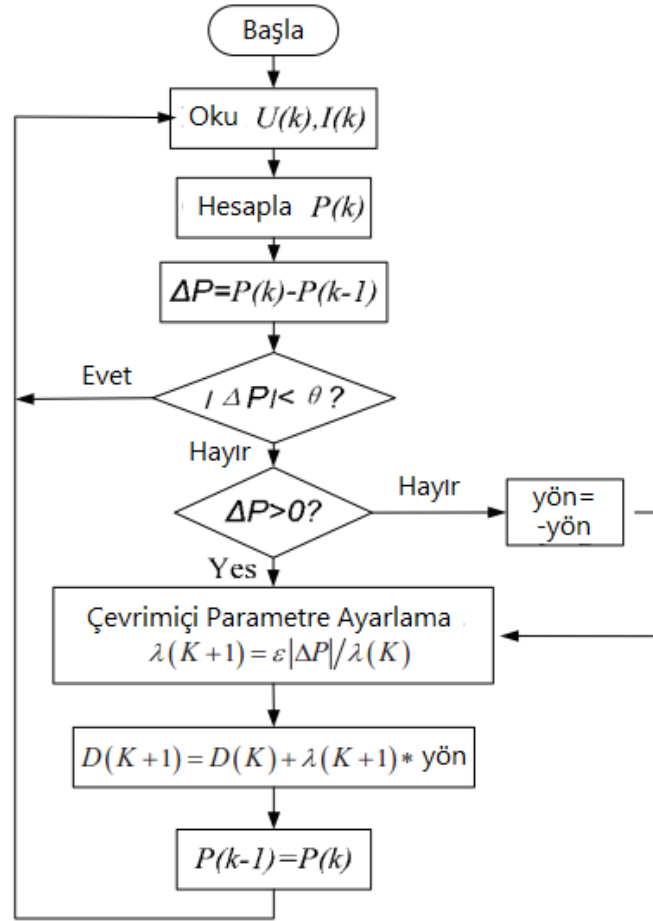
Bu yöntemin akış diyagramına ait MATLAB kodları EKLER bölümünde verilmiştir.

4.3.3.2 Modellenmesi

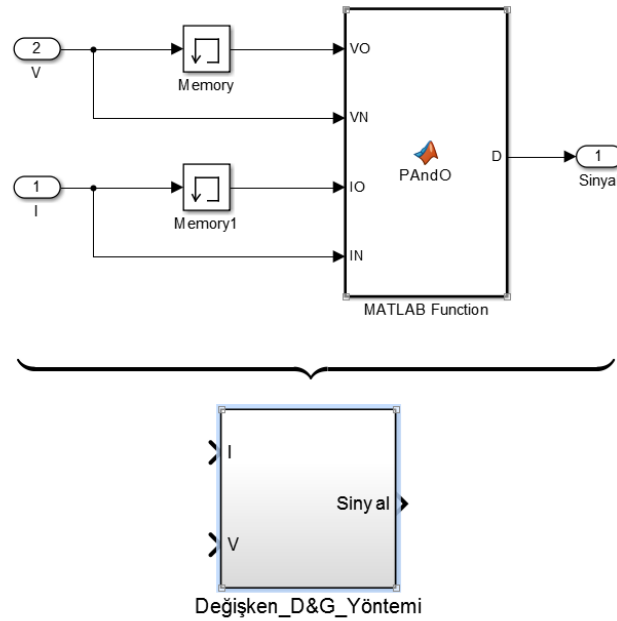
Değişken adımla değişen D&G yönteminin MATLAB/Simulink modeli Şekil 4.23'te verilmiştir.

4.3.3.3 Simülasyon Sonucu

Bu yöntemin simülasyonu önceki yöntemde olduğu gibi Şekil 4.12'da verilen radyasyon değeri ve sabit 25° sıcaklık altında yapılmıştır. Buna ek olarak, akış



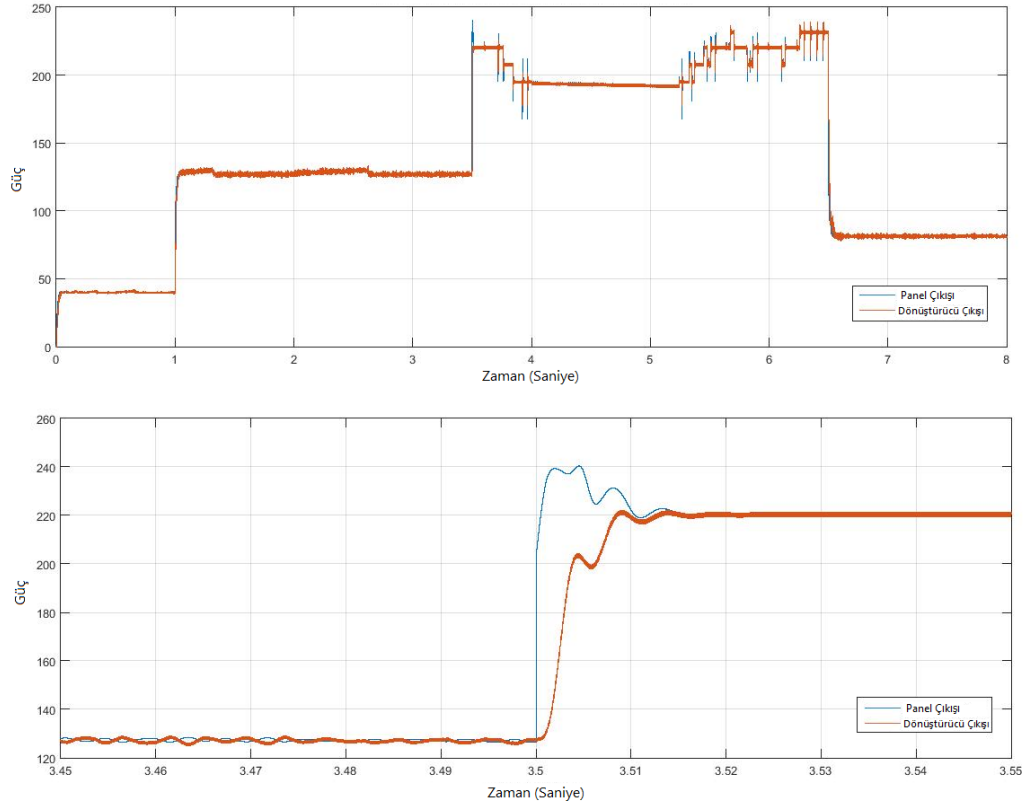
Şekil 4.22 : Değişken Adımla Değişken D&G Yöntemi Akış Diyagramı.



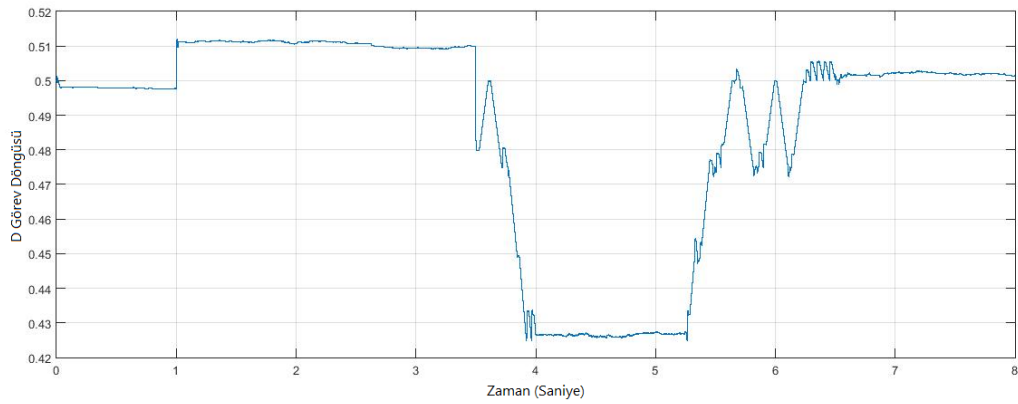
Şekil 4.23 : Değişken Adımla Değişken D&G Yönteminin Modellenmesi.

diyagramında verilen parametrelerin $\varepsilon = 1/1000$ ve $\varepsilon = 1/2500$; θ olmadan ve $\theta = 0.005$ değerleri için simülasyon yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır [43].

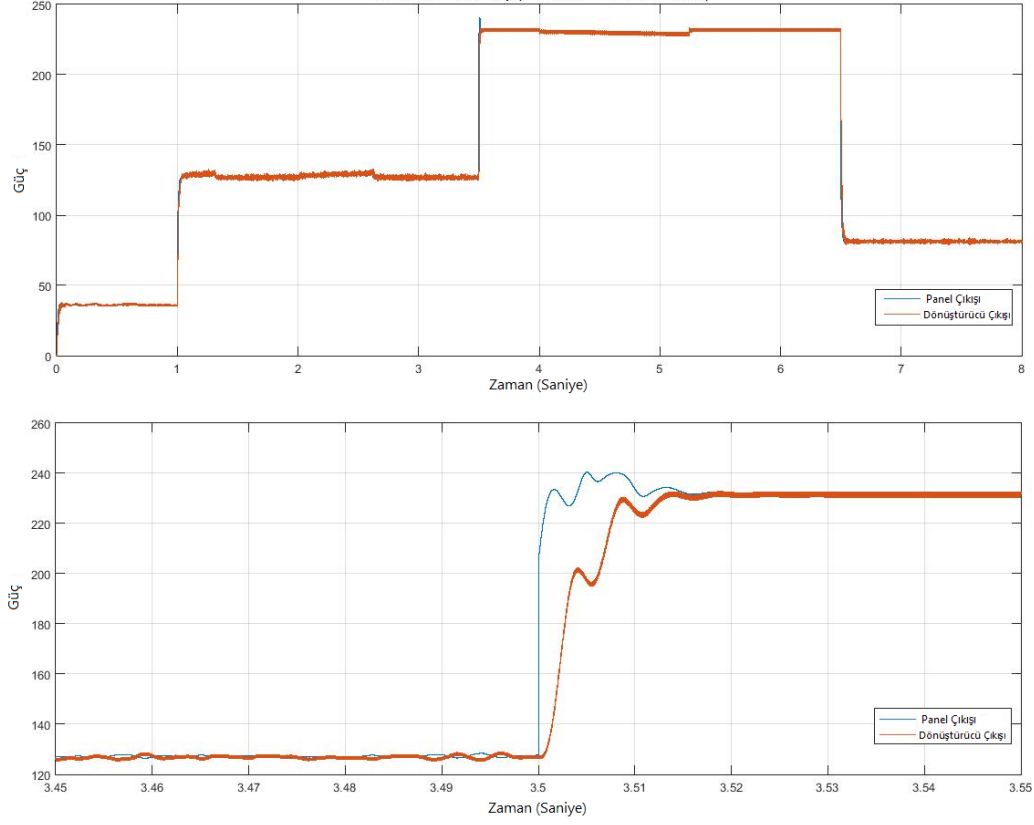
Simülasyon önce, adım miktarı $\varepsilon = 1/2500$ alınarak sapma miktarı $\theta = 0.05$ yokken ve varken gerçekleştirildi. Sonuçlar Şekil 4.24 ve 4.26’da verilmiştir. Bunların yanında D görev döngüsü değişimi de Şekil 4.25 ve 4.27’de gösterilmiştir



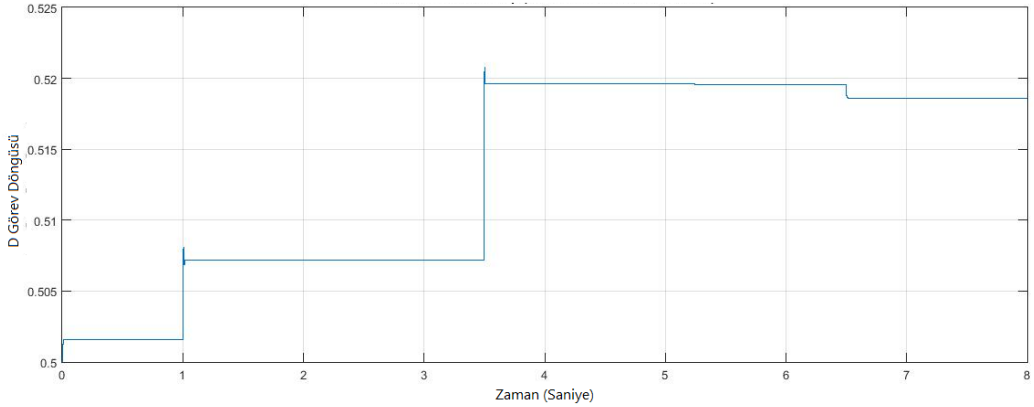
Şekil 4.24 : $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız Simülasyonu.



Şekil 4.25 : $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ 'sız D Görev Döngüsü.



Şekil 4.26 : $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken Simülasyonu.

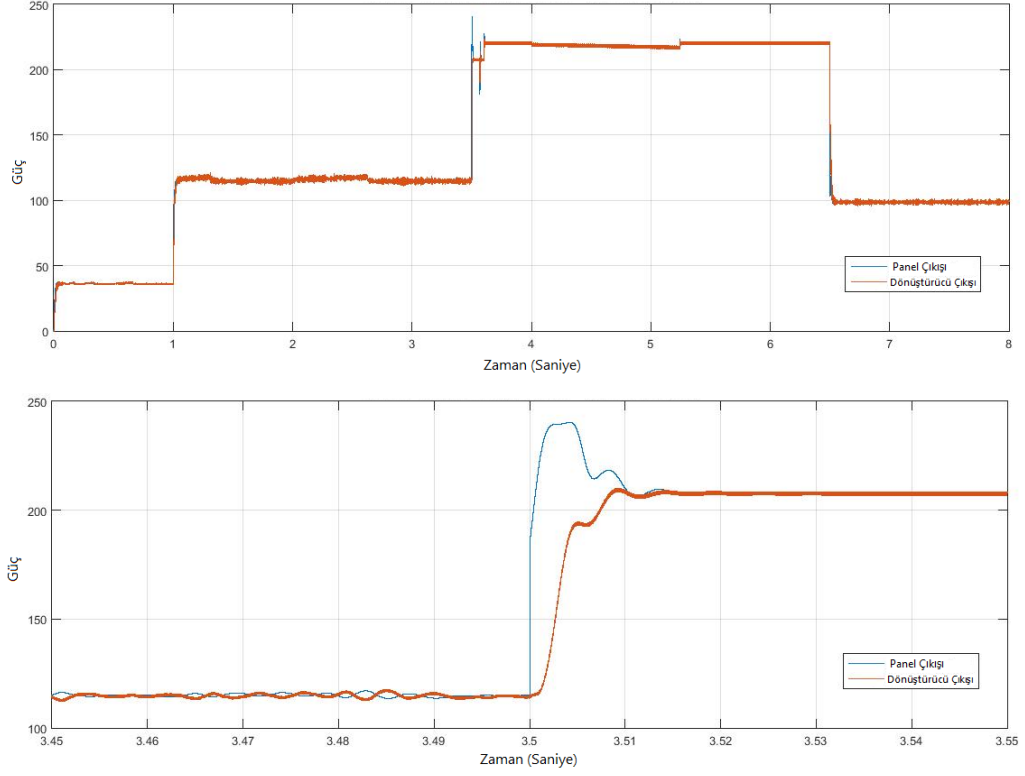


Şekil 4.27 : $\varepsilon = 1/2500$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken D Görev Döngüsü.

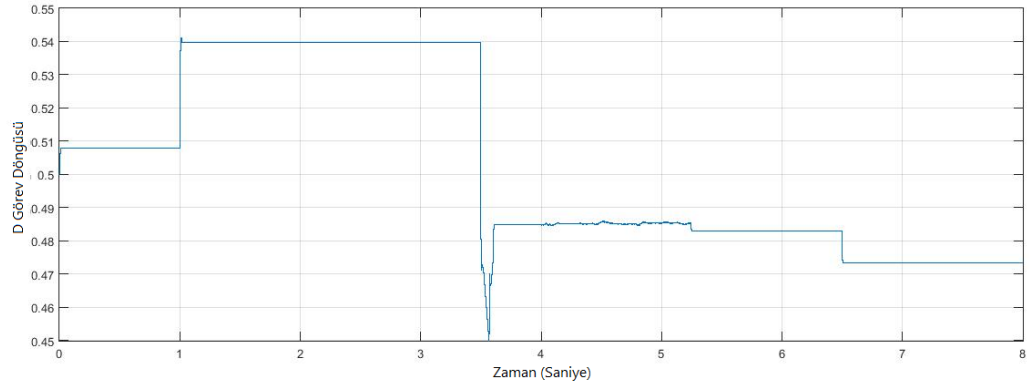
Bu sonuçlardan da görüleceği üzere θ olmadan sistem yüksek radyasyon değerlerinde istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır. Bu durum, D görev döngüsü sonuçlarından da görüleceği üzere sistemin küçük güç değişimlerinde kontrol işaretinde meydana getirdiği osilasyonlardan kaynaklanmaktadır.

ε değeri küçültülerek $\varepsilon = 1/1000$ değeri için tekrar edilen ve Şekil 4.28 ve 4.29’da verilen simülasyon sonuçlarından da görülmektedir ki, ε küçüldükçe yüksek radyasyon

değerlerinde dönüştürücü çıkışında güç değerinde düşüş söz konusu olmaktadır. θ sapma değeri olmasına rağmen sistem radyasyonun ani değiştiği durumlarda kararlı bir çıkış verememektedir.



Şekil 4.28 : $\varepsilon = 1/1000$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken Simülasyonu.



Şekil 4.29 : $\varepsilon = 1/1000$ Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin θ Varken D Görev Döngüsü.

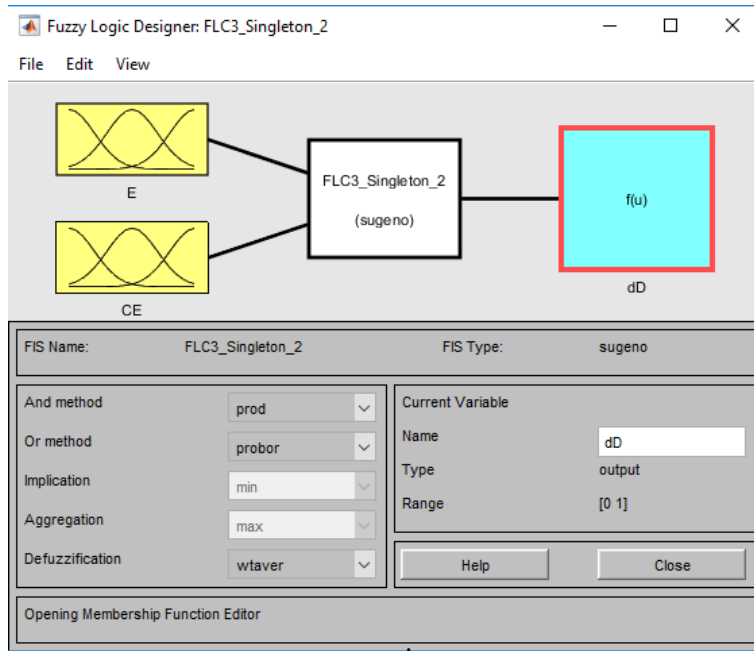
4.3.4 Bulanık Mantık Kontrol Yöntemi

Bulanık mantık kullanılarak tasarlanan MPPT yöntemlerine ilişkin bilgi bölüm 4.1.5’te verildi.

Bu bilgilere ek olarak bu bölümde, tasarlanan bulanık mantık MPPT kontrolörün yapısı, MATLAB/Simulink modellemesi ve farklı üyelik fonksiyonlarıyla gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına yer verilecektir.

4.3.4.1 Yapısı

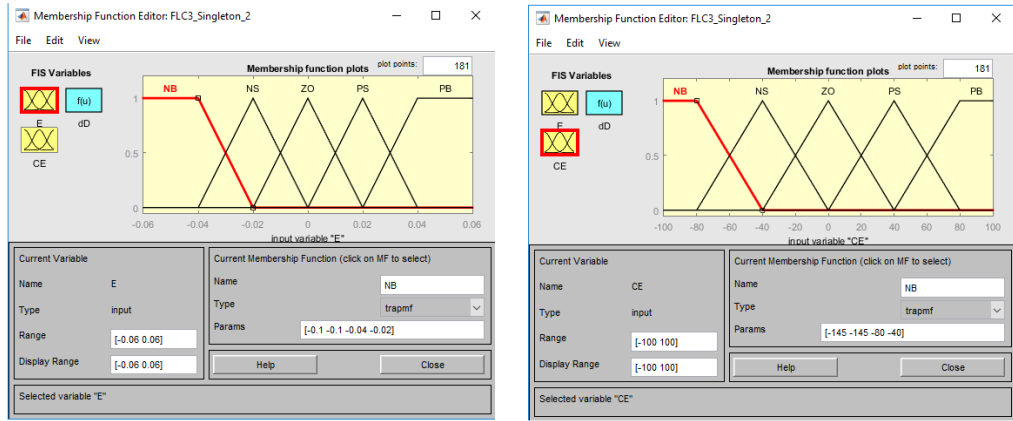
Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen bulanık mantık MPPT kontrolör Takagi-Sugeno kural yapısında tasarlanmıştır. Kontrolörün genel yapısı Şekil 4.30’da görülmektedir. Burada bulanık kontrolör girişleri hata ve hatanın tanımları eşitlik (4.4) ve 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.30 : Tagaki-Sugeno Kural Yapısı İle Oluşturulan Bulanık Mantık MPPT Kontrolör.

Kontrolörün giriş üyelik fonksiyonları ise Şekil 4.31’de gösterildiği gibi oluşturulmuştur [44].

Kontrolörün çıkış üyelik fonksiyonu ise Çizelge 4.5’te verilen değerler ile iki farklı şekilde oluşturulmuş ve simülasyon sonucunda hangi çıkış üyelik fonksiyonun daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.31 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün Giriş Üyelik Fonksiyonları.

Çizelge 4.5 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün Çıkış Üyelik Fonksiyon Değerleri.

Parametre	1. Çıkış Üy. Fonk.	2. Çıkış Üy. Fonk.
NB	-0.06	-0.02
NS	-0.03	-0.01
ZE	0	0
PS	0.03	0.01
PB	0.06	0.02

Bunun yanında bulanık mantık MPPT kontrolörün bulanık kural tablosu Şekil 4.32’de verildiği gibi oluşturulmuştur.

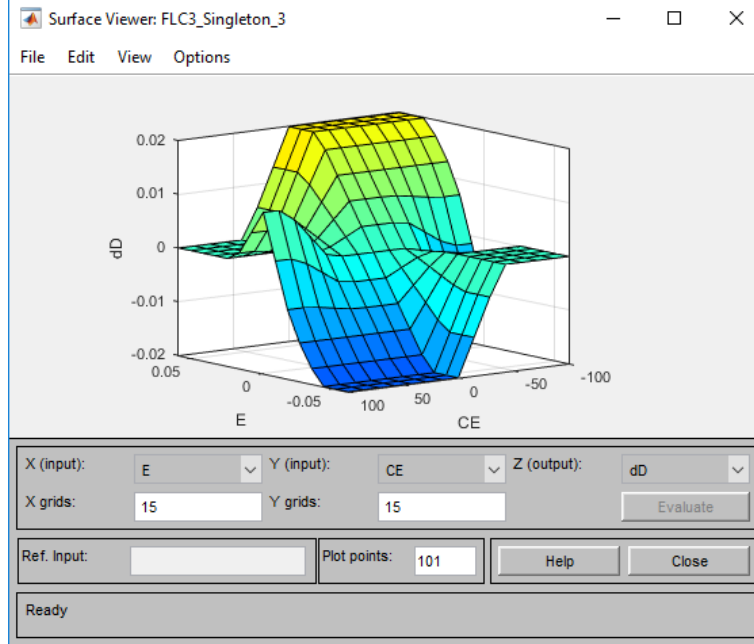
E	CE				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE

Şekil 4.32 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolör Kurallar Tablosu.

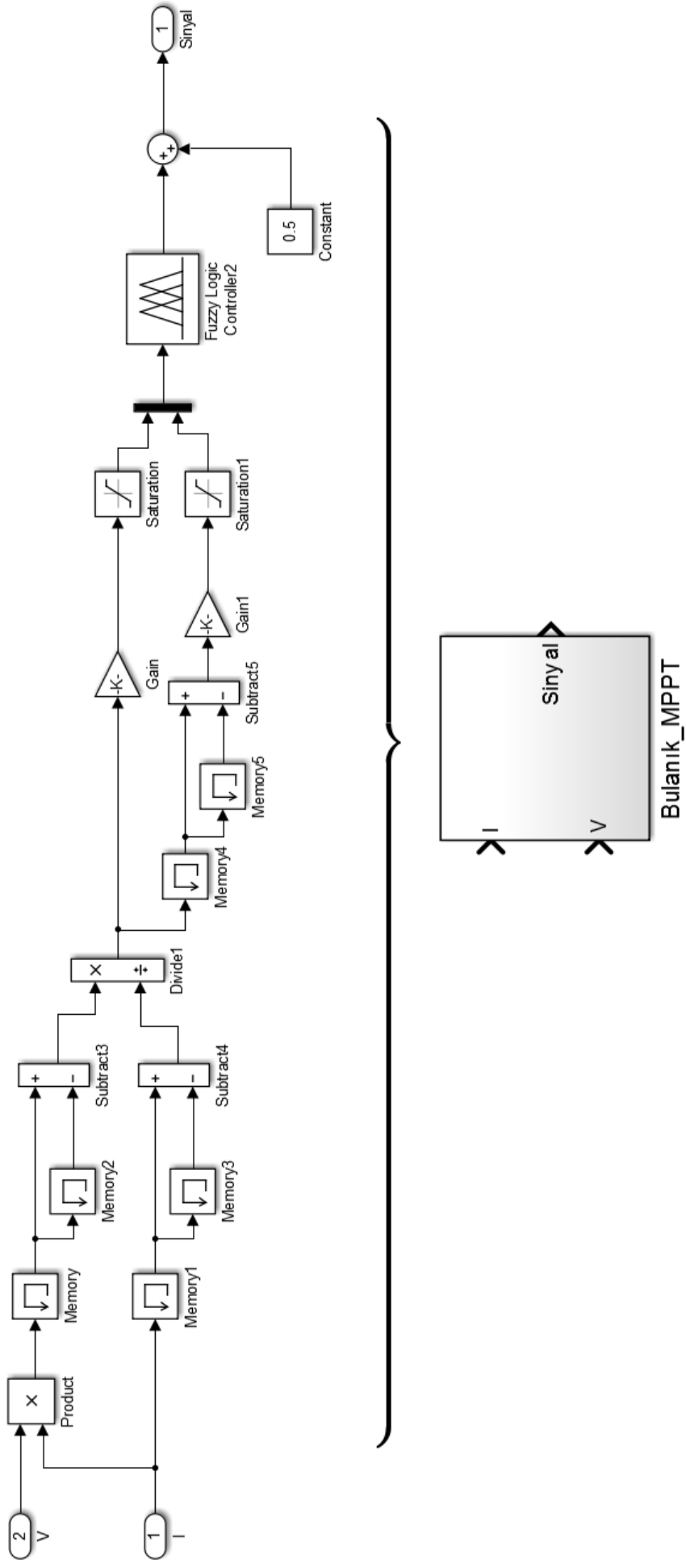
Şekil 4.32’de verilen kural tablosuna uygun olarak kural yüzeyi ise Şekil 4.33’teki gibi elde edildi.

4.3.4.2 Modellenmesi

Bir önceki bölümde yapısı anlatılan bulanık mantık MPPT kontrolörün eşitlik (4.4) ve 4.5’te verilen girişlerine uygun olarak MATLAB/Simulink modeli Şekil 4.34’te verildiği gibi oluşturulmuştur.



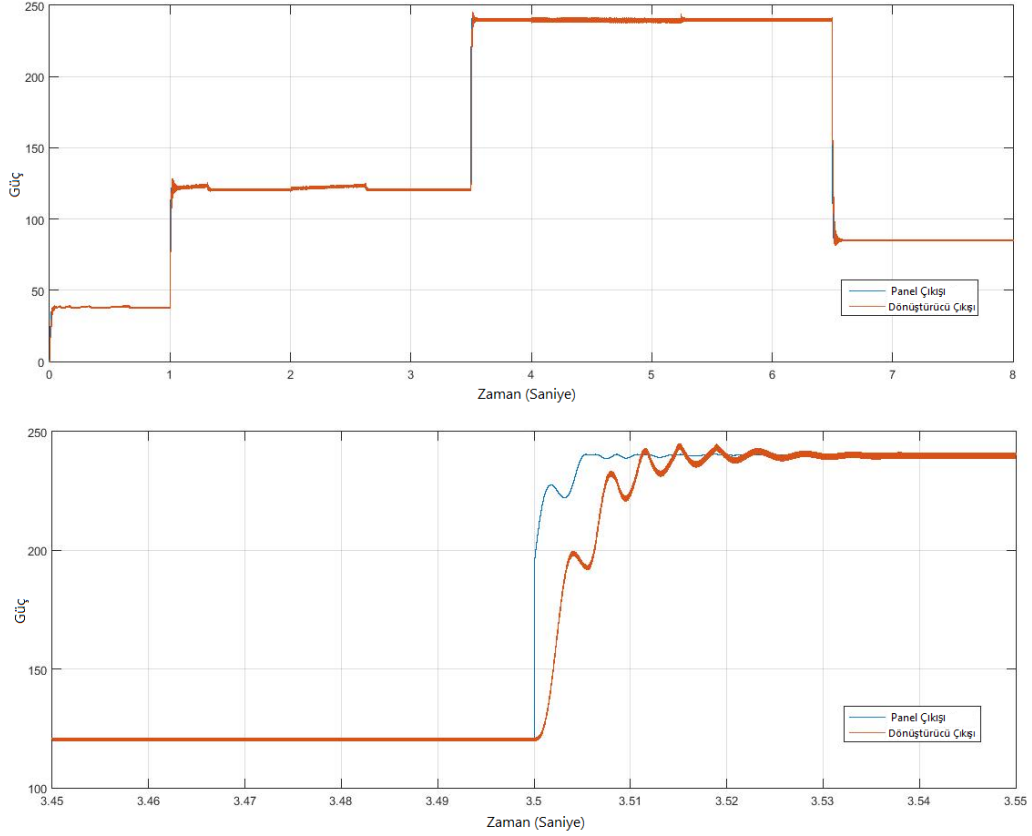
Şekil 4.33 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolör Kural Yüzeyi.



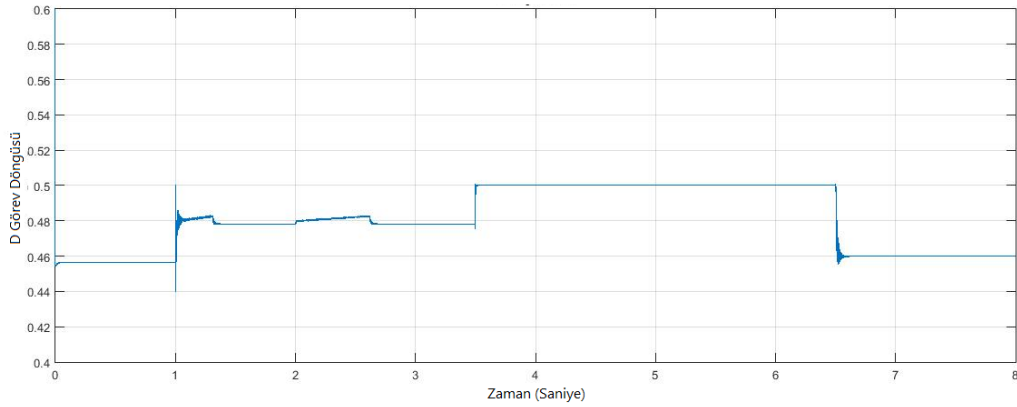
Şekil 4.34 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolör MATLAB/Simulink Modeli.

4.3.4.3 Simülasyon Sonucu

Bulanık mantık MPPT kontrolörün simülasyonu, öncelikle Çizelge 4.5'te verilen 1. Çıkış Üyelik Fonksiyonu değerleri ile oluşturulmuş çıkış üyelik fonksiyonu ile yapıldı. Sonuçlar Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da verilmiştir

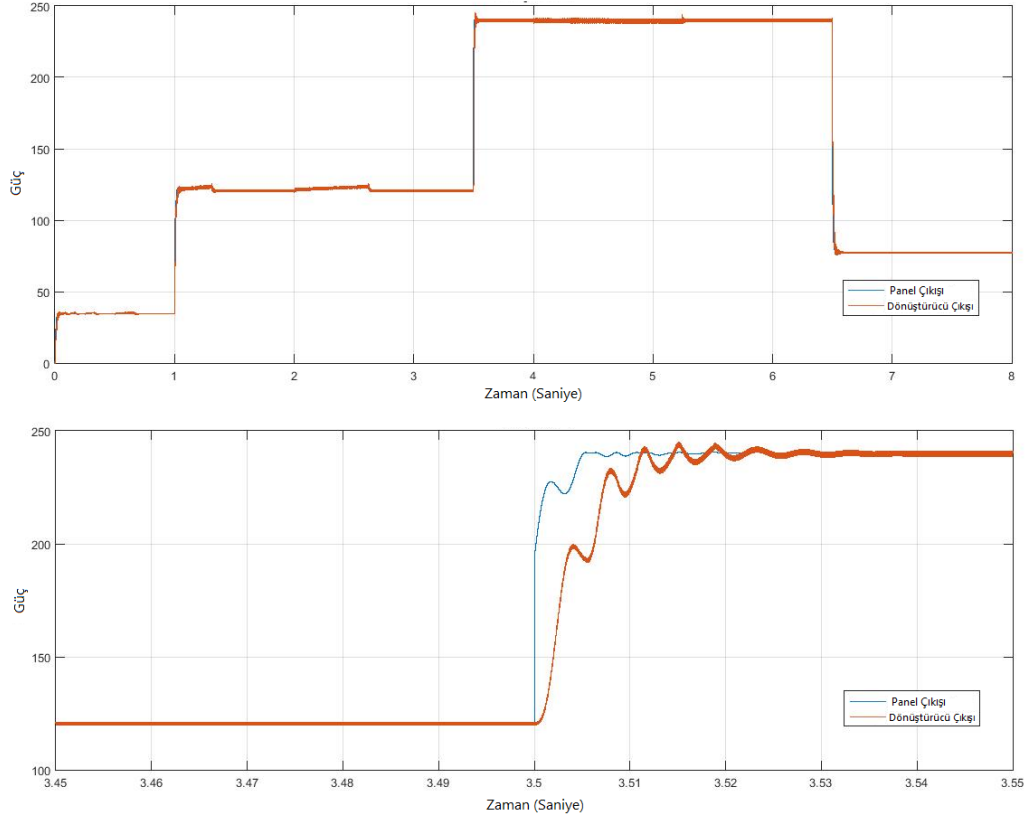


Şekil 4.35 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 1. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Gerçekleştirilmiş Simülasyonu.

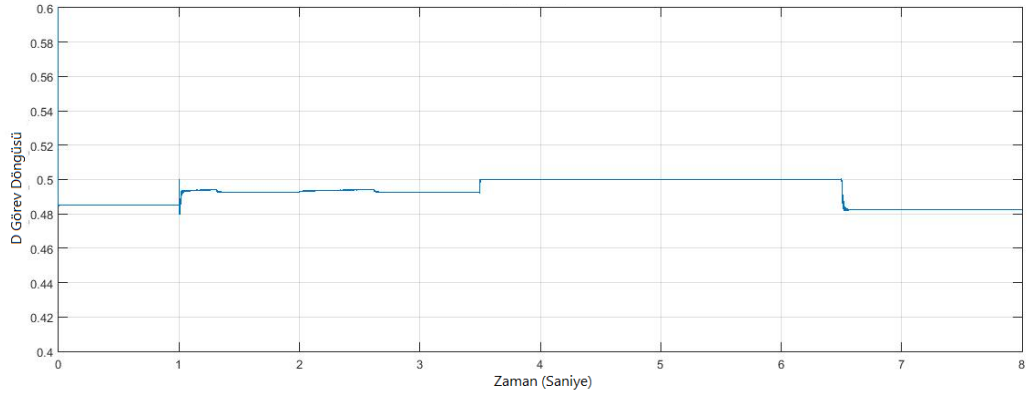


Şekil 4.36 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 1. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Elde Edilen D Görev Döngüsü.

Çizelge 4.5’te verilen 2. Çıkış Üyelik Fonksiyonu değerleri ile oluşturulan çıkış üyelik fonksiyonu elde edilen sonuçlar Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de verilmiştir.



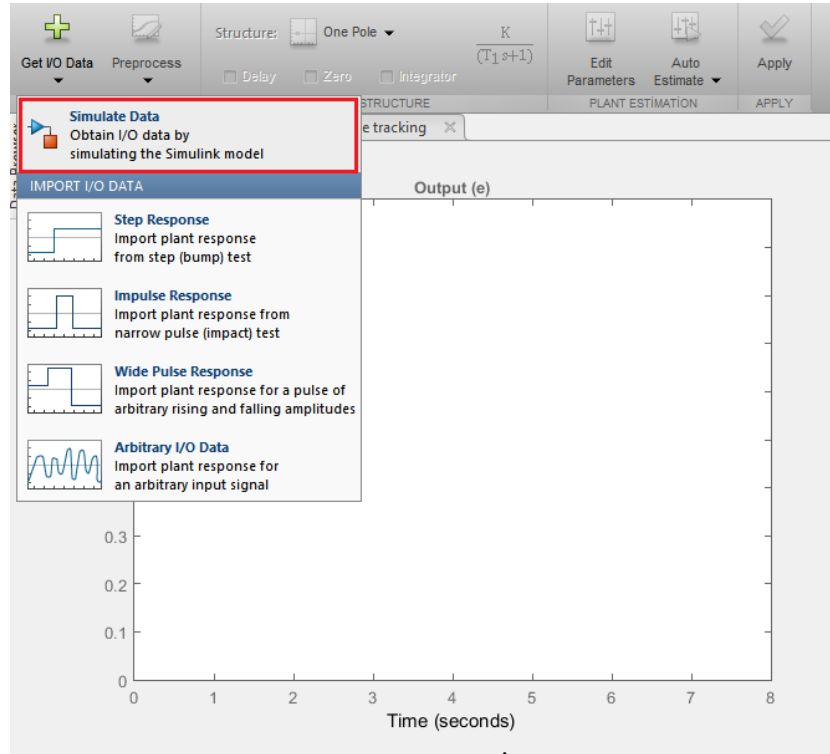
Şekil 4.37 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 2. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Gerçekleştirilmiş Simülasyonu.



Şekil 4.38 : Bulanık Mantık MPPT Kontrolörün 2. Çıkış Üyelik Fonksiyonu İle Elde Edilen D Görev Döngüsü.

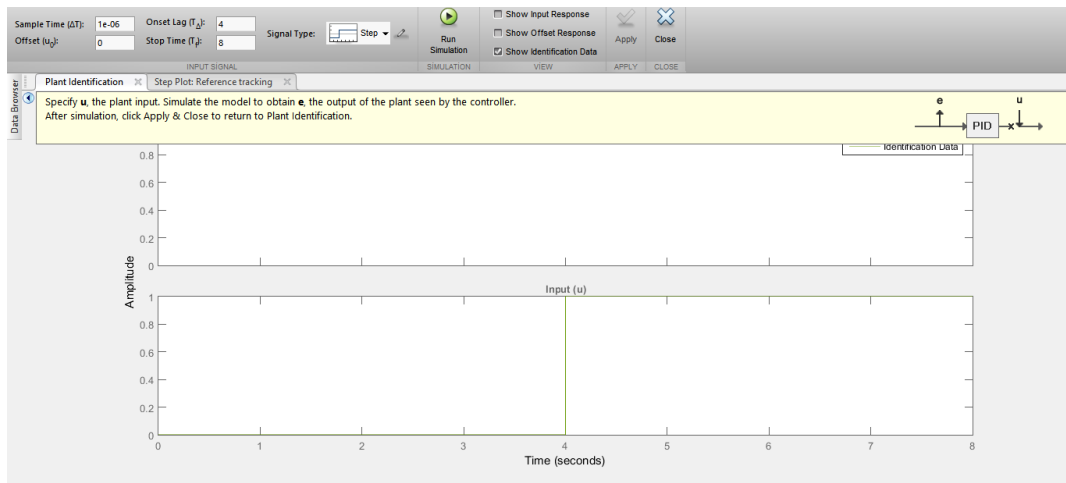
Elde edilen sonuçları incelediğimizde, çıkış üyelik fonksiyonundaki değişimin güç takibinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Fakat Şekil 4.36 ve Şekil 4.38 incelendiğinde, çıkış üyelik fonksiyonunda yapılan değişikliğin radyasyonun ani değiştiği durumlarda kontrol işaretindeki ani değişimi azalttığı görülmektedir.

gibi yeni bir model tanımlaması yapıldı. Fakat bölüm 3.4.2.2 anlatılan yöntemden farklı olarak sistemle ilgili örnekler, Şekil 4.40'de gösterilen sistem simülasyon seçeneği kullanılarak oluşturuldu.



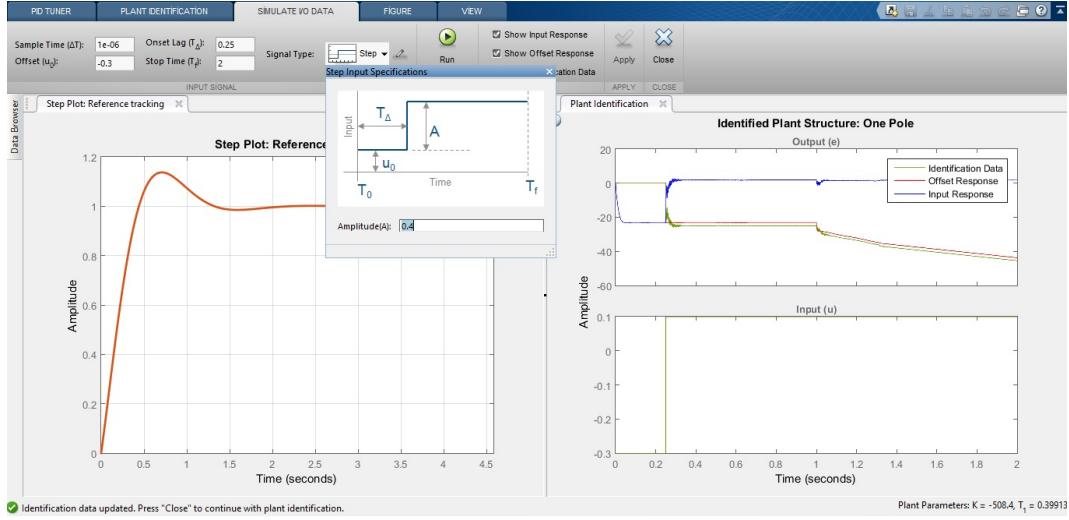
Şekil 4.40 : PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle Sistem Tanımlama Yapılması.

Sonrasında Şekil 4.41'te gösterilen parametrelerle sistem simülasyonu yapılarak sistem modeli oluşturmak için veri toplandı. Toplanan veriler Şekil 4.42'da gösterilmiştir.



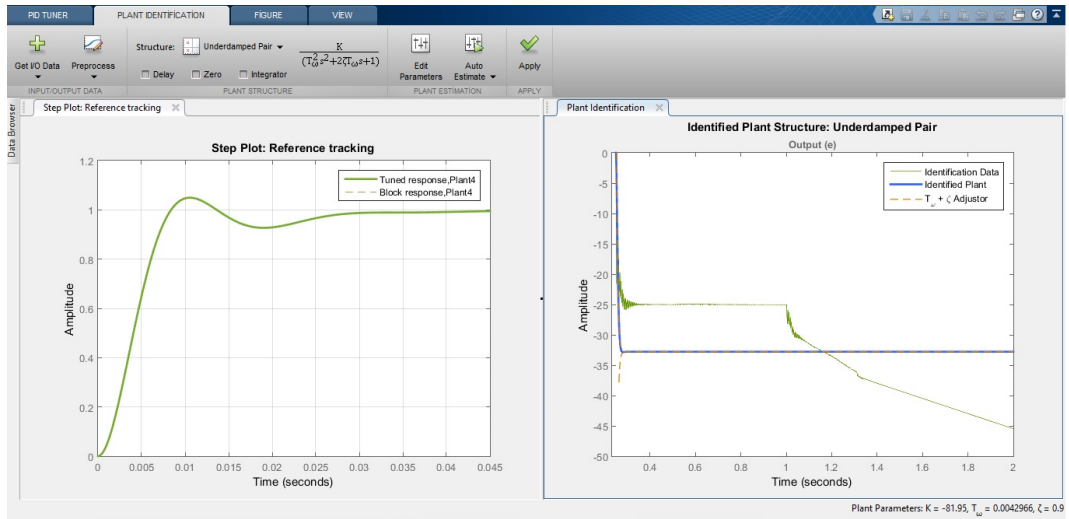
Şekil 4.41 : PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle Sistem Simülasyonunun Yapılması.

Elde edilen verilere uygun olarak yine bölüm 3.4.2.2 kısmında anlatıldığı gibi model yapısı belirlenerek model parametrelerinin otomatik olarak ayarlaması yapıldı.



Şekil 4.42 : PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle Toplanan Verilerin Gösterimi.

Sonrasında elde edilen veriler Şekil 4.43'teki gibi PID Tune bloğuna aktarılarak istenilen kriterlere uygun PI kontrolör tasarımı yapıldı.

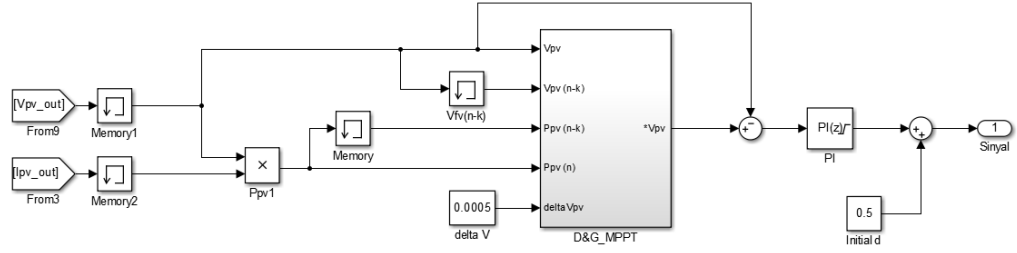


Şekil 4.43 : PID Tune-Sistem Tanıma Aracı İle PI Kontrolör Parametrelerinin Ayarlanması.

Bu aşamadan sonra sistem parametreleri $K_p = -0.0232539067385487$ ve $K_i = -2.49175063694051$ olarak belirlendi ve kontrolör tasarımı tamamlandı.

4.3.5.2 Modellenmesi

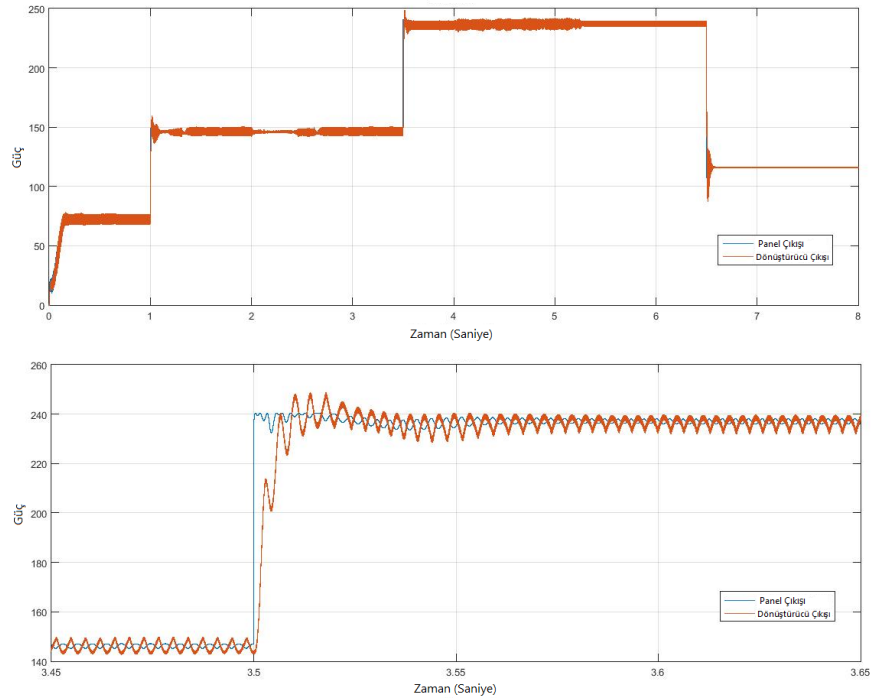
Sabit adımla değişen D&G + PI yönteminin önceki bölümde verilen yapısına uygun olarak oluşturulan MATLAB/Simulink modeli Şekil 4.44'ta görülmektedir.



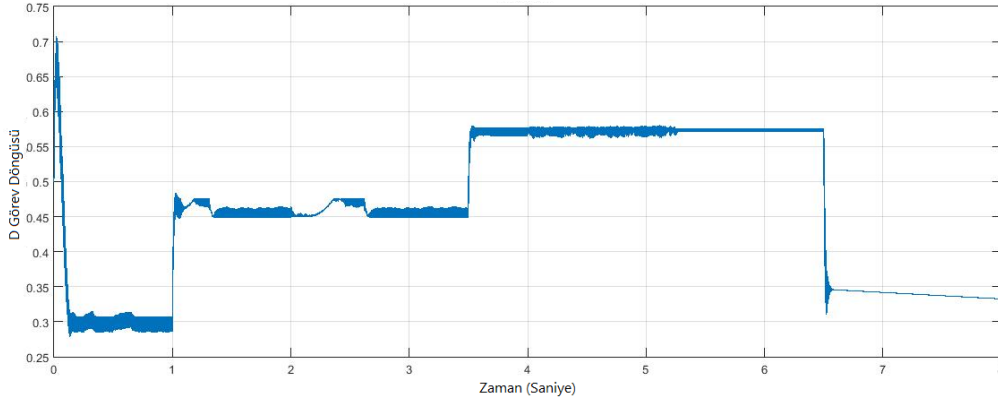
Şekil 4.44 : Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yapısı MATLAB/Simulink Modeli.

4.3.5.3 Simülasyon Sonucu

Sistemin tasarlanan PI parametreleri ve sabit 0.0005 adımla değişen D&G yöntemi ile simülasyonu gerçekleştirildi. Bu simülasyon sonucunda elde edilen FV panel ve yükselten dönüştürücü gücünü karşılaştıran grafik Şekil 4.45'te görülmektedir. Yine aynı şekilde bu simülasyon sonucunda ortaya çıkan kontrol işareti de Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



Şekil 4.45 : Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yapısı Simülasyon Sonucu.



Şekil 4.46 : Sabit Adımla Değişen D&G + PI Kontrol Yapısı İle Elde Edilen D Görev Döngüsü.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında sistemin ani radyasyon değişimlerinde osilasyon yaptığı görülmektedir. Ayrıca sistem yüksek radyasyon değerlerinde sürekli haldeyken salınım yapmaktadır.

Ayrıca Şekil 4.46’de görüldüğü gibi kontrol işaretinde farklı radyasyon değerlerinde değişen bir salınım söz konusudur. Kontrol işaretinde böyle bir salınım, yarıiletken anahtarlama elemanı açısından olumsuzluk teşkil etmektedir.

4.4 Sonuç

Bu bölümde dört farklı MPPT yönteminin yapıları ve modellemeleri ayrıntılı olarak verildi. Tasarım yöntemleri anlatılarak modellemede hangi aşamaların kaydedildiği belirtildi.

Bunun yanında en yaygın kullanılan beş farklı MPPT yönteminin avantajları ve dezavantajları verilerek yapılacak tasarıma uygun yöntemin belirlenmesi gerektiği belirtildi.

Her bir yöntemin simülasyon kısımlarında ise Şekil 4.10’te gösterilen radyasyon değeri, sabit 25° sıcaklık altında ve aynı yük değeri için yöntemlerin simülasyonları gerçekleştirildi.

Bu simülasyonlar sonucunda en iyi sonuç veren iki yöntemin Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de gösterilen sonuçları veren değişken adımla değişen D&G yönteminin ($\epsilon = 1/2500$ ve $\theta = 0.05$ ile) ve Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de gösterilen sonuçları veren bulanık kontrol MPPT yöntemi (Çizelge 4.5’teki 2. çıkış üyelik fonksiyonu kullanan) olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada öncelikle bir FV hücrenin temel yapısı ele alınarak temel matematiksel ifadeler üzerinden öncelikle bir FV hücrenin, sonrasında da bu hücrelerden meydana gelen bir gerçek FV panelin benzetimi MATLAB/Simulink ortamında başarıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçları ile modeli oluşturulan KC200GT FV panel veri sayfasında verilen değerler karşılaştırıldığında, panelin $I - V$ ve $P - V$ eğrilerinin birbirinin aynısı olduğu görülmektedir. Bu sonuçla FV panel modelinin başarı ile oluşturulduğu söylenebilir.

Sonrasında aynı FV panel modelinin farklı sıcaklık ve farklı radyasyon değerleri altında benzetimi yapılmış ve bu değerlerinde veri sayfasındaki değerlerle aynı olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların başarılı olması sonraki adımlarda tasarımı yapılan güneşi takip eden sistemin ve farklı MPPT modellerinin başarılı bir şekilde tasarlanmasında önemli rol oynamıştır.

Üçüncü bölümde tasarımı yapılan güneşi takip eden FV sistemin sabit FV sisteme göre kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre güneşi takip eden sistem güneş açısını tek eksenle başarılı bir şekilde takip etmektedir. Böylelikle güneşten elde edilebilecek maksimum radyasyon değeri alınarak FV panelin maksimum enerji üretmesi sağlanacaktır.

Güneşi takip eden sistemin benzetim sonuçları ile farklı sabit açılı sistemlerin benzetim sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3.33'te verilmiştir. Bu grafikten de görüleceği üzere en fazla radyasyon değeri güneşi takip eden sistemle elde edilmektedir. 90° ile yerleştirilen sabit sistem ile elde edilen radyasyon değerleri güneşi takip eden sistemle yaklaşık sonuç verse de büyük güçte kurulacak FV sistemlerde aradaki küçük farkların büyük enerji ortaya çıkaracağı göz önünde bulundurulduğunda aradaki farkın ne derece önemli olacağı anlaşılabacaktır.

Son olarak tasarımı yapılan 4 farklı MPPT yönteminin MATLAB/Simulink ortamında Şekil 4.10'da verilen radyasyon değeri için benzetimi yapılmıştır. Bu MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelgeden ve elde edilen benzetim sonuçlarından da görüleceği gibi en iyi sonuç veren iki yöntemin Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de gösterilen sonuçları veren değişken adımla değişen D&G yönteminin($\epsilon = 1/2500$ ve $\theta = 0.05$ ile) ve Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de gösterilen sonuçları veren bulanık kontrol MPPT yöntemi(Çizelge 4.5'teki 2. çıkış üyelik fonksiyonu kullanan) olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1 : MPPT Yöntemlerinin Karşılaştırılması.

Yöntem	Yerleşme Zamanı(sn)	Salınım	Ani Radyasyon Değişimine Tepkisi
0.1 Sabit Adımlı D&G (θ 'sız)	0.020	Fazla	İyi
0.1 Sabit Adımlı D&G (θ 'lı)	0.017	Az	Kötü
0.01 Sabit Adımlı D&G (θ 'sız)	0.025	Fazla	İyi
0.01 Sabit Adımlı D&G (θ 'lı)	0.027	Az	Kötü
Değişken Adımlı D&G ($\varepsilon = 1/2500, \theta$ 'sız)	0.017	Az	Kötü
Değişken Adımlı D&G ($\varepsilon = 1/2500, \theta$ 'lı)	0.015	Az	İyi
Değişken Adımlı D&G ($\varepsilon = 1/1000, \theta$ 'lı)	0.015	Az	Kötü
Bulanık Kontrol (1. Çıkış Üyelik Fonksiyonu)	0.018	Az	İyi
Bulanık Kontrol (2. Çıkış Üyelik Fonksiyonu)	0.017	Az	İyi
Sabit Adımlı D&G + PI	0.025	Orta	Kötü

KAYNAKLAR

- [1] **Lalouni, S., Rekioua, D., Rekioua, T. ve Matagne, E.** (2009). Fuzzy logic control of stand-alone photovoltaic system with battery storage, *Journal of Power Sources*, 193(2), 899–907.
- [2] **Varınca, K.B. ve Gönüllü, M.T.** (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *1. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, s.270–275.
- [3] Güneş Enerjisi Ve Teknolojileri, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g{_}enj{_}tekno.aspx.
- [4] **Byrne, John;Kurdgelashvili, L.** (2013). WORLD SOLAR ENERGY REVIEW: TECHNOLOGY, MARKETS AND POLICIES, **Teknik Rapor 9**, arXiv:1011.1669v3.
- [5] **Trieb, F., Schillings, C., Sullivan, M.O., Pregger, T. ve Hoyer-klick, C.** (2009). Global Potential of Concentrating Solar Power, *SolarPaces Conference Berlin*, September, s.1–11.
- [6] (2016), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
- [7] **Kanunu, Y.E.** (2008). Yenilenebilir Enerji Teşvikleri, **Teknik Rapor**.
- [8] **et all Rogério dos Santos Alves; Alex Soares de Souza** (2014). Photovoltaic Power Systems Program - Annual Report, **Teknik Rapor 1**, arXiv: 1011.1669v3.
- [9] **IEA** (2015). Snapshot of Global PV Markets 2014, 1–16, http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/PVPS{_}report{_}-{_}A{_}Snapshot{_}of{_}Global{_}PV{_}-{_}1992-2014.pdf.
- [10] **Pukhrem, S.** (2013). a Photovoltaic Panel Model in Matlab / Simulink, (October), 20–23.
- [11] **Rauschenbach, H.** (1976). *Solar cell array design handbook*, 1980, cilt I, <http://scholar.google.com/scholar?hl=en{\&}btnG=Search{\&}q=intitle:SOLAR+CELL+ARRAY+design+handbook{\#}1>.
- [12] **Villalva, M.G., Gazoli, J.R. ve Filho, E.R.** (2009). Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, 24(5), 1198–1208.

- [13] **Rahman, S.A., Vanderheide, T. ve Varma, R.K.** (2014). Generalised model of a photovoltaic panel, *IET Renewable Power Generation*, 8(3), 217–229, <http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-rpg.2013.0094>.
- [14] **Ding, K., Bian, X., Liu, H. ve Peng, T.** (2012). A MATLAB-simulink-based PV module model and its application under conditions of nonuniform irradiance, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 27(4), 864–872.
- [15] **Sera D Teodorescu R, R.P.** (2007). PV panel model based on datasheets values, *IEEE Transactions on Power Electronics*, (4), 2392–2396.
- [16] **Guo, L.N.I.U., Han, J.N.I.U. ve Otieno, A.W.A.P.** (2013). Design and Simulation of a Sun Tracking Solar Power System, *120th Annual Conference & Exposition*.
- [17] **Seme, S., Štumberger, G. ve Voršič, J.** (2011). Maximum efficiency trajectories of a two-axis sun tracking system determined considering tracking system consumption, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1280–1290.
- [18] **Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K. ve Sharifi, A.** (2009). A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1800–1818.
- [19] **Chin, C.S.** (2012). Model-Based Simulation of an Intelligent Microprocessor-Based Standalone Solar Tracking System, *Http://Dx.Doi.Org/10.5772/46458*, 1–28, <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/39366.pdf>.
- [20] **A. Louchene, a.B. ve a Chaghi** (2007). Solar tracking system with fuzzy reasoning applied to crisp sets, *Revue des Energies Renouvelables*, 10(2), 10.
- [21] **Hon, S.P., Kolte, M.T. ve A, R.S.** (2013). FPGA Based Sun Tracking System Using Fuzzy Logic ., 2(9).
- [22] **Chin, C.S., Babu, A. ve McBride, W.** (2011). Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink, *Renewable Energy*, 36(11), 3075–3090, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.026>.
- [23] **Seme, S. ve Štumberger, G.** (2011). A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and Differential Evolution for dual-axis sun tracking purposes, *Solar Energy*, 85(11), 2757–2770.
- [24] **Ozuna, G., Anaya, C., Figueroa, D. ve Pitalua, N.** (2011). Solar Tracker of Two Degrees of Freedom for Photovoltaic Solar Cell Using Fuzzy Logic, cilt II, s.8–11.
- [25] **Rizal, Y., Wibowo, S.H. ve Feriyadi** (2013). Application of solar position algorithm for sun-tracking system, *Energy Procedia*, cilt 32, Elsevier B.V., s.160–165, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.021>.

- [26] (2016), Design a PID Controller Using Simulated I/O Data, <http://www.mathworks.com/help/slcontrol/examples/design-a-pid-controller-using-simulated-i-o-data.html>.
- [27] (2016), Plant Identification Using the PID Tuner, <http://blogs.mathworks.com/simulink/2014/06/18/plant-identification-using-the-pid-tuner-part-de>
- [28] PID Controller Tuning for a Model with Discontinuities, <http://www.mathworks.com/videos/pid-controller-tuning-for-a-model-with-discontinu.html>.
- [29] Larbes, C., Aït Cheikh, S.M., Obeidi, T. ve Zerguerras, A. (2009). Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system, *Renewable Energy*, 34(10), 2093–2100, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2009.01.006>.
- [30] Karanjkar, D.S., Chatterji, S., Shimi, S.L. ve Kumar, A. (2013). An improved current feedback based maximum power point tracking controller for solar photo-voltaic system, *2013 Annual International Conference on Emerging Research Areas and 2013 International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy*, s.1–6, <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6576032>.
- [31] Reza Reisi, A., Hassan Moradi, M. ve Jamasb, S. (2013). Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 433–443, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.052>.
- [32] Deveci, O., Kasnakoğlu, C., Bölümü, E.e.M. ve Ekonomi, T. (2014). Bir Fotovoltaik Sistemden Değişken Güneş Işınım Değerlerinde Maksimum Güç ve Sabit DA Gerilim Elde Edilebilmesine Yönelik DA / DA Dönüştürücü ve Kontrolcü Tasarımı, s.187–193.
- [33] Nedumgatt, J.J., Jayakrishnan, K.B., Umashankar, S., Vijayakumar, D. ve Kothari, D.P. (2011). Perturb and observe MPPT algorithm for solar PV systems-modeling and simulation, *Proceedings - 2011 Annual IEEE India Conference: Engineering Sustainable Solutions, INDICON-2011*, 19(1).
- [34] Esram Pi; PN - IC -, T.C. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques, *Ieee T Energy Conver*;, 22(2), 439–449, UC-.
- [35] Dunford, W.G. (2004). A Modified Adaptive Hill Climbing MPPT Method for Photovoltaic Power Systems, s.1957–1963.
- [36] Kumbasar, T. (2008). BULANIK MODEL TERS ALMA YÖNTEMLERİ, *Doktora Tezi*.

- [37] **Abdelsalam, A.K., Massoud, A.M., Ahmed, S. ve Enjeti, P.N.** (2011). High-performance adaptive Perturb and observe MPPT technique for photovoltaic-based microgrids, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1010–1021.
- [38] **Hahm, J., Baek, J., Kang, H., Lee, H. ve Park, M.** (2015). Matlab-based modeling and simulations to study the performance of different MPPT techniques used for photovoltaic systems under partially shaded conditions, *International Journal of Photoenergy*, 2015, 1–11.
- [39] **Liu, F., Duan, S., Liu, F., Liu, B. ve Kang, Y.** (2008). [11]A variable step size INC MPPT method for PV systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(7), 2622–2628.
- [40] **Salas, V., Ol??as, E., Barrado, A. ve L??zaro, A.** (2006). Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(11), 1555–1578.
- [41] **Coruh, Nasır;Erfidan, Tarık; Ürgün, S.** DA-DA Boost Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi Design and Implementation of DC-DC Boost Converter, 3–6.
- [42] **Erdoğan, Y., Dinçler, T., Kuncan, M., Ertunç, H.M., Üniversitesi, K. ve Kocaeli, z.** (2014). Güneş Panelleri için Yüksek Verimli Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT) Tasarımı, 1055–1060.
- [43] **Qin, L. ve Lu, X.** (2012). Matlab/Simulink-Based Research on Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation, *Physics Procedia*, cilt 24, Elsevier B.V., s.10–18, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212000466>.
- [44] **Algazar, M.M., AL-monier, H., EL-halim, H.A. ve Salem, M.E.E.K.** (2012). Maximum power point tracking using fuzzy logic control, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 39(1), 21–28, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142061511002894> \$\\backslash\$ \$nh\$ <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.12.006>.

EKLER

EK A.1 : Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin MATLAB Kodları

EK A.2 : Yeniden Düzenlenen Sabit Adımla Değişen D&G Yönteminin MATLAB Kodları

EK A.3 : Değişken Adımla Değişen D&G Yönteminin MATLAB Kodları

EK A.4 : Sabit Adımla Değişen D&G + PI Yöntemine Ait MATLAB Kodları.

EK A.1

Sabit adımla değişen D&G yönteminin MATLAB kodları aşağıda verilmiştir.

```
function D = DveG(VO, VN, IO, IN)

persistent PO PN dP d;

if isempty(d)
    d=0.5;
end

step=0.2;
%%%%%%%%%%
PO=VO*IO;
PN=VN*IN;

dP = PN-PO;

if(dP==0) d=d;
else
    if(dP>0)
        if(VN-VO>0) d=d-step;
        else d=d+step;
        end
    else
        if(VN-VO>0) d=d+step;
        else d=d-step;
        end
    end
end

if(d>0.9) d=0.9;
else if(d<0.1) d=0.1;
end
end

D=d;
end
```

Şekil A.1 : Sabit Adımla Değişen D&G Yöntemine Ait MATLAB Kodları.

EK A.2

```
function D = PandO(V, I)

Dinit = 0.5;
Dmax = 0.95;
Dmin = 0.1;
deltaD = 0.1;

persistent Vold Pold Dold;
if isempty(Vold)
    Vold=0;
    Pold=0;
    Dold=Dinit;
end

theta = 0.05;

%%
P= V*I;
dV= V - Vold;
dP= P - Pold;

if(abs(dP)<theta)
    D = Dold;
else
    if dP ~= 0
        if dP < 0
            if dV < 0
                D = Dold - deltaD;
            else
                D = Dold + deltaD;
            end
        else
            if dV < 0
                D = Dold + deltaD;
            else
                D = Dold - deltaD;
            end
        end
    else D=Dold;
    end
end

if D >= Dmax || D<= Dmin
    D=Dold;
end

Dold=D;
Vold=V;
Pold=P;

end
```

Şekil A.2 : Yeniden Düzenlenmiş D&G Yöntemine Ait MATLAB Kodları.

EK A.3

```
function D = PAndO(VO, VN, IO, IN)

persistent PO PN dP DeltaO DeltaN flag DO;

if isempty(DeltaO)
    DeltaO=10;
end

if isempty(flag)
    flag=1;
end

if isempty(DO)
    DO=0.5;
end

eps = 1/2500;
theta = 0.005;
%-----

PO = VO*IO;
PN = VN*IN;

dP = PN-PO;

if(abs(dP)<theta)
    D = DO;
else
    if(dP<0)
        flag=-1*flag;
    end

    DeltaN = eps*abs(dP)/DeltaO;
    D = DO + DeltaN*flag;

end

DO = D;

end
```

Şekil A.3 : Değişken Adımla Değişen D&G Yöntemine Ait MATLAB Kodları.

EK A.4

```
function starVpv = PAndO(Ppvn, Ppvo, Vpvn, Vpvo, deltaVpv)

persistent V starVpvo;

if isempty(V)
    V=0;
end
if isempty(starVpvo)
    starVpvo=0;
end

if (Ppvn-Ppvo<0.004)
    starVpv=starVpvo;
elseif (Ppvn>Ppvo)
    if (Vpvn<Vpvo)
        starVpv=starVpvo-deltaVpv;
    else
        starVpv=starVpvo+deltaVpv;
    end
else
    if (Vpvn-Vpvo<0.1)
        starVpv=starVpvo;
    elseif (Vpvn<Vpvo)
        starVpv=starVpvo+deltaVpv;
    else
        starVpv=starVpvo-deltaVpv;
    end
end

starVpvo = starVpv;

end
```

Şekil A.4 : Sabit Adımla Değişen D&G + PI Yöntemine Ait MATLAB Kodları.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Muhammed İkbâl ÖRT
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.02.1987 - Erzurum
E-Posta : ikbal.ort@bou.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

▪ **Lisans** : 2009, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- Ocak 2014 - ... , Bursa Orhangazi Üniversitesi (Araştırma Görevlisi - Bursa)
- Temmuz 2012 - Aralık 2013, ŞAFAK Bilgi Teknolojileri (Proje Sorumlusu - Erzurum)
- Şubat 2012 - Mayıs 2012, ERMAKSAN Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. (AR-GE Departmanı - Bursa)