

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ İÇİN
BULANIK DENETLEYİCİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi Metin TÜYSÜZ

HAZİRAN 2018
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ İÇİN
BULANIK DENETLEYİCİNİN OPTİMİZASYONU**

Elektrik-Elektronik Mühendisi Metin TÜYSÜZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.05.2018
Tezin Savunma Tarihi : 20.06.2018**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Trabzon 2018

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Metin TÜYSÜZ Tarafından Hazırlanan**

**HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ İÇİN
BULANIK DENETLEYİCİNİN OPTİMİZASYONU**

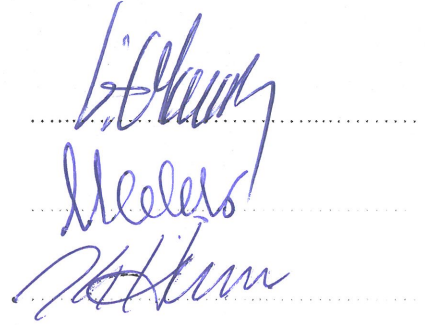
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 05 / 06 / 2018 gün ve 1756 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÇELEBİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında beraber çalışma fırsatını yakaladığım, çalışmalarım boyunca benim için yardımını ve kıymetli vaktini ayırırken güler yüz ile samimiyetini esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ'a teşekkürlerimi saygı ve minnetle sunarım.

Çalışmalarım süresince hiçbir konuda yardımlarını eksik etmeyen Adem KOCABAŞ, Önder CİVELEK ve Uğurtan TOYGAR'a sabır, destek ve sevgileriyle yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Halen çalışmakta olduğum KTÜ Trabzon MYO Elektrik ve Enerji bölümünün tüm öğretim elemanı hocalarıma bölüm içinde gösterdikleri hoşgörü ve yardımları nedeniyle şükranlarımı sunarım.

Manevi katkıları ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, çalışmalarım süresince gösterdiği sabır ve anlayış için eşim Tuğba TÜYSÜZ'e, neşe kaynaklarım çocuklarım Hüseyin ile Hasan'a sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca destekleri ile yürüdüğüm, varlıkları ile bana güç veren ve hep yanımda olan anneme, babama, kardeşlerime en kalbi şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmasını çok kıymetli aileme ithaf ediyorum.

Metin TÜYSÜZ
Trabzon, 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hibrit Güç Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Bulanık Denetleyicinin Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/06/2018

Metin TÜYSÜZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Taraması	3
1.3. Çalışmanın Amacı.....	8
1.4. Güneş Enerjisi Üretimi.....	9
1.4.1. Güneş.....	9
1.4.2. Güneş Enerjisi	9
1.4.3. Güneş'ten Elde Edilen Enerji Türleri	11
1.4.3.1. Güneş Enerjisiyle Düşük Sıcaklıkların Elde Edilmesinde Yararlanılan Teknolojiler	11
1.4.3.2. Güneş Işınlardan Dolaylı Yoldan Elektrik Elde Edilmesini Sağlayan Sistemler	11
1.4.3.3. Güneş Işınları ile Doğrudan Elektrik Üreten Sistemler	11
1.4.4. Fotovoltaik Sistemler	12
1.4.5. FV Hücre Verimliliği	13
1.4.5.1. Monokristal Güneş Panelleri.....	14
1.4.5.2. Polikristal Güneş Panelleri	14
1.4.5.3. İnce Film Güneş Panelleri	14
1.4.6. Hücre Modülleri ve Dizileri	15
1.4.7. FV Hücre Modeli	17
1.4.8. Fotovoltaik Sistemlerin Elektriksel Karakteristiği.....	19
1.5. Rüzgar Enerjisi Üretimi	22
1.5.1. Rüzgar Enerjisi Sistemleri.....	22
1.5.2. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	25

1.5.2.1.	Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri	26
1.5.2.1.1.	Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	26
1.5.2.1.2.	Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri	27
1.5.2.2.	Çalışma Şekillerine Göre Rüzgar Türbinleri.....	28
1.5.2.2.1.	Sabit Hızlı Rüzgar Türbinleri.....	28
1.5.2.2.2.	Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri	29
1.5.2.2.2.1.	Yön Denetimi	29
1.5.2.2.2.2.	Hız Denetimi	29
1.5.3.	Rüzgar Türbininin Bileşenleri.....	31
1.5.4.	Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler	33
1.5.4.1.	Senkron Generatörler	33
1.5.4.2.	Asenkron Generatörler	34
1.5.4.3.	Doğru Akım Generatörleri	35
1.6.	DA/DA Çeviriciler	37
1.6.1.	Arttıran DA/DA Çeviriciler	37
1.6.2.	Azaltan DA/DA Çeviriciler.....	38
1.6.3.	Azaltan-Arttıran DA/DA Çevirici.....	39
1.6.4.	Arttıran Çeviricinin Analizi	40
1.7.	Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri	43
1.7.1.	Değiştir ve Gözle (Perturb&Observe) Algoritması.....	44
1.7.2.	Artımsal İletkenlik (Incremental Conductance) Algoritması.....	46
1.7.3.	Bulanık Mantık Yöntemi.....	47
1.7.3.1.	Bulanık Kümeler	48
1.7.3.2.	Temel Bulanık Küme Uygulamaları	48
1.7.3.3.	Üyelik Fonksiyonları.....	50
1.7.3.4.	Bulanık Çıkarım Sistemleri.....	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	55
2.1.	Çevirici Tasarımı.....	58
2.1.1.	Güneş Enerji Sisteminin Çevirici Tasarımı.....	58
2.1.1.1.	GES İçin Tasarlanan Arttıran Çevirici Parametrelerinin Belirlenmesi	58
2.1.1.2.	GES İçin Tasarlanan Arttıran Çeviricinin PID ile Denetimi.....	63
2.1.2.	Rüzgar Enerji Sisteminin Çevirici Tasarımı	65
2.1.2.1.	RES İçin Tasarlanan Arttıran Çevirici Parametrelerinin Belirlenmesi	66
2.1.2.2.	RES İçin Tasarlanan Arttıran Çeviricinin PID ile Denetimi.....	69

2.2.	Maksimum Güç Noktası İzleyici Uygulamaları.....	71
2.2.1.	Güneş Enerji Sistemi MGNİ Uygulamaları	71
2.2.1.1.	GES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritması ve Optimizasyon Çalışması	73
2.2.1.2.	GES İçin Oluşturulan Sistemin MGNİ Denetimi ve Benzetim Sonuçları.....	77
2.2.1.3.	GES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritmasının Artımsal İletkenlik Yöntemiyle Karşılaştırması	79
2.2.2.	Rüzgar Enerji Sistemi MGNİ Uygulamaları	81
2.2.2.1.	RES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritması ve Optimizasyon Çalışması	84
2.2.2.2.	RES İçin Oluşturulan Sistemin MGNİ Denetimi ve Benzetim Sonuçları.....	86
2.2.2.3.	RES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritmasının Değiştir ve Gözle Yöntemiyle Karşılaştırması	89
2.2.3.	Hibrit Enerji Sistemi.....	91
2.2.3.1.	Hibrit Enerji Sistemi Benzetim Çalışmaları ve Ölçüm Sonuçları.....	91
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
4.	KAYNAKLAR.....	97
	ÖZGEÇMİŞ.....	104

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ İÇİN BULANIK DENETLEYİCİNİN OPTİMİZASYONU

Metin TÜYSÜZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2018, 103 Sayfa

Tezde, fotovoltaik panel ile sabit mıknatıslı senkron generatör temelli rüzgar türbini kaynaklarından oluşan şebeke bağlantılı hibrit güç sisteminin modellenmesi çalışılmıştır. Hibrit enerji sisteminde, güneş ve rüzgar enerjisinin ortak bağlı olduğu DA bara gerilimini sabit tutmak için arttıran çeviricilerin kullanımı gerekmektedir. Bu çeviricilerin değişen güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hız değerleri için kontrollerinin yapılması büyük önem teşkil etmektedir. Bu amaçla değişik kontrol yöntemlerinin benzetimleri yapılarak en etkin benzetim yöntemi bulunmuştur.

Değişen güneş ışınımı ve sıcaklık koşulları altında güneş enerjisi için bulanık mantık yöntemi ile artımsal iletkenlik metodu kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırılmış, bulanık mantık tabanlı denetimin maksimum güç noktasını daha yüksek değerlerde izleyebildiği gözlenmiştir.

Değişen rüzgar hızı koşulları altında rüzgar enerjisi için bulanık mantık yöntemi ile değiştir-gözle metodu kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırılmış, bulanık mantık tabanlı denetimin daha yüksek değerlerde maksimum güç noktasını izleyebildiği gözlenmiştir.

Rüzgar ve güneş enerji sistemlerinden oluşan hibrit sistem, ortak DA barada birleştirilmiş ve sistemin şebekeye bağlı olarak çalışabildiği görülmüştür.

Bulanık mantık tabanlı MGNI, hem güneş hem de rüzgar enerjisi için tasarlanan arttıran çevirici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şebeke bağlantılı hibrit system Matlab/Simulink programında modellenmiştir. Elde edilen benzetim sonuçları kullanılan denetim yönteminin geçerliliğini kanıtlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit (Fotovoltaik/Rüzgar) Enerji Sistemi, Arttıran Çevirici, Bulanık Denetim, Maksimum Güç Noktası İzleyici.

Master Thesis

SUMMARY

OPTIMISATION OF FUZZY CONTROLLER FOR TRACKING MAXIMUM POWER POINT
IN HYBRID POWER SYSTEMS

Metin TÜYSÜZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2018, 103 Pages

In this thesis, modeling of a grid-connected hybrid power system consisting of photovoltaic panel and permanent magnet synchronous generator based wind turbine sources has been studied. In the hybrid energy system, it is necessary to use the boost converter to keep DC bus voltage constant at which solar and the wind energy connected in common. It is great important to control these converters for varying solar radiation, temperature and wind speed values. For this purpose, several simulations have been done using different control methods to determine most effective one.

Under the changing solar radiation and temperature conditions, the simulation results of the fuzzy logic and the incremental conductance methods for the solar energy system were compared. It was observed that the fuzzy logic-based controller could tracking the maximum power point more efficiently.

Also, under the variable wind speed conditions, the simulation results of the fuzzy logic and perturb-observe methods for the wind energy system were compared, it was observed that the fuzzy logic based controller could tracking the maximum power point at higher values.

The hybrid system which consists of a wind and a solar energy system has been connected on a common DC bus and it has been seen that the system to be able to work with the grid.

The fuzzy logic based MPPT was implemented using a boost converter designed for both solar and wind energy. The grid-connected hybrid system is modeled in Matlab/Simulink. The simulation results prove the validity of the control method used in the system.

Key Words: Hybrid (Photovoltaic/Wind) Energy System, Boost Converter, Fuzzy Control, Maximum Power Point Tracking.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Dünya'ya gelen güneş ışığının geri yansımaları..... 10
Şekil 2.	Bir güneş hücresindeki fotovoltaik etki 13
Şekil 3.	FV panellerin çeşitleri ve yapısı..... 14
Şekil 4.	FV hücresi, modül ve dizi 15
Şekil 5.	FV pillerin seri bağlanmasıyla oluşan akım-gerilim grafiğinin değişimi 16
Şekil 6.	FV pillerin paralel bağlanmasıyla oluşan akım-gerilim grafiğinin değişimi 16
Şekil 7.	FV pillerin seri-paralel bağlanmasıyla oluşan akım-gerilim grafiğinin değişimi 17
Şekil 8.	FV modülleri için eşdeğer devre 18
Şekil 9.	Fotovoltaik bir panelin akım-gerilim grafiği..... 20
Şekil 10.	Işımaya bağlı olarak FV akım-gerilim (a) ve güç-gerilim (b) grafikleri 21
Şekil 11.	FV panelin sıcaklığa bağlı akım-gerilim (a) ve güç-gerilim (b) grafikleri 21
Şekil 12.	Rüzgâr türbininin ön ve arkasında oluşan hava akımları 23
Şekil 13.	Betz limitinin gösterimi..... 23
Şekil 14.	Rüzgar türbinlerinde rüzgar hızı/güç yoğunluğu değişimi..... 25
Şekil 15.	Rüzgar türbininin şematik gösterimi 26
Şekil 16.	Yatay eksenli rüzgar türbinleri 27
Şekil 17.	Dikey eksenli rüzgar türbinleri..... 28
Şekil 18.	Değişken hızlı bir rüzgar türbininin hız denetim bölgeleri 30
Şekil 19.	Rüzgar türbini ve bileşenleri 31
Şekil 20.	Rüzgar türbindeki DMSG şebeke bağlantısı 34
Şekil 21.	1,5 kW'lık rüzgâr türbininin hız-güç eğrisi..... 36
Şekil 22.	Arttırıcı DA/DA çevirici..... 38
Şekil 23.	Azaltıcı DA/DA çevirici 39
Şekil 24.	Azaltıcı-arttırıcı DA/DA çevirici 40
Şekil 25.	Arttırıcı çeviricinin devre şeması 41
Şekil 26.	Arttırıcı DA/DA devresinin eşdeğer devre şeması; (a) M güç anahtarı kapalı (ON) iken, (b) M güç anahtarı açık (OFF) iken..... 41
Şekil 27.	Sürekli iletim modunda arttırıcı devrenin gerilim-akım dalga şekilleri 42

Şekil 28.	Değiştir ve gözle tekniğinin denetim algoritma yapısı.....	45
Şekil 29.	Artımsal iletkenlik algoritması çalışma eğrisi.....	46
Şekil 30.	Artımsal iletkenlik yönteminin denetim algoritması.....	47
Şekil 31.	A ve B bulanık kümelerin birleşimi	49
Şekil 32.	A ve B bulanık kümelerin kesişimi	49
Şekil 33.	A bulanık kümesinin tümleyeni	49
Şekil 34.	Üyelik fonksiyonları a) üçgen, b) yamuk, c) gauss, d) çan eğrisi.....	50
Şekil 35.	Bulanık sistemin iç yapısı	51
Şekil 36.	Bulanıklaştırma işlemi.....	52
Şekil 37.	Kural işleme biriminde kuralların işlenmesi	53
Şekil 38.	Durulastırma işlemi	54
Şekil 39.	PID denetleyicinin DA/DA çeviriciyle kullanımını gösteren blok diyagramı.....	55
Şekil 40.	Şebekeye bağlı rüzgar enerji sistemi	56
Şekil 41.	Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi.....	57
Şekil 42.	Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemin genel yapısı	57
Şekil 43.	Endüktans akımının zamanla değişimi (GES)	59
Şekil 44.	Kondansatör akımının zamanla değişimi (GES).....	60
Şekil 45.	Tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişimi (GES)	61
Şekil 46.	a)Mosfet akımının zamanla değişimi, b)Diyot akımının zamanla değişimi (GES).....	62
Şekil 47.	Kapalı çevrim arttıran (boost) çevirici devresi (GES)	64
Şekil 48.	Kapalı çevrim arttıran (boost) çevirici devresi ölçüm değerleri (GES)	64
Şekil 49.	Arttıran çeviricide kullanılan PID parametre değerleri (GES).....	65
Şekil 50.	Endüktans akımının zamanla değişimi (RES).....	66
Şekil 51.	Kondansatör akımının zamanla değişimi (RES)	67
Şekil 52.	Tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişimi (RES)	67
Şekil 53.	a) Mosfet akımının zamanla değişimi, b) Diyot akımının zamanla değişimi (RES)	68
Şekil 54.	Kapalı çevrim arttıran (Boost) çevirici devresi (RES).....	70
Şekil 55.	Kapalı çevrim arttıran (Boost) çevirici devresi ölçüm değerleri (RES).....	70
Şekil 56.	Arttıran çeviricide kullanılan PID parametre değerleri (RES).....	71
Şekil 57.	25 °C'de ve çeşitli ışın seviyelerinde FV panelin karakteristiği	72
Şekil 58.	1000 W / m ² ve çeşitli sıcaklık seviyelerinde FV panelin karakteristiği.....	72
Şekil 59.	FV panelin P-V karakteristiği ve kural veritabanı (GES)	74

Şekil 60.	GES için kullanılan bulanık denetleyicinin giriş-çıkış yüzeyi	75
Şekil 61.	Bulanık mantık giriş çıkış birimleri (GES)	75
Şekil 62.	Matlab Simulink bulanık mantık denetimli devre (GES).....	77
Şekil 63.	Bulanık mantık tabanlı güneş enerji sistemine ait ölçüm verileri	78
Şekil 64.	Güneş enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı yapısı	78
Şekil 65.	Şebekeye bağlı GES verilerine ait ölçüm değerleri	79
Şekil 66.	FV sisteminin artımsal iletkenlik yöntemine göre oluşturulan MGNİ devresi	79
Şekil 67.	FV sisteminin artımsal iletkenlik yöntemine ait ölçüm değerleri	80
Şekil 68.	Bulanık mantık ile artımsal iletkenlik yöntemlerine ait ölçüm değerleri (GES)	80
Şekil 69.	GES sistemi için Matlab’da verim hesabı	81
Şekil 70.	Rüzgar türbin modeli.....	82
Şekil 71.	DMSG’ye ait bilgiler.....	82
Şekil 72.	Rüzgar türbini güç sistemi Matlab/Simulink modeli	83
Şekil 73.	Rüzgar türbin sistemine ait güç karakteristiği.....	83
Şekil 74.	Rüzgar türbini P-w karakteristiği ve kural veritabanı	84
Şekil 75.	RES için kullanılan bulanık denetleyicinin giriş-çıkış yüzeyi	85
Şekil 76.	RES bulanık mantık giriş çıkış birimleri.....	85
Şekil 77.	Matlab Simulink bulanık mantık denetimli devre (RES).....	87
Şekil 78.	Rüzgar enerji sistemi bulanık mantık MGNİ ölçüm değerleri.....	87
Şekil 79.	Rüzgar enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı yapısı	88
Şekil 80.	Rüzgar enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı devrenin ölçüm değerleri.....	88
Şekil 81.	Rüzgar enerji sisteminin değiştir ve gözle yöntemine göre oluşturulan MGNİ devresi.....	89
Şekil 82.	Rüzgar enerji sisteminin değiştir ve gözle yöntemine ait ölçüm değerleri.....	89
Şekil 83.	Değişen rüzgar hızı için bulanık mantık ile değiştir ve gözle yönteminin ölçüm değerlerinin karşılaştırması (RES).....	90
Şekil 84.	Hibrit enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı yapısı (HES)	91
Şekil 85.	Hibrit enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı yapısı ölçüm değerleri (HES).....	92
Şekil 86.	Şebekede oluşan sinüsoidal sinyallerin görüntüleri (HES).....	92

Şekil 87. Şebekede oluşan sinüsoidal sinyallerin genlik değerleri (HES)..... 93



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Arttıran çeviricinin verilen parametreleri (GES)	58
Tablo 2. Arttıran çeviricinin hesaplanan parametreleri (GES).....	63
Tablo 3. Arttıran çeviricinin verilen parametreleri (RES).....	65
Tablo 4. Arttıran çeviricinin hesaplanan parametreleri (RES).....	69
Tablo 5. FV modüle ait veriler	73



SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Diyot İdealite Sabiti,
AA	: Alternatif Akım
BJT	: Bipolar Junction Transistor
C	: Kapasite
C_p	: Rüzgar Türbin Güç Katsayısı
C_{p,Betz}	: Betz Güç Katsayısı
D	: Görev Döngüsü
DA	: Doğru Akım
de(t)	: Hatanın Türevi
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
dI_{PV}	: Hücre Akımının Türevi
DMSG	: Daimi Mıknatıslı Senkron Generatör
dP_{PV}	: Hücre Gücünün Türevi
dV	: Gerilimin Türevi
dV_{PV}	: Hücre Geriliminin Türevi
e(t)	: Hata
FF	: Dolgu Faktörü
FIS	: Bulanık Çıkarım Sistemi
FLC	: Fuzzy Logic Controller
f_s	: Anahtarlama Frekansı
FV	: Fotovoltaik
G	: Işınlama
GES	: Güneş Enerji Sistemi
G_{ref}	: Referans Işınlama
HES	: Hibrit Enerji Sistemi
HGS	: Hibrit Güç Sistemi
I_D	: Diyot Akımı
I_g	: Giriş Akımı
I_o	: Çıkış Akımı
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor
I_L	: Işık Kaynaklı Akım

I_{PV}	: Güneş Hücre Akımı
I_R	: Yük Akımı
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı
i_{c0}	: Kondansatör Akımı
i_M	: Mosfet Akımı
k	: Boltzmann'ın Sabiti
K_I	: PV Hücresinin Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı
kW	: Kilowatt
L	: Endüktans
max	: Maksimum
MGN	: Maksimum Güç Noktası
$MGNİ$: Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
min	: Minimum
$MOSFET$: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPP	: Maximum Power Point
$MPPT$: Maximum Power Point Tracker
NB	: Negatif Büyük
NS	: Negatif Küçük
$P\&O$: Perturb and Observe (Değiştir Ve Gözle)
PB	: Pozitif Küçük
PID	: Oransal Entegral Türev
P_{max}	: Maksimum Güç
P_{PV}	: Güneş Hücre Gücü
PS	: Pozitif Büyük
$P-V$: Güç-Gerilim
$P-w$: Güç-Generatör Hızı
PWM	: Pulse Width Modulation
q	: Bir Elektronun Yüğü
R	: Direnç
r	: Rotor Yarıçapı
RES	: Rüzgar Enerji Sistemi
R_s	: Güneş Pili Modeli İçin Serisi Direnç
R_{sh}	: Güneş Pili Modeli İçin Paralel Direnç
SCR	: Silicon Controlled Rectifiers

$S_{P.V}$: Güç-Gerilim Eğimi
T_{cK}	: Hücre Sıcaklığı
T_{ref}	: Referans Sıcaklığı
T_{ref}	: Çalışma Sıcaklığı
T_s	: Anahtarlama Periyodu
V	: Gerilim
v	: Rüzgar Hızı
V_c	: Hücre Gerilimi
V_g	: Giriş Gerilimi
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
V_{PV}	: Güneş Pili Modül Gerilimi
V_R	: Yük Gerilimi
VSC	: Voltage Source Converter
V_0	: Çıkış Gerilimi
ZE	: Sıfır
$\rho(\rho)$: Havanın Yoğunluğu,
$\mu A(x)$: Bulanık Üyelik Fonksiyonu
Δd	: Görev Döngüsünün Değişimi
Δe	: Hatanın Değişimi
ΔI_L	: Bobin Akımının Tepeden Tepeye Dalgalılığı
ΔP	: Güç Değişimi
$\Delta S_{P.V}$: Eğiminin Değişimi
Δt	: Zaman Değişimi
ΔV	: Gerilim Değişimi
ΔV_c	: Kondansatör Geriliminin Tepeden Tepeye Dalgalılığı
ΔV_0	: Çıkış Geriliminin Ortalaması
ΔP_{PV}	: Hücre Gücünün Değişimi
ΔV_{PV}	: Hücre Geriliminin Değişimi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yaşanan teknolojik gelişmeler ve insanların yaşam standartlarının artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı da beraberinde artmıştır.

Son birkaç asırdır enerji ihtiyacımızın çok büyük bir kısmını karşılayan fosil yakıtlar, doğaya çok çeşitli zararlar vermekle birlikte bu fosil yakıtların rezervleri de tükenmeye başlamıştır. Gerek bu kaynakların küresel düzeyde birçok çevresel soruna sebebiyet vermesi gerekse de gelecekte giderek kıt bir hal alacak olmaları, artan enerji ihtiyacının karşılanması açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple özellikle son yıllarda enerji talebini karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları daha çok tercih edilmeye başlanmış, bu kaynaklardan daha etkin ve verimli bir şekilde istifade edilebilmesine yönelik çalışmalar artış göstermiştir. Özellikle de yarı iletken teknolojisi alanında yaşanan yenilikler ile geliştirilen güç elektroniği elemanları yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişiminin gerçekleşmesine öncülük etmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının bütün bu olumlu taraflarının yanında, düzensiz ve önceden kestirilebilme oranlarının oldukça düşük olması bazı zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bu zorlukları, çözüm olarak hibrit enerji sistemlerini ortaya çıkarmıştır [1].

Hibrit enerji sistemi iki veya daha fazla enerji kaynağının birleşimidir. Tercih edilen hibrit enerji sisteminin temel gayesi, vazgeçilemez olan kaliteyi geliştirmek, toplam maliyeti düşürmek ve yenilenebilir enerji sistemine bağlı yükü sürekli besleyebilme noktasında güvenilirliğin arttırılmasını sağlamaktır. Bu bağlamda, hibrit enerji sistemine ait enerji çeşitlerinden herhangi birinin enerji azlığı durumunda diğerinin gücü ile enerji gereksinimini sağlamak daha ekonomik hale gelmektedir [2].

Hibrit enerji sistemi, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak iki şekilde kategorize edilebilir. Bağımsız enerji sistemi, şebeke desteği olmadan çalışan bir şebeke dışı sistem olarak tanımlanır. Bağımsız uygulamalar kapsamında hibrit enerji üretim sisteminin, uzak alanlara sürekli elektrik sağlayabilmesi için bağımsız sistemlerin, enerji gereksinimini karşılayabilecek kadar büyük üretim ve depolama kapasitesine sahip olması

gerekir. Aksi takdirde, hibrit enerjiden yeterli güç elde edilemeyince şebeke sistemi üzerinden enerji ihtiyacının karşılanması gerekecektir [3].

Fotovoltaik (FV) sistem, esas olarak, fotovoltaik etki sergileyen yarı iletkenleri kullanarak güneş ışınımını doğru akım elektriğine dönüştürerek güneşten elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirmektedir [4]. Rüzgar büyük bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik gücünden elektrik üretimi için kullanılır. Havanın kinetik enerjisi önce mekanik enerjiye dönüştürülmekte ve mekanik enerjinin türbine doğrudan veya dolaylı olarak bağlı olan generatör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüşümü sağlanmaktadır [5].

Hibrit sistem genellikle AA ve DA cihazlar için enerji biçiminin değişimine, son yük ihtiyacını karşılayacak bir güç çeviriciye ihtiyaç duyar. Güç elektroniği elemanları kullanılarak gerçekleştirilen çeviriciler, gerilimi DA'dan DA'ya, DA'dan AA'ya, ve AA'dan DA'ya çeviren elektronik teçhizatlardır. Rüzgar türbininden üretilen enerji AA sinyal şeklinde olup, doğrultucu bu enerjiyi, DA sinyal şekline dönüştürür. Çeviriciler ise DA sinyallerin AA sinyallere dönüştürülmesini sağlayan, yani bir doğrultucunun tersini gerçekleştiren ekipmanlardır [6].

Güneş ve rüzgar enerjisinin performansını etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar; güneş enerjisi için güneş ışınımı, güneş ışığı eğimi, yük değişimleri, hava kütlesi ve hücre sıcaklığı gibi koşullar iken rüzgar için rüzgar hızı ve hava yoğunluğu gibi faktörlerdir. Yenilenebilir enerji üretiminde verimlilik konusu en önemli parametrelerden biri olduğundan, güneş ve rüzgar enerjisi üretiminde hibrit enerjisi yönetim sistemlerinde maksimum güç noktası izleyicilerin (MGNI) önemli bir görevi vardır.

MGNI'lerde kullanılan güç çevirici birimler, güç aktarımını düzenlemek için FV hücreler ve rüzgar enerjisinde kullanılan generatör ile ilişkilendirilmelidir. Güç çevirici ünitesinde anahtarlama cihazının iletim periyodunu sürekli olarak düzenleme yeteneğiyle, güç çıkışını maksimuma çıkarmak için maksimum güç noktası izleyiciler kullanılır.

MGNI sistemlerinde kullanılan algoritmalar, güçteki değişim ve değişimdeki hata gibi değişken giriş kombinasyonları ile güç çeviricinin iletim periyodunu kontrol ederek güç çıkışlarını maksimuma çıkarır. Değişir-gözle ve artımsal iletkenlik gibi MGNI algoritmaları bulunmakla birlikte bulanık mantık ile yapılan kontrol sistemleri daha verimli olması ve az osilasyona sebep olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Bulanık mantık denetleyicilerinin özelliği, insan düşüncesini simüle etme yeteneklerine göre yapılmasıdır. Konvansiyonel denetleyicilerden farklı olarak, bulanık

denetleyiciler, sistemin matematiksel modelini anlamak zorunda kalmadan, değişken adımlardaki kontrol sinyallerini tasarlamak için deneysel yöntemleri ve sonuçlarını kullanabilirler.

Bu çalışmada, hibrit enerji sistemi bileşenlerinin modeli Matlab/Simulink yazılımında oluşturulmuş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Sistem, sabit mıknatıslı senkron generatör (PMSG) tabanlı rüzgar türbini, fotovoltaik (FV) panel ile yarı iletken teknolojiyle oluşturulmuş güç elektroniği cihazlarından (DA-DA çevirici, doğrultucu ve evirici) meydana gelmektedir. Her iki enerji türü ortak DA barada birleştirilerek evirici vasıtasıyla DA sinyal formundan AA sinyale dönüşüm sağlanmıştır. Ardından hibrit sistemin şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

1.2. Literatür Taraması

Bu bölümde, MGNİ sisteminin, gerilim ve akım parametrelerini kullanarak güneş ve rüzgar enerji sisteminin çalışma noktasını ayarlayabilme yeteneği göz önünde bulundurulmuştur. Şimdiye kadar geliştirilen birkaç MGNİ tekniği olmuştur. Bu teknikler artımsal iletkenlik, değiştir ve gözle, yapay sinir ağı, bulanık mantık kontrolü, parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritmalar olarak sıralanabilir. Bu tekniklerin yerine göre üstünlükleri ve olumsuz yönleri bulunmaktadır.

Hibrit güç sistemi kaynaklarının verim açısından yapılan uygulamalarını ve karşılaştırmalı incelemesini gösteren çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu çalışmalarda hibrit sistem için kullanılacak olan FV, rüzgar ve diğer enerji kaynaklarıyla oluşturulan hibrit güç sisteminin farklı MGNİ algoritmaları ile verimleri gösterilmiş, en optimum çözümü bulabilmek için öneriler sunulmuştur.

Farklı zaman dilimlerinde, değişik ülkelerde hibrit sistemler üzerinde araştırmalar yürüten birçok araştırmacı bulunmaktadır. Hibrit, rüzgâr, FV panel ile ilgili literatürdeki çalışmalar ve sonuçları kısaca aşağıda verilmiştir:

Al-Barazanchı ve Vural, rüzgar-güneş-dizel ve batarya içeren melez bir enerji sistemi modellemesini gerçekleştirmiş ve akıllı kontrolünü sağlamıştır. Gerçeklenen sistem şebekeye bağlantı gereksinimi olmadan kendi başına çalışmaktadır. Güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hızına bağlı olarak sisteme ait frekans ve gerilimde oynamalar görülebilmekte ve bu tür yalnız başına çalışan melez sistemlerde güç kalitesinde bozulmalar oluşabilmektedir. Güç kalitesini iyileştirmek ve sistem büyüklüklerindeki istenmeyen oynamaları farklı

çalışma koşullarında azaltmak için yapılan çalışmada akıllı bir denetim tasarlanmıştır. Tasarlanan bu akıllı denetim sisteminin gerilim ve frekansı kontrol etmedeki yeteneği farklı çalışma koşulları altında denenmiş ve PID denetleyicileriyle karşılaştırılmıştır. Tasarlanan akıllı denetim sisteminin PID'ye göre üstün olduğu yapılan benzetim çalışmalarıyla gösterilmiştir [7].

Shashi ve Rekha, geleneksel kaynaklara kıyasla avantajlarının olması nedeniyle rüzgar ve güneş (PV) gücünün birincil kaynak olarak alındığı bir hibrit enerji üretim sistemi önermiştir. FV hücresine ait dizilerin benzetimi gerçekleştirilmiş ve çevresel koşulların özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Doğrusal olmayan güç-gerilim (P-V) ile akım-gerilim (I-V) karakteristikleri elde edilmiştir. Bu çalışmada rüzgar enerji sistemi de çalışılmış ve benzetimi yapılmıştır. Aynı çalışmada dizel generatör incelenmiş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Yüke ait gerilim ve akım karakteristikleri elde edilmiştir. Elde edilen dalga biçimlerini karşılaştırarak dizel generatör setlerinin çıkış dalga formlarının, batarya çıkışından daha az harmonik içerdiği gözlenmiştir. Şebeke bağlantısız rüzgar-güneş hibrit enerji üretim sistemlerine dizel generatör grubunu da birleştirerek oluşturulan sistemin şebekeden uzak ve ada alanları için kullanımı önerilmiştir [8].

Khreddine ve diğerleri, değişken sıcaklık ve güneş ışınımı koşulları altında bir fotovoltaik sistemin maksimum güç noktasının takibi için akıllı bir kontrol yöntemi önermektedir. Bu yöntemde, bir DA-DA arttıran (boost) dönüştürücü aygıtına uygulanan bulanık mantık denetleyicisi kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada güneş paneli, DA-DA dönüştürücü, bulanık maksimum güç noktası izleyici ve direnç yükü içeren bir fotovoltaik sistem modellenerek benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisi ile değiştir ve gözle metodu arasındaki performans karşılaştırması sonucunda, bulanık mantık denetleyicisinin çalışma koşullarındaki değişime karşı daha fazla enerji temini ve hızlı tepki vermesi hususunda daha etkin olduğu gösterilmiştir [9].

Naziha ve diğerleri, maksimum güç noktası izleme hedefi için bir rüzgar enerji sistemini Takagi-Sugeno (T-S) bulanık denetleyicisi kullanarak tasarlamıştır. Gerçeklenen rüzgar enerji sistemi (RES), bir rüzgar türbini ve bir AA-DA dönüştürücüye bağlı daimi mıknatıslı senkron generatörden (DMSG) oluşmaktadır. İlk olarak, RES bulanık modeli Takagi-Sugeno yaklaşımına dayanarak sunulmuştur. Daha sonra, önerilen denetleyici, doğrusal matris eşitsizlikleri teknikleri ve Lyapunov stabilite yaklaşımı kullanılarak tasarlanmıştır. Benzetim sonuçları, önerilen Takagi-Sugeno yaklaşımının verimliliğini ortaya çıkarmıştır [10].

Rajvikram ve diğerkleri, farklı rüzgar türbini hızında maksimum güç elde edilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Bu bağlamda MGNİ kontrol cihazı, maksimum güç elde etmek için doğrultucu tarafında uygulanmıştır. Evirici tarafında normal kapalı döngü darbe genişlik modülasyon kontrolü gerçekleştirilmiştir. MGNİ denetleyicisi bulanık mantık kontrol tekniğı kullanılarak yapılmış ve bulanık denetleyici generatörün hız referansını izlemek için kullanılmıştır. Bunu yaparak ve generatör hızını en uygun referans değerinde tutarak, maksimum güç elde edilmiştir. Bu yöntem çeşitli rüzgar türbin hızları için tekrarlanmış, rüzgar hızı arttığında, DMSG tabanlı RES tarafından üretilen gerçek gücün, MGNİ kontrol cihazı yardımıyla arttığı gözlenmiştir [11].

Ndirangu ve diğerkleri, şebekeden bağımsız rüzgar enerjisi sisteminin (RES) maksimum güç noktası izleyicisi (MGNİ) için oluşturulan bulanık mantık tabanlı denetleyicinin tasarımını ve uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan bulanık mantık denetleyici ile çeşitli rüzgar hızları için RES'den maksimum güç çıkarımı için optimum hızı veren uygun görev döngüsü (D) belirlenmiştir. Daha sonra bu görev döngüsü, maksimum güç noktası eğrisinin takibi amacıyla DMSG'nin dönüş hızını kontrol etmek için DA-DA dönüştürücüsüne uygulanmıştır. Tasarlanan sistem kontrollü koşullar altında gerçek bir vaka çalışması olarak rüzgar türbini üzerinde uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar neticesinde, tasarlanan sistemin, değişen rüzgar hızları için çıkarılan maksimum elektrik gücünü önemli ölçüde arttırabildiğini göstermiştir [12].

Bogaraj ve diğerkleri şebekeden uzak bir yüke ekonomik ve sürdürülebilir bir güç sağlamak için PV-Rüzgar- Pil hibrit güç sistemi (HGS) önermişlerdir. Bulanık mantık tabanlı MGNİ kontrol metodu, hem FV hem de rüzgar enerjisi sisteminde DA-DA arttıran (boost) çeviricinin ilk aşaması için en uygun referans gerilimini üretmek için uygulanmıştır. HGS değişken güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı için test edilmiştir. Bulanık mantık tabanlı MGNİ yöntemi, değiştir ve gözle yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemle hibrit sistemin tüm çalışma koşullarında iyi bir maksimum güç çalışması sağladığı gösterilmiştir. Her iki enerji kaynağını birleştirmek için, DA bara gerilimi, güneş ve rüzgar gücü sistemlerinde DA-DA azaltan-arttıran çeviricinin ikinci aşaması için PI denetleyicileri kullanılarak sabit hale getirilmiştir. Akü bankası, yenilenebilir enerji kaynaklarından (RES) fazla enerjiyi depolamak ve RES gücü yük gücünden daha az olduğunda yüke sürekli güç sağlamak için kullanılmıştır. Bir evirici, üç fazlı yükü beslemek için DA gücünü AA'ya dönüştürmek üzere tasarlanmıştır. PWM eviriciden sinüzoidal akım elde etmek için evirici çıkışında bir LC filtresi de kullanılmıştır.

Tüm sistem Matlab/Simulink ortamında modellenerek benzetimler gerçekleştirilmiştir [13].

Helen ve diğerleri entegre hibrit yenilenebilir enerji sisteminin modellenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Rüzgar ve güneş, hibrit sistem için giriş kaynağı olarak kullanılmıştır. Önerilen sistem, fotovoltaik (FV) ve rüzgar enerji dönüşüm sisteminin (RES) tasarımını kapsamaktadır. Sistem, sabit rüzgar hızı ve değişen güneş ışınımı için tasarlanmıştır. FV dizisinden maksimum gücü almak için maksimum güç noktası izleme (MGNI) algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık denetleyici, çeviriciye ait güç anahtarının görev döngüsünü kontrol etmek ve böylece güneş dizisinden maksimum gücü almak için kullanılmıştır. Sistem, fotovoltaik (FV) dizisi, rüzgar enerji dönüşüm sistemi (RES), çoklu giriş akımı-kaynak arayüzü çuk dönüştürücü, gerilim kaynağı eviricisi, LC filtresi ve üç fazlı yükten oluşmaktadır. Önerilen tüm sistem MATLAB/Simulink yazılımı kullanılarak modellenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonuçları, önerilen sistemle düşük maliyetle 30kW güç üretildiğini göstermiştir [14].

Doaa ve diğerleri, bulanık mantık denetim tekniğini kullanarak güç yönetimi kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. İncelenen FV-rüzgar hibrit sistemi, işletme süresince tamamen kendi kendine yetecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem, uzak alanda uygulanmadan önce farklı çevre koşulları altında performansını tahmin etmek için benzetimi yapılmıştır. Sistem bileşenlerinin matematiksel modelleri, tüm sistemin genel bir temsilini oluşturmak için birbiriyle bağlantılıdır. FV dizisi, rüzgar generatörü, akü bankası ve yük arasındaki güç yönetimi bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak kontrol edilmiştir. Bulanık mantık kullanan sistem performansı, bu uygulama için bulanık mantık tekniğinin yüksek uygulanabilirliğine sahiptir. Matlab Simulink kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları, önerilen sistemin yüksek performansını göstermiştir. Sonuçlar, FV ve rüzgar generatörünün yükü gereken enerjiyle besleyebildiğini ve gece saatlerinde talebe göre pili şarj edebildiğini göstermiştir. Bulanık mantık, hata ve hata değişikliği olan iki giriş sinyaline sahip olup, 49 adet kural tabanı tanımlanmış ve durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır [15].

Pavankumar ve Venu ile Husain ve Tariq yapmış oldukları benzer çalışmada; şebeke arayüzlü hibrit üretim sisteminin güç aktarma yeteneğinin artırılması konusunu irdelemişler. Genel olarak, önerdikleri hibrit sistem güneş ve rüzgar enerji sistemlerinin birleşimidir. Bu yenilenebilir enerji sistemlerinden herhangi bir anda maksimum ve sabit çıktı gücü elde etmek için maksimum güç izleme teknikleri konseptini önermişlerdir.

Maksimum güç noktası izleme denetleyicisinin ana konsepti, DA-DA arttıran dönüştürücünün akıllı denetimle kontrol edilmesine dayanıyor olmasıdır. Güneş ve rüzgar enerji sistemlerinin çıkışı, evirici kullanılarak AA sinyal formuna dönüştürülür. Tüm çalışma koşullarında yük talebini karşılamak için hibrit sistem maksimum çıkış gücü sağlayacak şekilde kontrol edilir. Batarya grubu, yük talebini karşılamak için rüzgar veya güneş sistemiyle koordineli çalışmaktadır. Tasarlanan maksimum güç noktası izleyicisinin (MGNI) hibrit sistemin performansını arttırdığı, Matlab / Simulink kullanılarak gözlemlenmiştir [16, 17].

Bharath ve Srinivasarao, rüzgar / fotovoltaik enerji üretim sisteminin gelişimi konusunda çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda değiştir ve gözle, artımsal iletkenlik, bulanık mantık tabanlı çeşitli MGNI tekniklerini uygulamışlardır. Yaptıkları çalışmada, PI ve MGNI denetleyicilerinden oluşan hibrit üretim sisteminin modellenmesini, benzetimini ve performans çalışmasını sunmuşlardır. Rüzgar enerjisi üretim sistemi, rüzgar türbini, kalıcı mıknatıslı senkron generatör (DMSG), PI denetleyicili üç faz kontrollü doğrultucu köprüsü, kapasitöre sahip bir DA bara ve bir akım regülatörlü PWM gerilim kaynağı eviricisi kullanmışlardır. FV hücre modeli, değişen güneş ışınımının ve sıcaklığın etkilerini de içerecek şekilde geliştirilmiş ve FV hücresinden maksimum güç, MGNI kontrol cihazı kullanılarak elde edilmiştir [18].

Sunil ve Nayana, fotovoltaik enerji ve rüzgar enerji sisteminden oluşan melez bir sistem konusunda çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada FV sistemlerinde güç çıkışını maksimum seviyeye çıkarmak için MGNI tekniği uygulanmış, DA gerilimini yükseltmek için bir yükseltici çevirici kullanılmıştır. Çevirici çıkışında DA gerilimini 50 Hz frekansında AA'ya dönüştürmek için üç fazlı bir PWM evirici kullanılarak FV ve Rüzgâr kombinasyonundan oluşan sistemin daha sonra şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir. MGNI algoritması olarak artımsal iletkenlik yöntemi kullanılmıştır. Rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminde kalıcı mıknatıslı senkron generatör tabanlı rüzgar türbininden oluşan sistem ortak DA barada fotovoltaik sistemle birleştirilmiştir [19].

Satinder ve Manpreet, alternatif bir elektrik üretim kaynağı olarak hem güneş enerjisi santralini hem de rüzgar türbini santralini içeren hibrit bir enerji modelini önermişlerdir. Değişen çevre koşulları altında hem güneş enerjisi santrali hem de rüzgar enerji santrali tarafından maksimum gücün verileceği bir noktayı izlemek için değiştir ve gözle kontrol tekniği önerilmiştir. Bu çalışmada, Matlab / Simulink yazılımıyla rüzgar-güneş hibrit santralinin benzetimi yapılarak fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir [20].

Chowdhury ve Mannan, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi kombinasyonu olan hibrit güç sisteminin performansını incelemişlerdir. Artımsal iletkenlik yöntemiyle maksimum güç noktası izleyicisi kullanarak güneş ışığından maksimum enerjinin elde edilmesi sağlanmıştır. Diğer yandan, mevcut rüzgarın hızına bağlı olarak, rüzgar türbini ile asenkron generatör kullanılarak güç üretimi sağlanmış ve şebekeye aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu iki ayrı kaynak, hibrit işlem için birbirine bağlanarak şebekeye uygun şekilde senkronize edilmiştir. Genel hibrit sistemi, değişen ışınlama seviyesi için FV modeli ve değişen rüzgar hızı için asenkron generatör kullanılan rüzgar enerji modelinden oluşturulan hibrit sistem test edilmiştir. Benzetim sonuçları hibrit sistemin elektrik enerjisi üretimi için daha fazla güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Her iki sistem de yük talebini karşılamak ve şebekeye güç sağlamak için birlikte çalışmaktadır [21].

Rana ve diğerleri, şebekeye bağlı hibrit sistem modeli için Simulink'te rüzgar ve güneş (fotovoltaik) sistemi üzerine çalışmışlar ve uygulamalarını gerçekleştirmişlerdir. Önerilen sistem, bir rüzgar türbini, bir FV güneş hücresi dizisi, yükseltici dönüştürücü ve DA'yı AA'ya çeviren bir dönüştürücüden oluşmaktadır. Hibrit model güneş-rüzgar sistemi ile ilgili karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Rüzgar ve FV sisteminin bireysel modelleme ve benzetim çalışması Matlab/Simulink'te gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu enerji kaynaklarını DA-DA dönüştürücü ve gerilim regülatörü yardımıyla birleştirerek melez bir model simüle edilmiştir. Uygulanan hibrit sistemin benzetim sonucu olarak, şebekeye verilebilecek üretilen çıkış gerilimleri elde edilmiştir. Bu hibrit sistem, tek enerji sistemine kıyasla daha güvenilirdir [22].

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının süreksizliğinden ve düzensizliğinden dolayı meydana gelecek dengesizlikleri azaltmaktır. Ayrıca mevcut üretim teknolojileri ile güneş ve rüzgardan alınabilecek enerji potansiyelinin net enerjiye dönüştürülebilen kısmında maksimum güç noktası izleyiciler ile hibrit (güneş ve rüzgar) sistemlerin verimli bir şekilde çalıştırılabilmesini sağlamak ve maliyetleri düşürmektir.

Hibrit enerjisinde, güneş ve rüzgar enerji sisteminin birlikte bağlanacağı DA bara gerilimini sabit bir değerde tutabilmek için arttıran çeviricilerin kullanımı gerekmektedir. Bu kapsamda her iki enerji sistemi için arttıran çevirici tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bu çeviricilerin zamanla değişim gösteren güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hız değerleri için denetimlerinin gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla hem rüzgar hem de güneş enerjisi için farklı denetim yöntemlerinin benzetimleri gerçekleştirilerek en etkin benzetim tekniği bulunması hedeflenmiştir.

1.4. Güneş Enerjisi Üretimi

1.4.1. Güneş

Samanyolu galaksisinde yer alan yıldızlardan biri de güneştir. Dünyaya olan uzaklığı yaklaşık olarak $1,5 \times 10^8$ km kadardır. Tahmini olarak yüzey sıcaklığı 5800 Kelvin civarlarındadır. Bu sıcaklık değeri merkeze doğru gidildikçe $1,5 \times 10^6$ Kelvine kadar ulaşmaktadır. Enerjinin ve sıcaklığın sebebi serbest hidrojen çekirdeklerinin dört adedinin bir araya gelmesiyle füzyon reaksiyonu adı verilen tepkimeyle helyum çekirdeğini meydana getirmesidir. Oluşan reaksiyon sonucu meydana çıkan proton, elektron ve nötron artıkları uzaya dağılır. Mutlak kütle korunumunun olmadığı bu tepkimelerde, sentez neticesinde çok büyük miktarda enerji ortaya çıkar. Bu enerji uzayda değişik yönlere yayılım gösterir.

Güç olarak karşılığı $3,86 \times 10^{26}$ W civarında olan güneş enerjisinin ancak güneş sabiti olarak isimlendirilen bölümü, yaklaşık 1370 W/m^2 , dünyamıza yani atmosferin dışına erişmektedir. Güneş ile dünya arasındaki uzaklık sene boyunca farklılık gösterdiğinden, senenin herhangi bir gününde dik bir yüzeye gelen güneş ışınım değeri de değişim göstermektedir [23].

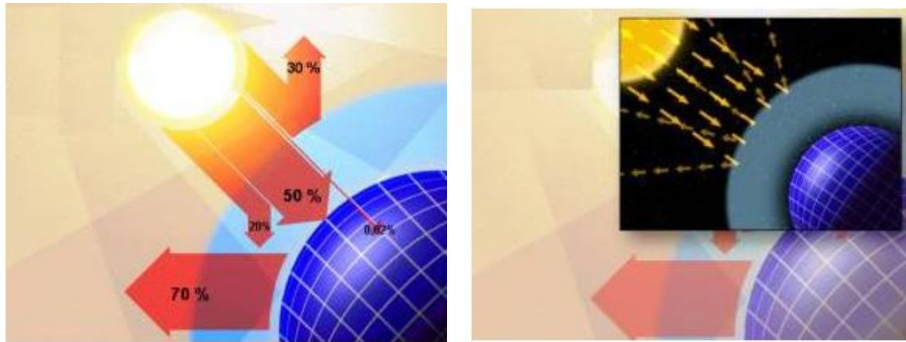
1.4.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan çok yüksek basınçta ve yüksek sıcaklıklarda kaynaşıp daha ağır çekirdeklere dönüşürken hafif çekirdeklerin (hidrojenin helyuma evrilmesi) ortaya çıkardığı ışımaya ait enerjidir. Güneş enerjisinin şiddeti, dünya atmosferinin dışı için ortalama 1370 W/m^2 değerinde olmasına rağmen yeryüzüne erişen miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında olduğu bilinmektedir. Bu

enerjinin dünyaya ulaşan küçük bir bölümü bile, insanlığın mevcut enerji tüketiminden çok daha fazladır [24].

Güneş ışınımının tümü yer yüzeyine ulaşamaz. Toplam ışınımın %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Gelen ışınımının %20'si atmosfer ve bulutlar tarafından emilir. Güneş ışınımının geriye kalan yaklaşık %50'lik kısmı atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Dünya yüzeyine ulaşan enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşamsal faaliyetler gerçekleşir. Rüzgâr hareketleri ve okyanus dalgalanmaları gibi coğrafik etkiler de bu ısınmadan kaynaklı oluşur [24].

Yeryüzeyine ulaşan güneş ışınımının %1'den daha az bir miktarı fotosentez olayında bitkiler tarafından kullanılır. Bitkiler, fotosentez esnasında güneş ışığının yanında karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve besin üretimini sağlarlar. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın ve dolayısıyla tüm canlıların hayat kaynağıdır. Güneş, nükleer enerji haricindeki tüm enerjilerin üretiminde dolaylı veya doğrudan kaynaklık eder. Çevreye etki bakımından temiz bir enerji kaynağı olarak kendine enerji alanında yer edinen güneş enerjisinden faydalanma konusundaki çalışmalar 1970'lerden itibaren hız kazanmıştır. Güneş enerjisine bağlı sistemlerde teknolojik olarak ilerleme kaydedilirken, aynı zamanda maliyetlerin düşürülmesi için yapılan çalışmalar da sonuç vermiştir. 2050 yılında dünya enerji tüketiminin %15'inin güneşten karşılanacağı öngörülmektedir [24].



Şekil 1. Dünya'ya gelen güneş ışığının geri yansımaları [24].

1.4.3. Güneş'ten Elde Edilen Enerji Türleri

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte üç temel bölümde incelemek mümkündür [25].

- Güneş enerjisiyle düşük sıcaklıkların elde edilmesi
- Güneş ışınlarından dolaylı olarak elektrik elde edilmesi
- Güneş enerjisiyle doğrudan elektrik elde edilmesi.

1.4.3.1. Güneş Enerjisiyle Düşük Sıcaklıkların Elde Edilmesinde Yararlanılan Teknolojiler

Bu sistemlerde güneş enerjisinden ısı elde edilir. Birçok türü mevcut olmakla birlikte en bilinen kullanım şekli güneş kollektörleridir.

1.4.3.2. Güneş Işınlarından Dolaylı Yoldan Elektrik Elde Edilmesini Sağlayan Sistemler

Elektrik enerjisi üretim biçimi, termik santrallerde buhar kullanılarak elektrik enerjisi üretiminin benzeridir. Yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak güneş ışınlarının odaklanması neticesinde elde edilen buhar; bir türbin ve generatör ünitesinin uyarımını gerçekleştirir ve böylece güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sağlanır.

Bu sistemler;

- Güneş bacaları,
- Yoğunlaştırarak elektrik üretimi,
- Uydu yardımıyla elektrik üreten sistemler olarak alt bölümlere ayrılabilir.

1.4.3.3. Güneş Işınları ile Doğrudan Elektrik Üreten Sistemler

Fotovoltaik paneller aracılığıyla güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesidir. Fotovoltaik panellerin sahip olduğu yapısından kaynaklı; üzerine güneş ışığı düşen panellerde elektron yayılması oluşmakta ve fotovoltaik hücre bir akım kaynağı olarak görev yapmaktadır. Böylece elektrik enerjisi, güneş enerjisinden elde edilmektedir.

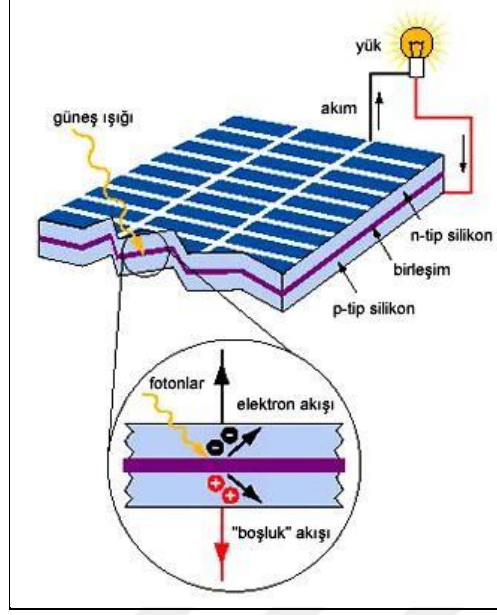
Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada güneş pilleri hibrit sistem bileşeni olarak kullanılacaktır. Kısaca FV olarak isimlendirilen güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine düşen güneş ışığını, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğine sahiptir. Bu enerji dönüşümünde herhangi bir hareketli parça bulunmamaktadır.

1.4.4. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik araçlar (foto = ışık; voltaik = gerilim üretimi) veya FV sistemlerinin temel bileşeni olan FV hücresinin fiziği klasik p-n bağlantı diyodunun benzeridir. Güneş hücreleri, p tipi silikon ve n tipi silikon olmak üzere iki tür malzemeden oluşur. Işığın bazı dalga boyları, silikondaki atomları iyonize edebilir ve bağlantı tarafından üretilen iç alan, fotovoltaik cihaz içindeki negatif yükten (elektron) bir miktar pozitif yükü (delik) ayırır.

Birleşme bölgesinde bulunan bu yük taşıyıcılar (katı yarı iletken malzemedeki elektron-iyon çiftleri veya elektron-deliği çiftleri) potansiyel bir gradyan oluştururlar, elektrik alanının altında hızlanırlar ve bir harici devre aracılığıyla akım olarak dolaşırlar [23-26].

P katmanına doğru hareket eden elektronlar ile n katmanına doğru hareket eden delikler birbirine çekilse de, bunların çoğu, iç potansiyel enerji bariyeri nedeniyle malzemenin dışında yer alan bir dış devreden geçerek tekrardan birleştirilebilir. Bundan dolayı, Şekil 2'de gösterildiği gibi bir devre yapılmışsa, aydınlatma altındaki hücreden güç üretilir, çünkü serbest elektronlar delik ile yeniden birleşebilmek için yükten geçmelidir [26, 27].



Şekil 2. Bir güneş hücresindeki fotovoltajik etki [27].

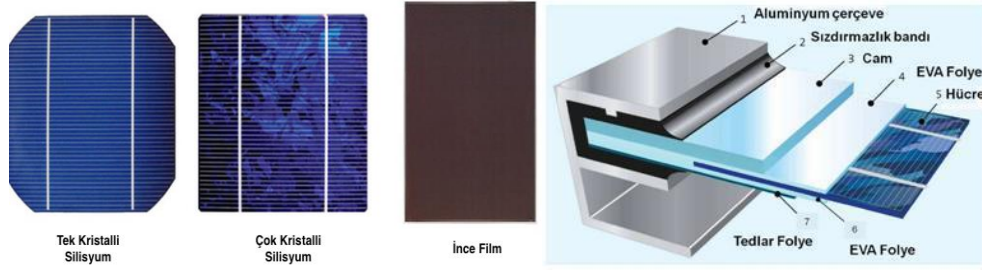
1.4.5. FV Hücre Verimliliği

Fotovoltik hücrenin verimliliği, güneş ışığından elde edilebilecek potansiyel gücü gösteren ve FV hücreleri aracılığıyla üretilen gücün yüzdesini belirleyen bir performans göstergesidir. Verimin daha yüksek olması, aynı yüzey alanı için ışık enerjisinin elektriğe dönüştürülme oranının daha yüksek olduğunu gösterir. Piyasada ticari amaçlı kullanılan FV hücrelerinin çoğunun verimi % 15 ile % 22 arasında değişmektedir.

Verimliliği tespit etmek için, FV panellerin belirli test koşulları altında testi gerçekleştirilir. Belirli test koşullarında, sıcaklık 25 °C ve ışınım 1000W / m² olarak alınmaktadır. Bu değerler, güneş ışığına 37° lik açıyla bakan bir yüzeye çarpan ışığın, güneşli bir günde oluşturduğu eşdeğerini ifade eder. Bu test koşulları altında, 100 cm² yüzey alanına sahip bir güneş pili % 15 verimde 1.5 W güç üretecektir [28].

Temel olarak verimlilik ve maliyet açısından farklılık gösteren üç tip güneş paneli vardır.

- Monokristal hücreler
- Polikristal hücreler
- İnce film güneş panelleri



Şekil 3. FV panellerin çeşitleri ve yapısı [29].

1.4.5.1. Monokristal Güneş Panelleri

Tek kristalli hücreler olarak da adlandırılan monokristal güneş panelleri, en saf silikondan üretilir. Monokristal güneş panellerinin, diğer 2 tip güneş hücresiyle karşılaştırıldığında belirli test koşullarında en yüksek verimi sağladıkları bilinmektedir. Bilinen monokristal güneş panelinin verimliliği % 22-27'dir. Monokristal panellerin yuvarlatılmış kenarlı ve koyu renkli olması belirgin özellikleridir.

1.4.5.2. Polikristal Güneş Panelleri

Çok kristalli hücreler olarak da adlandırılan polikristal güneş panellerinden yapılan güneş panelleri, monokristal güneş hücrelerinden meydana gelenlerden biraz daha az verimlidir. Bunun nedeni üretimin doğasıdır. Polikristal güneş panelinin verimliliği % 15-22'dir. Polikristal güneş panelinin kare kesilmiş ve mavi benekli bir renge sahip olması belirgin özelliğidir.

1.4.5.3. İnce Film Güneş Panelleri

İnce film güneş panelleri, bir veya daha fazla ince fotovoltaik malzeme katmanına sahip bir cam, plastik veya metal yüzey kaplanarak yapılır. İnce film güneş panelleri genellikle esnek ve düşük ağırlıktadır. Bu panellerin, üretimi daha az karmaşık olmasına rağmen monokristal ve polikristal güneş panellerinden biraz daha hızlı bozulduğu bilinmektedir. Bunların verimi % 15-22 arasında değişmekte olup monokristal güneş panelinin verimliliğinden % 5 daha azdır.

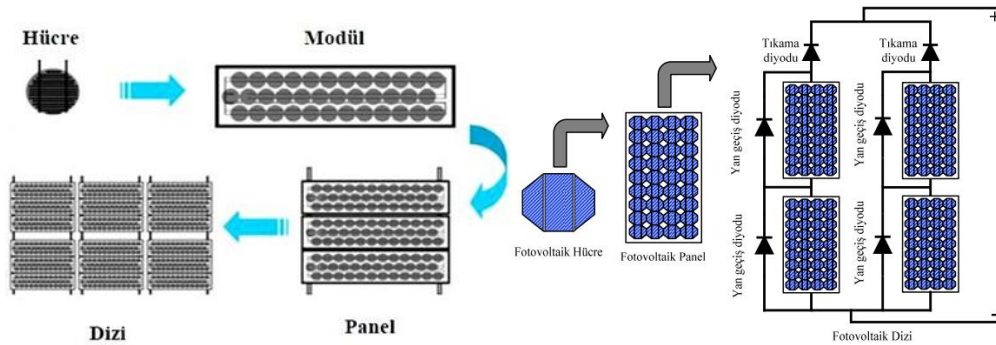
Güneş pillerinin verimlilik oranlarını artırmak için şimdiye kadar birçok yatırım ve araştırma yapılmıştır. Güneş enerjisi daha popüler hale geldikçe, yakın gelecekte % 50'lik verimliliğe ulaşacağı tahmin edilmektedir [28].

1.4.6. Hücre Modülleri ve Dizileri

Fotovoltaik hücreler, FV sistemlerinin temel yapı taşlarıdır. Bir FV hücresinin ürettiği güç, elektronik hesap makineleri gibi küçük cihazları çalıştırmak için yeterli değildir. Her bir silikon güneş pili yaklaşık 0.5 volt üretir.

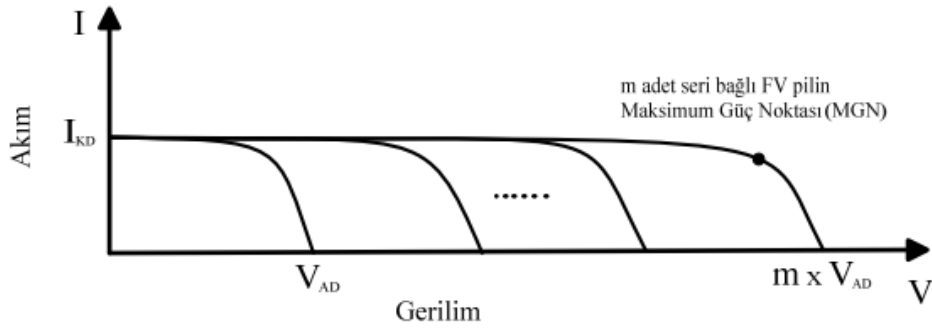
Daha yüksek yükleri karşılayabilmek için FV hücreleri gerekli gerilim ve akım büyüklüklerine sahip olmalıdır. Bu amaçla fotovoltaik hücreler seri veya paralel olarak bağlanmaktadır. Tipik olarak, 12 voltluk pilleri şarj etmek için yeterli gerilimi üretebilen, pompaları veya motorları çalıştırabilen bir modül oluşturmak için 36 ila 48 hücre seri olarak bağlanması gerekmektedir [30].

Modüller, sistemlerin temel yapı taşlarıdır. Daha yüksek gerilim veya akım sağlanabilmesi için modüller seri veya paralel olarak bağlanarak bir panel oluşturmakta ve daha sonra paneller bir FV dizisi oluşturmak için bir gruba monte edilmektedir. Şekil 4'te ; hücrelerin, modüllerin, panellerin ve dizilerin şematik konfigürasyonu gösterilmektedir.



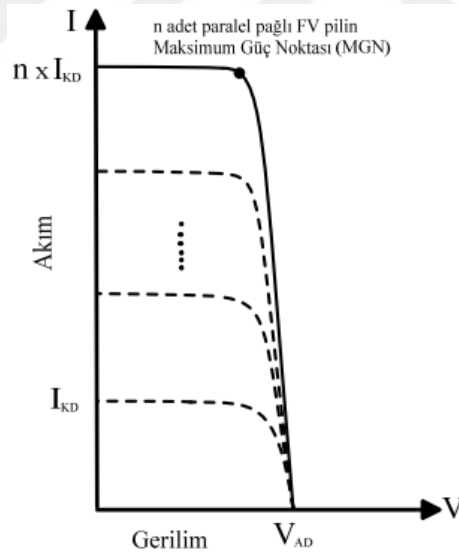
Şekil 4. FV hücresi, modül ve dizi [31, 32].

Güneş pillerini seri bağlayarak üretilebilecek gerilimin artması sağlanır. FV pillerin seri bağlantı sayısına göre, FV pilden üretilebilecek gerilim artışı, maksimum üretilebilecek güç artışı ve FV pile ait akım-gerilim karakteristiğinde oluşan değişimler Şekil 5'te gözükmemektedir.



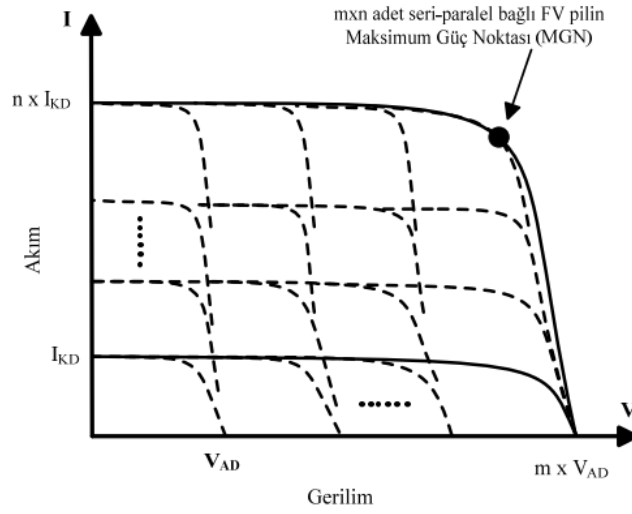
Şekil 5. FV pillerin seri bağlanmasıyla oluşan akım-gerilim grafiğinin değişimi [32].

Pillerin seri bağlanması üretilebilecek gerilimin artışı sağlarken, pillerin paralel bağlanması ise üretilebilecek akım değerinin artışı sağlamaktadır. FV pillerin paralel bağlantı sayısına göre, FV pilden üretilebilecek akım artışı, maksimum üretilebilecek güç artışı ve FV pile ait akım-gerilim karakteristiğinde oluşan değişimler Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. FV pillerin paralel bağlanmasıyla oluşan akım-gerilim grafiğinin değişimi [32].

Seri bağlı m tane ve paralel bağlı n tane FV pilden oluşan sistemin akım-gerilim grafiğindeki değişim durumu Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. FV pillerin seri-paralel bağlanmasıyla oluşan akım-gerilim grafiğinin değişimi [32].

1.4.7. FV Hücre Modeli

Güneş hücrelerinde p-n eklemleri kullanılır. Bu p-n eklemlerinin karakteristikleri, diyotlarınkine çok benzer. Bundan dolayı bir güneş hücresinin özelliklerini belirlemek için Shockley denklemini (1) kullanabiliriz [26, 33].

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V_c \cdot q}{a \cdot k \cdot T_c K}} - 1 \right) \quad (1)$$

Burada

- “I_D” diyot akımı (A),
- “I₀” diyodun doyma akımı (A),
- “V_c” hücre gerilimi (V),
- “q” bir elektronun yükü,
- “a” diyot idealite sabiti,
- “k” Boltzmann’ın sabiti
- “T_cK” hücre sıcaklığıdır.

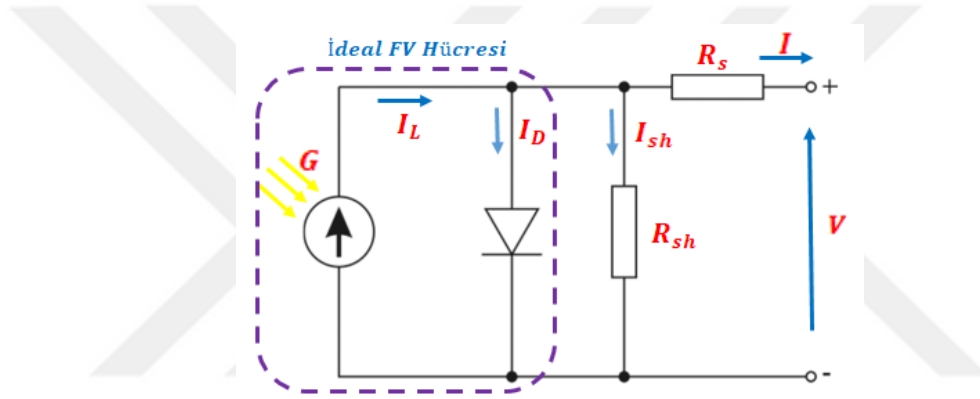
Net akım I, ışık kaynaklı akım I_L ve normal diyot akımı I_D arasındaki ilişki denklem (2) ile tanımlanır.

$$I = I_L - I_D \quad (2)$$

Ek olarak denklem (3), Şekil 8'de gösterildiği gibi basitleştirilmiş modeli sunar.

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{(V+I.R_s).q}{a.k.T_cK}} - 1 \right) \quad (3)$$

Böylece ideal bir güneş pilinin eşdeğer devresi, Şekil 8'de gösterildiği gibi, bir diyot ve diyoda paralel bağlı ideal bir akım kaynağı ile temsil edilebilir.



Şekil 8. FV modülleri için eşdeğer devre

Uygulamada güneş pilleri bazı kayıplara sahiptir. Bu kayıplar, seri (R_s) ve paralel (R_{sh}) direnç nedeniyle meydana gelir. Oluşan modelin son hali Şekil 8'de gösterildiği gibidir.

Bu dirençlerde hesaba katılır ve denklem (3) de yerine yazılırsa denklem (4) elde edilir.

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{(V+I.R_s).q}{a.k.T_cK}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

I_L akımı, esas olarak güneşten gelen enerjiye ve hücrenin çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir [34, 35].

$$I_L = [I_{SC} + K_I(T_C - T_{ref})] \cdot \frac{G}{G_{ref}} \quad (5)$$

Burada; I_{sc} = FV hücrenin kısa devre akımı, $G_{ref} = W / m^2$ cinsinden referans güneş enerjisi, T_{ref} = hücrenin referans sıcaklığı, I_{sc} = FV hücrenin kısa devre akımı, T_c = çalışma sıcaklığı, K_I = hücrenin kısa devre akımı sıcaklık katsayısı ve $G = W / m^2$ cinsinden güneş enerjisini ifade etmektedir.

FV hücrelerinin bir başka önemli özelliği olan dolgu faktörü (FF), açık devre gerilimi V_{oc} ile kısa devre akımı I_{sc} nin çarpımının maksimum güç noktasına bölümüne (P_{max}) oranıdır.

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (6)$$

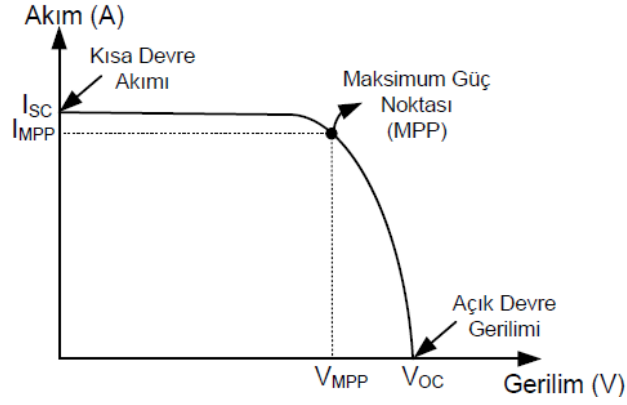
FV hücreleri genellikle 0.4 ve 0.8 arasında değişen bir dolgu faktörüne (FF) sahiptir. İdeal FV panellerin dolgu faktörü 1.0 dir [26, 36].

1.4.8. Fotovoltaik Sistemlerin Elektriksel Karakteristiği

FV sistemlerin karakteristikleri standart koşullar altında elde edilmekte olup, doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptir. Fotovoltaik bir panele ait akım-gerilim grafiği Şekil 9'da gösterilmiştir.

Şekil 9'da görüleceği gibi FV paneller, belirli bir noktaya kadar akım kaynağı gibi davranırken, belirli bir noktadan itibaren ise bir gerilim kaynağı özelliği gösterirler.

Güneş paneli belirli koşullar altında kısa devre edildiği zaman panelden alınabilecek akım değeri sabit olup, akım eksenini kesen bu sabit değer kısa devre akım değerini gösterir. Karakteristiğin gerilim eksenini kestiği nokta ise FV'nin açık devre gerilim değerini gösterir [26].



Şekil 9. Fotovoltaik bir panelin akım-gerilim grafiği [39].

Şekil 9’da gösterilen karakteristiğe sahip FV panelden çekilen güç

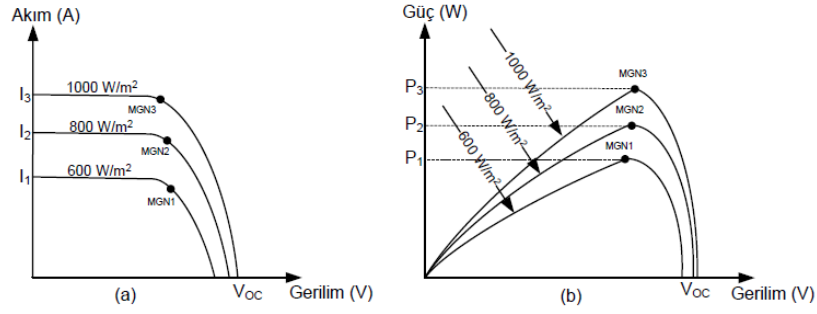
$$P_{PV} = V_{PV} * I_{PV} \quad (7)$$

ile ifade edilirken panelden alınabilecek maksimum güç, bu eğri ile pozitif eksenler arasında çizilebilecek en büyük dikdörtgenin kesişim noktasıdır. Bu kesişim noktasına maksimum güç noktası denir.

Güneş enerjisinden elektrik üretimini etkileyen faktörler

- Birim alana düşen güneş ışınım miktarı,
- Panelin hücre sıcaklığı,
- Güneşlenme süresi,
- Güneş ışınlarının geliş açısı
- Güneş paneline ait verimlilik,
- Panelin güneşe göre yönü ve konumu

olarak ifade edilirken, güneş panellerinin elektriksel karakteristiğini etkileyen en önemli iki temel öge olan güneş ışınım miktarı ve panelin hücre sıcaklığına ait grafikler aşağıda gösterilmiştir [37, 38].

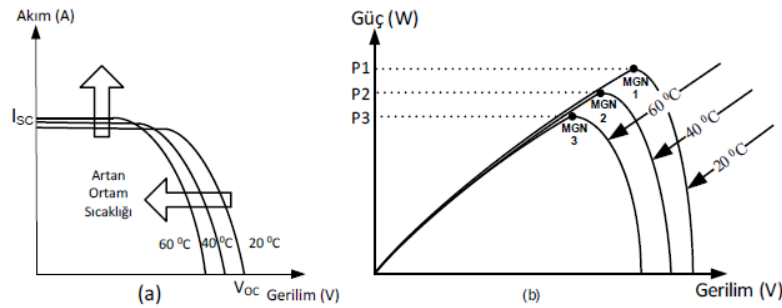


Şekil 10. Işımaya bağlı olarak FV akım-gerilim (a) ve güç-gerilim (b) grafikleri [39].

Işıma özellikle panel yapılarına ait akım değerlerini değiştirir. Işımaya bağlı olarak değişim gösteren bir panelin akım-gerilim ve güç-gerilim çıkış grafikleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekillerden de görüleceği gibi akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri üzerinde farklı ışıma değerleri için maksimum güç noktasına (MGN) ait değerlerin değiştiği gözlenmektedir. Şekil 10'da görülen akım-gerilim grafiğine dikkatle bakılırsa, ışımadaki değişimin, özellikle akım değişimine ve dolayısıyla maksimum güç noktalarının değişmesine yol açtığı gözükcektir [39].

FV'nin elektriksel grafiğini etkileyen ikinci önemli temel öge panelin hücre sıcaklığıdır. Panele ait hücre sıcaklığı özellikle gerilim değerleri üzerinde etkili olmaktadır. Panelin hücre sıcaklığındaki artış, az dahi olsa panel akımında bir artışa neden olsa da panelin gerilim değerinde yadsınamayacak düzeyde azalma olmaktadır. Bundan dolayı net değişim göz önüne alındığında sıcaklık artışı panel gücünde negatif bir etki oluşturmaktadır.

Şekil 11'de FV panelin değişik hücre sıcaklık değerlerine ait akım-gerilim ve güç-gerilim çıkış eğrileri gözükmektedir [39].



Şekil 11. FV panelin sıcaklığa bağlı akım-gerilim (a) ve güç-gerilim (b) grafikleri [39].

Yukarıdaki grafiklerden, sıcaklıkta oluşan farklılığın panele ait akım-gerilim eğrisini değiştirdiği ve bu değişime paralel olarak panelin güç-gerilim eğrisini de değiştirdiği gözlenmektedir. Tüm bu değişimlerin FV panelin farklı sıcaklık değerlerinde maksimum güç noktalarını da değiştirdiği görülebilmektedir.

Güneş enerjisinin en yüksek seviyede elektrik enerjisine dönüştürülmesi FV sistem maksimum güç noktasında çalıştırıldığında mümkün olur. FV sistemi değişen ışıma ve sıcaklık seviyelerinde dinamik olarak maksimum güç noktasında çalıştıracak özel devrelere ihtiyacımız vardır. Bu devrelere maksimum güç noktası izleyiciler denilmektedir.

Tüm teknolojik gelişmelere rağmen güneş pilinin üretebildiği maksimum güç halen daha güneşten elde edilebilecek potansiyel gücün ticari uygulamalarda yaygın olarak %15-22'si arasında değişmektedir. Buradan anlaşılıyor ki mevcut üretim teknolojileri ile güneşten alınabilecek enerji potansiyelinin çok büyük bir kısmını kullanamamaktayız. Bu nedenle maksimum güç noktası izleyiciler, FV sistemlerinin verimli bir şekilde çalıştırılabilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi açısından çok büyük bir öneme sahiptir.

1.5. Rüzgar Enerjisi Üretimi

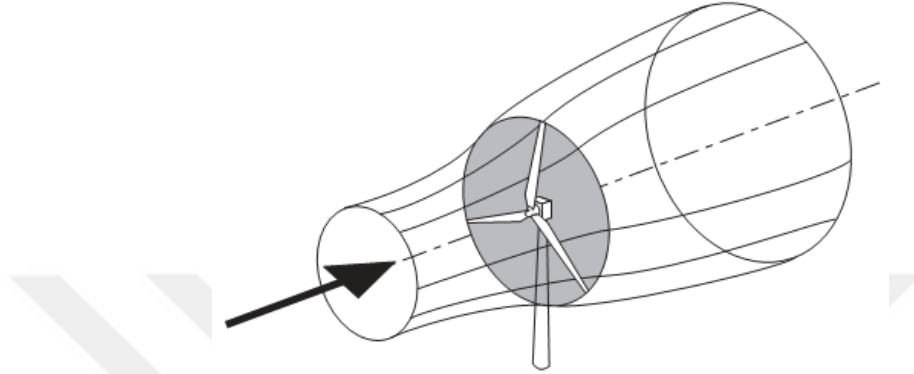
Rüzgâr, sıcak havanın sahip olduğu yoğunluğun soğuk havadan daha az olması sebebiyle yükselmesi ve bu şekilde havanın konum değiştirmesinden kaynaklı oluşan hava hareketidir. Sıcak hava ile soğuk havanın konum değişiminin esas nedeni güneştir. Bu bağlamda rüzgâr enerjisinin temel kaynağı güneştir diyebiliriz [40]. Rüzgâr enerjisi kinetik enerji ile ifade edilirken kinetik enerji, cisimlerin hareket etmesiyle oluşan enerji şekli olarak açıklanmaktadır. Bir cisme ait kinetik enerji ne kadar büyükse cisim o kadar büyüklükte iş yapabilme kapasitesine sahiptir.

1.5.1. Rüzgar Enerjisi Sistemleri

Rüzgâr türbinleri rüzgâr akışının fiziksel gerçekliğinden kaynaklı rüzgârın sahip olduğu enerjinin tamamını alması imkansızdır. Rüzgâr türbinlerinin, rüzgârın mevcut kinetik enerjisinden dönüştürebilecekleri mekanik enerji oranı en fazla %59,3'tür. Bu oran aerodinamik analizler ve performans arttırıcılar kullanılarak oluşturulan ideal bir rüzgâr türbininin elde edebileceği teorik olarak maksimum verimlilik değeridir. Bu sınır Betz'in

limiti olarak bilinir. Aslında bu durum dünyadaki hiçbir rüzgar türbininin verimlilik sınırının %59,3'ü geçemeyeceği anlamına gelir. [41, 42].

Rüzgâr türbininin ön ve arkasında oluşan hava akımlarını gösteren şekil aşağıda sunulmuştur.

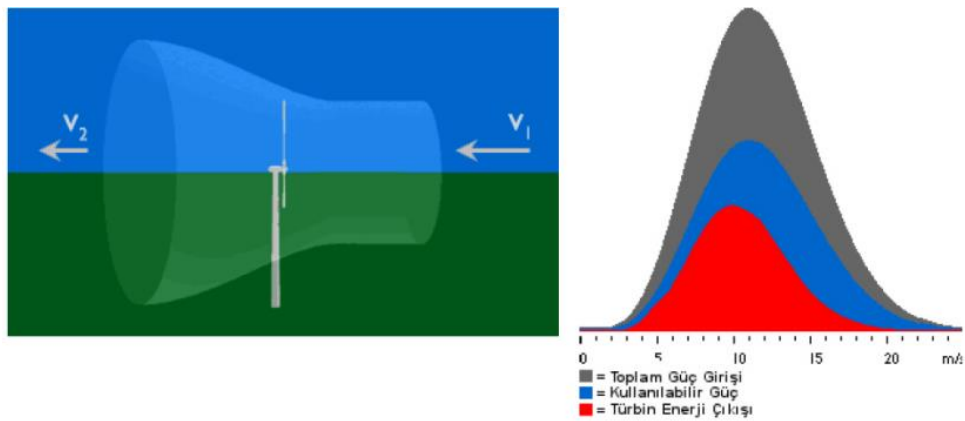


Şekil 12. Rüzgâr türbininin ön ve arkasında oluşan hava akımları [40].

Oluşan hava akımlarının, rüzgar türbinine ulaşmadan önce genişlemeye başlaması ve bu sebeple hızının azalması dikkate alınarak betz limiti elde edilmiştir.

Şekil 13'deki durum incelendiğinde, türbine giriş hızı V_1 olan hava, enerjisinin bir bölümünü türbine vermekte ve hızı V_2 olmaktadır. V_2 hızı ile V_1 hızı arasındaki oran değişimine bağlı olarak üretilen enerji miktarı değişim göstermektedir.

Rüzgar türbini tarafından çekilen enerji, Rüzgar türbinine henüz girmeden önceki rüzgarın mevcut enerjisi ile türbinden çıktıktan sonraki enerjisinin farkı alınarak bulunur.



Şekil 13. Betz limitinin gösterimi [43].

Betz limitine göre rüzgardan elde edilebilecek teorik olarak maksimum güç, şu formülle elde edilir. [11]:

$$P = 1/2\rho v^3 \pi r^2 C_{p,Betz} \quad (8)$$

Bu denklemde;

P = Rüzgarın gücü [W]

v = rüzgar hızı [m/s]

r = rotor yarıçapı [m]'dir.

ρ (rho) = Havanın yoğunluğu = 1,225 [kg/m³]

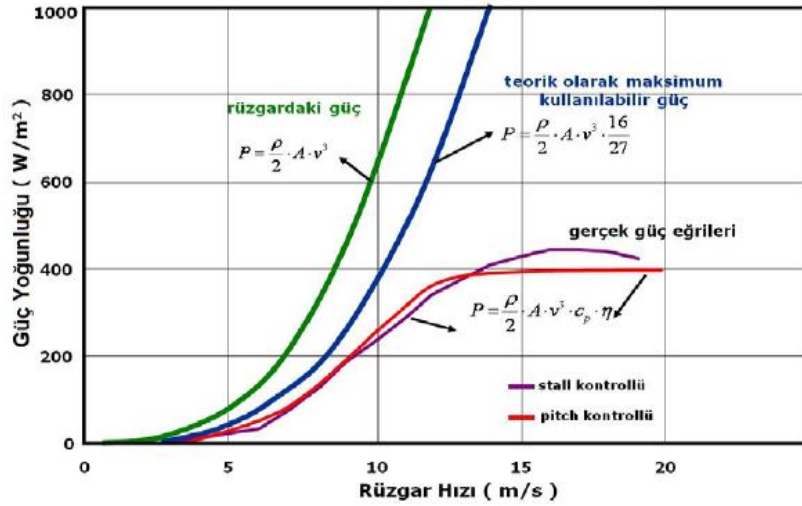
C_p katsayısı, türbine giren ve çıkan akışkanın hızlarının oranına göre değişim göstermektedir. C_p pratik uygulamalarda $C_{p,Betz}$ den küçük olup, güç faktörü olarak da adlandırılmaktadır.

Böylece rüzgardan elde edilebilecek gücün genelleştirilmiş formülü (9) eşitliğinde verilmektedir.

$$P = 1/2\rho v^3 \pi r^2 C_p \quad (9)$$

Rüzgardan elde edilebilecek gücün rüzgar hızının küpüyle doğru orantılı olduğu görülmektedir.

$A = \pi r^2$ olmak üzere rüzgar türbinlerinde değişik rüzgar hızları için oluşan güç yoğunluğu değerlerine ait şekil aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 14. Rüzgar türbinlerinde rüzgar hızı/güç yoğunluğu değişimi [44].

Rüzgar türbinleri teknolojisi aerodinamik analizler, mekanik dönüşümler, meteorolojik veriler ve elektrik enerji sistemleri gibi birden fazla alt disiplini içinde barındıran bir konuyu ihtiva etmektedir [44].

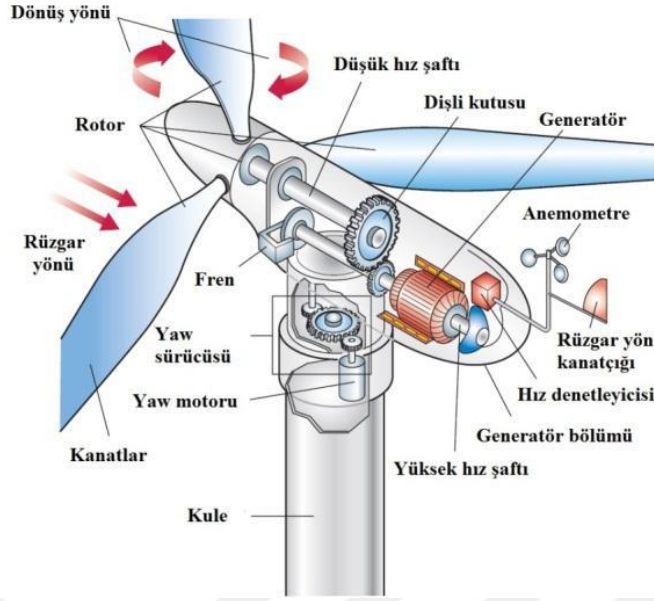
1.5.2. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri sıcak ve soğuk havanın konum değiştirmesi ile oluşan rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektromekanik enerji dönüşüm temelli sistemler olarak ifade edilmektedir [45].

Günümüzde rüzgar türbinleri değişik ihtiyaçlara çözüm bulmak amacıyla farklı güçlerde üretilmektedir. Büyüklüklerine göre sıralanan rüzgar türbinleri aşağıda belirtilmiştir [40]:

- Küçük güçlü sistemler: Çoğunlukla 0–10 kW gücündeki sistemleri içermektedir.
- Orta güçlü sistemler: Çoğunlukla 10–100 kW arasında olan sistemleri içermektedir.
- Büyük güçlü sistemler: Gücü 100 kW'dan daha büyük olan sistemleri içermektedir.
- Megawatt Türbinler: Megawatt gücünde üretim yapabilen türbin sistemleridir.

Şekil 15'de rüzgar türbininin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 15. Rüzgar türbininin şematik gösterimi [46].

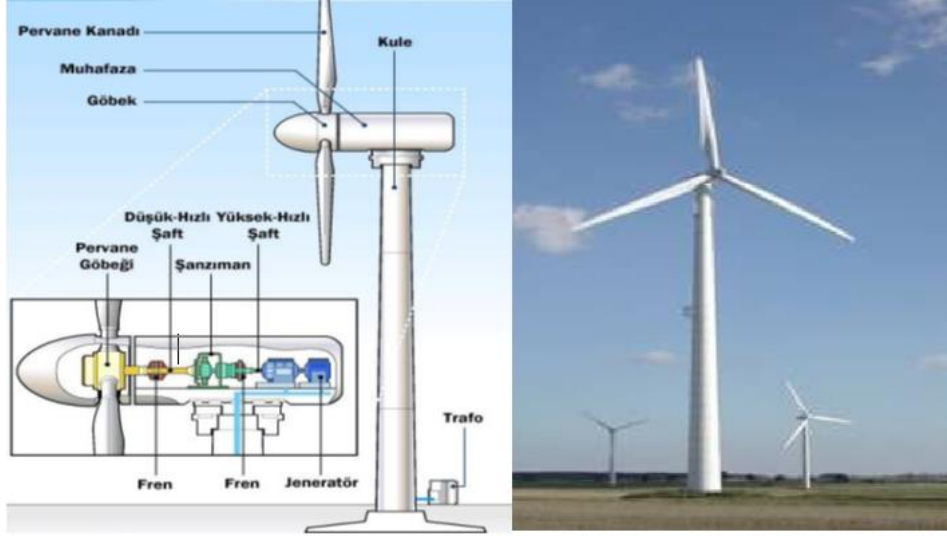
Rüzgar türbinlerini eksenlerine ve çalışma şekillerine göre de sınıflandırabiliriz.

1.5.2.1. Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri eksen yapılarına göre yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

1.5.2.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Şekil 16'da görülen yatay eksenli türbinlerin rotoru yer yüzeyine göre yatay eksenle çalıştığından bu şekilde isimlendirilmiştir. Bu türbinlerin kanat sayısı tek olabileceği gibi iki, üç veya çok kanatlı olarak tasarımı yapılabilmektedir. Günümüzde ticari uygulamalarda en fazla tercih edilen türbinler ise üç kanada sahip yatay eksenli rüzgâr türbinleridir. Yatay rüzgar türbinlerinin tek kanatlı olanları ise denge sorunları ve estetik nedenlerden ötürü çok fazla tercih edilmez. Yatay eksenli türbinleri, dikey eksenli rüzgar türbinleriyle karşılaştırıldığında, verim bakımından daha yüksek verimle elektrik enerji üretimi gerçekleştirdiği bilinmektedir [47, 48].



Şekil 16. Yatay eksenli rüzgar türbinleri [49].

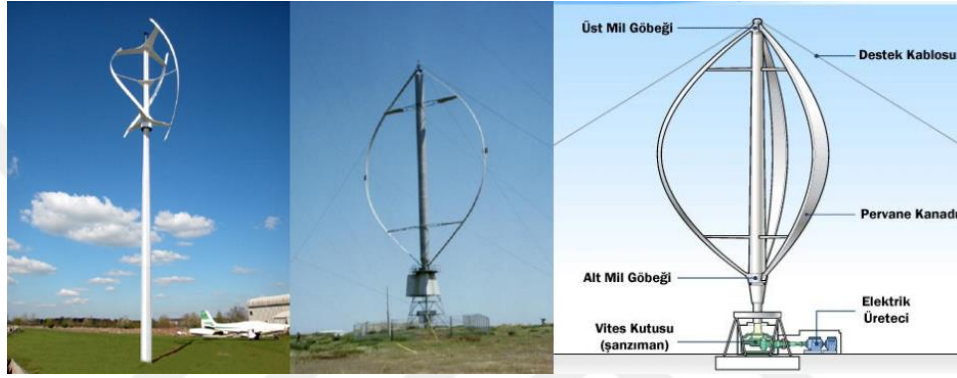
Yatay eksenli rüzgar türbinleri rüzgarı karşısına alma yönlerine göre de iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Rüzgarı önden alan yatay eksenli rüzgar türbinlerine ait rotor yüzü rüzgara doğru dönmüşken, rüzgarı arkadan alan yatay eksenli rüzgar türbinlerinde ise rotor yüzü kulenin arka tarafına konumlandırılmıştır. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde, rüzgarı önden alan türbinlerde rüzgarın gövde kısmından önce türbine gelmesi önemli bir avantajdır. Fakat bu sistemlerde rotorun rüzgarın yönüne doğru dönebilmesi için kuyruk (yaw) tertibatına gereksinim vardır. Rüzgarı arkadan alan yatay eksenli türbinlerde ise rotor rüzgarın yönüne doğru kuyruk tertibatına gerek duyulmadan kendi kendine dönebilmektedir. Bu türbin çeşitlerinde, rüzgarın direğin üstünden geçerek gelmesi sebebiyle güç dalgalanması olayı gerçekleşebilmektedir [47, 48].

1.5.2.1.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Türbinlerin rotorları, rüzgar yönüne göre dik eksenleri olan sistemlere dikey eksenli rüzgar türbinleri denmektedir. Bu türbinlerin rüzgarın geliş yönünden bağımsız olarak ve herhangi bir kuyruk mekanizmasına ihtiyaç duymadan aynı verimle çalışabilmeleri yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre en büyük avantajlarıdır. Dişli kutusu sistemleri ve generatör, zemin seviyesine konumlandırıldığından inşaat ve bakım masraflarında azımsanmayacak düzeyde tasarruf etmek mümkündür. Rüzgarı her yönden kabul edebilecek durumda oluşu dikey eksenli rüzgar türbinlerinin önemli bir üstünlüğüdür.

Kanat sayılarının artması, sistemin maliyetini ve ağırlığını arttırmaktadır. Bu durum dikey eksenli rüzgar türbin sistemlerinin verimini düşürmektedir. Bu türbinleri yer seviyesine bağlayabilmek için Şekil 17'de görüldüğü gibi çelik halatlar kullanılmaktadır[47, 48].

Elektrik enerjisi üretimine ait uygulamalar günümüz itibariyle daha çok yatay eksenli rüzgar türbinleri ile sağlanıyor olsa da büyük güçlü düşey eksenli rüzgar türbini uygulamaları da görülmektedir. Dikey eksenli türbinlerin değişik biçimlerde üretimleri bulunmakla birlikte çoğunlukla kullanılan tasarımlar; Savonious ve Darrieus tasarımlarıdır.



Şekil 17. Dikey eksenli rüzgar türbinleri [49].

1.5.2.2. Çalışma Şekillerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri çalışma durumlarına göre sabit hızlı rüzgar türbinleri ve değişik hızlı rüzgar türbinleri olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır.

1.5.2.2.1. Sabit Hızlı Rüzgar Türbinleri

Sabit hızlı rüzgar türbinleri 90'lı yıllarda, basit, az maliyetli, güvenilir ve dayanıklı olmalarından ötürü sıkça tercih edilmekteydi. Fakat, değişken hızlı türbinlerdeki enerji verimliliğine sahip olmamaları ve şebekeye doğrudan bağlanmaları sebebiyle şebekede ciddi güç kalitesi problemlerine kaynaklık etmiş olmaları bu tip türbinlerin günümüzdeki kullanımını oldukça azaltmıştır. Sabit hızlı rüzgar türbinlerinde rüzgar hızındaki değişiklik generatörün dönme hızını etkilememesine rağmen türbinin kanat hızı oranının değişimine neden olmaktadır. Bundan dolayı, sabit hızlı rüzgar türbinleri yalnızca tek bir rüzgâr hızında maksimum aerodinamik verimi yakalayabilmektedir [41, 50, 51].

1.5.2.2.2. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri

Değişken hızlı rüzgar türbinleri, optimum verim bölgesindeki her rüzgâr hız değerinde, maksimum aerodinamik verimle çalışabilme olanağına sahiptir. Bu durum sabit hızlı rüzgar türbinlerinin güç üretimine kıyasla daha yüksek değerde güç üretiminin gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Değişken hızlı rüzgar türbinlerinde hız denetimi ve yön denetimi olmak üzere iki önemli parametre ile türbinin çalışması gerçekleştirilir [41, 50, 51].

1.5.2.2.2.1. Yön Denetimi

Dikey eksenli rüzgar türbinleri her konumdan gelen rüzgarı yönlerinde farklılık oluşturmadan değerlendirebilirler fakat yatay eksenli rüzgar türbinlerinde pervane dönme düzleminin rüzgar yönüne dik olması en iyi verimin oluşabilmesi için şarttır. Bu durum yatay eksenli rüzgar türbinlerinde bir yönlendirme tertibatı kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

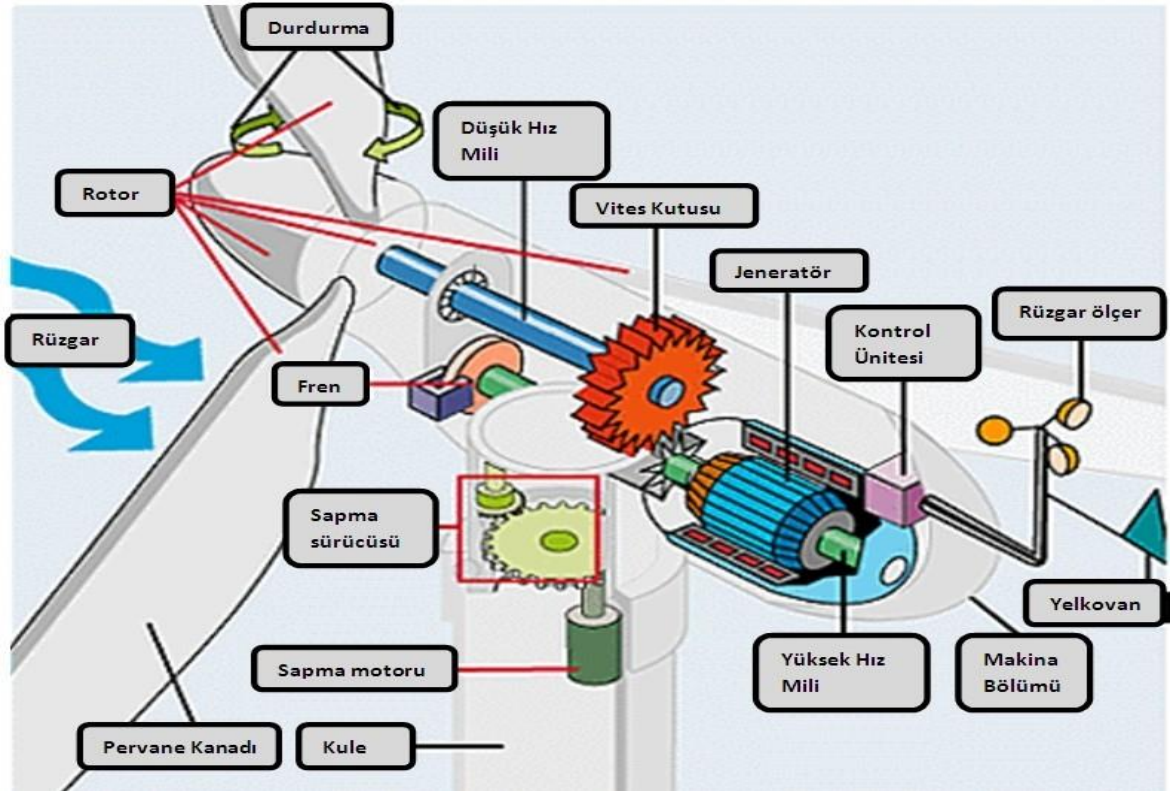
1.5.2.2.2.2. Hız Denetimi

Rüzgar türbin pervanesinin dönme hızının ayarlanması, sistemin çalışmaya başladığı ve çalışmayı durdurduğu hızların tespit edilmesi, sistemin üreteceği gücün sınırlanması ve sistemin verimli çalışmasının sağlanması için türbinlerde hız denetleyici mekanizması kullanılmaktadır.

risk barındırdığından denetleyici türbin kanatlarının çalışmasını sonlandırmaktadır. Bu bölgeye emniyetsiz bölge denir.

1.5.3. Rüzgar Türbininin Bileşenleri

Şekil 19'da yatay eksene sahip bir rüzgar türbininin elemanları görülmektedir.



Şekil 19. Rüzgar türbini ve bileşenleri [53].

Sistemde yer alan bileşenler kısaca tanımlanırsa [54];

Kanatlar: Rüzgar enerjisinin oluşturduğu etkiyle hareket ederek rotorun dönmesi için ihtiyaç duyulan mekanik enerjinin oluşumuna kaynaklık eder. Çoğunlukla iki veya üç kanatlı olarak günümüzde üretilen rüzgar türbinlerinde nadiren de olsa tek kanatlı imalatlarda bulunmaktadır.

Kanat Göbeği (Hub): Kanatların gövdeye bağlantı yapıldığı yerdir.

Gövde (Nacelle): Sistemi dışarıdan gelecek etkilerden muhafaza eden ve mukavemeti sağlayan ana bileşendir.

Kule: Kafes biçiminde ya da yuvarlak olarak tasarımı gerçekleştirilen, tepe düzlemine türbin gövdesinin konumlandırılmasını sağlayan, çelik malzemedan üretilmiş direklerdir.

Dişli Kutusu: Rüzgar türbin bıçakları mekanik mukavemet ve gürültü sorunları nedeniyle genellikle çok düşük devirlerle dönerler. Düşük hızlı dönüşü düşünecek olursak üreteçten kayda değer elektrik frekansı üretilemez. Bu yüzden türbinler üretece bağlanmadan önce hız bir dişli kutusunda (şanzıman) arttırılır. Dişli kutusu yüksek hıza ulaşmak için planet dişli takımını kullanır.

Dişli kutularının mekaniki olarak ağır oluşu, rüzgar kulesinin ömrünü azaltmaktadır. Günümüzde araştırma çalışmalarının büyük bir kısmı, dişli kutuları kullanılmadan elektrik üretiminin nasıl sağlanabileceğine yöneliktir.

Generatör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren, indüksiyon yasasına göre gerilim üretilmesini sağlayan dönen elektrik makinasıdır.

Frenler: Aşırı rüzgarlı durumlarda dönüş hızını dengeleyen frenler, sistemin bakım anında sabitlenmesi amacıyla ve acil durumlarda kullanılmaktadır.

Denetleyici: Rüzgar türbininin ana yönetim merkezi görevini üstlenen kısım olup, türbinde dönüş olayını başlatan, dönüş hızını tespit eden, rüzgarın düşük ve çok yüksek hızlara ulaştığında dönme hareketini durduran bileşendir.

Rüzgar ölçer (Anemometre): Pervanenin maksimum üretim için rüzgarı karşısına alması gerekmektedir. Ancak rüzgarın yönü her an değişebilir. Bunun için kaportanın tepesinde rüzgarın yönünü ve hızını ölçen bir sensör bulunur. Rüzgâr hızını ve yönünü ölçüp elektronik denetim sistemine ileten bu ölçüm cihazına anemometre veya rüzgar ölçer denilir.

Yaw (Kuyruk) Tahrik: Günümüzde tek ya da iki kanatlı rüzgar türbinlerine oranla daha çok kullanılan üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgârı karşısına alacak şekilde konumlandırılmıştır. Rüzgârın hız değişiminin gerçekleşmesiyle, rotor kafasını, rüzgâra 90° olacak şekilde ayarlayan tertibatlardır ve kuyruk motoru aracılığıyla hareket eder. İki kanatlı türbinlerin rotorları ise kafalarını rüzgâr doğrultusunun tersine olacak şekilde konumlandıklarılarından, kuyruk denetim tertibatına gerek duymazlar. Böylece hakim rüzgâr yönüne rahatlıkla dönüş yapabilmekte ve rüzgârdan alabileceği maksimum verimi yakalayabilmektedir.

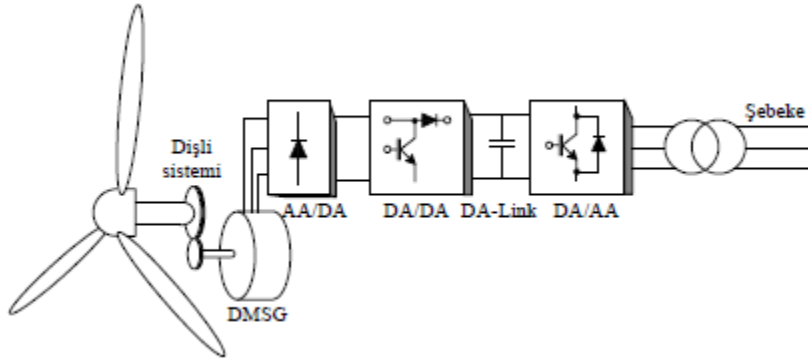
1.5.4. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler

Rüzgar türbinlerinde; üç tip generatör çeşidi kullanılmaktadır. Bunlar: senkron generatör, asenkron generatör ve doğru akım generatörüdür.

1.5.4.1. Senkron Generatörler

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde asenkron generatörlere kıyasla senkron generatörler şebeke ile paralel bağlantı denemelerinde daha çok kullanılmaktadır. Daimi mıknatıslı senkron generatörün statoru sargılıdır ve rotoruna sabit mıknatıslar konumlandırılmış olup Şekil 20'de gösterildiği gibi devre bağlantısı gerçekleştirilir.

Daimi mıknatıslı senkron generatörlerdeki sabit mıknatıs yapısı nedeni ile klasik yapıdaki senkron generatörlerin stator sargılarında gerilimin indüklenebilmesi için ihtiyaç duyulan DA uyarımına gerek yoktur. Daimi mıknatıslı senkron generatörlerin bu nedenle bakım maliyetlerinin azalması rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde daha çok kullanılmasını sağlamaktadır. Bu durum konvansiyonel senkron generatörlerin çoğunlukla bakıma gerek duymasına neden olan karbon fırça tertibatının, daimi mıknatıslı senkron generatörlerde bulunmaması ile ifade edilebilir. Daimi mıknatıslı senkron generatörlerin diğer bir üstünlüğü de değişik hız seviyelerinde güç üretebilmesidir. Asenkron generatörün bulunduğu rüzgar türbinlerinde dişli kutusuna ihtiyaç duyulmasına rağmen daimi mıknatıslı senkron generatörlerde, dişli kutusuna ihtiyaç duyulmadan generatör hızının denetimi sağlanabilir. Doğru akım generatörüne göre daha yüksek verimle çalışan daimi mıknatıslı senkron generatörler özellikle küçük güçlü uygulamalarda optimum çözüm sağlar. Daimi mıknatıslı senkron generatörler harekete geçme anında, şebekeye bağlandığında ve gerilim regülasyonunda bazı problemlere kaynaklık edebilir ve bu durumda bazı düzenlemelerin yapılmasını gerektirir. Asenkron generatörlere göre daha karmaşık denetim mekanizmalarına sahiptir. Sistemde kullanılan sabit mıknatısların fiyatlarının yüksek oluşu ve sıcaklık değerlerinin belli seviyelerin üstüne çıkmasıyla mıknatısların manyetik özelliklerini yitirmeleri bu sistemlerin bir diğer olumsuz yönüdür [41, 45, 55].



Şekil 20. Rüzgar türbindeki DMSG şebeke bağlantısı [55].

1.5.4.2. Asenkron Generatörler

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılan asenkron generatörler üç şekilde sınıflandırılır.

Bunlar: Rotoru sargılı (bilezikli), sincap kafesli ve çift beslemeli asenkron generatörlerdir.

Asenkron generatörlerin senkron generatörlere göre önemli üstünlükleri vardır. Senkron generatörler, aynı büyüklükteki asenkron generatörlere kıyasla daha pahalıdır ve daha fazla bakıma gerek duyarlar.

Sincap kafesli asenkron generatörler, sisteme güç elektroniği elemanları kullanılarak değişen hızlarda ve doğrudan bağlanıp sabit hızda çalıştırılabilirler. Asenkron generatörler şebekeye bağlı sistemlerle rahatlıkla çalışmaktadır. Bu generatörler şebekeye bağlandığında gerçekleşen aşırı yüklenme çok kısa sürede geçmektedir.

Şebeke bağlantılı sincap kafesli asenkron generatörün mıknatıslama akımını şebekeden çekmesi nedeni ile reaktif güç harcaması, bu generatörlerin olumsuz bir yönüdür. Şebekeden bağımsız çalışan asenkron generatörlerde ise stator sargılarına kapasiteler bağlanarak reaktif güç şebeke yerine kapasitelerden sağlanır.

Bilezikli asenkron generatörler ise kayma denetimini gerçekleştiren ve böylece belirli aralıklarda hız değişimini temin eden rotor dirençleri ile beraber bir alternatif akım sistemine doğrudan bağlanabilmektedir.

Çift beslemeli asenkron generatör ise güç elektroniği elemanlarıyla oluşturulan çeviricilerin boyutuna göre çok daha geniş aralıklarda hız ayarlama fırsatı sunmaktadır. Çift beslemeli asenkron generatörde rotor tarafı çeviricisi ve şebeke tarafı çeviricisi olmak

üzere iki çevirici bulunmaktadır. Çeviriciler sayesinde ilave reaktif güç denetimine gerek yoktur. Aktif ve reaktif güç denetimi çeviriciler tarafından sağlanmaktadır. Bilezik tertibatında kullanılan güç elektroniği elemanlarından dolayı diğer generatörlerden daha maliyetli olması ve düzenli bakıma olan gerekliliği, çift beslemeli asenkron generatörlerin olumsuz yönleridir [41, 45, 55].

1.5.4.3. Doğru Akım Generatörleri

Doğru akım generatörlerinin, bakım gereksinimleri ile yapılarında bulunan kollektör ve fırçanın kolaylıkla arızalanması nedeniyle güvenilirliklerinin az olması, bu generatörlerin olumsuz yönleridir. Buna rağmen özellikle şebekeden bağımsız, küçük güçlü sistemlerde kullanımı bulunmaktadır. Daimi mıknatıslı doğru akım generatörleri, mekanik komütatörlü doğru akım generatörleri yerine kullanılarak, türbin sistemlerinde komütatör tertibatı ve olası arızalar engellenebilir. Daimi mıknatıslı DA generatörlerinde üretilen doğru akım güç elektroniği elemanlarıyla oluşturulan eviriciler aracılığıyla alternatif akıma çevrilir [41, 45, 55].

1.5.5. Rüzgâr Türbinlerinde Maksimum Güç Noktası Takibi

Rüzgâr enerjisi üretiminde, rüzgâr türbinlerinin maksimum verimde çalışmasını sağlamak için, generatörün karakteristiğine bağlı olarak maksimum güç noktasının izlenilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca rüzgâr türbininin mekaniki reaksiyonları ve rüzgâr hızındaki ani değişimlerin de bilinmesi önemlidir. Bu bilgiler ile beraber kullanılan türbinin yapısına bağlı olarak, MGNİ denetim mekanizması farklılık göstermektedir. MGNİ denetim uygulamalarındaki ana değişiklikler şöyle sıralanabilir [54] :

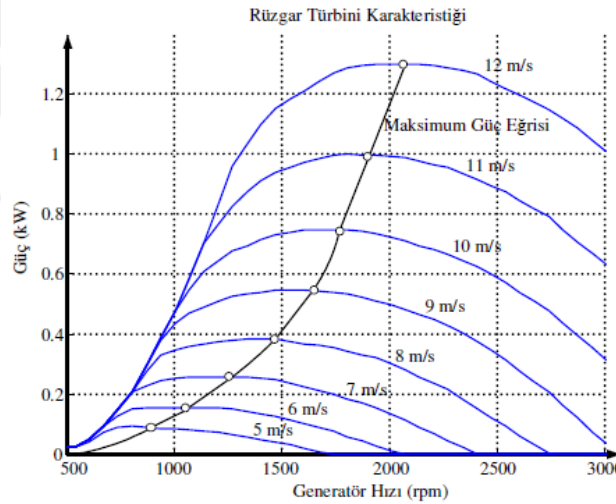
- Maksimum güç noktası takip etme adımları rüzgâr hızındaki değişikliklere bağlı olarak düzenlenen sistemler,
- Darbe genişlik modülasyon sinyalindeki ölü zamanı (dead time effect) doğru tespit etmek, güç elektroniği anahtarlama elemanlarının, ısınmasının ya da kısa devre olmasının önüne geçer. Aynı zamanda, ölü zamanın generatörün dönüş hızıyla uyumlu hale getirildiği sistemler ki burada, güç eğrisinin dengeli olması ve MGN noktasının takip edilmesi için generatörün dönüş hızıyla uyumlu darbe genişlik modülü sinyali üretilir.

- Generatörün dönüş hız referansındaki osilasyonları asgariye indirmek için MGNİ denetleyicinin çıkışında alçak geçiren süzgeç kullanılan sistemler. Bu sistemlerde sistemin mekanik zaman sabiti ile süzgecin gecikme etkisi büyük bir titizlikle irdelenmelidir.

Sonuç olarak bu sistemlerle; hızlı, dengeli, az maliyetli ve maksimum verimli enerji dönüşümü yapılması temel gayedir.

Rüzgâr türbinleri ile yapılan MGNİ uygulamalarında, öncelikle kullanılan rüzgâr türbininin çeşitli rüzgâr hız değerlerindeki, çıkış gücünü ve alternatör hızını kıyaslayan eğrileri çıkarılmaktadır. Sonra bu eğrilerden yararlanılarak türbinin maksimum güç noktaları tespit edilmekte ve sistem buna göre ayarlanmaktadır.

Gücü 1,5 kW olan bir rüzgâr türbininin, yapılan deneyler neticesinde oluşturulan hız-çıkış gücünü gösteren rüzgâr türbini karakteristiği Şekil 21’de gösterilmiştir.



Şekil 21. 1,5 kW'lık rüzgâr türbininin hız-güç eğrisi [54].

Şekilde değişik rüzgâr hızı ölçümleri için rüzgâr türbinin generatör dönüş hızına bağlı olarak oluşturulan çıkış gücü grafiği yer almaktadır. Grafiği oluşturan eğrilerin en üst noktalarını birleştiren üçüncü eğri ise bu rüzgâr türbininin maksimum güç noktası izleme eğrisidir.

Rüzgâr türbinlerinde maksimum güç izlenmesi yönteminin elektronik olarak yapılabilmesi için yüke aktarılacak gerilim değeri ile türbinden elde edilen gerilim değeri arasında bir fark sağlanabilmelidir. Bunu oluşturabilmek için fotovoltaik enerji sistemlerinde olduğu gibi değişik DA-DA çevirici tertibatları kullanılmaktadır. Arttırıcı,

azaltıcı ve çifte arttırıcı gibi çevirici tertibatları bunlara örnek olarak gösterilebilir. Rüzgâr türbininin çıkışından elde edilen üç fazlı alternatif akım gerilimi ilk olarak üç fazlı kontrolsüz köprü doğrultucuya uygulanarak, çıkışından doğru gerilim alınır.

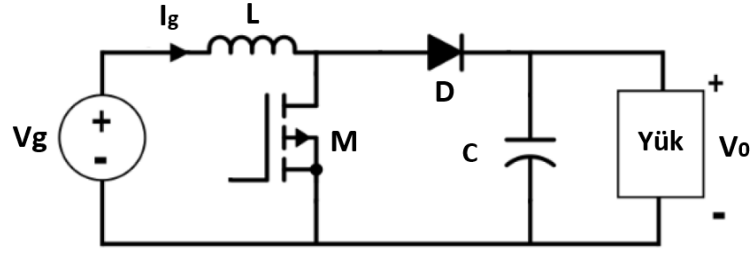
Elde edilen bu gerilim DA-DA çeviriciye uygulanarak maksimum güç noktası izlenilmesine ilişkin yöntemler gerçekleştirilir. Burada gaye türbinden elde edilen gerilimi verimin maksimum olacağı noktada daimi olarak tutabilmektir [54].

1.6. DA/DA Çeviriciler

DA-DA anahtarlama temel çeviriciler, bir yarı iletken güç diyotu, bir denetimli yarı iletken güç elemanı ve bir bobinden oluşan üç temel elemanın değişik biçimlerde irtibatlanmasıyla elde edilmektedir. Devrede ya tam kesimde ya da tam iletimde olarak çalıştırılan denetimli yarı iletken güç elemanı, aktif eleman veya güç anahtarı olarak adlandırılmaktadır. Devrede kullanılan diyot ise yarı iletken pasif güç elemanı görevini üstlenir. Anahtarlama DA-DA çeviricilerin çalışma ilkesi, anahtarlanan bobinin manyetik alanda, manyetik indüksiyon prensibine göre depo ettiği enerjiyi aktarımına dayalıdır. Bu çeviricilerde, bir anahtarlama periyodu içerisinde ya güç diyodu ya da güç anahtarı iletimdedir. Genel olarak, yarı iletken güç anahtarı iletimde iken bobinde manyetik alanda depo edilen enerji, diyot iletime geçtiğinde çıkışa aktarılmış olur. Anahtarlama DA-DA çeviricilerde çoğunlukla; düşük güç ve yüksek frekanslar için MOSFET, orta güç ve orta frekanslar için BJT, ortanın üzerindeki güç ve frekanslar için IGBT, yüksek güç ve düşük frekanslar için ise SCR, yarı iletken güç elemanı görevini üstlenmektedir [56,57].

1.6.1. Arttıran DA/DA Çeviriciler

Yükselteci yapıdaki DA/DA çeviriciler isminden de belli olacağı üzere giriş gerilimini arttıran devre çeşitleridir. En temel devre yapısı Şekil 22' de gösterilmektedir. Bu devreler kullandıkları sistemlerin V_g giriş gerilimini V_0 çıkış gerilimine, yani sistemdeki batarya veya yükü besleyen gerilime dönüştürme görevini gerçekleştirmektedir [56].



Şekil 22. Arttıran DA/DA çevirici

Arttıran DA/DA çeviricide enerji dönüşümü, yarı iletken güç anahtarı (M) iletimde iken giriş gerilimi (V_g), bobin (L) üzerinden akım geçirmek suretiyle bu endüktansa enerji aktarılması, daha sonra da M güç anahtarının kesime gitmesiyle, bobinde manyetik indüksiyon prensibine göre oluşan ters elektro motor kuvvetin diyot üzerinden geçerek devredeki kondansatör elemanını doldurması suretiyle gerçekleşir. Sabit değerde olduğu kabul edilen V_g giriş gerilimi ile V_0 çıkış gerilimi arasındaki ilişki, denklem (10)'da, I_g giriş akımı ile I_0 çıkış akımı arasındaki ilişki denklem (11)'de gösterilmektedir. Eşitliklerde verilen D, yarı iletken güç anahtarının bir periyot boyunca iletme geçtiği sürenin tüm periyoda oranı olup görev çevrim süresi (duty cycle) olarak adlandırılmaktadır.

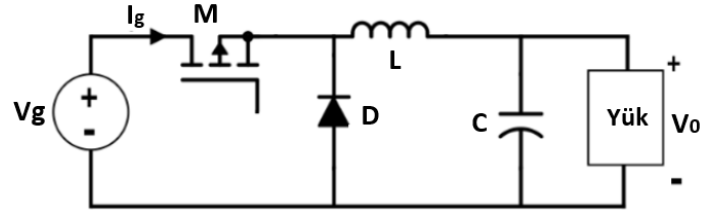
$$V_0 = \frac{1}{1-D} V_g \quad (10)$$

$$\frac{I_0}{I_g} = 1 - D \quad (11)$$

1.6.2. Azaltan DA/DA Çeviriciler

Girişlerinde bulunan gerilim değerini düşüren devre çeşitlerine azaltan tip DA/DA çeviriciler denmektedir. DA motor hız denetim devrelerinde ve DA güç kaynaklarında çok görülen bir kullanım alanına sahiptir [56].

Şekil 23'de görülen DA/DA çevirici devresinde, yarı iletken güç anahtarı ve güç diyodu, çıkış akımının tek tarafta geçişini sağlamaktadır. DA/DA çeviricinin giriş gerilimi V_g , çıkış gerilimi ise V_0 ile gösterilmektedir.



Şekil 23. Azaltan DA/DA çevirici

M güç anahtarı iletimde olduğunda bobin giriş gerilimi ile beslenmekte ve bobin üzerinden geçen akım bu depolama elemanında enerji birikmesini sağlamaktadır. Güç anahtarı kesime girdiğinde diyot iletime geçerek bobin üzerinde manyetik alanda depo edilen enerji yükte aktarılmakta ve endüktans üzerinden geçen akım azalmaktadır. I_g giriş akımını, I_o çıkış akımını ifade etmek üzere devreye ait giriş çıkış denklemleri eşitlik (12) ve (13)'de gösterilmektedir.

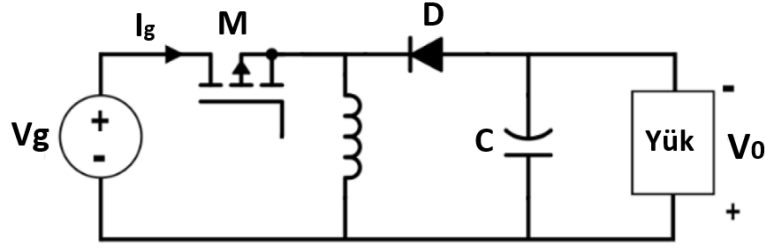
$$V_o = D \cdot V_g \quad (12)$$

$$I_g = D \cdot I_o \quad (13)$$

Görev çevrim süresinin (Duty cycle) değeri $0 \leq D \leq 1$ aralığında bulunduğundan yukarıda gösterilen eşitliklerden, azaltan DA/DA çeviricinin, çıkış gerilim değerini azaltırken, akım değerini yükselttiği ortaya çıkmaktadır.

1.6.3. Azaltan-Arttıran DA/DA Çevirici

Giriş gerilim değerine göre çıkış gerilimini, hem azaltabilen hem de arttırabilen DA/DA çevirici yapılarıdır. Azaltan-arttıran DA/DA çeviriciler, devrelerin giriş gerilimini tersleyip negatif gerilim biçimine dönüştürürler. Bu sebepten ötürü ters çıkışlı DA/DA çeviriciler olarak da bilinirler. Devre yapısı Şekil 24'de görülmektedir [56].



Şekil 24. Azaltan-arttıran DA/DA çevirici

Güç anahtarı iletimde olduğunda güç diyodu ters polaritede olmakta, bobinde kaynak gerilimi aracılığıyla enerji depo edilmektedir. Güç anahtarı kesime gittiğinde ise diyot doğru polarlama durumuna geçerek bobin üzerindeki enerjiyi devre çıkışına yönlendirmektedir. Azaltan-Arttıran DA/DA çevirici; anahtarlama süresinin (D) 0.5'den küçük olduğu durumda azaltan, 0.5'den büyük olduğu durumda ise arttıran modunda çalışmaktadır.

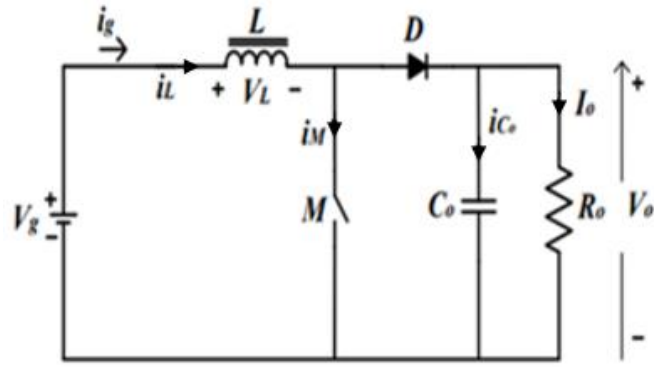
Bu devreye ait giriş çıkış denklemleri eşitlik (14) ve (15)'de gösterilmektedir.

$$V_g = \frac{1-D}{D} V_o \quad (14)$$

$$I_o = \frac{1-D}{D} I_g \quad (15)$$

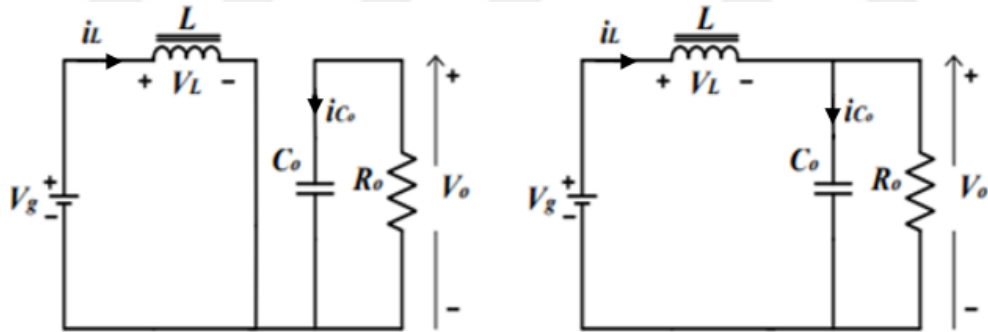
1.6.4. Arttıran Çeviricinin Analizi

Arttıran çeviricide esas olarak, yarı iletken güç anahtarlama elemanı iletimde olduğunda giriş gerilim kaynağı yalnızca bobine ilave bir enerji aktarmakta ve bu sırada yükü kapasite beslemektedir. Yarı iletken güç diyodu iletimde olduğunda ise, hem endüktanstaki birikmiş enerji çıkışa yönlendirilmekte hem de giriş gerilim kaynağı çıkışı beslemektedir [58].

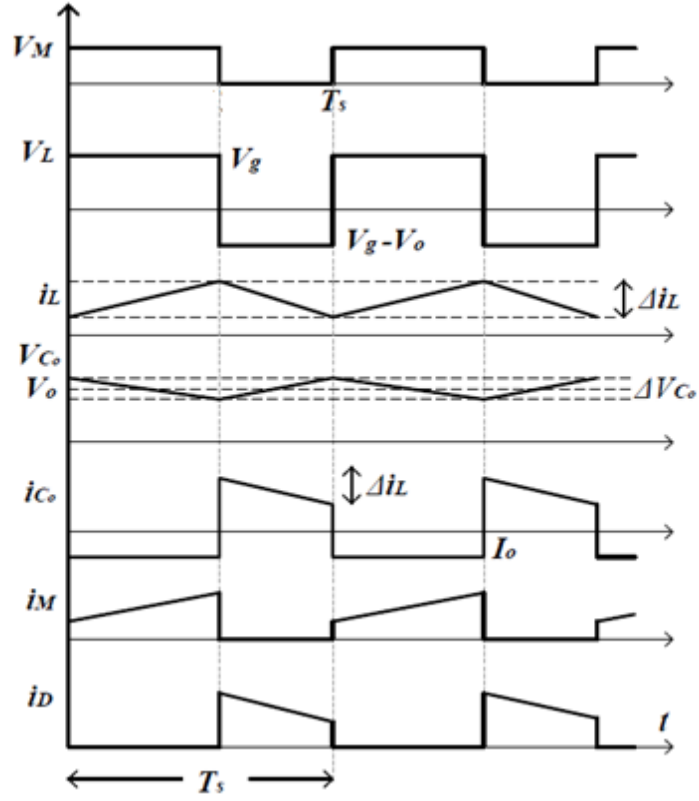


Şekil 25. Arttıran çeviricinin devre şeması

DA/DA arttıran çevirici devresi, güç anahtarı ihtiva eden aktif bir devre olduğundan, devrenin çözülmesi anahtarın kapalı ve açık olmasına göre irdelenir. Devredeki aktif güç anahtarın kapalı ve açık olmasına göre arttıran devreye ait oluşan eşdeğer devre şemaları Şekil 26'da ve gerilim-akım değerlerine ait dalga biçimleri ise Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 26. Arttıran DA/DA devresinin eşdeğer devre şeması; (a) M güç anahtarı kapalı (ON) iken, (b) M güç anahtarı açık (OFF) iken



Şekil 27. Sürekli iletim modunda arttıran devrenin gerilim-akım dalga şekilleri

M güç anahtarı kapalı konumda (ON) iken bobin gerilimi ve kapasite akımı,

$$V_g = V_L \quad (16)$$

$$V_L = L \frac{\Delta i_L}{DT_s} \quad (17)$$

$$I_{C_o} = -V_o / R_o \quad (18)$$

denklemleri ile gösterilmektedir.

M güç anahtarı açık konumda (OFF) olduğunda ise ;

$$V_L = V_g - V_o \quad (19)$$

$$V_o - V_g = L \frac{\Delta i_L}{(1-D) T_s} \quad (20)$$

$$\dot{I}_{C0} = \dot{I}_L - (V_0 / R_0) \quad (21)$$

denklemleri elde edilmektedir.

Burada $\Delta \dot{I}_L$, bobin akımının dalgalılık miktarını D , görev çevrim süresini; T_s ise anahtarlama periyodunu göstermektedir.

M güç anahtarının iletimde ya da kesimde olduğu durumda bobin akımının dalgalılık miktarı birbirine eşit olacağından, aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\Delta \dot{I}_L = \frac{V_g \cdot D \cdot T_s}{L} = \frac{(V_0 - V_g) \cdot (1 - D) \cdot T_s}{L} \quad (22)$$

Eşitlik 22'den yararlanılarak arttıran çevirici devresine ait elde edilen giriş ve çıkış gerilim değerleri arasındaki ilişki eşitlik 23'de gösterilmektedir.

$$V_0 = \frac{V_g}{1 - D} \quad (23)$$

Devrenin veriminin %100 olduğu düşünülürse, giriş ve çıkış akım değerleri arasındaki ilişkisi eşitlik 24'te ifade edilmektedir.

$$\dot{I}_g = \dot{I}_L = \frac{I_0}{1 - D} \quad (24)$$

1.7. Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri

Güneş ve rüzgar enerjisinden en üst seviyede yararlanma mevzusu araştırmacılar arasında ilgi uyandıran, popüler bir konudur. Bu gaye ile, özellikle enerji ve elektrik mühendisliği dalında güç elektroniği kaynaklı verimi yükseltme uygulamaları geliştirilmekte, donanımsal olarak farklı DA-DA çevirici devre şemaları oluşturulmakta ve yazılımsal olarak değişik algoritma yapıları kullanılarak güneş ve rüzgar enerjisinden maksimum güce erişim hedeflenmektedir [59].

Yazılımsal olarak maksimum güç takibini gerçekleştirmek üzere birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar literatürde değişik şekilde sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada

yaygın olarak kullanılan tekniklerden değiştir-gözle, artımsal iletkenlik ve bulanık mantık yöntemleri açıklanacaktır.

1.7.1. Değiştir ve Gözle (Perturb&Observe) Algoritması

Bu algoritma MGNİ uygulamalarında en fazla kullanılan tekniklerin başında gelmektedir. Sağladığı kabul edilebilir doğruluk ve kolayca uygulanabilirlik açısından tercih edilebilirliği yüksek bir tekniktir.

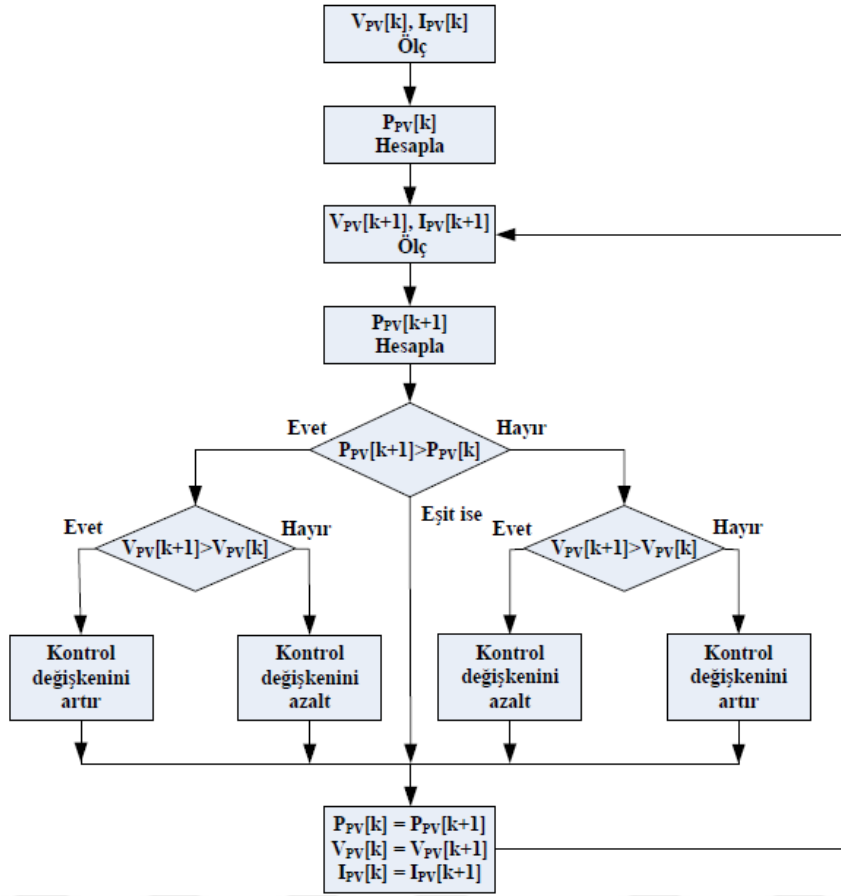
MGNİ tekniklerinden olan tepe tırmanma yöntemi ile değiştir ve gözle yöntemi birbirlerinden farklı isimlerle adlandırılrsa da her iki teknikte aynı algoritma yöntemi ile çalışmakta fakat sisteme etki etme şekilleri değişiklik arz etmektedir.

Değiştir ve gözle yönteminde FV üreticin ya da rüzgar türbin sistemine bağlı alternatörün maksimum güç üreteceği gerilim değeri tespit edilerek, bu gerilim değerini temin edecek olan görev çevrim süresi, DA/DA çeviricisine bir denetleyici aracılığıyla uygulanır.

Tepe tırmanma yönteminde ise DA/DA çeviricisine uygulanacak olan görev çevrim süresi belirlenmekte ve çeviriciye doğrudan uygulanmaktadır [60, 61].

Bu yöntemde çıkış akımının ya da geriliminin değiştirilmesinin ardından elde edilen çıkış gücü ile çıkış akımı ya da gerilimi değiştirilmeden önceki çıkış gücünün kıyaslanması ilkesi esas alınmaktadır. Bu duruma göre üretilen yeni çıkış gücünün her zaman en üst değere ulaşmasını amaçlayarak çıkış gerilimi veya akımı yükseltilmekte ya da düşürülmektedir.

Değiştir ve gözle tekniğinin çalışma ilkesi Şekil 28'deki algoritma yapısında gösterilmektedir [62, 63].



Şekil 28. Değiştir ve gözle tekniğinin denetim algoritma yapısı [64].

Değiştir ve gözle (P&O) yönteminin basit algoritma yapısının ve uygulama rahatlığının olmasına rağmen, etkinliğini azaltan bazı kısıtlamaları vardır. Arama adımıdaki düşüş veya yükselişler maksimum güç noktası civarında salınımlara neden olmaktadır. Maksimum güç noktasına ulaşıp ulaşmadığını hiçbir zaman anlayamaması salınımların devamlı gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Farklı bir problem ise güneş ışınımının çok düşüşü FV panelin güç-gerilim eğrisinin düzleşmesine sebep olmaktadır. Bu durumda çok az bir güç değişimi oluşacağından değiştir ve gözle (P&O) yönteminin maksimum güç noktasını algılayabilmesi zorlaşacaktır [65].

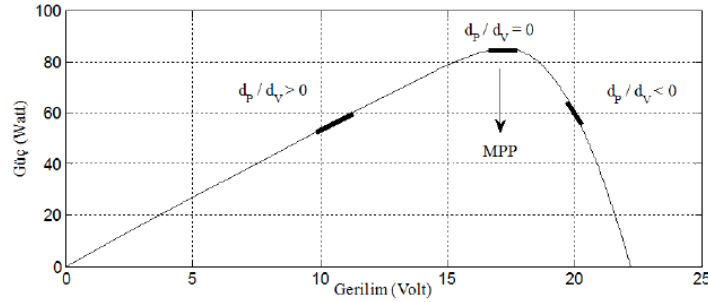
Değiştir ve gözle (P&O) yönteminin başka avantajları güneş ışınımının hızlı değişmediği koşullarda maksimum güç noktasını büyük bir doğrulukta takip edebilmesi, hesap yükünün fazla olmamasından dolayı işlemciyi az yorması, geliştirilmeye uygun bir yapıya sahip olması olarak bahsedilebilir.

1.7.2. Artımsal İletkenlik (Incremental Conductance) Algoritması

Artımsal İletkenlik (IncCond) yöntemi, izleme hızı ve doğruluğu için kabul edilebilir bir performansa sahiptir. Bu algorithmada V_{PV} ve I_{PV} , çıkış gücü P_{PV} 'sini hesaplamak için ölçülür. Daha sonra kısmi türev dP_{PV}/dV_{PV} , güç çeviricinin görev döngüsünün artırılmasının veya azaltılmasının gerekip gerekmediğini belirlemek için hesaplanır. Bu şekilde çalışma noktası MGN'ye ayarlanır. Bu yöntem dijital olarak uygulanabilir ve türev, mikroişlemciler tarafından denklem (25) kullanılarak hesaplanır [66].

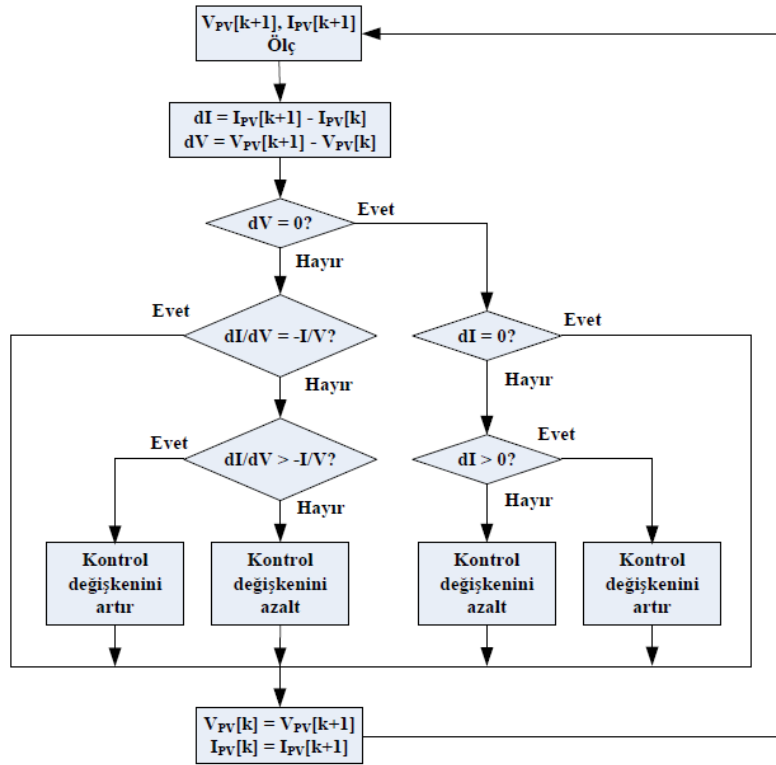
$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV}(n) + V_{PV}(n) \frac{I_{PV}(n-1) - I_{PV}(n)}{V_{PV}(n-1) - V_{PV}(n)} \quad (25)$$

Şekil 29'da artımsal iletkenlik yönteminin yukarıdaki şartları ihtiva eden grafiği görülmektedir. Bu yöntemin esası, fotovoltaik panel çıkış gücüne ait eğimin negatif olduğu yerin maksimum güç noktasının sağı, pozitif olduğu yerin maksimum güç noktasının solu, sıfır olduğu yerin ise maksimum güç noktası olması ilkesine dayanmaktadır [57].



Şekil 29. Artımsal iletkenlik algoritması çalışma eğrisi [57].

Artımsal iletkenlik yönteminin yukarıda bahsi geçen çalışmasına ait denetim algoritması akış şeması Şekil 30'da gösterilmektedir.



Şekil 30. Artımsal iletkenlik yönteminin denetim algoritması [64].

Bu algoritmanın en önemli üstünlüğü, devamlı değişen hava şartları altında iyi sonuçlar üreten bir teknik olmasıdır. Optimizasyonu sağlandığında, artımsal iletkenlik ile değiştir ve gözle (P&O) MGNİ yöntemlerinin etkinliği, esas olarak aynı olmalarına rağmen, maksimum güç noktası civarındaki sapmalar değiştir ve gözle (P&O) yöntemine kıyasla daha az gerçekleşmektedir [67].

1.7.3. Bulanık Mantık Yöntemi

Bulanık mantık, uzmanlık bilgisini işlenebilir algoritmalarla dönüştüren bir yöntemdir. İlk olarak 1960'lı yıllarda Dr. Lofti Zadeh'in belirsizlik teorisi olarak önerildi. Bu teori, insan akıl yürütme biçimlerini yaklaşık mantıksal algoritmalarla modellemeyi mümkün kılmaktadır. Akıllı sistemler, insan dilinde ifade edilen uzman bilgisi kullanılarak bulanık mantıkla tasarlanabilir. Bulanık mantık, sistem modellemesi, proses kontrolü, askeri sistemler, tahmin teknolojileri, tahmin ve akıllı makineler vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulanık mantık tabanlı akıllı sistemlerin özellikle kontrol

sistemlerinin tasarlanmasında diğer geleneksel yöntemlerden daha üstün performans gösterdiği bilinmektedir.

Bulanık mantık tabanlı denetleyicilerin yaygın olarak kullanıldığı bazı önemli sistemler, yenilenebilir enerji sistemleri, su kalite kontrol sistemi, asansör kontrol sistemi, otomatik tren işletim sistemi, otomatik şanzıman kontrolü, nükleer reaktör kontrol sistemi, çamaşır makinesi vs.'dir [68].

1.7.3.1. Bulanık Kümeler

Klasik bir küme, kesin hatlarla belli olan bir küme olmasına rağmen bulanık küme, adından da anlaşılacağı gibi kesin limitleri bulunmayan bir kümedir.

Bir bulanık kümenin açıkça tanımlanmış bir sınırı yoktur. Farklı derecelerde üyelik değerlerine sahip öğeler içerir. Bu yüzden klasik kümelerden farklıdırlar. Klasik Boolean mantığı tabanlı küme teorisinden farklı olarak bir değişken, bir kümenin kısmi olarak elemanıdır ya da değildir.

Eğer X bir nesnelere uzayı ve x bu uzayın bir öğesi ise; A bulanık kümesi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\mu_A(x) \in [0,1] \quad (26)$$

$$A = \{(x, \mu_A(x))\}, x \in X \quad (27)$$

Burada $\mu_A(x)$, x ' in üyelik derecesini ifade eden üyelik fonksiyonudur.

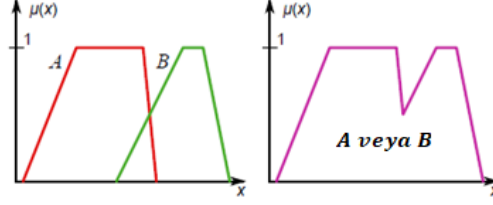
1.7.3.2. Temel Bulanık Küme Uygulamaları

Yaygın olarak kullanılan bulanık küme işlemleri birleşim, kesişim ve tümleyen (değili) işlemleridir. “Max” ve “min” operatörleri, birleşim ve kesişim işlemlerini modellemek için mühendislik problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

A ve B , X nesnelere uzayındaki $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ üyelik fonksiyonları ile karakterize edilen iki bulanık küme olsun.

Bu durumda $\mu_{A \cup B}(x)$ ile karakterize edilen $A \cup B$ aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

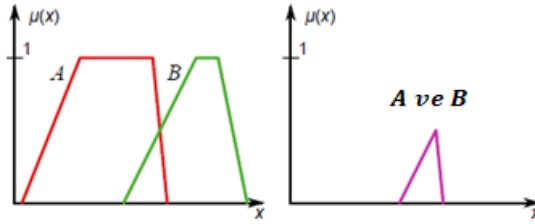
$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (28)$$



Şekil 31. A ve B bulanık kümelerin birleşimi

X nesnelere uzayındaki iki bulanık küme olan A ve B'nin bulanık kesişimi eşitlik (29) tarafından açıklanmaktadır.

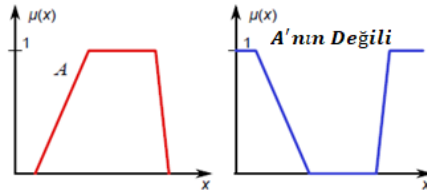
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (29)$$



Şekil 32. A ve B bulanık kümelerin kesişimi

A bulanık kümesinin X nesnelere uzayındaki bulanık tümleyeni eşitlik (30) tarafından açıklanmaktadır.

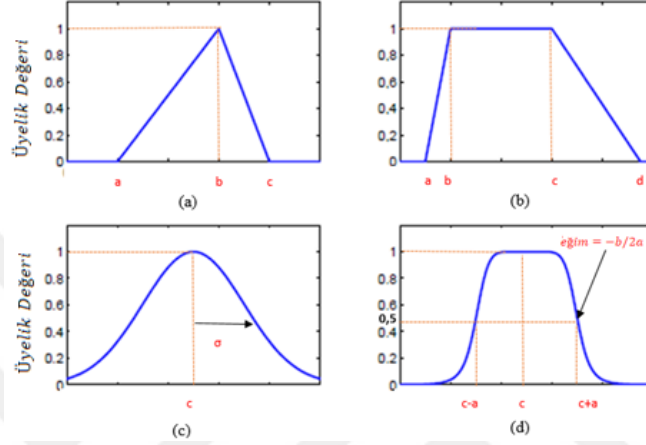
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (30)$$



Şekil 33. A bulanık kümesinin tümleyeni

1.7.3.3. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık bir küme üyelik fonksiyonlarıyla modellenir. Nesnelere uzayı çoğunlukla gerçek değerler içerdiğinden, üyelik fonksiyonlarını sürekli işlevler olarak tanımlamak uygundur. Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 34. Üyelik fonksiyonları a) üçgen, b) yamuk, c) gauss, d) çan eğrisi

{a, b, c} parametrelerine sahip bir üçgen üyelik fonksiyonu aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{üçgen}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (31)$$

{a, b, c, d} parametrelerine sahip bir yamuk üyelik fonksiyonu aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{yamuk}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (32)$$

{C, σ } parametrelerine sahip bir Gauss üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir (c parametresi üyelik fonksiyonu merkezini ve σ üyelik fonksiyonu genişliğini belirler.):

$$gauss(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (33)$$

{a, b, c} parametrelerine sahip genelleştirilmiş bir çan eğrisi üyelik fonksiyonu aşağıda gösterilmektedir. Eşitlikte gösterilen b genellikle pozitifdir.

$$\text{çan eğrisi } (x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (34)$$

1.7.3.4. Bulanık Çıkarım Sistemleri

Özellikle son senelerde yenilenebilir enerji sistem uygulamalarında bulanık mantık kullanımı önemli oranda artış göstermiştir. Diğer denetim tekniklerine kıyasla sistem modelinin tam olarak bilinmesine gerek duyulmaması, yenilenebilir enerji sistem uygulamalarında bulanık mantık kullanımını oldukça arttırmıştır.

Şekil 35’de bulanık bir sistemin iç yapısına ait şema gösterilmektedir. Bu şemadan da görüleceği üzere bulanık mantık yapısı üç temel bölümü içermektedir: Bulanıklaştırıcı, çıkarım mekanizması ve durulaştırıcı. [69]



Şekil 35. Bulanık sistemin iç yapısı

Bulanıklaştırma mekanizmasında, giriş parametreleri Şekil 36’da görüleceği üzere bir üyelik fonksiyonu aracılığıyla dilsel bilgilere dönüştürülmektedir [70].

Aşağıda $\mu(x)$ ve $\mu(y)$ olarak verilen iki adet üyelik fonksiyonunun bulanıklaştırılma işlemi görülmektedir. Denetleyicinin girişleri (x,y) ve çıkışı (z) için tanımlanan bulanık kümeler aşağıdaki gibi isimlendirilmiştir:

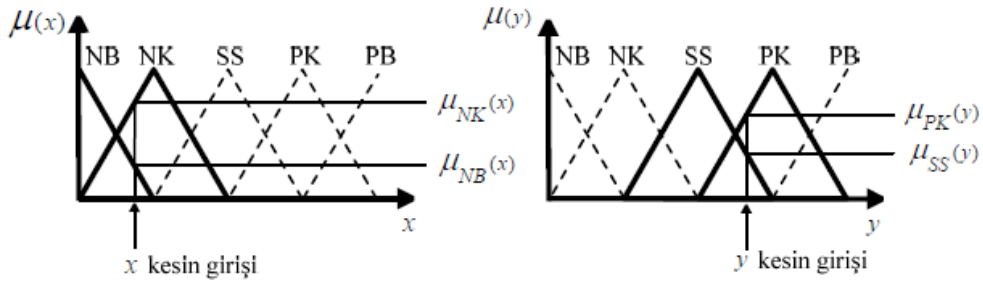
NB: Negatif Büyük

PK: Pozitif Küçük

SS: Sıfır

PB: Pozitif Büyük

NK: Negatif Küçük



Şekil 36. Bulanıklaştırma işlemi [32].

Çıkarım sürecinde ise kural tabanı biriminde, bulandırıcıdan gelen kesin girişlere ait bulanık değerler kural tabanı biriminde hazır bulunan ve önceden belirlenen eğer... ise (if ... then) biçimine sahip koşul cümleleriyle ifade edilen kurallar ile denetleyici davranışı tespit edilmekte ve bulanık bir çıkarıma ulaşılmaktadır. [71].

Bulanık çıkarım sistemi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bulanık çıkarım yöntemleri (bulanık modelleri); Mamdani, Sugeno ve Tsukamoto bulanık modeli olmakla birlikte bu uygulamada Mamdani bulanık çıkarım yöntemi tercih edilmiştir. Mamdani bulanık modeli, kural tabanındaki kuralların tespit edilmesinde minimum alma işlemini (ve operatörünü) gerçekleştirmektedir.

Mamdani modeli 5 adımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Bulanık giriş değişkenlerine dönüştürme
2. Bulanık operatörün (VE, AND, MİN) uygulanması
3. Karıştırma metodunun uygulanması
4. Birleştirme metodunun (VEYA, OR, MAX) uygulanması
5. Durulaştırma (ağırlık merkezi yöntemi, COG) işlemi

Bulanıklaştırma işleminde, aşağıda belirtilen giriş ve çıkış değerleri için bulanık kuralların örnek kuralları oluşturulursa;

Eğer x NK ve y PK olduğunda z NK

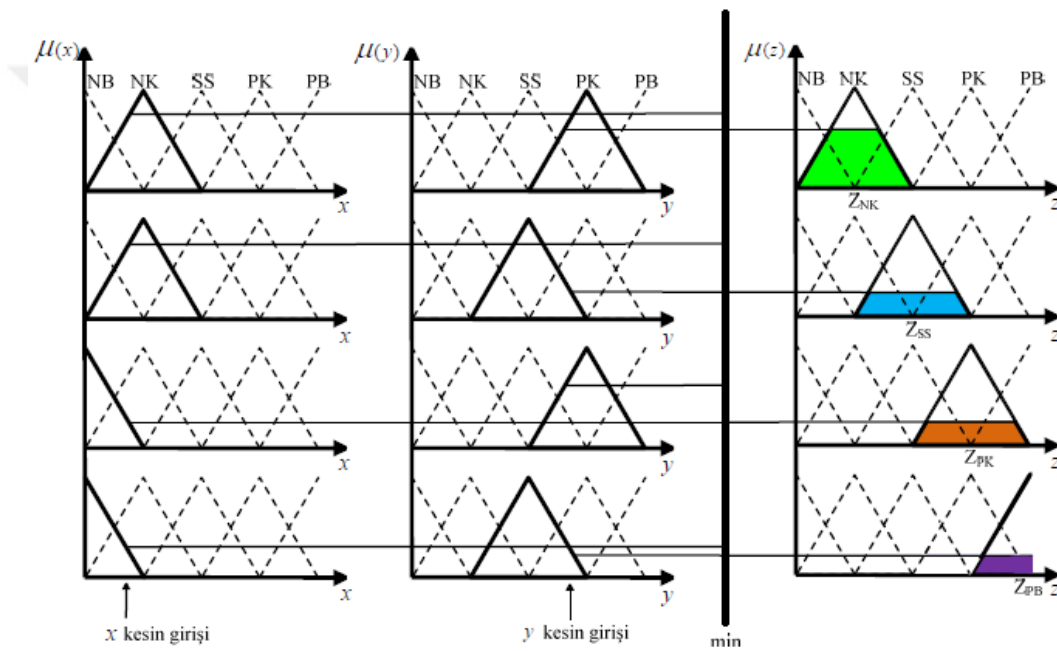
Eğer x NK ve y SS olduğunda z SS

Eğer x NB ve y PK olduğunda z PK

Eğer x NB ve y SS olduğunda z PB

Bu kurallar baz alınarak, Mamdani yöntemine göre bulanık çıkarım işlemi Şekil 37'de görüldüğü gibi gerçekleştirilir. Matematiksel gösterimi ise eşitlik 35'deki gibidir.

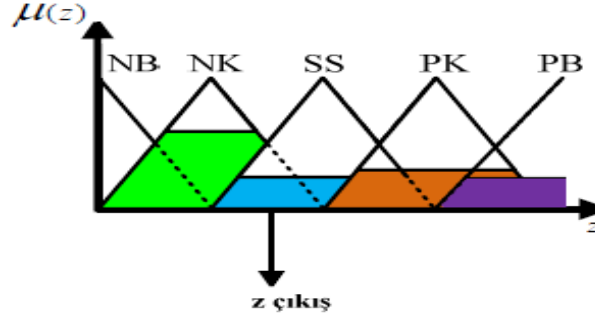
$$\mu(z) = \min[\mu(x), \mu(y)] \quad (35)$$



Şekil 37. Kural işleme biriminde kuralların işlenmesi [32].

Bulanık mantık denetleyicisinin son aşaması olan durulaştırma işleminde, kural tabanı mekanizmasında elde edilen bulanık çıktılar durulaştırıcıda değerlendirilip, kesin bir neticeye dönüştürülmektedir. [71]. Durulaştırma işlemi için literatürde mevcut olan yöntemlerden bazıları; ağırlık merkezi yöntemi, alan açığortay yöntemi, en büyüklerin büyüğü yöntemi, en büyüklerin küçüğü yöntemi, en büyük üyelik yöntemi olmakla birlikte bu çalışmada bulanık mantık denetim uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık merkezi yöntemi uygulanarak elde edilen durulaştırma işlemi Şekil 38'de görülmektedir. Durulaştırma işleminin matematiksel eşitliği denklem 36'da verilmektedir.

$$z_{\text{çıkış}} = \frac{(\mu_{Z_{NK}})(z_{NK}) + (\mu_{Z_{SS}})(z_{SS}) + (\mu_{Z_{PK}})(z_{PK}) + (\mu_{Z_{PB}})(z_{PB})}{(\mu_{Z_{NK}}) + (\mu_{Z_{SS}}) + (\mu_{Z_{PK}}) + (\mu_{Z_{PB}})} \quad (36)$$



Şekil 38. Durulastırma işlemi [32].

Bulanık mantık maksimum güç noktası denetleyiciler çoğunlukla hata (E) ve hatanın değişimi (ΔE) olarak iki giriş parametresiyle tasarlanmaktadır. Gücün çalışma gerilimine göre maksimum çalışma noktasındaki değişimi sıfır olacağından, hata E ve hatanın değişimi ΔE , denklem (37) ve (38)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (37)$$

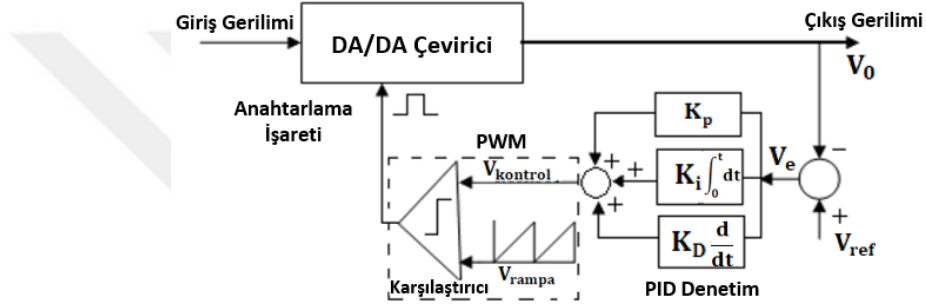
$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (38)$$

Tüm bu tanımlamalar ve kurallar tabanı meydana getirildikten sonra bulanık mantık denetleyicinin çıkışı, DA-DA çeviricinin anahtarlama sinyalini oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmalarda bulanık mantıkla denetimi sağlanan maksimum güç noktası izleyicilerin farklı atmosferik şartlar altında iyi neticeler verdiği görülmüştür. Buna ilave olarak, hatırlanmalıdır ki bulanık denetleme yapısının verimi kullanıcı bilgisine ya da tasarımı oluşturan kişinin üyelik fonksiyonlarının şekil ve sınırlarının belirlenmesi ile kural tabanlarını uygun bir biçimde oluşturmasıyla yakından ilgilidir [72].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

Bu çalışmada, 10 kW'lık güneş enerji sistemi ve 5kW'lık rüzgar enerji sistemi için tasarım çalışmaları yapılmıştır. Rüzgar ve güneş enerjisinin her ikisinde de kullanılan arttıran DA-DA güç çevirici devrelerinin ayrı ayrı tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan çeviricilerin Şekil 39'da genel blok diyagramı gösterilen PID denetiminin bilgisayar modellemesi yapılmış ve benzetim sonuçları da elde edilmiştir.



Şekil 39. PID denetleyicinin DA/DA çeviriciyle kullanımını gösteren blok diyagramı [73].

Hem rüzgar hem de güneş enerji sisteminde maksimum güç noktası takibinin yapılabilmesi için DA-DA güç çevirici devresinde kullanılan güç anahtarını görev oranının ayarlanması amacıyla bulanık mantık kontrol teorisi kullanılmıştır.

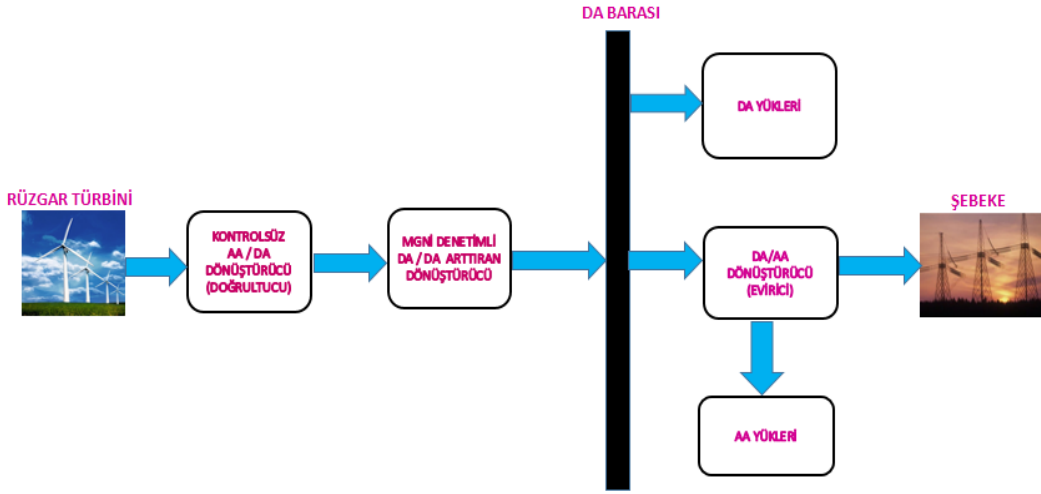
Bulanık MGNI denetleyicileri, FV panelin çıkışındaki gerilim ve akım sinyalleri ile rüzgar enerji sistemine ait DMSG'nin kontrolsüz doğrultucuyla doğrultulduktan sonra elde edilen gerilim ve akım sinyallerini okuyarak gereken bulanık giriş değişkenlerini üretir. Bulanık giriş değişkenleri de güç çıkarımını en üst düzeye çıkarmak için görev çevrim oranının artışı ya da azalışını hesaplamada kullanılır. Rüzgar ve güneş enerji sistemlerinde kullanılan MGNI'lerin bulanık çıkarım sistemi parametrelerini en hızlı ve doğru sistem yanıtlarını elde edebilmesi için optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Rüzgar enerji sistemi için tasarlanan MGNI'nin kontrolünü sağlayan bulanık denetleyicinin farklı bir MGNI yöntemi olan değişir ve gözle yöntemiyle çalışma durumu karşılaştırılırken güneş enerji sistemi için ise MGNI'de kullanılan bulanık denetleyicinin

diğer bir MGNİ yöntemi olan artımsal iletkenlik yöntemiyle çalışma durumu karşılaştırılmıştır.

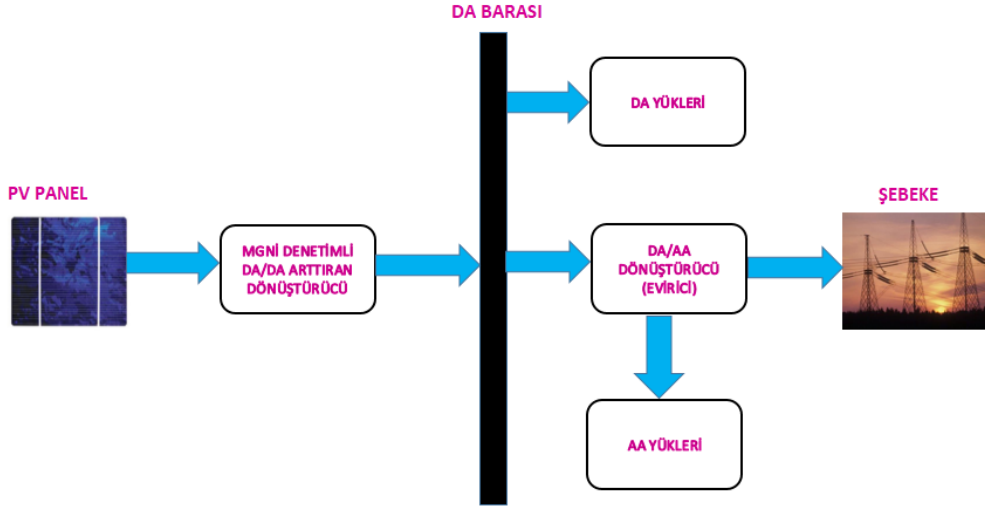
Şebeke bağlantılı hibrit sistem, sabit mıknatıslı senkron generatör (DMSG) kullanılarak gerçekleştirilen rüzgar türbin sistemi ile fotovoltaik (FV) panelden oluşmuştur. Bulanık mantık ile denetimi sağlanan DA-DA çeviricilerin çıkışları ortak DA baraya bağlanarak evirici aracılığıyla DA'dan AA'ya dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Ardından oluşan sistemin şebeke bağlantısı yapılmıştır. Hibrit güç sistemi kaynaklarının modellenmesi Matlab/Simulink yazılımında yapılmış ve benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Şebekeye bağlı MGNİ denetimli rüzgar enerji sisteminin konvansiyonel topolojisi Şekil 40'da gösterilmektedir. Bu sistemde rüzgar türbininden üretilen enerji AA sinyal şeklinde olup, doğrultucu bu enerjiyi, DA sinyal şekline dönüştürür. Elde edilen DA sinyal, arttıran çeviricilerle daha yüksek bir DA seviyeye yükseltilir. Eviriciler ile DA sinyallerin AA sinyallere dönüşümü sağlanır. Ardından şebeke bağlantısı gerçekleştirilir.



Şekil 40. Şebekeye bağlı rüzgar enerji sistemi

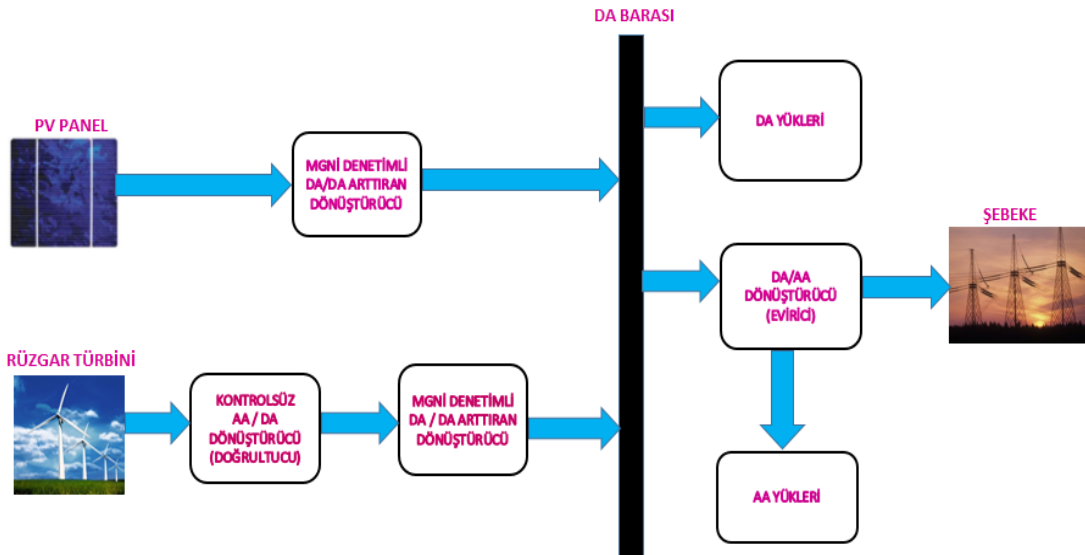
Şebekeye bağlı MGNİ denetimli güneş enerji sistemine ait topoloji ise Şekil 41'de sunulmuştur. GES'de fotovoltaik paneller güneş ışınımını doğru akım elektriğine dönüştürür. Panel çıkışındaki DA sinyal, arttıran çeviriciler yardımıyla daha yüksek bir DA sinyal seviyesine yükseltilir. Eviriciler ile DA sinyallerin AA sinyallere dönüşümü sağlanır. Ardından şebeke bağlantısı gerçekleştirilir.



Şekil 41. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi

Hibrit sistem, daimi mıknatıslı senkron generatör (DMSG) tabanlı rüzgar türbini, fotovoltaik (FV) panel ile güç elektronik cihazlarından (DA-DA çevirici, doğrultucu ve evirici) oluşmaktadır. Her iki sistem ortak DA baraya bağlanarak evirici aracılığıyla DA'dan AA'ya dönüşüm işlemi yapılır. Sonrasında şebeke bağlantısı gerçekleştirilir.

Şebekeye bağlı MGNİ denetimli hibrit enerji sistemine ait topoloji aşağıda sunulmuştur.



Şekil 42. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemin genel yapısı

2.1. Çevirici Tasarımı

Hibrit sistemlerin verimliliğini etkileyen en büyük pay, güç çeviricilerine aittir. Bu nedenle rüzgar ve güneş enerji sisteminde kullanılan arttıran (boost) çeviricilerin tasarımı ve denetimi son derece önemlidir.

Burada ki ana gaye güneş ve rüzgâr enerjisinden, şehir şebekesinde kullanılmaya uygun elektrik enerjisi elde edilmesidir. Bu durumun sağlanabilmesi için RES'in ya da GES'in çıkışındaki DA geriliminin istenilen DA gerilim seviyesine çıkartılması için kullanılacak çeviricilerin tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Sırasıyla GES ve RES için arttıran çeviri tasarımları sunulmuştur.

2.1.1. Güneş Enerji Sisteminin Çevirici Tasarımı

Güneş enerji sistemi için tasarlanacak arttıran çeviricinin sürekli iletim modu için tasarımı gerçekleştirilecek olup, verilen parametreler aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 1. Arttıran çeviricinin verilen parametreleri (GES)

Verilen Parametre	Değeri
Giriş gerilimi (V_g)	260-280 V
Çıkış gerilimi (V_o)	500 V
Çıkış yükü (R)	25 Ω
Anahtarlama frekansı (f_s)	5 kHz
Çıkış gücü (P_o)	10000 W
Endüktans akımının tepeden tepeye dalgalılığı (ΔI_L)	30%
Kondansatör geriliminin tepeden tepeye dalgalılığı (ΔV_C)	2%

2.1.1.1. GES İçin Tasarlanan Arttıran Çevirici Parametrelerinin Belirlenmesi

Tasarlanacak çeviricide öncelikle *endüktans* değeri belirlenir. Arttıran çeviricide endüktans akımının ortalama değeri giriş akımının ortalama değerine eşittir. ($I_g = I_L$)

Çeviricinin veriminin %100 olduğu kabul edilirse;

$$V_0 * I_0 = V_g * I_g \quad (39)$$

eşitliğinden,

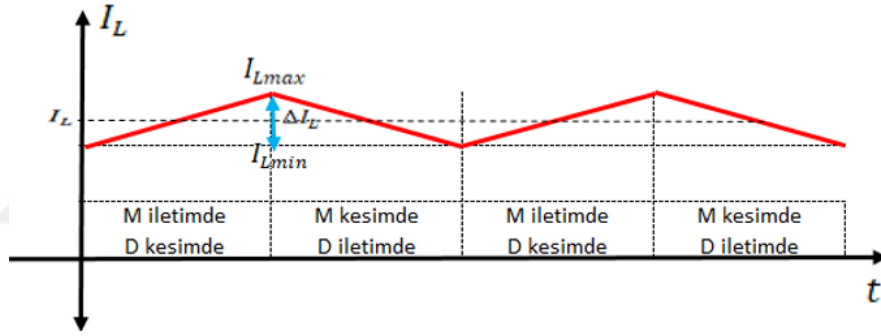
$$I_0 = V_0/R \text{ den } I_0=20 \text{ A bulunur.}$$

$$I_g = \frac{500*20}{260} = 38.46 \text{ Amper}$$

Bulunan bu değer aynı zamanda endüktans akımının ortalama değeridir.

Endüktans akımı mosfet iletimde olduğunda artışta, mosfet kesimde olduğunda azalışta olmaktadır. Endüktans akımının tepeden tepeye dalgalanması (ΔI_L), eşitlik 40'da verilmekte olup, ΔI_L 'nin grafiği Şekil 43'de gösterilmektedir.

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} \quad (40)$$



Şekil 43. Endüktans akımının zamanla değişimi (GES)

Arttıran (boost) çeviricide $I_g = I_L = 38.46 \text{ A}$ olduğundan ve $\Delta I_L = \%30$ olarak alındığında

$$\Delta I_L = \frac{38.46 * 30}{100} = 11.54 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu durumda $I_{Lmax} = 38.46 + 5.77 = 44.23 \text{ A}$, $I_{Lmin} = 38.46 - 5.77 = 32.69 \text{ A}$ bulunur.

$$\Delta I_L = \frac{V_{gmin} * D}{L * f_s} \quad (41)$$

formülünden L değeri bulunabilir.

D çalışma oranı olmak üzere,

$$D = 1 - \frac{V_g}{V_o} \quad (42)$$

eşitliğinden $D=0.48$ bulunur.

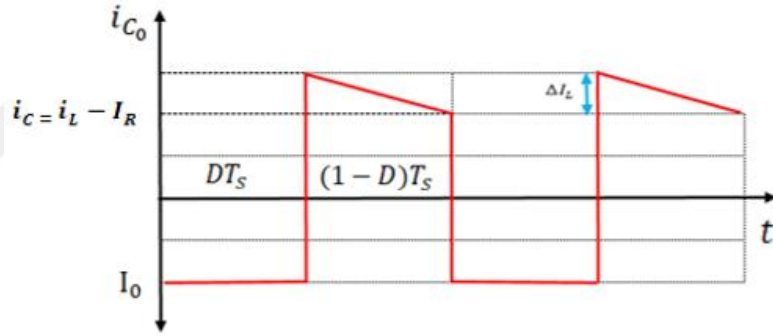
Çevirici tasarımında kullanacağımız endüktansın değeri

$$L = \frac{V_{gmin} * D}{\Delta I_L * f_s} \quad (43)$$

eşitliğinden $L = \frac{260 * 0.48}{11.54 * 5000} = 2.16 \text{ mH}$ bulunur

Güç devresinin ikinci önemli parametresi olan *kondansatör* değerini hesaplamak için çıkış geriliminin dalgalılığı (ΔV_c) hesaba katılacaktır.

Kondansatör akımının zamanla değişim grafiği aşağıda belirtildiği gibidir.

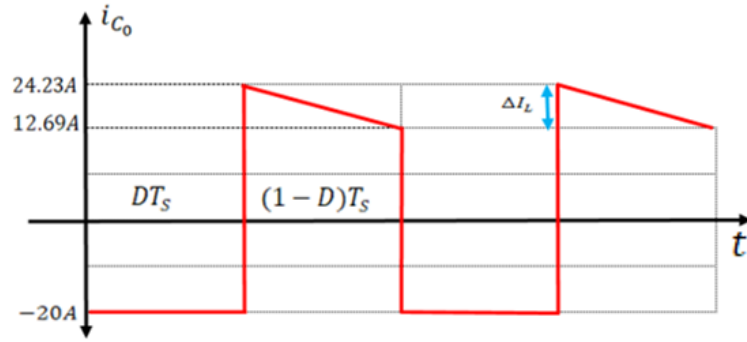


Şekil 44. Kondansatör akımının zamanla değişimi (GES)

DT_S süresince mosfet iletimdeyken çıkış yükünü kondansatör beslemektedir. Dolayısıyla kondansatör akımı I_0 değerine eşit olacağından, ($I_0 = V_0/R$ den $I_0=20 \text{ A}$) DT_S süresince akım değeri -20 A olacaktır.

$(1-D)T_S$ süresinde mosfet kesime diyot iletime geçtiğinden ise $i_C = i_L - I_R$ olmaktadır. i_L değeri 44.23 A ile 32.69 A arasında salınım gösterdiğinden $i_C = 24.23 \text{ A}$ ile 12.69 A arasında salınım gösterecektir.

Güneş enerji sistemi için tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişim grafiği aşağıda sunulmuştur.



Şekil 45. Tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişimi (GES)

$$i_c = C \frac{dV_c}{dt} \quad (44)$$

eşitliğinden yararlanarak

$$i_c = -i_R = \frac{-V_0}{R_0} \text{ olduğundan}$$

$$i_c = \frac{-V_0}{R_0} = -C \frac{\Delta V_c}{DT_s} \quad (45)$$

eşitliği bulunur. (45) nolu eşitlikten yararlanarak (46) nolu eşitlik elde edilir.

$$C = \frac{I_{\text{max}} * D}{\Delta V_c * f_s} \quad (46)$$

eşitliğinden $C = \frac{20 * 0.48}{10 * 5000} = 192 \mu\text{F}$ bulunur.

Kondansatör akımı rms değerleri bulunmak istenirse; tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişimi grafiğinden faydalanılacaktır.

DT_s süresinde oluşan şeklin rms değerini kare dalganın rms formülünden yararlanılarak bulunabilirken, $(1 - D)T_s$ süresinde kondansatör akımı ($I_L - I_0 = 18.46 \text{ A}$) 18.46A değerinde salınım yapacağından dalga şekli aynı şekilde bir kare dalga olarak düşünülürse;

$$I_{C1\text{ rms}} = I_0 * \sqrt{D} \quad (47)$$

$$I_{C2\text{ rms}} = (I_L - I_0) * \sqrt{1 - D} \quad (48)$$

Eşitlik 47 ve 48 den yararlanarak

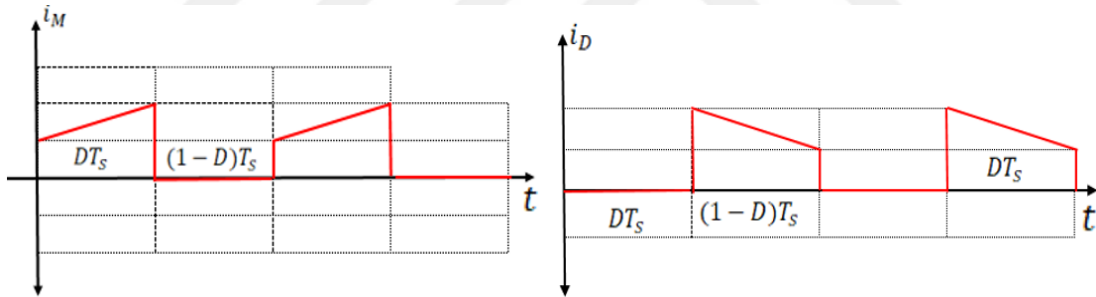
$$I_{C1\text{ rms}} = 20 * \sqrt{0.48} = 13.86 \text{ A}$$

$$I_{C2\text{ rms}} = (38.46 - 20) \sqrt{1 - 0.48} = 13.31 \text{ A} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Toplam dalğanın rms değeri

$$I_{C\text{ rms}} = \sqrt{(I_{C1,\text{rms}}^2 + I_{C2,\text{rms}}^2)} = \sqrt{(13.86^2 + 13.31^2)} = 19.22 \text{ A} \text{ olarak bulunur.}$$

Yarı iletken elemanların tasarımı için mosfet ve diyot akımının ortalamasını aşağıda belirtilen mosfet ve diyot akımlarının zamanla değişim grafiğinden yararlanarak hesaplanabilir.



Şekil 46. a)Mosfet akımının zamanla değişimi, b)Diyot akımının zamanla değişimi (GES)

Mosfet akımının ortalaması

$$I_M = I_L * D \quad (49)$$

$$I_M = 38.46 * 0.48 = 18.46 \text{ A} \text{ bulunur}$$

Diyot akımının ortalaması

$$I_D = I_L * (1-D) \quad (50)$$

$$I_D = 38.46 * 0,52 = 20A$$

Görüldüğü üzere ortalama akımların toplamı, toplam ortalama akımı vermektedir.

$$I_L = I_M + I_D = 18.46 + 20 = 38.46A$$

Mosfet ve diyot akımının rms değerlerini bulmak için;

İki yarı iletken elemanın akım grafiklerine bakılırsa i_M ve i_D değerlerine ait dalga şeklinin içinde bir salınım olmasına rağmen 38.46 A değerinde bir kare dalga olarak düşünülürse, hesaplarda çok büyük yanlışlığa sebep olmayacaktır. Bir kare dalganın rms formülünden

$$I_{M\ rms} = I_L * \sqrt{D} \quad (51)$$

$$I_{D\ rms} = I_L * \sqrt{1 - D} \quad (52)$$

eşitliklerinden

$$I_{M\ rms} = 38.46 * \sqrt{0.48} = 26.65\ A$$

$$I_{D\ rms} = 38.46 * \sqrt{1 - 0.48} = 27.73\ A\ \text{değerleri bulunur.}$$

Aslında bu iki formül bize göstermektedir ki D çalışma oranı arttıkça mosfet akımı rms değeri artmakta ve diyot akımı rms değeri azalmaktadır.

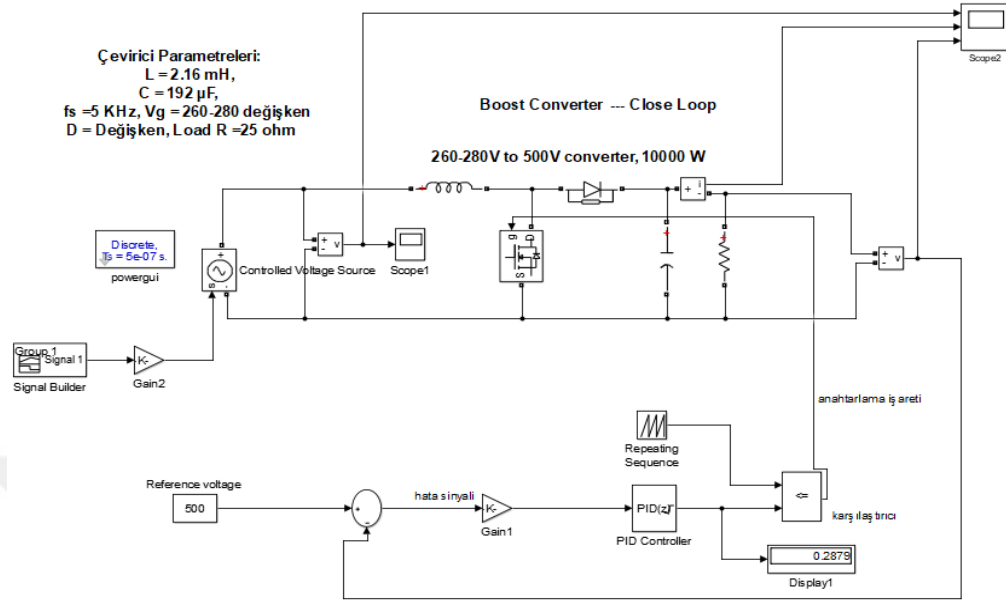
Bulunan değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2. Arttıran çeviricinin hesaplanan parametreleri (GES)

Hesaplanan Parametre	Değeri
Endüktans	2.16 mH
Kondansatör	192 μ F
Kondansatör akımının etkin değeri	19.22 A
Mosfet akımının ortalama değeri	18.46 A
Diyot akımının ortalama değeri	20A
Mosfet akımının etkin değeri	26.65 A
Diyot akımının etkin değeri	27.73 A

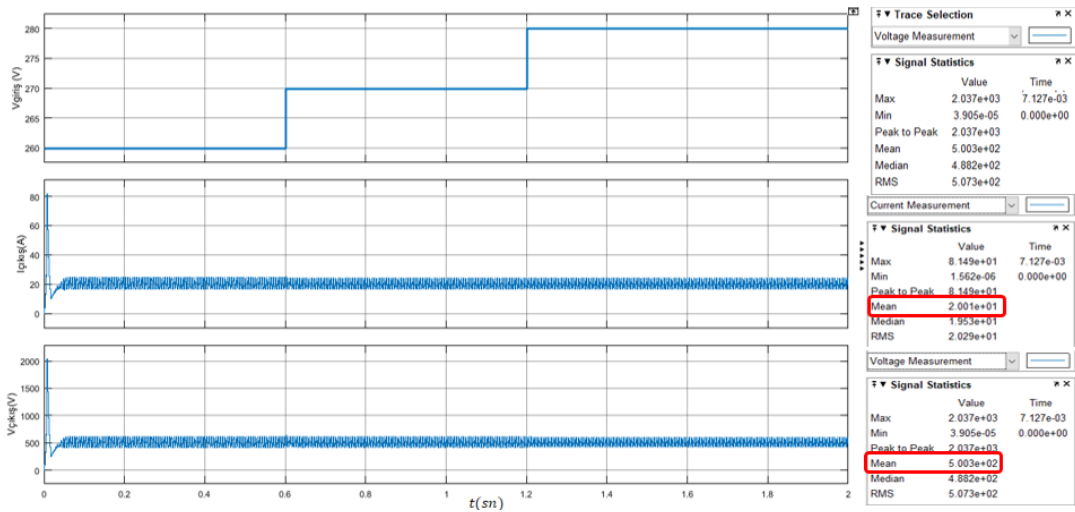
2.1.1.2. GES İçin Tasarlanan Arttıran Çeviricinin PID ile Denetimi

Güneş enerji sistemi için tasarlanan arttıran çeviricinin bulunan parametrelerden yararlanılarak gerçekleştirilen PID denetimli tasarımı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 47. Kapalı çevrim arttıran (boost) çevirici devresi (GES)

Kapalı çevrim arttıran (boost) çevirici devresinin değişen giriş gerilim değerine göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı ölçüm değerleri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 48. Kapalı çevrim arttıran (boost) çevirici devresi ölçüm değerleri (GES)

Güneş enerji sisteminin panel çıkış gerilimi 260-280 V aralığında değişmektedir. FV panelin çıkış gerilimi, arttıran (boost) çeviricinin giriş gerilimi olarak kabul edilir. Değişen

giriş gerilimine karşın arttıran (boost) çevirici ile sabit 500V gerilim seviyesi elde edilmiştir.

Yukarıdaki şekilde akımın ortalama değerinin 20.01 A ve gerilimin ortalama değerinde 500.3 V olarak ölçülmüştür.

Kullanılan PID parametreleri aşağıda belirtilmiş olup, PID parametreleri MATLAB/Simulink PID Kontrolör bloğunda yer alan ve MATLAB'ın sunduğu etkili bir PID tasarım aracı olan PID Tune aracından yararlanılarak elde edilmiştir.

The screenshot shows the 'PID Advanced' tab of the PID Tune tool. The 'Controller parameters' section is active. The 'Source' is set to 'internal'. The 'Proportional (P)' gain is 1.3, the 'Integral (I)' gain is 139.82, and the 'Derivative (D)' gain is 0.00275. The 'Use filtered derivative' checkbox is checked. The 'Filter coefficient (N)' is set to 189084.

Şekil 49. Arttıran çeviricide kullanılan PID parametre değerleri (GES)

2.1.2. Rüzgar Enerji Sisteminin Çevirici Tasarımı

Rüzgar enerji sistemi için tasarlanacak arttıran çeviricinin sürekli iletim modu için tasarımı gerçekleştirilecek olup, verilen parametreler aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 3. Arttıran çeviricinin verilen parametreleri (RES)

Verilen Parametre	Değeri
Giriş gerilimi (V_g)	255-385 V
Çıkış gerilimi (V_o)	500 V
Çıkış yükü (R)	50 Ω
Anahtarlama frekansı (f_s)	2 kHz
Çıkış gücü (P_o)	5000 W
Endüktans akımının tepeden tepeye dalgalılığı (ΔI_L)	30%
Kondansatör geriliminin tepeden tepeye dalgalılığı (ΔV_C)	2%

2.1.2.1. RES İçin Tasarlanan Arttıran Çevirici Parametrelerinin Belirlenmesi

Tasarlanacak çeviricide öncelikle *endüktans* değeri belirlenir. Arttıran çeviricide endüktans akımının ortalama değeri giriş akımının ortalama değerine eşittir. ($I_g = I_L$)

Çeviricinin veriminin %100 olduğu kabul edilirse;

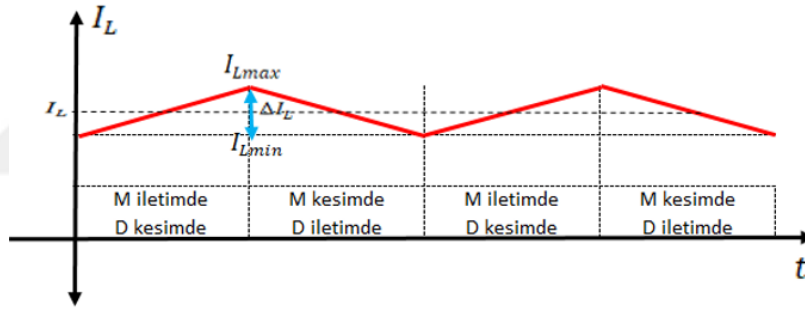
37 nolu eşitlikten yararlanarak I_g bulunabilir.

$I_0 = V_0/R$ den $I_0=10$ A bulunur.

$$I_g = \frac{500 \cdot 10}{255} = 19.60 \text{ Amper}$$

Bulunan I_g değeri aynı zamanda endüktans akımının ortalama değeridir.

Endüktans akımı; mosfet iletimde olduğunda artışta, mosfet kesimde olduğunda azalışta olmaktadır. Endüktans akımının tepeden tepeye dalgalanması (ΔI_L) şekil 50'de gösterilmektedir.



Şekil 50. Endüktans akımının zamanla değişimi (RES)

Arttıran (Boost) çeviricide $I_g = I_L = 19.60$ A olduğundan ve $\Delta I_L = \%30$ olarak alındığında;

$$\Delta I_L = \frac{19.60 \cdot 30}{100} = 5.88 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu durumda $I_{Lmax} = 19.60 + 2.94 = 22.54$ A, $I_{Lmin} = 19.60 - 2.94 = 16.66$ A bulunur.

Eşitlik 41 kullanılarak L değerini bulabiliriz.

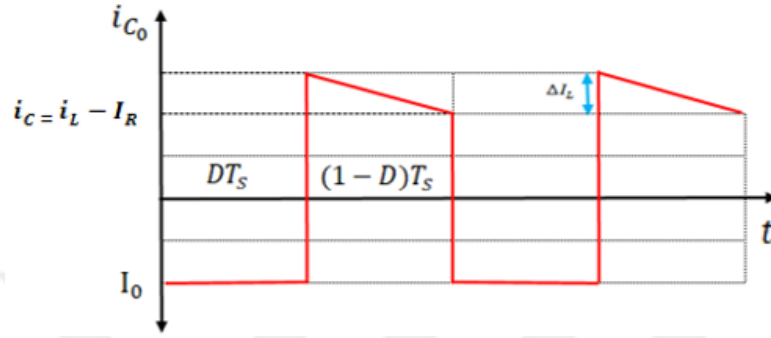
D çalışma oranı olmak üzere, $D = 1 - \frac{V_g}{V_0}$ eşitliğinden $D=0.49$ bulunur

Çevirici tasarımında kullanacağımız endüktansın değeri 43 nolu eşitlikten faydalanılarak;

$$L = \frac{255 \cdot 0.49}{5.88 \cdot 2000} = 10.625 \text{ mH bulunur.}$$

Güç devresinin ikinci önemli parametresi olan *kondansatör* değerini hesaplamak için çıkış geriliminin dalgalılığı (ΔV_C) hesaba katılacaktır.

Kondansatör akımının zamanla değişim grafiği aşağıda gösterilmektedir.

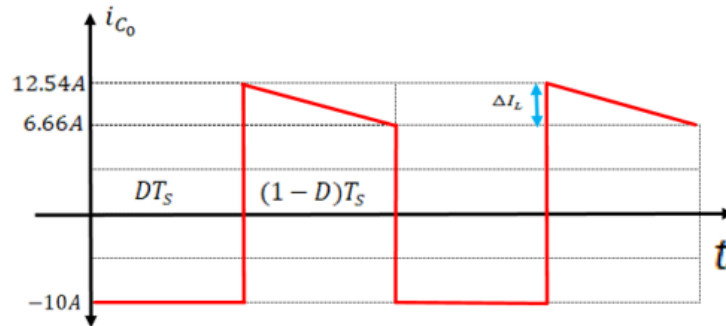


Şekil 51. Kondansatör akımının zamanla değişimi (RES)

DT_s süresince mosfet iletimdeyken çıkış yükünü kondansatör beslemektedir. Dolayısıyla kondansatör akımı I_0 değerine eşit olacağından, ($I_0 = V_0/R$ den $I_0=10$ A) DT_s süresince akım değeri -10 A olacaktır.

$(1-D)T_s$ süresinde mosfet kesime diyot iletime geçtiğinden ise $i_C = i_L - I_R$ olmaktadır. i_L değeri 22.54A ile 16.66 A arasında salınım gösterdiğinden $i_C = 12.54$ A ile 6.66 A arasında salınım gösterecektir.

Rüzgar enerji sistemi için tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişim grafiği aşağıda sunulmuştur.



Şekil 52. Tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişimi (RES)

46 nolu denklem eşitliğinden $C = \frac{10 \cdot 0.49}{10 \cdot 2000} = 245 \mu\text{F}$ bulunur

Kondansatör akımı rms değerleri bulunmak istenirse; tasarlanan çeviricinin kondansatör akımının zamanla değişimi grafiğinden faydalanılacaktır.

DT_S süresinde oluşan şeklin rms değerini kare dalganın rms formülünden bulunabilirken, $(1-D)T_S$ süresinde kondansatör akımı ($I_L - I_0 = 9.60 \text{ A}$) 9.60 A değerinde salınım yapacağından dalga biçimi aynı şekilde bir kare dalga olarak düşünülebilir.

Denklem 47 ve 48 den yararlanarak kondansatör akımına ait rms değerler bulunabilir.

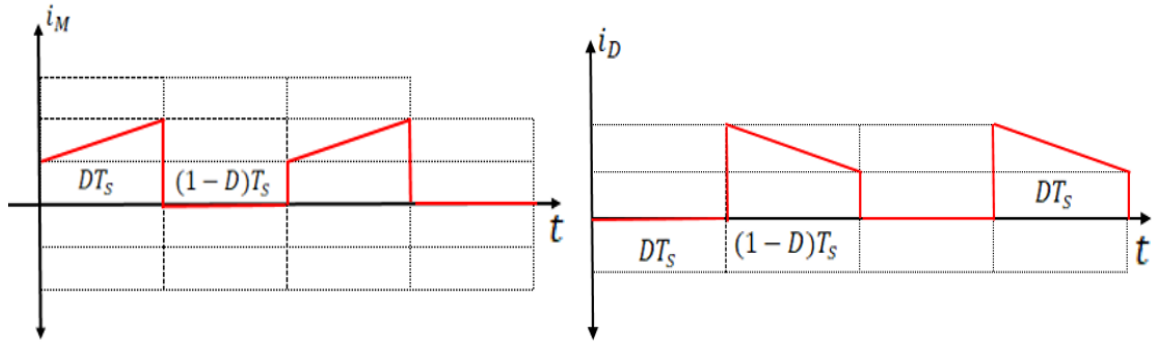
$$I_{c1\text{rms}} = 10 \cdot \sqrt{0.49} = 7 \text{ A}$$

$$I_{c2\text{rms}} = (19.60 - 10) \sqrt{1 - 0.49} = 6.856 \text{ A değerleri bulunur.}$$

Toplam dalganın rms değeri

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{(I_{c1\text{rms}})^2 + (I_{c2\text{rms}})^2} = \sqrt{(7)^2 + (6.856)^2} = 9.798 \text{ A bulunur}$$

Yarı iletken elemanların tasarımı için mosfet ve diyot akımının ortalaması bulunmak istenirse; aşağıda belirtilen mosfet ve diyot akımlarının zamanla değişim grafiğinden yararlanılabilir.



Şekil 53. a) Mosfet akımının zamanla değişimi, b) Diyot akımının zamanla değişimi (RES)

Mosfet akımının ortalaması için denklem 49 kullanılırsa

$$I_M = 19.60 \cdot 0.49 = 9.604 \text{ A bulunur}$$

Diyot akımının ortalaması için denklem 50 kullanılırsa

$$I_D = 19.60 \cdot 0.51 = 9.996 \text{ A}$$

Görüldüğü üzere ortalama akımların toplamı, toplam ortalama akımı vermektedir.

$$I_L = I_M + I_D = 9.604 + 9.996 = 19.60 \text{ A}$$

Mosfet ve diyot akımının rms değerlerini bulmak için eşitlik 51 ve 52 den yararlanılır.

İki yarı iletken elemanın akım grafiklerine bakılırsa i_M ve i_D değerlerine ait dalga şeklinin içinde bir salınım olmasına rağmen 19.60 A değerinde bir kare dalga olarak düşünülürse,

$$I_{M \text{ rms}} = 19.60 * \sqrt{0.49} = 13.720 \text{ A}$$

$$I_{D \text{ rms}} = 19.60 * \sqrt{1 - 0.49} = 13.997 \text{ A değerleri bulunur.}$$

Aslında bu iki formül bize göstermektedir ki D çalışma oranı arttıkça mosfet akımı rms değeri artmakta ve diyot akımı rms değeri azalmaktadır.

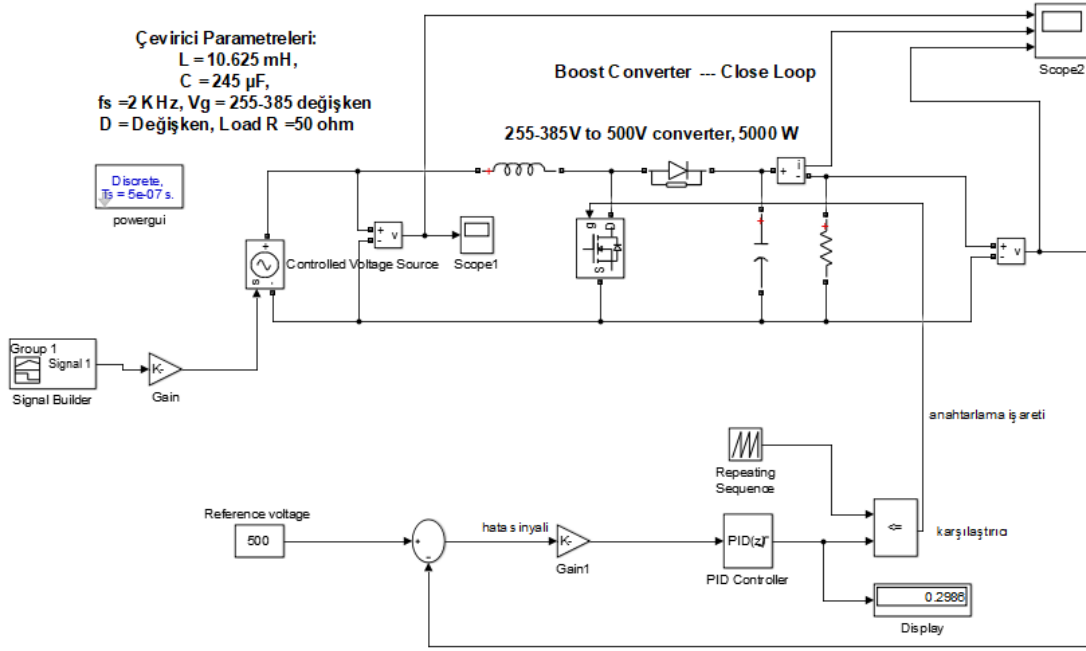
Bulunan değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4. Arttıran çeviricinin hesaplanan parametreleri (RES)

Hesaplanan Parametre	Değeri
Endüktans	10.625 mH
Kondansatör	245 μ F
Kondansatör akımının etkin değeri	9.798 A
Mosfet akımının ortalama değeri	9.604 A
Diyot akımının ortalama değeri	9.996A
Mosfet akımının etkin değeri	13.720A
Diyot akımının etkin değeri	13.997 A

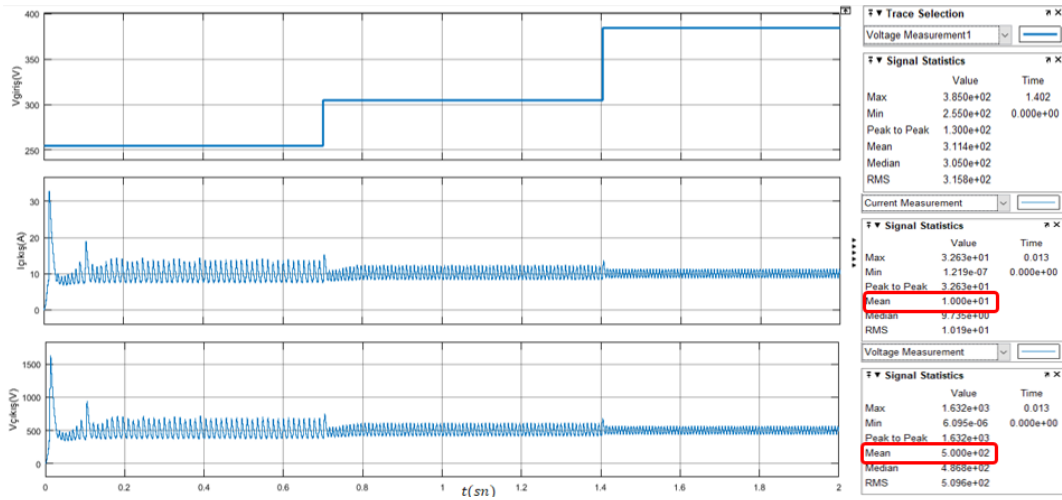
2.1.2.2. RES İçin Tasarlanan Arttıran Çeviricinin PID ile Denetimi

Rüzgar enerji sistemi için tasarlanan arttıran çeviricinin bulunan parametrelerden yararlanılarak gerçekleştirilen PID denetimli arttıran çevirici tasarımı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 54. Kapalı çevrim arttıran (Boost) çevirici devresi (RES)

Kapalı çevrim arttıran (boost) çevirici devresinin değişen giriş gerilim değerine göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı ölçüm değerleri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 55. Kapalı çevrim arttıran (Boost) çevirici devresi ölçüm değerleri (RES)

Rüzgar enerji sisteminin kontrolsüz AA/DA doğrultucunun çıkışındaki gerilim değeri 255-385 V aralığında değişmektedir. Bu değer arttıran çevirinin giriş gerilimi olarak

alınır. Değişen giriş gerilimine karşın arttıran çevirici ile sabit 500V gerilim seviyesi elde edilmiştir.

Yukarıdaki şekilde akımın ortalama değeri 10.00 A ve gerilimin ortalama değeri de 500.0 V olarak ölçülmüştür.

Kullanılan PID parametreleri aşağıda belirtilmiş olup, PID parametreleri MATLAB/Simulink PID Kontrolör bloğunda yer alan ve MATLAB'ın sunduğu etkili bir PID tasarım aracı olan PID Tune aracından yararlanılarak elde edilmiştir.

The image shows a screenshot of the PID Tune tool interface. The 'PID Advanced' tab is selected. The 'Controller parameters' section is visible, showing the following settings:

Parameter	Value
Source:	internal
Proportional (P):	2.2
Integral (I):	70.48
Derivative (D):	0.016
Use filtered derivative:	<input checked="" type="checkbox"/>
Filter coefficient (N):	100

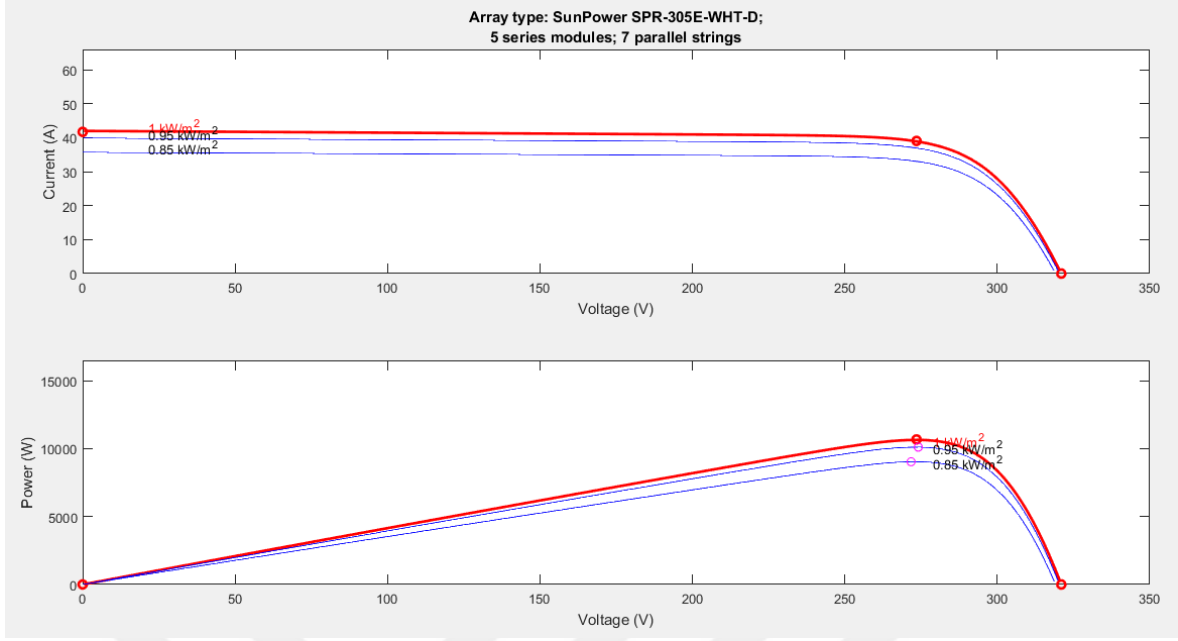
Şekil 56. Arttıran çeviricide kullanılan PID parametre değerleri (RES)

2.2. Maksimum Güç Noktası İzleyici Uygulamaları

2.2.1. Güneş Enerji Sistemi MGNİ Uygulamaları

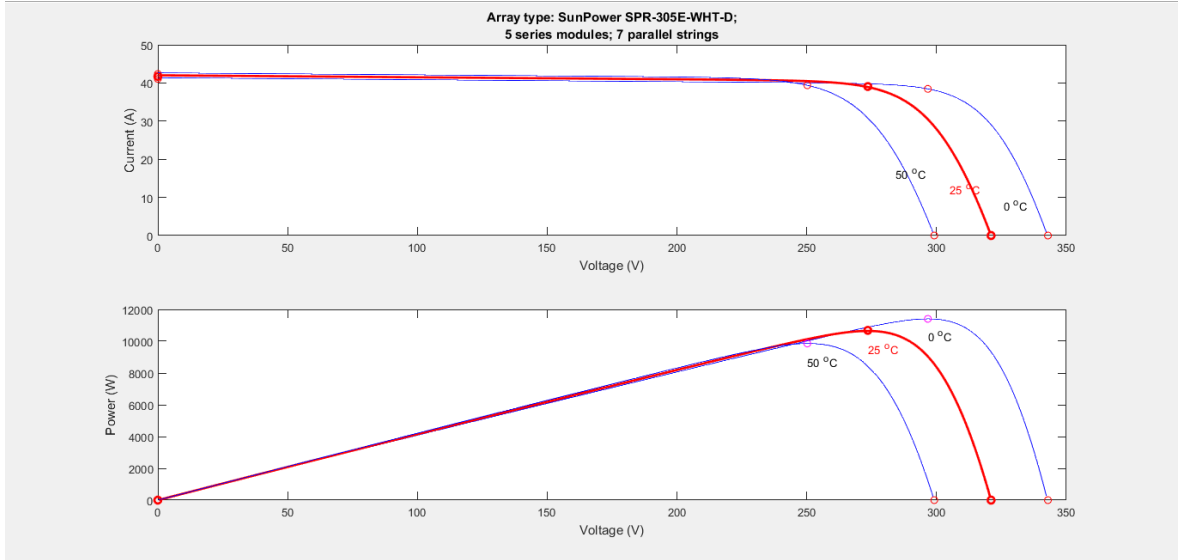
Bu çalışmada benzetimler Sunpower SPR-305E-WHT-D (monokristal hücre) (yedi paralel modül ve beş seri dize) FV modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FV modülün 25 °C'deki ve çeşitli ışınım seviyelerindeki karakteristikleri Şekil 57'de gösterilmiştir. FV panelin 1000 W/m² ve çeşitli sıcaklık seviyelerindeki özellikleri Şekil 58'de gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde farklı ışınım değerlerinde maksimum güç çalışma noktasını göstermektedir. I-V ve P-V karakteristikleri, ışınım değişiminden etkilenir. Güneş ışınımı etkilerinde, özellikle de I-V eğrisinde gösterildiği gibi, güneş ışınımının artmasıyla birlikte akımdaki değişim artar, ancak gerilim üzerindeki etkiler çok düşüktür. Ayrıca, P-V karakteristiklerinde görülmektedir ki güneş ışınımı arttıkça, güç artar. Güçteki artış temelde akım artışlarından kaynaklanır.



Şekil 57. 25 °C'de ve çeşitli ışın seviyelerinde FV panelin karakteristiği

Aşağıdaki şekilden sıcaklık değişimi sonucunda görülür ki sıcaklık artınca akım değeri neredeyse değişmezken gerilim değeri azalmaktadır. Dolayısıyla bu durum sıcaklıkla gücün değişiminin ters orantılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 58. 1000 W / m² ve çeşitli sıcaklık seviyelerinde FV panelin karakteristiği

Standart test koşullarındaki modül parametrelerine ait veriler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5. FV modüle ait veriler

Modül Parametreleri	Değeri
Maksimum güç (W)	305,26
Açık devre gerilimi V_{OC} (V)	64,2
V_{OC} sıcaklık katsayısı (% / deg.C)	-0,27269
Modül başına hücreler	96
Kısa devre akım I_{SC} (A)	5,96
Maksimum güç noktasında akım I_{MP} (A)	5,58
I_{SC} sıcaklık katsayısı (% / deg.C)	0,061745
Işık kaynaklı akım I_L (A)	6,0092
Diyot doygunluk akımı I_0 (A)	6,30e-12
Diyot idealite faktörü	0,94504
Şant Direnci R_{SH} (ohm)	269,5934
Seri Direnç R_S (ohm)	0,37152

2.2.1.1. GES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritması ve Optimizasyon Çalışması

Gerekli bulanık giriş değişkenleri bulanık MGNİ denetleyicileri tarafından oluşturulur. FV modülünün akım ve gerilim ölçümleri, bulanık çıkarım sistemi ile bulanık girişlere dönüştürülür. Daha sonra bu bulanık girdiler, görev oranının artışı tahmin etme sürecinde kullanılabilir. Bulanık denetleyicilerin tasarımları seçilen giriş değişkenlerine göre değişir. Bu çalışmada giriş değişkenleri olarak gücün gerilime göre eğimi ve eğimin değişimi seçilirken çıkış değişkeni olarak ise görev çevrim değişimi seçilmiştir.

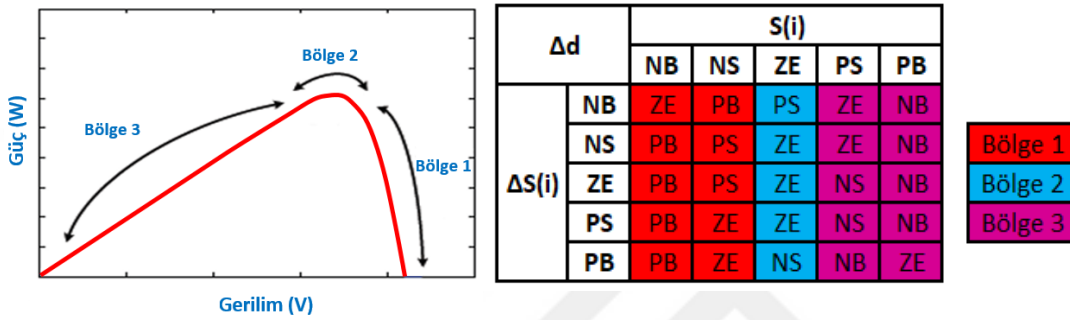
MATLAB Simulink kullanılarak önerilen MGNİ topolojisi uygulanmış, giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının çeşitleri ve sınırları belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonlarının sınırlarının belirlenmesinden sonra, üyelik fonksiyonları negatif büyük, negatif küçük, sıfır, pozitif küçük, pozitif büyük (NB, NS, ZE, PS, PB) isimleri ile gruplandırılmıştır. Araştırmacılar, bulanık kümeleme ve parçacık sürü optimizasyonu gibi üyelik fonksiyonlarının sınırlarını belirlemede çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bu çalışmada üyelik fonksiyonlarının sınırları deneme yanılma metodu ile belirlenmiştir. Bu yöntem ampirik bir yöntemdir. Bu yöntemde sistem tasarımcıları çok fazla deney yapmak zorundadır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, en iyi izleme performansını elde etmek için üyelik fonksiyonlarının sınırları optimize edilmelidir [74].

Fotovoltaik panelin güç-gerilim eğrisinin eğimi eşitlik 53'de, eğimin değişimi ise eşitlik 54'de verilmektedir.

$$S(i) = \frac{\Delta P_{PV}}{\Delta V_{PV}} = \frac{I_{PV}(i) \cdot V_{PV}(i) - I_{PV}(i-1) \cdot V_{PV}(i-1)}{V_{PV}(i) - V_{PV}(i-1)} \quad (53)$$

$$\Delta S(i) = S(i) - S(i-1) \quad (54)$$

Kural veritabanı Şekil 59'daki fotovoltaik panelin P-V eğrisinde tekrarlamalar yaparak elde edilmiş olup, Şekil 62'de gösterilen devrede uygulaması gerçekleştirilmiştir.



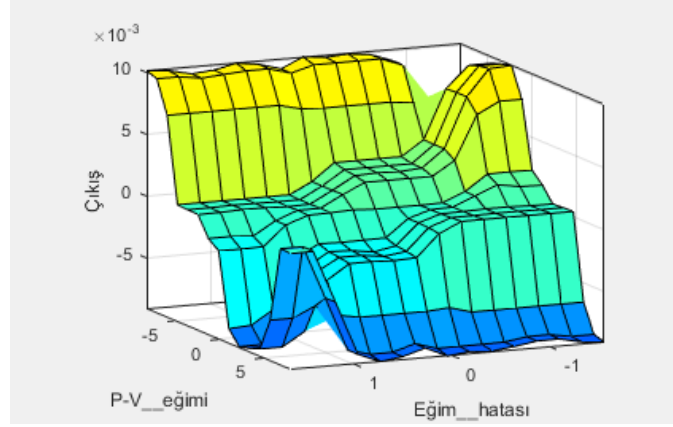
Algoritmanın temel mantığı: Maksimum güç noktasına erişildiğinde ya da çevresel koşulların değişmesine bağlı olarak MGN'nin yeri değiştiğinde, anahtarlama elemanının görev periyodunun artırımını/azaltımını SIFIR'a (ZE) set etmeliyiz. Çalışma noktası MGN'nin solunda ise görev periyodu azaltılır. Aksi durumda görev periyodu artırılır.

MGN'ye yakın çalışma noktalarında MGN'ye ulaşmak için görev periyodu küçük adımlarla artırılır/azaltılır.

MGN'den uzak çalışma noktalarında MGN'ye ulaşmak için görev periyodu büyük adımlarla artırılır/azaltılır.

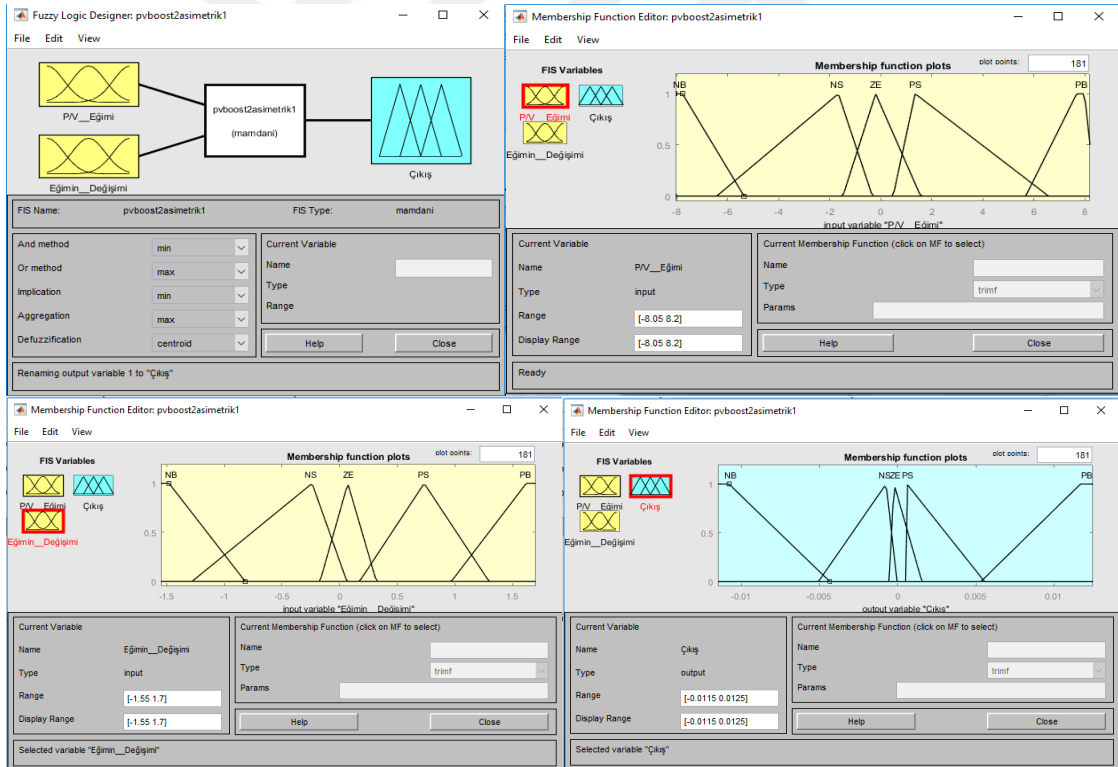
Bu şekilde 25 (5x5) adet kural oluşturulur.

Güneş enerji sistemi için oluşturulan bulanık mantık denetleyicinin giriş-çıkış üç boyutlu görünüm grafiği Şekil 60'da gösterilmektedir.



Şekil 60. GES için kullanılan bulanık denetleyicinin giriş-çıkış yüzeyi

Bulanık mantık denetleyicinin, Şekil 61'de gösterilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları normal olan, dışbükey ve asimetrik üyelik fonksiyonları olarak seçilmiştir.



Şekil 61. Bulanık mantık giriş çıkış birimleri (GES)

Şekil 59'da FV panelin güç-gerilim eğrisinde gösterildiği gibi, P-V karakteristik eğrisi 3 bölgeye ayrılmıştır. MGNİ denetleyicisinin MGN'ye ulaşmak için nasıl davranması gerektiği belirtilirse;

1. Bölgede: Bu bölgede eğim negatiftir. Bu durum, çalışma noktasının MGN'nin sağ tarafında olduğu anlamına gelir. Böylece MGN'ye ulaşmak için görev oranı artırılmalıdır. $S(i)$ ve $\Delta S(i)$ her ikisi de NB olduğunda, bu işlem noktasının MGN'ye yaklaştığı veya MGN'den hızla uzaklaştığı anlamına gelir. Yanlış izleme işlevini önlemek için bu durumda çıkış ZE olmalıdır. $S(i)$ (eğim), NS ve $\Delta S(i)$ (değişim), pozitif olduğunda, bu, çalışma noktasının MGN'ye yaklaştığı anlamına gelir. Böylece, görev oranını çok fazla arttırmamak ve salınımları önlemek için çıkış ZE olmalıdır.

2. Bölgede: Bu bölgede $S(i)$ (eğim) sıfırdır. Bu durum, çalışma noktasının MGN'ye yakın olduğu anlamına gelir. Eğer $\Delta S(i)$ (eğimin değişimi), NB ise (görev oranı azaldıysa), çalışma noktası MGN'ye soldan hızlı bir şekilde yaklaşır. MGN'yi geçmemek için, çıkış PS olmalıdır. Eğer $\Delta S(i)$ PB ise (görev oranı arttırılmışsa), çalışma noktası MGN'ye sağdan hızlı bir şekilde yaklaşır. MGN'yi geçmemek için çıkış NS olmalıdır. Diğer durumlarda çıkış ZE olmalıdır.

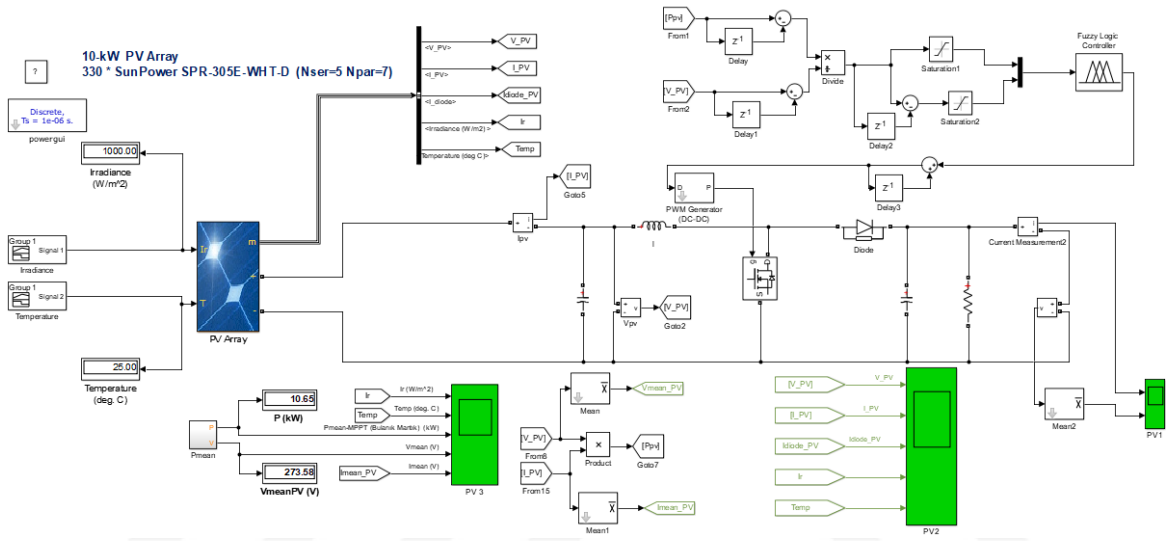
3. Bölgede: Bu bölgede eğim pozitiftir. Bu durum, çalışma noktasının MGN'nin sol tarafında olduğu anlamına gelir. Böylece MGN'ye ulaşmak için görev oranı azaltılmalıdır. $S(i)$ ve $\Delta S(i)$ her ikisi de PB olduğunda, bu, çalışma noktası MGN'ye hızla yaklaşıyor ya da MGN'den uzaklaşıyor demektir. Bu nedenle yanlış izleme işlevini önlemek için çıkış ZE olmalıdır. $S(i)$ (eğim), PS ve $\Delta S(i)$ (eğimin değişimi), negatif olduğunda; bu, çalışma noktasının MGN'ye yaklaştığı anlamına gelir. Böylece, görev oranını çok fazla arttırmamak ve salınımları önlemek için çıkışın ZE olması gerekmektedir.

Durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak, bulanık çıktıların gerçek değerlere dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Ağırlık merkezi yönteminde, çıkarım ünitesince üretilen bulanık kümenin sahip olduğu geometrik biçimin ağırlık merkezi olan nokta tespit edilmekte ve çıkış değeri olarak, bu noktaya karşılık gelen değer alınmaktadır. Böylece bulanık değerlerin sisteme tatbik edilebilecek sayısal değerlere çevrilmesi gerçekleştirilmektedir.

Çalışma kapsamında, Bulanık mantık denetleyici için kural tablosuna göre oluşturulan kurallar ve üyelik fonksiyonları MATLAB/Fuzzy Tool Box'da oluşturulmuştur.

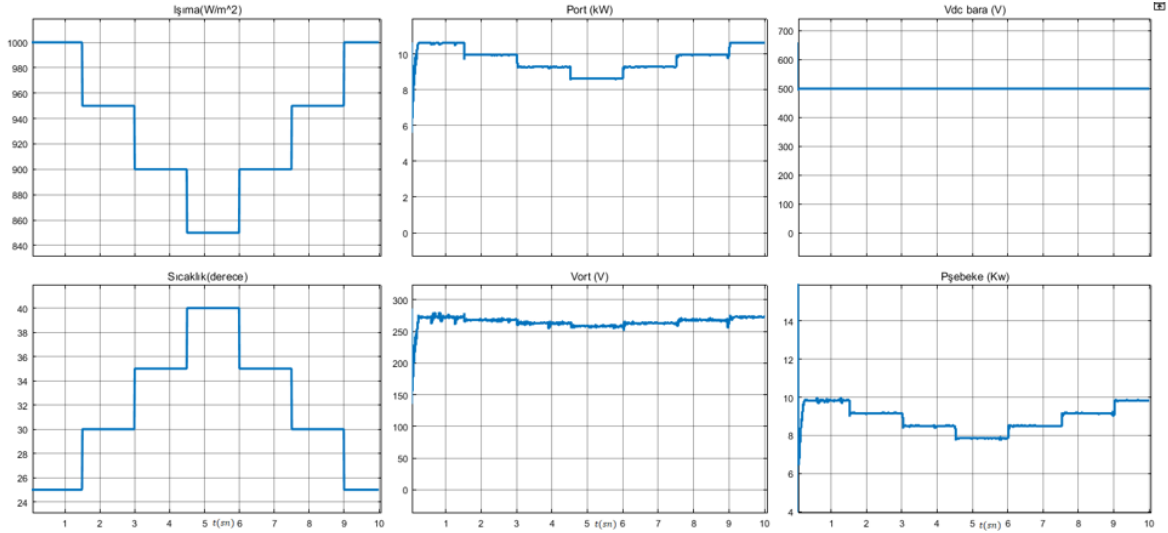
2.2.1.2. GES İçin Oluşturulan Sistemin MGNI Denetimi ve Benzetim Sonuçları

Güneş enerji sistemi için, yüksek doğruluklu izleme ve değişen güneş ışınımı ve farklı sıcaklık değerlerinde gerçekleşen çalışma koşullarındaki değişimlere hızlı cevap verebilmek için bulanık mantık denetimi gerçekleştirilen 10 kW'lık güneş enerji sistemine ait devre yapısı ve ölçüm değerleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 62. Matlab Simulink bulanık mantık denetimli devre (GES)

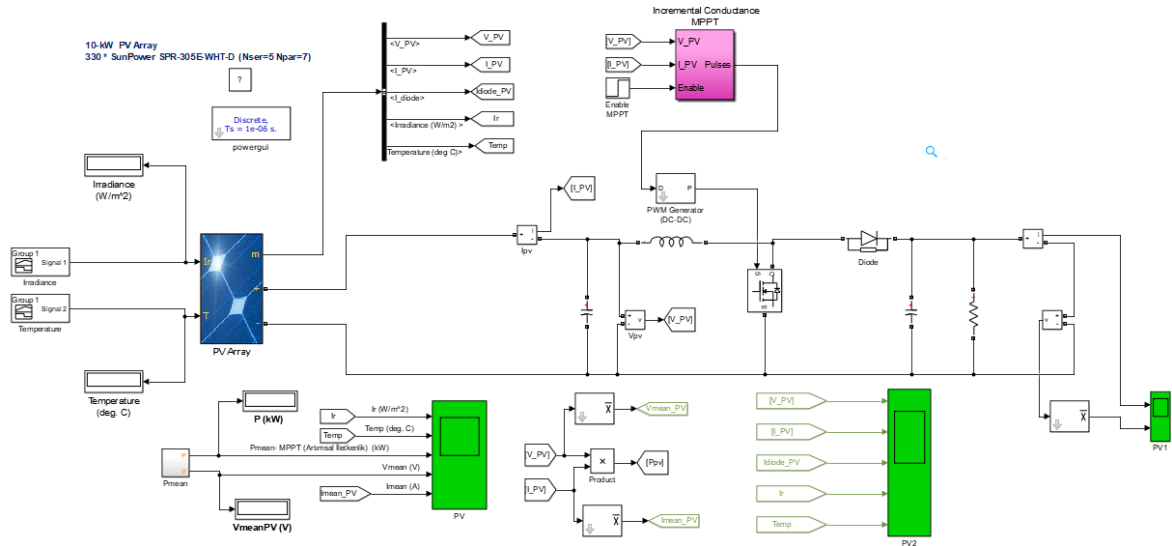
FV panelin bulanık mantıkla denetimi yapıldığından Şekil 63'deki ölçüm değerleri elde edilir. Şekil incelendiğinde değişen ışınım ve sıcaklık değerlerine göre maksimum güç takibi gerçekleştirildiği görülmektedir.



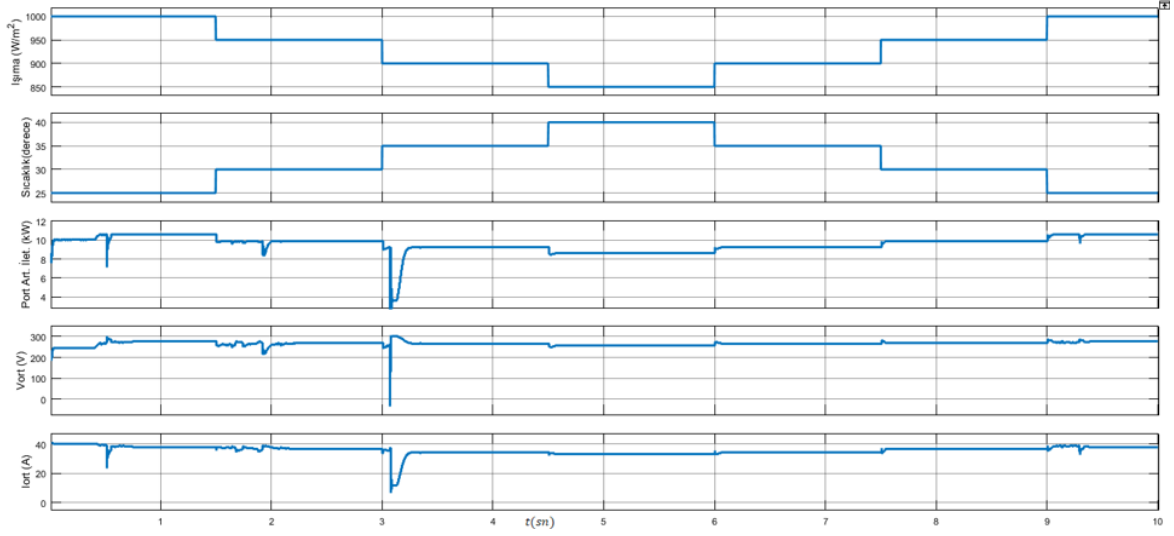
Şekil 65. Şebekeye bağlı GES verilerine ait ölçüm değerleri

2.2.1.3. GES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritmasının Artımsal İletkenlik Yöntemiyle Karşılaştırması

GES sisteminin farklı bir maksimum güç noktası izleyici tekniği olan artımsal iletkenlik yöntemiyle oluşturulan devresi Şekil 66'da ve ölçüm değerleri Şekil 67'de verilmektedir [75].



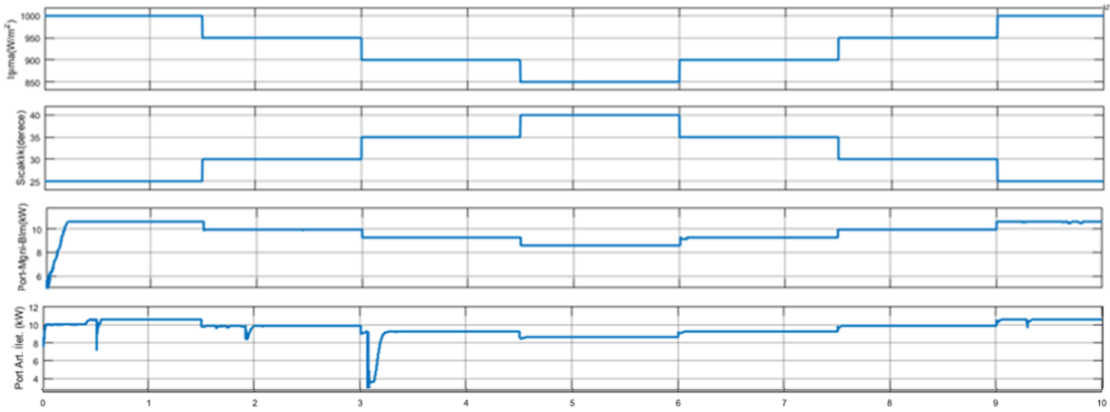
Şekil 66. FV sisteminin artımsal iletkenlik yöntemine göre oluşturulan MGNI devresi



Şekil 67. FV sisteminin artımsal iletkenlik yöntemine ait ölçüm değerleri

Ölçüm değerleri incelendiğinde, değişen ışınım ve sıcaklık değerlerinde bazı durumlarda istenmeyen salınımlar görülmektedir. Ayrıca bazı koşullarda da oluşan maksimum güç takibinin geç yapıldığı gözükmemektedir.

MGNİ yöntemlerinden olan bulanık mantık ve artımsal iletkenlik yöntemiyle kontrol durumunda elde edilen güç değerleri Şekil 68’de karşılaştırılmakta olup, bulanık mantıkla oluşturulan denetleyicinin optimum çözüm için tercih edileceği açıkça görülmektedir.



Şekil 68. Bulanık mantık ile artımsal iletkenlik yöntemlerine ait ölçüm değerleri (GES)

Bulanık mantık MGNİ denetimli devrenin artımsal iletkenlik yöntemiyle oluşturulan farklı bir MGNİ’li devreye göre ne kadar daha verimli olduğu hesaplanmak istenirse, verime ait temel formülden yararlanılabilir.

$$Verim_{GES} = \frac{\int_0^T P_{mppt_fuzzy}(t) \cdot d(t)}{\int_0^T P_{mppt_inccon}(t) \cdot d(t)} \quad (55)$$

Verim, “trapz” fonksiyonunu kullanarak aşağıdaki gibi Matlab'da hesaplanır;

```
>> % pvincconmppt = Artımsal İletkenlikle oluşturulan sistemin güç karakteristiği
% pvfuzzympppt = Bulanık Mantıkla oluşturulan sistemin güç karakteristiği
x= pvincconmppt.data;
y=pvfuzzympppt.data;
100* trapz(y)/trapz(x)      %verim durumu

ans =

    105.3116
```

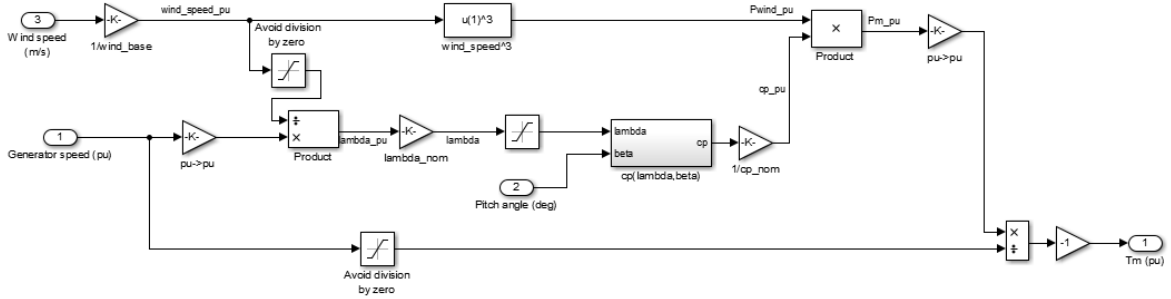
Şekil 69. GES sistemi için Matlab'da verim hesabı

Çıkan bu sonuç; bulanık mantık MGNİ denetimli devrenin, artımsal iletkenlik yöntemiyle oluşturulan devreye göre veriminin %5.31 daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu bize aynı güç değeri için bulanık mantıklı MGNİ denetimli sistemin daha az sayıda panel kullanarak dolayısıyla daha az maliyet ile güneş enerji sistemi kurulabileceğini göstermektedir.

2.2.2. Rüzgar Enerji Sistemi MGNİ Uygulamaları

Bu çalışmada rüzgar türbinine bağlı daimi mıknatıslı senkron generatör kullanılarak enerji üretimi sağlanmıştır. Senkron generatörün çıkışındaki kontrolsüz doğrultucuyla elde edilen DA gerilim arttıran (boost) çevirici aracılığıyla daha yüksek bir seviyeye çıkartılmaktadır.

Sistemde kullanılan rüzgar türbininin Matlab modeli aşağıda belirtilmiştir [76].



Şekil 70. Rüzgar türbin modeli

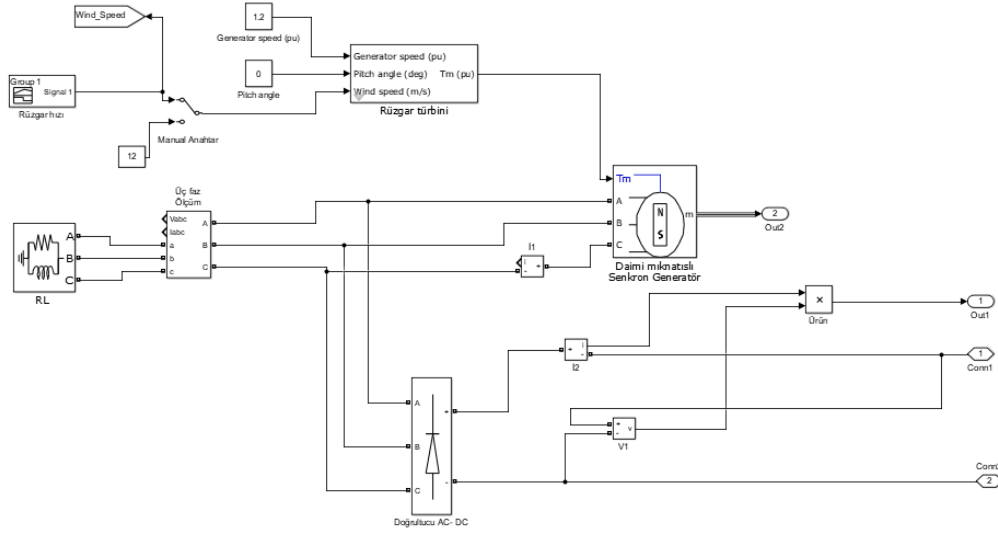
Bu uygulamada daimi mıknatıslı senkron generatör kullanılmış olup, dişli sistemi kullanılmadan devre bağlantıları gerçekleştirilmiştir.

Daimi mıknatıslı senkron generatöre ait konfigürasyon ve parametre bilgileri Şekil 71’de gösterilmektedir.

Configuration	Parameters	Advanced
Number of phases:		
3		
Back EMF waveform:		
Sinusoidal		
Rotor type:		
Round		
Mechanical input:		
Torque Tm		
Preset model:		
05: 8 Nm 300 Vdc 2000 RPM - 10 Nm		
	Configuration	Parameters
	Stator phase resistance Rs (ohm):	
	0.9585	
	Armature inductance (H):	
	0.00525	
	Machine constant	
	Specify: Flux linkage established by magnets (V.s)	
	Flux linkage: 0.1827	
	Inertia, viscous damping, pole pairs, static friction [J(kg.m ²) F(N.m.s) p() Tf(N.m)]:	
	[0.0006329 0.0003035 4 0]	
	Initial conditions [wm(rad/s) thetam(deg) ia,ib(A)]:	
	[0,0,0]	

Şekil 71. DMSG’ye ait bilgiler

Uygulamada kullanılan rüzgar türbin sistemine ait devre yapısı aşağıda sunulmuştur [76].

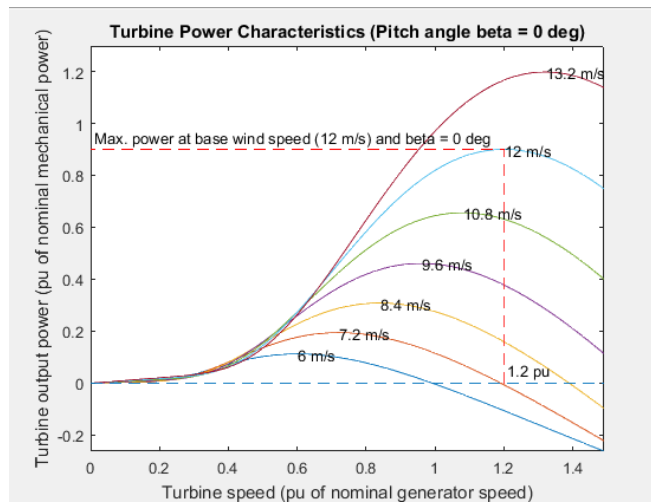


Şekil 72. Rüzgar türbini güç sistemi Matlab/Simulink modeli

Rüzgar türbin sistemine ait değişik rüzgar hız değerlerine göre çıkış gücü-generatör hızına ait grafik Şekil 73’de gösterilmektedir.

Rüzgâr türbinlerinde maksimum güç izlenmesinin yapılabilmesi için arttıran çevirici devresinin denetimi bulanık mantık yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr türbinin çıkışında elde edilmiş olan üç fazlı alternatif akım gerilimini ilk olarak üç fazlı kontrolsüz köprü doğrultucuyla doğrultarak, sinyalin doğru gerilime dönüşümü sağlar.

Elde edilen bu gerilim DA-DA çeviriciye uygulanarak maksimum güç noktası izlenilmesine ilişkin yöntem gerçekleştirilir. Burada gaye türbinden elde edilen gerilimi verimin maksimum olacağı noktada daimi olarak tutabilmektir.



Şekil 73. Rüzgar türbin sistemine ait güç karakteristiği

2.2.2.1. RES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritması ve Optimizasyon Çalışması

MGNİ denetleyicileri tarafından gerekli bulanık giriş değişkenleri oluşturulur. Rüzgar türbin sisteminde kontrolsüz doğrultucunun çıkışındaki akım ve gerilim ölçümleri, bulanık çıkarım sistemi aracılığıyla bulanık girişlere dönüştürülmektedir.

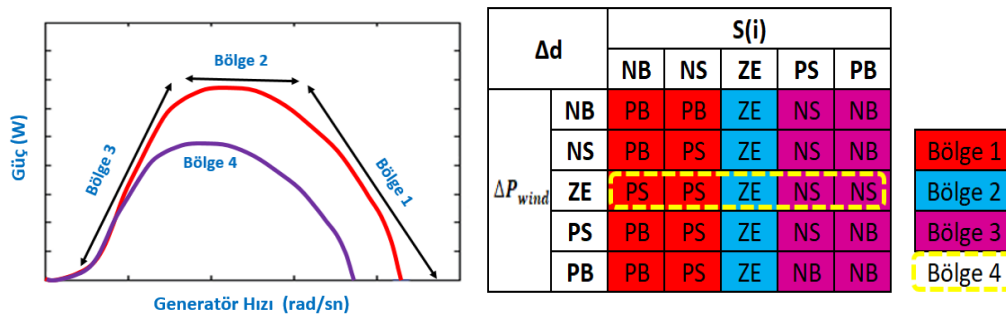
Daha sonra bu bulanık girdiler, görev çevrim oranının değişimini tahmin etme sürecinde kullanılabilir. Bulanık denetleyicilerin tasarımları seçilen giriş değişkenlerine göre değişir. Bu çalışmada giriş değişkenleri olarak gücün generatör hızına göre değişimin eğimi $S(i)$ ve güç değişimi (ΔP) seçilirken çıkış değişkeni olarak ise görev çevrim değişimi seçilmiştir.

$S(i)$ ve ΔP ifadelerinin gösterimi aşağıda sunulmuştur.

$$S(i) = \frac{\Delta P_{wind}}{\Delta W_{wind}} = \frac{I_{wind}(i).V_{wind}(i) - I_{wind}(i-1).V_{wind}(i-1)}{W_{wind}(i) - W_{wind}(i-1)} \quad (56)$$

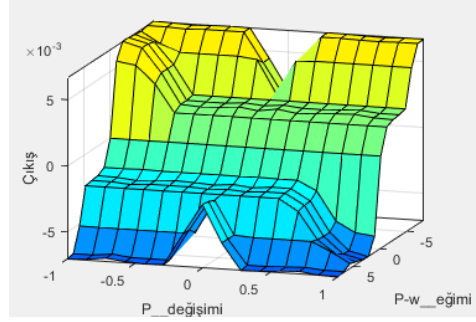
$$\Delta P_{wind} = P_{wind}(i) - P_{wind}(i-1) \quad (57)$$

Kural veritabanı Şekil 74'deki RES sisteminin P-w eğrisinde tekrarlamalar yapılarak elde edilmiş olup Şekil 77'de gösterilen devrede uygulaması gerçekleştirilmiştir.



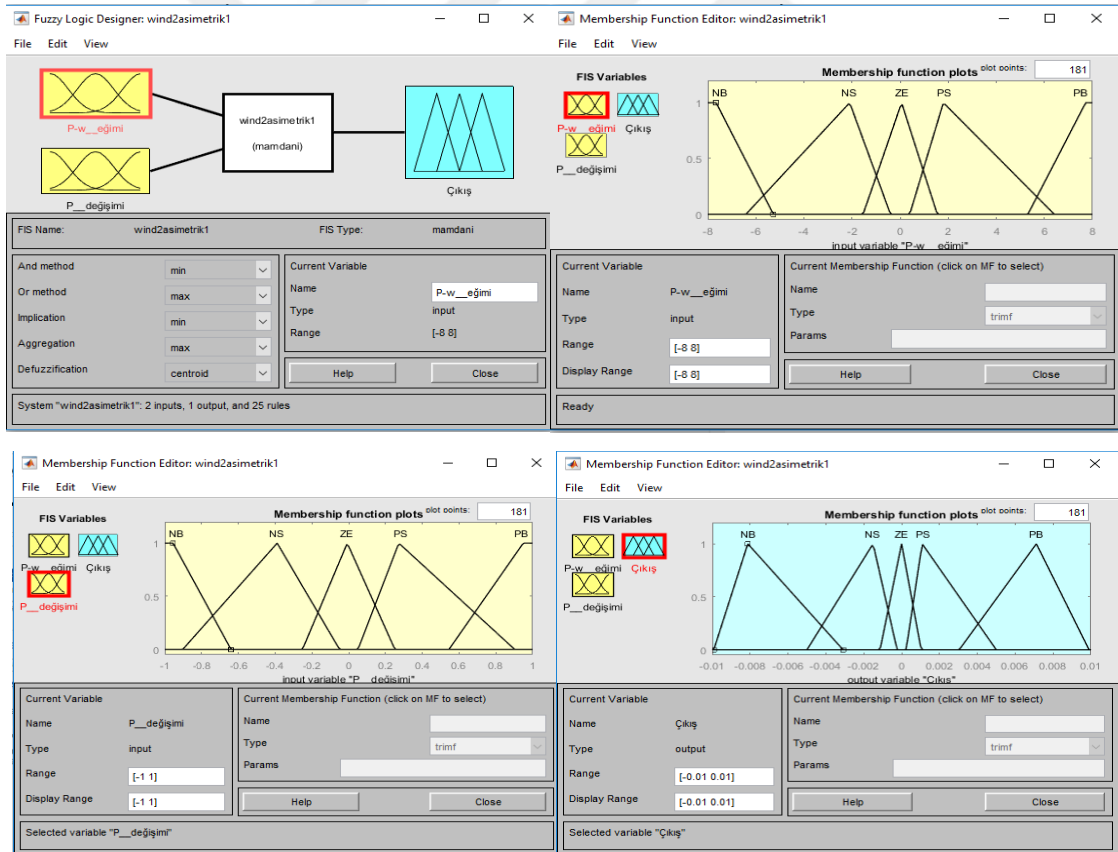
Şekil 74. Rüzgar türbin P-w karakteristiği ve kural veritabanı

Rüzgar enerji sistemi için kullanılan bulanık mantık denetleyicinin giriş-çıkış üç boyutlu görünüm grafiği aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 75. RES için kullanılan bulanık denetleyicinin giriş-çıkış yüzeyi

Rüzgar enerji sistemi için kullanılan bulanık mantık denetleyicinin, Şekil 76'da gösterilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları normal olan, dış bükey ve asimetrik üyelik fonksiyonları olarak seçilmiştir.



Şekil 76. RES bulanık mantık giriş çıkış birimleri

Şekil 76'daki RES sisteminin P-w eğrisinde gösterildiği gibi, P-w karakteristik eğrisi 4 bölgeye ayrılmıştır. MGNİ denetleyicisinin MGN'ye ulaşmak için nasıl davranması gerektiği belirtilirse;

1. Bölgede: Bu bölgedeki ana belirleyici, MGN'nin sağ tarafında yer alan çalışma noktasının negatif eğimidir. Dolayısıyla sistem, MGN'yi takip etmek için görev oranının artırılması gerektiği sonucuna varabilir. Güç oranındaki değişim, görev oranı için artışın büyüklüğünü elde etmek için kullanılacaktır.

2. Bölgede: Bu bölgede eğim ZE'dir. Böylece görev oranı değişmeden kalır.

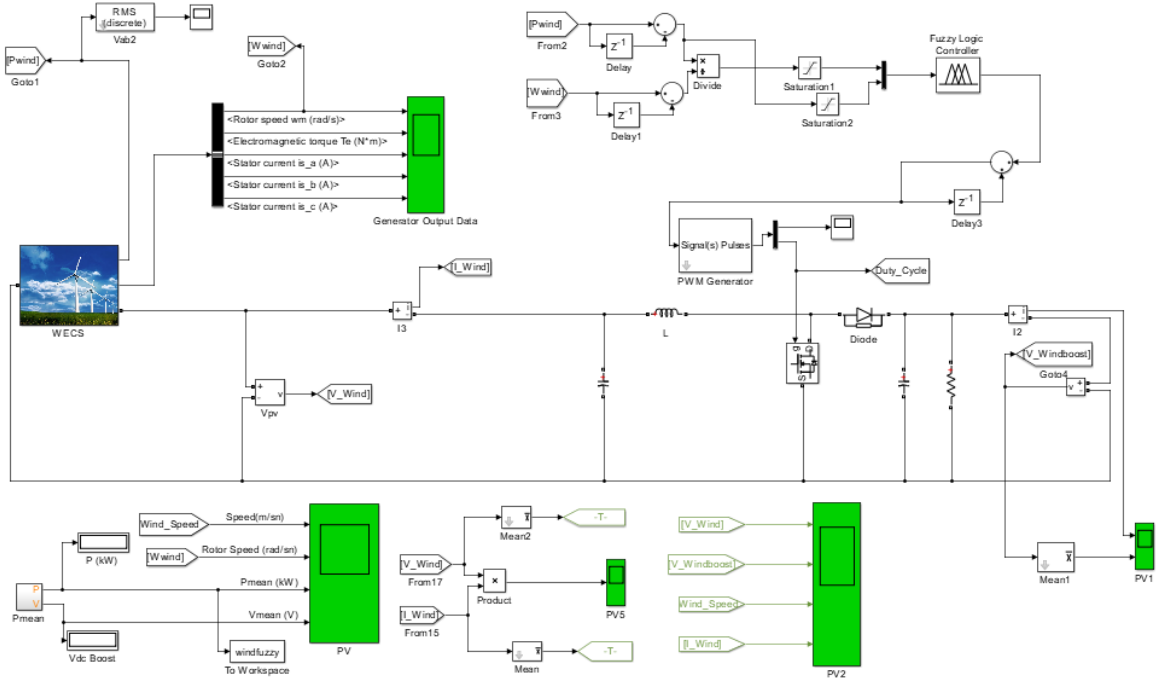
3. Bölgede: Bu bölgedeki ana belirleyici, MGN'nin sol tarafında bulunan çalışma noktasının pozitif eğimidir. Bu nedenle sistem, MGN'yi takip etmek için görev oranının azaltılması gerektiği sonucuna varabilir. Güç oranındaki değişim, görev oranı için azaltma büyüklüğünü elde etmek için kullanılacaktır.

4. Bölgede: Bu bölge, esas olarak, güç çıkışındaki değişikliklerin ZE olduğu tespit edildiğinde uygulanan yanıtları belirler. Gücün değişimi ZE olduğunda, çalışma noktası MGN'ye çok yakın olacaktır. Bu sırada S(i), çalışma noktasının hassasiyetini geliştirmek için kullanılabilir. S(i) kullanımı, P-w eğrisinin çok düşük eğime sahip olduğu ve sistemin MGNİ'yi doğru bir şekilde gerçekleştiremeyeceği durumlarda çözüm sunar. Bu nedenle, eğim, sistem algoritmasının doğruluğunu ve kesinliğini arttırmak için kullanılmıştır. Çalışma noktasındaki dalgalanmalara yol açabilecek tek bir adımda çok fazla görev oranının eklenmesi veya kaldırılmasını önlemek için her bir görev oranının tasarlanan artışı veya azalması küçük olacaktır [74].

Durulaştırma yöntemi olarak GES sisteminde olduğu gibi ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak, bulanık çıktıların gerçek değerlere dönüşümü gerçekleştirilmiştir.

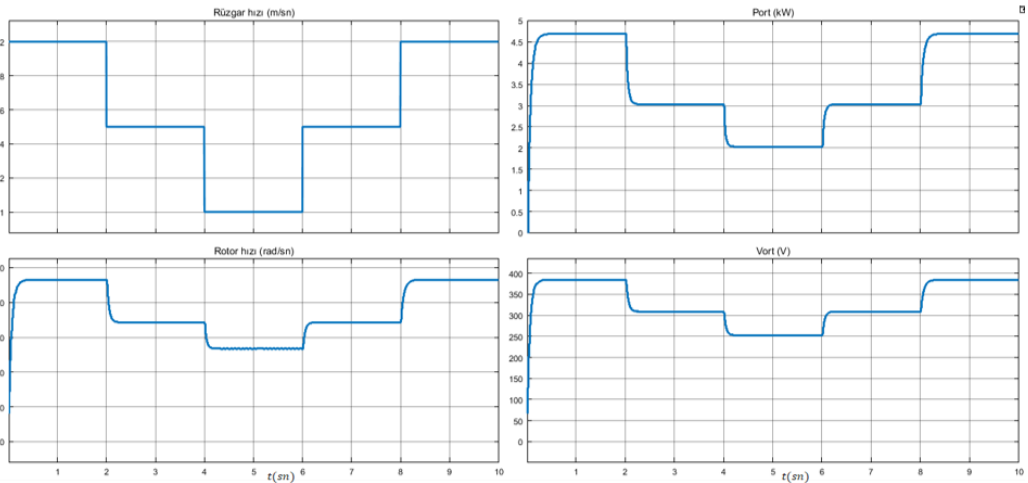
2.2.2.2. RES İçin Oluşturulan Sistemin MGNİ Denetimi ve Benzetim Sonuçları

Rüzgar enerji sistemi için, yüksek doğruluklu izleme ve değişen rüzgar hız değerlerinde gerçekleşen çalışma koşullarındaki değişimlere hızlı cevap verebilmek için bulanık mantık denetimi ile gerçekleştirilen 5 kW'lık rüzgar enerji sistemine ait devre yapısı ve ölçüm değerleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 77. Matlab Simulink bulanık mantık denetimli devre (RES)

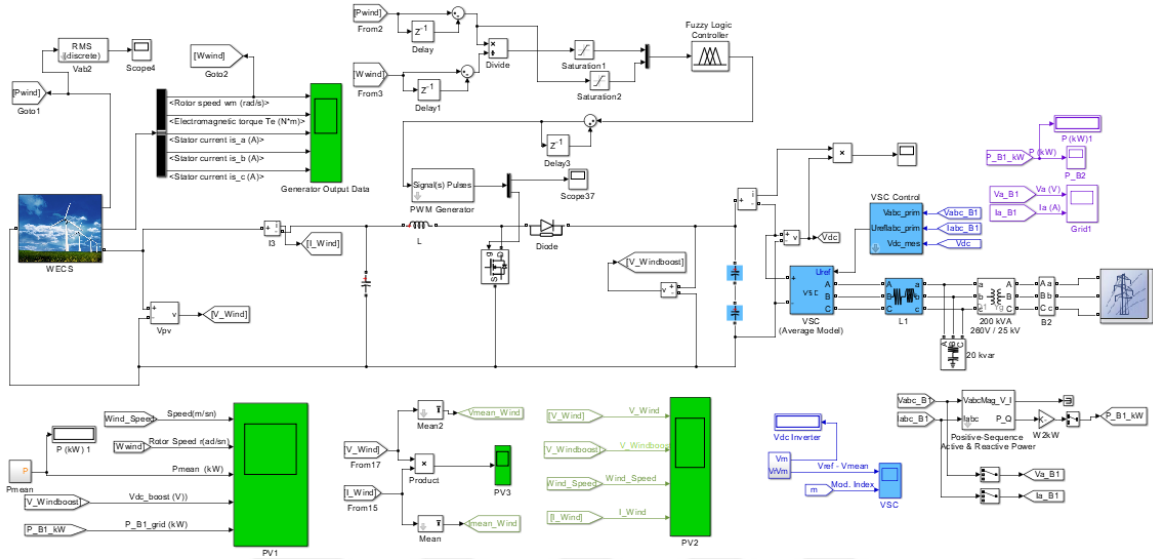
RES sisteminin bulanık mantıkla denetimi yapıldığında Şekil 77'deki ölçüm değerleri elde edilir. Şekil incelendiğinde değişen rüzgar hız değerlerine göre generatör hızı ve gücün doğru orantılı değişimi görülmektedir.



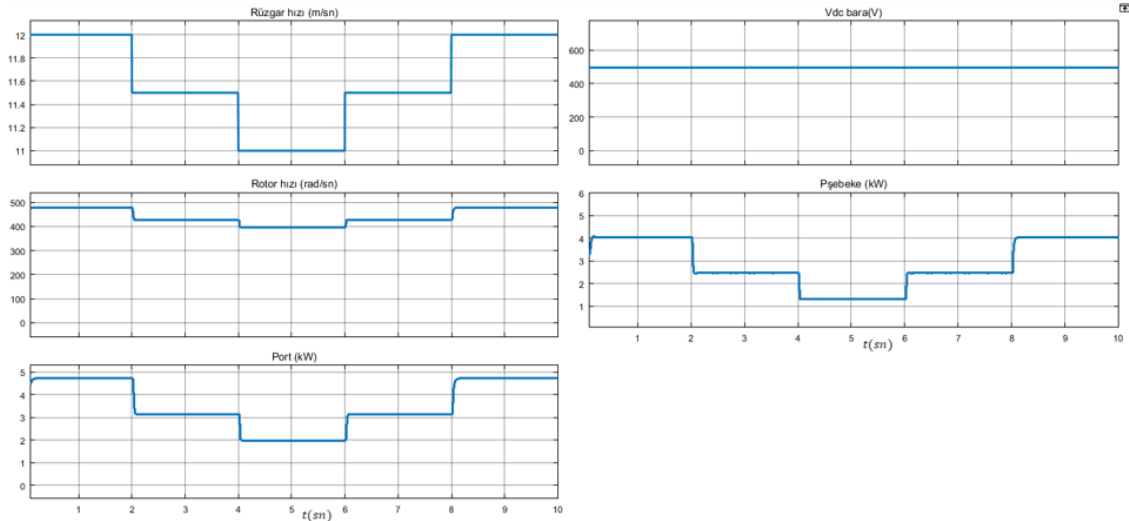
Şekil 78. Rüzgar enerji sistemi bulanık mantık MGNİ ölçüm değerleri

Şebeke bağlantılı RES'in bulanık mantıkla denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu devrede arttıran çeviricinin çıkışı 500 V sabit bara gerilimine ayarlanmaktadır. Evirici ile DA-AA dönüşümü gerçekleştirilerek şebekeye bağlanan devre Şekil 78'de gösterilmektedir.

Devreye ait ölçüm değerleri ise Şekil 80’de görülmektedir. Ölçüm değerleri incelendiğinde rüzgardan üretilen güç kabul edilebilir sınırlar içerisinde şebekeye aktarılmaktadır.



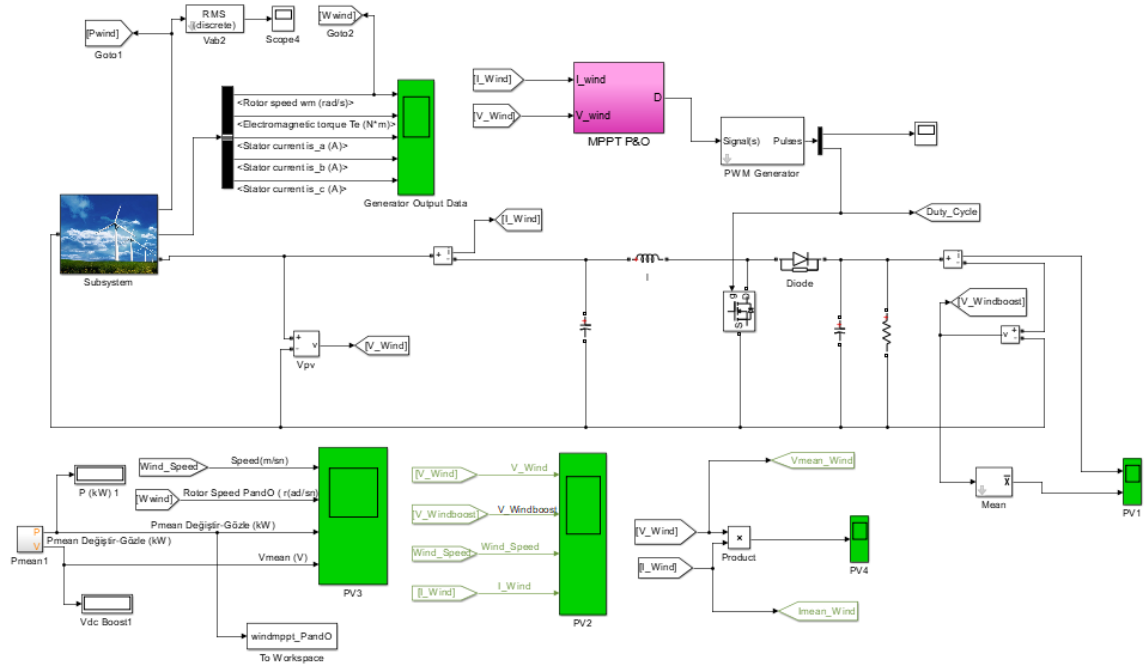
Şekil 79. Rüzgar enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı yapısı



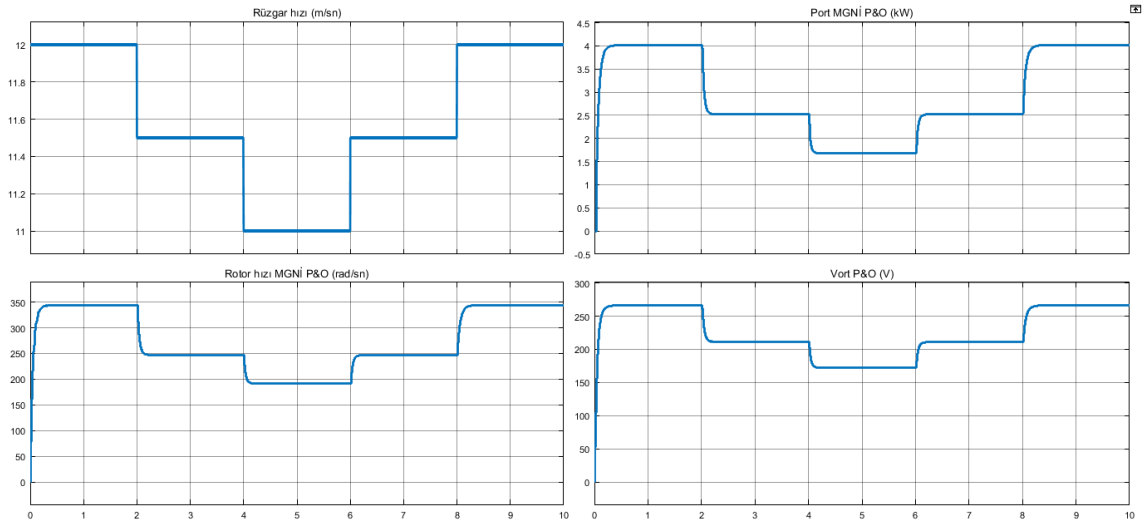
Şekil 80. Rüzgar enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı devrenin ölçüm değerleri

2.2.2.3. RES İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Algoritmasının Değiştir ve Gözle Yöntemiyle Karşılaştırması

Değiştir ve gözle yöntemiyle elde edilen devreye ait benzetim çalışması Şekil 81’de [77], ölçüm değerleri ise Şekil 82’de görülmektedir.



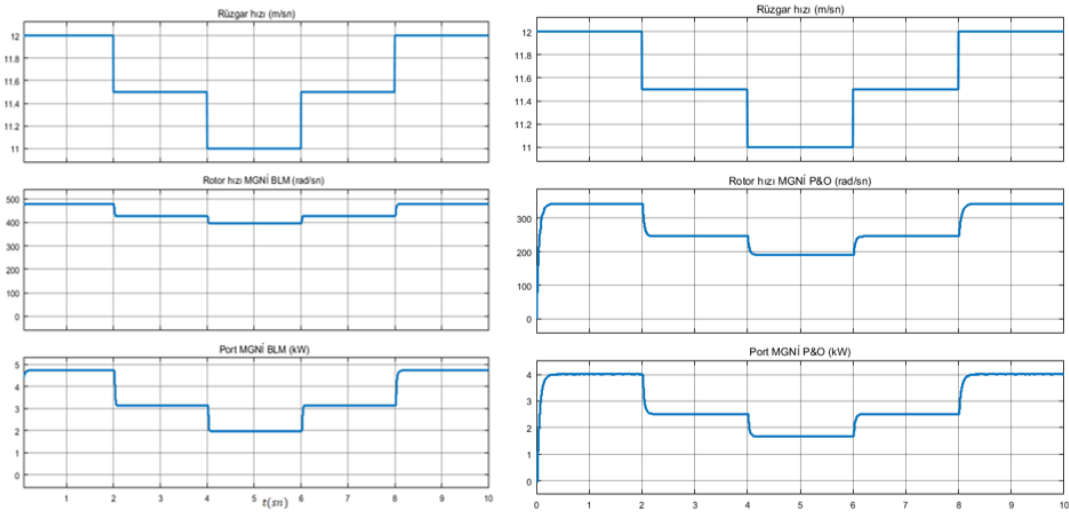
Şekil 81. Rüzgar enerji sisteminin değiştir ve gözle yöntemine göre oluşturulan MGNİ devresi



Şekil 82. Rüzgar enerji sisteminin değiştir ve gözle yöntemine ait ölçüm değerleri

Değişen rüzgar hızı için bulanık mantık denetimli MGNİ'li rüzgar enerji sistemini farklı bir MGNİ yöntemi olan değiştir ve gözle yöntemiyle karşılaştırıldığında oluşan güç ve rotor dönüş hızı değerleri Şekil 83'de sunulmuştur.

Ölçüm değerleri incelendiğinde bulanık mantıkla oluşturulan denetleyicinin optimum çözüm için tercih edileceği açıkça görülmektedir.

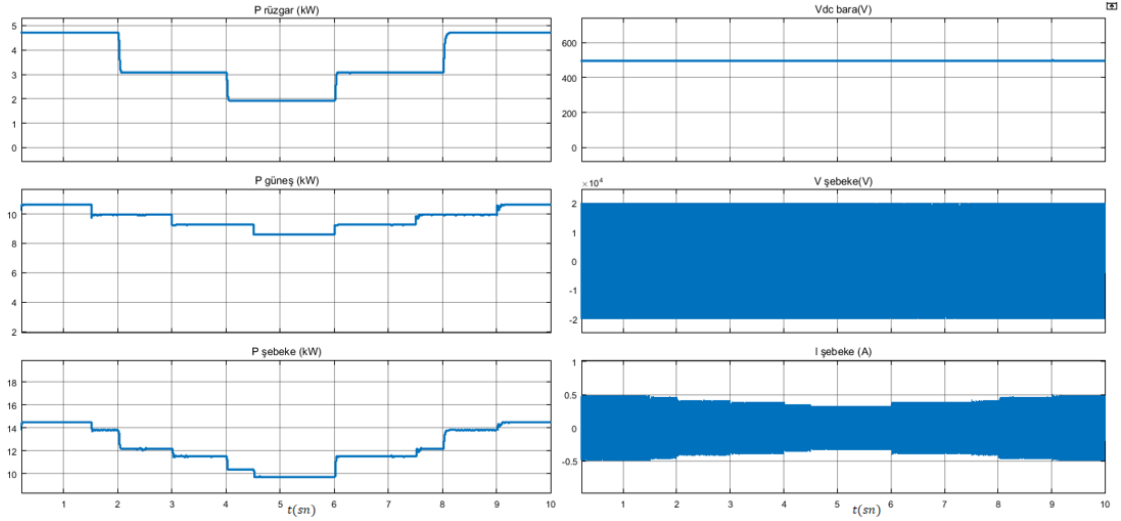


Şekil 83. Değişen rüzgar hızı için bulanık mantık ile değiştir ve gözle yönteminin ölçüm değerlerinin karşılaştırması (RES)

RES için; Bulanık mantık MGNİ denetimli devrenin değiştir ve gözle metoduyla oluşturulan farklı bir MGNİ devresine göre ne kadar daha verimli olduğu hesaplanmak istenirse, verime ait temel formülden yararlanılabilir.

$$Verim_{RES} = \frac{\int_0^T P_{mppt_BLM}(t).d(t)}{\int_0^T P_{mppt_P\&O}(t).d(t)} \quad (58)$$

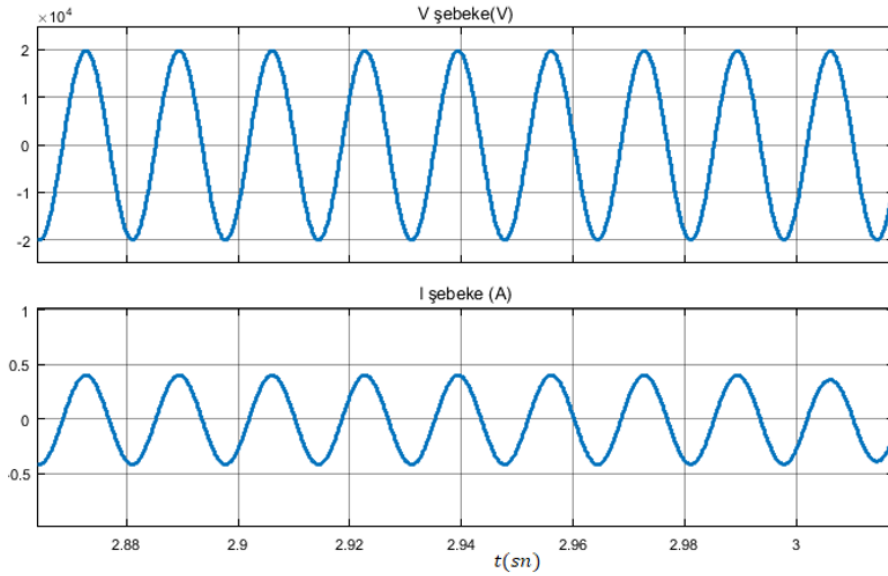
Verim hesaplandığında; RES için bulanık mantık MGNİ denetimli devrenin, değiştir ve gözle metoduyla oluşturulan MGNİ devresine göre verimi yaklaşık %18.38 daha fazladır. Bu bize aynı güç değeri için bulanık mantık temelli denetleyiciyle oluşturulan sistemin daha az maliyetli RES ekipmanı kullanarak rüzgar enerji sistemi kurulabileceğini göstermektedir.



Şekil 85. Hibrit enerji sisteminin şebekeye bağlı oluşturulan bulanık mantıklı yapısı ölçüm değerleri (HES)

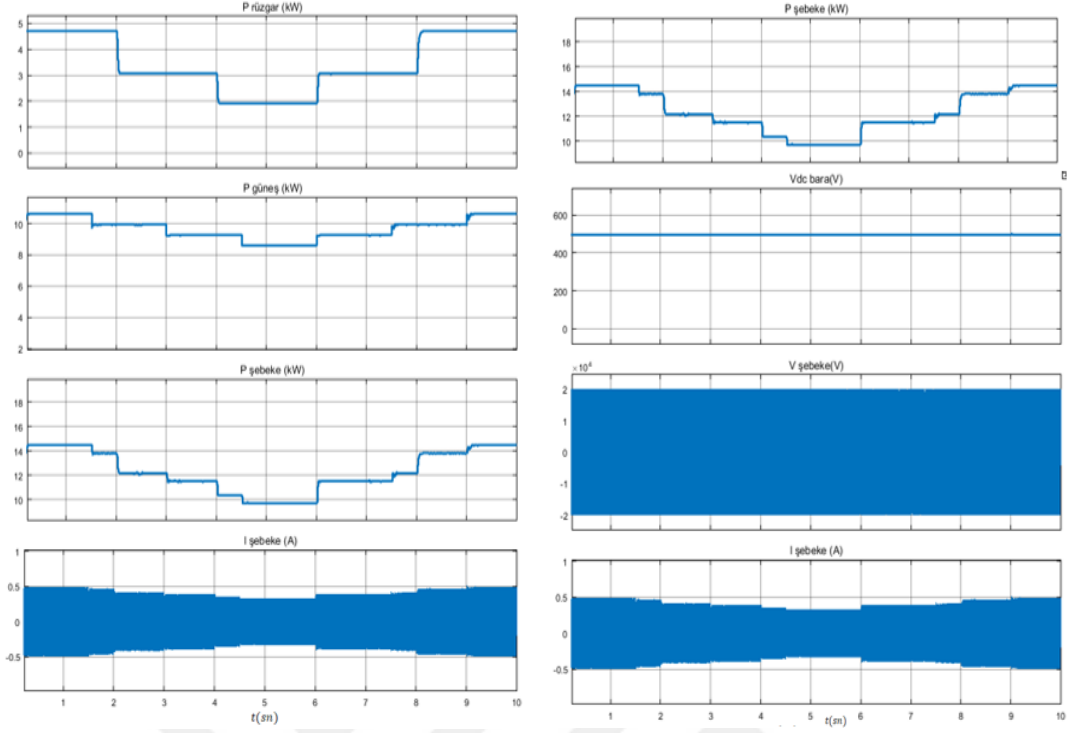
Şebekeden elde edilen çıkış gerilim değeri sinüsoidal 20kV olurken akım değeri şebekeye aktarılan güce göre değişim göstermektedir.

Şebekede oluşturulan sinyallerin açık görünümü Şekil 84'te sunulmuş olup, sinyallerin genliklerindeki değişim Şekil 85 incelenerek anlaşılabilir.



Şekil 86. Şebekede oluşan sinüsoidal sinyallerin görüntüleri (HES)

Şekil 85 dikkatle incelenirse akım değişimleri güç değişimlerinin olduğu noktada, güç değişimleriyle doğru orantılı olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 87. Şebekede oluşan sinüsoidal sinyallerin genlik değerleri (HES)

Hibrit sistemin her iki bileşeninin denetimini bulanık mantıkla gerçekleştirilmiş olup, farklı MGNİ yöntemleri olan artımsal iletkenlik ile değiştir ve gözle yöntemine göre %13.35 daha yüksek verimli enerji üretimi elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 10 kW'lık güneş enerji sistemi ve 5kW'lık rüzgar enerji sistemi için ayrı ayrı devre yapıları oluşturulmuştur. Maksimum güç noktası izleyiciler için çok büyük önem ihtiva eden DA-DA arttıran çeviricilerin parametreleri her iki enerji sistemi için belirlenmiştir. Bu parametreler belirlenirken giriş değerleri güneş panelinin çıkış gerilimi ve rüzgar enerji sisteminin kontrolsüz doğrultucu çıkışından elde edilen gerilim değerleri baz alınarak hesaplanmıştır.

Değişken giriş gerilimlerini, sabit çıkış gerilimi olarak 500V'a regüle edecek arttıran çeviricilerin Matlab / Simulinkte çizimleri gerçekleştirilerek PID ile denetimi sağlanmış ve istenilen çıkış gerilim ve güç değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir. PID parametreleri MATLAB / Simulink PID Kontrolör bloğunda bulunan ve MATLAB'ın sunduğu etkili bir PID tasarım aracı olan PID Tune modülünden faydalanılarak elde edilmiştir.

Tasarımı yapılan her iki devreye ait arttıran çeviricilerle oluşturulan güneş enerji sistemi ve rüzgar enerji sistemine ait devre yapıları Matlab/Simulink'te oluşturulmuştur.

Her iki sistemde oluşturulan bulanık çıkarım sistemi parametreleri en hızlı ve doğru sistem yanıtlarını elde etmek için optimize edilmiştir.

Gerekli bulanık giriş değişkenleri, bulanık MGNİ denetleyicileri tarafından oluşturulup her iki enerji sistemine ait akım ve gerilim ölçümleri, bulanık çıkarım sistemi ile bulanık girişlere dönüştürülmüştür. Daha sonra bu bulanık girdiler, görev oranının artışı tahmin etme sürecinde kullanılmıştır. Bulanık denetleyicilerin tasarımları, seçilen giriş değişkenlerine göre değişir. Giriş değişkenleri olarak güneş enerji sisteminde gücün gerilime göre değişimi ve değişimin eğimi, rüzgar enerji sisteminde ise gücün generatör hızına göre değişimi ve gücün değişimi seçilirken, çıkış olarak da görev çevrim oranı değişimi seçilmiştir.

MATLAB Simulink kullanılarak önerilen MGNİ topolojileri modellenmiş, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarının sınırları ve türleri belirlenmiştir. Bu üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra, negatif büyük, negatif küçük, sıfır, pozitif küçük, pozitif büyük (NB, NS, ZE, PS, PB) isimleri ile üyelik fonksiyonları gruplandırılmıştır. Kural tablosuna göre her iki sistem için kendine ait 25 adet kural tanımlanmıştır.

Bu çalışmada normal olan, dış bükey ve asimetric üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisindeki asimetric üyelik fonksiyonları kullanılarak tüm çalışma koşullarında sistem performansının iyileştirildiği görülmüştür. Simetric üyelik fonksiyonlarını kullandığımızda, giriş değişkenlerinin tüm net değerlerinin üyelik değerlerini simetric olarak aldıklarını varsayıyoruz. Fakat pratikte üyelik derecelerinin dağılımındaki simetri durumu her zaman mümkün değildir. Bu nedenle üyelik fonksiyonlarının modifiye edilmesi gerekmektedir.

Oluşturulan yapıda durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi (centroid) seçilmiştir. Ağırlık merkezi yöntemi en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Gerçekleşen her türlü çıkarım kümesine çözüm sunması yaygın kullanımının en önemli sebebidir. Durulaştırma yönteminden sonra bulanık değerler gerçel değerlere dönüştürülmüş olur.

Bulanık denetleyici tarafından üretilen kontrol çıkışı duruma göre değişkendir. Çalışma noktası MGN'den uzakta iken adım büyüklüğü büyük, yakın iken küçük olduğu görülmüştür. Bu sayede MGN'ye yumuşak ve hızlı bir şekilde ulaşılmıştır. Ayrıca osilasyonlar azaltılmıştır.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda araştırmacılar farklı üyelik fonksiyonu düzenleme yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu çalışmada deneme ve yanılma metodu kullanılmıştır. Deneme yanılma metodu sistem hakkındaki uzman bilgisini kullanan ampirik bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulanması kolaydır fakat en iyi sonuçları elde etmek için çok sayıda deneme yapılması gerekmektedir.

İlk olarak GES sistemi için bulanık mantık tabanlı MGNİ devre yapısı oluşturulmuştur. Değişen güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinde oluşturulan devrenin şebekeye bağlantısı gerçekleştirilerek kabul edilebilir kayıplarla şebebeke aktarımının sağlandığı gözlenmiştir. Daha sonra GES sisteminin farklı bir MGNİ yöntemi olan artımsal iletkenlik yöntemiyle elde edilen çıkış ölçüm değerlerinin karşılaştırılması yapılmış ve bulanık denetleyicinin optimum çözüm sağladığı gözlenmiştir.

RES sistemi için de aynı şekilde bulanık mantık tabanlı MGNİ devre yapısı oluşturulmuştur. Değişen rüzgar hızında oluşturulan devrenin şebekeye bağlantısı gerçekleştirilerek kabul edilebilir kayıplarla şebebeke aktarımının sağlandığı gözlenmiştir. Daha sonra RES sisteminin farklı bir MGNİ yöntemi olan değiştir ve gözle yöntemiyle elde edilen çıkış ölçüm değerlerinin karşılaştırılması yapılmış ve bulanık denetleyicinin optimum çözüm sağladığı gözlenmiştir.

GES ve RES sistemi ortak DA barada birleştirilmiştir. Hibrit enerji çalışma durumunda, farklı çalışma koşulları altında bulanık mantık MGNİ fonksiyonu hem güneş hem de rüzgar enerjisi için tasarlanan arttıran (boost) çevirici kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Güneş ve rüzgar enerjisi için tasarımı yapılan her bir arttıran çeviri ortak bara gerilimi olan 500 Volt'ta her iki sistemi regüle ettiği görülmüştür.

Yüksek doğruluklu izleme ve çalışma koşullarındaki değişimlere hızlı cevap verebilmek için bulanık mantık denetimi gerçekleştirilen 10 kW'lık güneş enerji sisteminde ve 5 kW'lık rüzgar enerji sisteminde üretilen enerjinin şebekeye bağlantısı sonucunda yapılan ölçümlerde, toplam enerjinin kabul edilebilir kayıplarla şebekeye aktarıldığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada, benzetimlerin sonuçlarından, sistem performansının, bulanık çıkarım sisteminin üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu ile doğrudan ilişkili olduğu sonucu çıkarılabilir. Deneme yanılma metoduyla belirlenen üyelik fonksiyonlarının sınırları, farklı zeki algoritmaların kullanılıp belirlenmesiyle daha da geliştirilebilir.

Yapılan çalışmada arttıran çevirici için tasarım parametreleri elde edilen kondansatör değerleri benzetim çalışmasında doğrudan elde edilen değer oluşturulmuştur. Uygulamada ise piyasada var olan standart değerler dikkate alınarak kondansatör seçimi yapılması gerekmektedir.

Hibrit enerji sisteminde kullanılan pwm jeneratörün frekansı güneş enerji sistemi için 5 kHz, rüzgar enerji sistemi için ise 2 kHz seçilmiş olup, oluşacak harmoniklerin engellenmesi için anahtarlama frekansının yüksek seçilmesi uygun olacaktır.

Yapılan çalışmada sabit yük değerlerinde benzetimler gerçekleştirilmiş olup, değişken yükler için benzetimleri ayrıca gerçekleştirilebilir.

4. KAYNAKLAR

1. Başkurt, F., şebeke Bağlantılı Bir Rüzgar Enerji Sisteminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
2. Khare, V., Nema, S., and Baredar, P., Solar–Wind Hybrid Renewable Energy System: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58 (2016) 23-33.
3. Bhandari, B., Poudel, S. R., Lee, K. T., and Ahn, S. H., Mathematical Modeling of Hybrid Renewable Energy System: A Review On Small Hydro-Solar- Wind Power Generation, International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology, 1,2 (2014) 157-173.
4. Bahta, S. T., Design and Analyzing of an Off-Grid Hybrid Renewable Energy System to Supply Electricity for Rural Areas: Case Study: Atsbi District, North Ethiopia, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2013.
5. Sun, H., Research On A New Hybrid Wind Turbine System, Thesis of Doctor in Philosophy, University Of Birmingham, Birmingham, 2014.
6. Udayakanthi, G., Design of A Wind-Solar Hybrid Power Generation System in Sri Lanka, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, 2015.
7. Al-Barazanchı, S. ve Vural, A., Modeling and Intelligent Control of A Stand-alone PV-Wind-Diesel-Battery Hybrid System, IEEE International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), (2015) 423-430.
8. Shashi, K. K. ve Rekha, J., Modeling Simulation and Performance Analysis of Hybrid Power Generation System, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Temmuz 2015, 5837-5844.
9. Khireddine, M.S., Makhloufi, M.T., Abdessemed, Y. ve Boutarfa, A., Tracking Power Photovoltaic System with a Fuzzy Logic Control Strategy, 2014 6th International Conference on CSIT, Mart 2014, 42-49.
10. Naziha, H., Maher, K., Mansour S. ve Abdel A., Maximum Power Point Tracking of a Wind Generation System Based on T-S Fuzzy Model, 16th International Conference On Sciences and Techniques of Automatic Control & Computer Engineering - STA'2015, Aralık 2015, Monastir, Tunisia, 507-512.
11. Rajvikram, M., Renuga, P. and Swathisriranjani, M., Fuzzy Based MPPT Controller's Role in Extraction of Maximum Power in Wind Energy Conversion System , IEEE

- 2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT) (2016) 713-719.
12. Ndirangu, J. G., Nderu, J. N., Muriithi, C. M., ve Muhia, A. M., MPPT of a Standalone Wind Energy Conversion System using Magnetostrictive Amorphous Wire Speed Sensor and Fuzzy Logic *IEEE Africon 2017 Proceedings*, (2017), 1072-1077.
 13. Bogaraj, T., Kanakaraj, J.ve Chelladurai, J., Modeling and Simulation of Stand-Alone Hybrid Power System With Fuzzy MPPT For Remote Load Application , Archives Of Electrical Engineering, 64,3 (2015) 487-504.
 14. Helen, C. R. L., Josephine, R. L., Padmabeaula, A.ve Dhayal, R. A., Effectual PV and Wind Energy Systems with MPPT Using Fuzzy Logic Centered Controllers, International Journals of Software&Hardware Research in Engineering, Ekim 2014 21-29.
 15. Doaa, M. A., Faten, H. F., Ninet, M. A.ve Hassen, T. D., Modeling and Control PV-Wind Hybrid System Based on Fuzzy Logic Control Technique, Telkonnika, Eylül 2012, 431-441
 16. Pavankumar, R. K. ve Venu, G. R. M., Modelling and Simulation of Hybrid Wind Solar Energy System using MPPT, Indian Journal of Science and Technology, Eylül 2015, 1-5.
 17. Husain, M.A. ve Tariq, A., Modeling of a Standalone Wind-PV Hybrid Generation System Using Matlab/Simulink and Its Performance Analysis, International Journal of Scientific & Engineering Research, Kasım 2013, 1805-1811.
 18. Bharath, N. ve Srinivasarao, R., Advanced Hybrid Wind-Solar Power System with Maximum Power Point Tracking Algorithms, Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) 2, 10 (2016) 1100-1113.
 19. Sunil, P. ve Nayana P., Grid Connected Solar and Wind Hybrid System, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, May 2016, 300-307.
 20. Satinder, S. ve Manpreet, S., Simulation of Hybrid Solar-Wind Power Plant Using Matlab, International Journal of Scientific Engineering and Research, (2015) 74-77.
 21. Chowdhury, M.S.F. ve Mannan, M. A., Simulating Solar And Wind Based Hybrid Systems Synchronized And Segmented For Grid Connectivity, International Journal Of Multidisciplinary Sciences And Engineering, Ağustos 2014, 18-22.
 22. Rana, A. ve Ilyas, M., Implementation of a Wind/PV Hybrid System using MATLAB/Simulink, International Journal of Advanced Research in Electrical,Electronics and Instrumentation Engineering, Temmuz 2015, 5941-5948.
 23. Duffie, J.A and Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd edition, John Wiley&Sons, INC, New Jersey, 2006.

24. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi ve Teknolojileri http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx 17 Mayıs 2018.
25. Akova, İ., Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2008.
26. Kalogirou, S. Solar energy engineering: processes and systems. Academic Press, United States of America, (2009) 469–517.
27. Karadöl, İ., Kahramanmaraş Bölgesi İçin Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Hibrit Sisteminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.Maraş, 2017.
28. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/11/how-efficient-are-solar-panels> How Efficient Are Solar Panels. 17 Mayıs 2018.
29. Çarkıt, T., Yenilenebilir Enerji Kaynakları Depolama Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2017.
30. Kammen, D.M., Solar energy innovation and Silicon Valley, Bulletin of the Atomic Scientists, 5, 70 (2014) 45–53.
31. Bahtiyar, B., Fotovoltaik Sistemleri İçin Gerçek Zamanlı Bir İzleme Merkezi Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2006.
32. Çakmak, R., Fotovoltaik Güç Üretim Sistemleri için Bulanık Mantık Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
33. Martin, C., Belver, Z., Lesaka, L. and Guerrero, Z., Modelling of Photovoltaic Module, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), March 2010, Granada, 1186-1190.
34. Pandiarajan, N. and Ranganath, M., Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink, 1st International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), March 2011, California, 258-263.
35. Kashif I., Zainal S., Saad M. and Amir S., Parameter Extraction of Solar Photovoltaic Modules Using Penalty-Based Differential Evolution, Science-Direct, 99 (2012) 297-308.
36. Skoplaki E. and Palyvos J. A., On the Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A review of efficiency/power correlations, Science-Direct, 83 (2009) 614–624.
37. Messenger, R. ve Ventre, J., Photovoltaic Systems Engineering, Second edition, CRC Press, Boca Raton., 2005.

38. Elkholy, A., Fahmy, F.H., Elela, A.A., A New Technique for Photovoltaic Module Performance Mathematical Model, Chemistry and Chemical Engineering (ICCCE) 2010 International Conference, August 2010, Kyoto.
39. Nakir, İ., Ulaşım Araçlarında Fotovoltaik Yapılar İçin Uygun Bir Maksimum Güç Takip Algoritması ile Verimliliğin Artırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
40. Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. and Bossanyi, E., Wind Energy Handbook, First edition, John Wiley & Sons, Ltd, ISBN 0 471 48997 2, Chichester, 2001.
41. Ackermann, T., Wind Power in Power Systems, First edition, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, West Sussex, 2005.
42. Karaca, C., Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistem Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2012.
43. Yılmaz, U., Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
44. Çelikdemir, S., Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatörlü Rüzgar Santrali, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2014.
45. Apaydın, M., Üstün, A., K., Kırbacı, M. ve Filik, Ü., Rüzgar Enerjisinde Kullanılan Generatörlerin Karşılaştırmalı Analizi, 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Haziran 2009, Diyarbakır, Bildiriler Kitabı: 103-107.
46. Ayhan, D., Bina Montajlı Güneş-Rüzgar Hibrid Elektrik Güç Sistemlerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
47. Elibüyük, U. ve Üçgöl İ., Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi, 2, 3 (2014) 1-14.
48. Özil, E., Şişbot, S., Olgun B. ve Özpınar A., Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği-4 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Elektrik Üretimi ve Çevre, 1.Baskı, TESAB, İstanbul, 2013.
49. Demircioğlu, M., Hibrit Enerji Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
50. Koç E., Güven A. N., Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Modellenmesi ve Arıza Sonrası Sisteme Katkı Yeteneklerinin incelenmesi, EMO Bilimsel Dergi, 1, 1 (2011) 51-55.
51. Çelikdemir, S. ve Özdemir, M., Rüzgar Türbin Sistemlerinin Karşılaştırılması, URSI Türkiye 2014 7. Bilimsel Kongresi, Ağustos 2014, Elazığ.

52. Ersöz, S., Türkiye'de Güneş Ve Rüzgar Kaynaklı Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
53. Esen, M., Rüzgar Türbini Ve Güneş Pilinden Oluşan Bir Güç Üretim Sisteminin Tasarımı ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2016.
54. Demirtaş, M., Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
55. Uyar, M., Gençoğlu, M.T., Yıldırım, S., Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri için Generatör Sistemleri, Emo 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Ekim 2005, Mersin, Bildiriler Kitabı: 173-178.
56. Bodur H., Güç Elektroniği, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2012.
57. Özçelik, M.A., Fotovoltaik Sistemlerde Verim ve Performansın Artırılmasına Yönelik Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı, Doktora Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.Maraş, 2015.
58. Uygur, S., Fotovoltaik Sistemler için Geliştirilmiş Bir Yumuşak Anahtarlama DA-DA Arttıran Çeviricinin Simülasyonu ve Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
59. Başoğlu, M.E., Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükselticili DA-DA Dönüştürücü Analizi ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013.
60. ESRAM, T. ve Chapman, P.L., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, 22, 2 (2007) 439-449.
61. Liu, F., Kang, Y., Zhang, Y. ve Duan, S., Comparison of P&O and Hill Climbing MGNİ Methods for Grid-Connected FV Converter, 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2008), June 2008, Singapore, 804-807.
62. Rebei, N., Gammoudi, R., Hmidet, A. and Hasnaoui, O., Experimental implementation techniques of P&O MGNİ algorithm for FV pumping system, Multi-Conference on Systems, Signals&Devices, Barcelona, (2014) 1-6.
63. Thenkani, A. and Kumar, N.S., "Design of optimum maximum power point tracking algorithm for solar panel", International Conference on Computer, Communication and Electrical Technology, Mart 2011, Tamilnadu, India 370-375.

64. Nacar, S., Pv Sistemler için Yumuşak Anahtarlamalı Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.
65. Eltawil M.A., Zhao Z., MPPT Techniques for Photovoltaic Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25 (2013) 793-813.
66. Kocabaş, A., Design and Optimization of A Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracker for PV Panel, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2017.
67. Salas, V., Olias, E., Barrado, A. and Lázaro, A., Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems, Solar Energy Materials And Solar Cells, 90, 11 (2006) 1555-1578.
68. Ponce-Cruz, P. and Ramirez-Figueroa, F.D., Intelligent Control Systems with LabVIEW, Springer-Verlag London Limited, London, 2010.
69. Ort, M. İ., FV Sistemlerde Güneşi Takip Eden Sistem Tasarımı ve MPPT Kontrolü İle Enerjinin Yüke Maksimum Olarak Aktarılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
70. Reza Reisi, A., Hassan Moradi, M. ve Jamasb, S., Classification and Comparison of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic System: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19 (2013) 433–443.
71. Altas, İ.H., Bulanık Mantık: Bulanık Denetim, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 64 (1999), 76-81.
72. ESRAM, T., And Chapman, P. L., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Transactions On Energy Conversion, June 2007, 439–449.
73. Şahin, M.E., Karma Enerji Sistemi için Paralel Bağlı Azaltan-Artıran (Buck-Boost) Çevirici Tasarımı ve Denetimi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
74. Shiau, J.K., Wei, Y.C. and Chen, B.C., A Study on the Fuzzy Logic Based Solar Power MGNİ Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables, Algorithms, 8 (2015) 100-127.
75. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34752-grid-connected-pv-array>, Mathworks, 17 Mayıs 2018.
76. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/64110-anfis-based-microgrid-integration-of-hybrid-pv-wind-power-system>, Mathworks, 17 Mayıs 2018.

77. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/39406-mppt-based-photovoltaic-pv-system>, 17 Mayıs 2018.
78. https://www.mathworks.com/examples/simpower/mw/sps_product-power_PVarray_grid_avg-average-model-of-a-100-kw-grid-connected-pv-array, Mathworks, 17 Mayıs 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Metin Tüysüz, 1984 yılında Trabzon'da doğdu. 2002 yılında Tefvik Serdar Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde üniversite eğitime başladı. 2007 yılında lisans eğitimini tamamladı ve Artvin Türk Telekom İl Müdürlüğünde çalışmaya başladı. 2010-2017 yılları arasında Trabzon Türk Telekomda çalıştı. 2017 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon Meslek Yüksekokulu'nda Elektrik ve Enerji bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir. Evli olup Hüseyin ile Hasan adında iki oğlu vardır.