

**RÜZGAR VE GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN ŞEBEKEYE
ENTEĞRE EDİLMESİ VE GÜÇ KALİTESİ KONTROLÜNÜN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedıqullah HABİBİ

Danışman

Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RÜZGAR VE GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN
ŞEBEKEYE ENTEGRE EDİLMESİ VE GÜÇ KALİTESİ
KONTROLÜNÜN İNCELENMESİ

Sediqullah HABİBİ

Danışman

Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Sediqullah HABİBİ tarafından hazırlanan “RÜZGAR VE GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN ŞEBEKEYE ENTEGRE EDİLMESİ VE GÜÇ KALİTESİ KONTROLÜNÜN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 01 / 02 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Ünvanı Adı SOYADI

Başkan : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi

..... İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi

..... İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi

..... İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01 / 02 / 2022

İmza
Sediqullah HABİBİ

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**RÜZGAR VE GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN ŞEBEKEYE ENTEGRE
EDİLMESİ VE GÜÇ KALİTESİ KONTROLÜNÜN İNCELENMESİ**

Sediqullah HABİBİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

Günümüzde konvansiyonel enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Bunun aksine enerji talebinin artması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı tetiklemiştir. Konvansiyonel temel enerji kaynaklarının çevreye zararlı etkileri, kaynaklara ulaşım sorunu gibi dezavantajları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji talebinde kullanımı giderek artması ile birlikte bu enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması da artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar ve güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bunun nedeni olarak bu enerji çeşitlerinin herhangi bir yakıta ihtiyaç duymamaları, temiz ve çevreye zararlı etkileri olmaması gösterilmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisinin avantajlarından faydalanılarak hibrit güç üretim sistemleri geliştirilmiştir.

Hibrit sistem iki veya daha fazla kaynağın bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu kaynakların bir araya getirilip hibrit güç üretim sistemi oluşturulmasının amacı ise kaynakların birlikte kullanımını sağlamak ve böylece verimliliği arttırmaktır. Ayrıca kaynaklardan birinin olmaması veya azalması durumunda diğer kaynaktan sistem için gerekli enerji ihtiyacının karşılanması sağlanacaktır. Tezde modellenmiş olan rüzgar ve güneş hibrit güç üretim sisteminde kullanılan PV paneller ve rüzgar türbini çıkışına akülerle birlikte şebeke gücü ve frekansını sağlayan hibrit güç inverteri bağlanıp çıkışından yükler beslenilmiştir. Sistemi oluşturan PV panellerin ve rüzgar türbininin ürettiği enerji, akım ve güç değerleri ayrıca panellerin ve türbinin durumu hibrit güç

inverterinde kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler sayesinde hibrit güç üretim sistemin verimliliği değerlendirilmiş olup verimliliği arttırmak üzere gerekli işlemler yapılabilmektedir.

Güç sistemlerinde kararlılık, dengeli bir çalışma halidir ve bozucu etkiler sonrası sistemin eski kararlı haline tekrar gelebilmesidir. Tüketicilere ulaştırılacak enerjinin kararlı ve verimli olması son derece önemlidir.

Bu tez çalışmasında rüzgar ve güneş güç üretim sisteminden oluşan, şebekeye bağlı bir hibrit elektriksel güç üretim sistemine ait güç kalitesi ve bulanık mantık (Fuzzy Logic) ve klasik (PI) denetleyicisi yöntemleri kullanılarak bu güç üretim sisteminin modellenmesi ve analizi yapılmıştır. Modelleme Matlab/Simulink ortamında fotovoltaik panel ve rüzgar türbinleri ile oluşturulmuş ve kontrol analizi yapılarak analiz sonuçları sunulmuştur. Hibrit güç üretim sisteminin ve şebekenin frekans, faz, gerilim, güç ve harmonik ölçümleri incelenmiştir. Bunun yanında senkronizasyon sürecinde hibrit güç üretim sistemi ile şebeke arasında gerilim ve frekans dalgalanma süreleri, sistem yüksüz iken şebekede meydana gelen gerilim artışları, senkronizasyon sonrasında hibrit sistemde yük ve şebekede ölçülen gerilim, güç, frekans ve faz açısı değerleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Simülasyon sonucunda ortaya çıkan grafiklere ve ölçüm değerlerine göre hibrit güç üretim sistemin performansı analiz edilmiştir. Yapılan bu tez çalışması ile hibrit güç üretim sisteminde üretilen elektrik enerjisinin bulanık mantık ile kontrolü yapılarak üretilen enerjinin daha kararlı ve daha verimli hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

2022, xiv + 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi Kontrolü, Rüzgar Güneş Hibrit Sistem, Güç Üretim Sistemleri.

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

INTEGRATION OF WIND AND SOLAR HYBRID POWER GENERATION
SYSTEM INTO THE GRID AND INVESTIGATION OF POWER QUALITY
CONTROL

Sediqullah HABİBİ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Yüksel Oğuz

Today, conventional energy sources are rapidly depleting. In contrast, increasing energy demand triggered the need for renewable energy sources. The disadvantages of conventional basic energy sources such as the harmful effects on the environment and the problem of transportation to resources have led to the shift to renewable energy sources. With the increasing use of renewable energy sources in energy demand, the use of these energy sources in electrical energy production is also increasing. The use of wind and solar energy, which is one of the renewable energy sources, in electricity generation, has become widespread. The reason for this is that these types of energy do not need any fuel and are clean and do not have any harmful effects to the environment. Hybrid power generation systems have been developed by taking advantage of wind and solar energy.

In this study thesis, the design and analysis of a grid connected hybrid electrical power system consisting of wind and solar power generation system using power quality and fuzzy logic and classical logic controller (PI) methods will be carried out. The design will be designed with photovoltaic panels and wind turbines in Matlab / Simulink environment. Frequency, phase, voltage, power and harmonic measurements of hybrid power generation system and network will be made. In addition, the voltage and frequency fluctuation times between the hybrid power generation system and the grid during the synchronization process, the voltage increases in the network when the system is unloaded, and the voltage, power, frequency, phase angle values measured in the hybrid system, load and network after synchronization will be shown separately. The

performance of hybrid power generation system will be analyzed according to the graphs and measured values resulting from the simulation.

Conventional energy sources are rapidly depleted today. However, energy demand continues to increase. Therefore, the need for renewable energy sources has increased. In addition, conventional energy sources have disadvantages such as harmful effects to the environment and the problem of access to resources. These reasons have largely triggered the shift to renewable energy sources. The use of renewable energy sources in energy demand is increasing. Today, the use of these energy sources in the production of electrical energy is also increasing. The use of wind and solar energy, which is one of the renewable energy sources, in electricity generation, has become widespread. The reason for this is that these energy types do not need any fuel, clean and no harmful effects to the environment. Hybrid systems have been developed by taking advantage of wind and solar energy.

The hybrid system creates two or more sources together. The purpose of bringing these resources together and creating a hybrid power generation system is to ensure that the resources are used together and thus to increase efficiency. In addition, if one of the resources is absent or diminished, the energy requirement of the system from the other source will be met. The PV panels and wind turbine output to be used in the Wind and Solar hybrid power generation system, which will be modeled in our thesis, will be connected to the hybrid power inverter providing the mains power and frequency and the loads will be fed from the output. The energy, current and power values produced by the PV panels and wind turbines that make up the system, as well as the state of the panels and turbines will be recorded in the hybrid power inverter. With the help of these data, the efficiency of hybrid power generation system will be evaluated and necessary actions can be taken in order to increase efficiency.

Stability in power systems is a balanced state of operation and the ability to restore the system to its former state after disturbing effects. It is extremely important that the energy to be delivered to consumers is stable and efficient. With this thesis, the electrical energy produced in the hybrid power production system is aimed at making the energy produced

with fuzzy logic and making the energy produced more stable and more efficiently.

2022, xiv + 66 pages

Keywords: Power Quality Control, Wind and Solar Hybrid System, Power Generation Systems.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın seiminde, yűrűtűlmesinde, sonulandırılmasında ve sonularının deęerlendirilmesinde bilgi ve deneyimleriyle desteęini esirgemeyen deęerli hocam Prof. Dr. Yűksel OęUZ' a teőekkűr ederim.

Bu araőtırma boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen tűm aileme teőekkűrű bor bilirim.

Sediqullah HABİBİ
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	6
2.1.1 Rüzgâr Enerjisi	6
2.1.1.1 Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinin Durumu	7
2.1.2 Güneş Enerjisi.....	10
2.1.2.1 Güneş Bacaları	11
2.1.2.2 Fotovoltaik Paneller	12
2.1.2.3 PV Panellerde Verimlilik	13
2.1.2.4 Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisinin Durumu	15
2.2 Güneş Fotovoltaik Hücrelerinin Matematiksel Modellenmesi	17
2.3 PV Sistemlerin Elektriksel Karakteristiği.....	19
3. MATERYAL ve METOT	21
3.1 Hibrit Enerji Üretim Sistemleri	21
3.1.1 Şebekeye Bağlı Sistemler	22
3.1.1.1 Şebekeye Bağlı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	23
3.1.1.2 Şebekeye Bağlı Rüzgar Güç Üretim Sistemleri.....	24
3.1.1.3 Şebekeye Bağlı Güneş Güç Üretim Sistemleri	27
3.1.1.4 Şebekeye Bağlı Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemleri.....	31
3.1.2 Güç Kalitesi	38
3.1.4 Harmonik	39
3.1.5 Pulse Generatörünün Modellenmesi ve Simülasyonu	41
3.1.6 DC/AC Eviricinin Modellenmesi ve Simülasyonu.....	41
3.1.7 Yüklerin Modellenmesi ve Simülasyonu.....	42
3.2 Hibrit Güç Üretim Sisteminin Bulanık Mantık Kontrolör ile Modellenmesi.....	43

4. BULGULAR ve TARTIŞMA	45
4.1 Matlab/Simulink Ortamında Gerilim, Güç ve Frekans Analizi.....	45
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	55
6. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	62
EKLER	63

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Amper
AC	Alternatif akım
C	Kapasitans
DC	Doğru akım
F	Frekans
Hz	Hertz
K	Kelvin
K	Boltzmann sabiti [J/K]
kV	Kilovolt
L	Endüktans
MW	Megawatt
P	Güç
R	Direnç
Rms	Efektif değer
T	Zaman (saniye)
W	Watt
V	Volt
VA	Volt Amper
VAR	Volt Amper Reaktif
X	Reaktans
Y	Admitans
Z	Eşdeğer reaktans

Kısaltmalar

AA	Alternatif Akım
AKO	Arı Kolonisi Optimizasyonu
ANFÇK	Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolörü
BM	Bulanık Mantık
BTA	Benzetilmiş Tavlama Algoritması
DA	Doğru Akım
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
GA	Genetik Algoritma
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IRENA	International Renewable Energy Agency
ON-GRİD	Connected of Grid (Şebekeye Bağlı)
PID	Oransal-İntegral-Türevsel
PI	Oransal İntegral Kontrolü
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
PWM	Darbe Genlik Modülasyonu
PV	Photovoltaics
RT	Rüzgar Türbini
RES	Rüzgar Enerji Santrali
RMS	Karekök Ortalama

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yatay eksenli rüzgar türbini.	9
Şekil 2.2 Düşey eksenli rüzgar türbini.	10
Şekil 2.3 Güneş bacası.	12
Şekil 2.4 Bir güneş hücresinde oluşan fotovoltaj etki.	13
Şekil 2.5 Güneş panel tipleri ve yapısı.	14
Şekil 2.6 2010-2020 yıllarında PV santrallerin küresel kapasitesi ve yıllık kurulum miktarları.	15
Şekil 2.7 Fotovoltaj hücreye ait elektriksel eşdeğer devresi.	17
Şekil 2.8 Radyasyona göre I-V değişim grafiği.	18
Şekil 2.9 Sıcaklığa göre I-V değişim grafiği.	19
Şekil 2.10 Bir PV panele ait akım-gerilim grafiği.	20
Şekil 3.1 Hibrit (rüzgar-güneş) sistemin blok şeması.	21
Şekil 3.2 Şebeke bağlantılı PV sistem ve bileşenleri.	23
Şekil 3.3 Şebekeye bağlı rüzgar güç üretim sisteminin blok diyagramı.	26
Şekil 3.4 Simülasyonda kullanılan şebekeye bağlı PV sistemin blok diyagramı.	28
Şekil 3.5 Matlab/Simulink ortamında PV modülün 1000 W/m ² ve 3 farklı sıcaklık değerlerinde I-V grafiği.	29
Şekil 3.6 PV panelin 25°C’de ve çeşitli ışınım seviyelerindeki I-V karakteristiği.	29
Şekil 3.7 PV panelin standart test koşulları altındaki değerleri.	30
Şekil 3.8 Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin Matlab/Simulink ortamında simülasyonu.	32
Şekil 3.9 Sistemin Sugeno bulanık mantık modeli.	35
Şekil 3.10 Hata için kullanılan üyelik fonksiyonlarının Matlab görüntüsü.	35
Şekil 3.11 Hatanın değişimi için kullanılan üyelik fonksiyonlarının Matlab görüntüsü.	36
Şekil 3.12 Bulanık mantık model çıkışı için üyelik fonksiyonlarının Matlab görüntüsü.	36
Şekil 3.13 Hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık kural tablosu.	37
Şekil 3.14 Hibrit güç üretim sistemi için bulanık mantık denetleyicinin giriş-çıkış yüzeyi.	38

Şekil 3.15 Sinüzoidal dalga ve sinüzoidal olmayan dalga.	39
Şekil 3.16 Hibrit güç üretim sisteminin şebekeye bağlı bulanık mantık ile gerilim kontrolü.....	44
Şekil 4.1 Rüzgar türbinin sistemin Matlab/Simulink ortamında frekans-zaman grafiği.	46
Şekil 4.2 Rüzgar türbin sisteminin faz açısı-zaman grafiği.	46
Şekil 4.3 Rüzgar türbin şebeke tarafının frekans zaman grafiği.	47
Şekil 4.4 Matlab/Simulink ortamında rüzgar türbinin şebekeye bağlı üç fazlı gerilim grafiği.	47
Şekil 4.5 Matlab/Simulink ortamında filtre sonrası oluşan gerilimin dalgası harmonik değeri.	48
Şekil 4.6 Matlab/Simulink ortamında rüzgar türbinin üç fazlı gerilim ölçümü.	48
Şekil 4.7 Şebeke bağlantılı rüzgar türbinin aktif güç ve reaktif güç ölçüm grafiği.	49
Şekil 4.8 PV sistemin frekans zaman grafiği.	49
Şekil 4.9 Şebekeye bağlı PV sistemin faz-faz gerilimi.	50
Şekil 4.10 Matlab/simulink ortamında trafonun çıkışındaki gerilim dalgası.	50
Şekil 4.11 Hattın başındaki gerilim dalgasının harmonik değerleri.	51
Şekil 4.12 Hattın sonundaki gerilim dalgasının harmonik değerleri.	51
Şekil 4.13 Matlab/Simulink ortamında alçak gerilimin harmonik analizi.	52
Şekil 4.14 Klasik PI kontrolörün Matlab/Simulink ortamındaki ölçüm grafiği.	52
Şekil 4.15 Klasik bulanık mantık geliştirilmiş PI kontrolör ölçümü.	53
Şekil 4.16 Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık ile gerilim kontrolü.....	53
Şekil 4.17 Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık ölçüm grafiği.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 IRENA Türkiye ve Dünya'daki yenilenebilir enerji ve rüzgar enerjisi kurulu güç miktarları 2021 yılı Ağustos raporu.....	8
Çizelge 2.2 TEİAŞ 2021 raporu birincil kaynaklara göre santral adedi ve kurulu güç çizelgesi.	16
Çizelge 3.1 PV modulün parametre değerleri.	30
Çizelge 3.2 Bulanık mantık denetleyici kural tablosu.....	34
Çizelge 3.3 IEEE-519 THD gerilimin sınır limitler.	40
Çizelge 3.4 IEEE-519 THD akım için sınır limitleri.....	40
Çizelge 3.5 DC/AC evirici devrenin değişken ve değerleri.	41

1. GİRİŞ

Konvansiyonel enerji kaynakları günümüzde hızlı bir şekilde tükenmektedir. Fakat buna rağmen enerji talebi artmaya devam etmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur. Buna ek olarak konvansiyonel enerji kaynakları çevreye zararlı etkileri olması, kaynaklara ulaşım sorunu gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi büyük oranda tetiklemiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji talebinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde bu enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması da artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar ve güneş enerjisinin de elektrik üretiminde kullanımı yaygınlaşmaya başlamaktadır. Bunun nedeni olarak bu enerji çeşitlerinin herhangi bir yakıtta ihtiyaç duymamaları, temiz ve çevreye zararlı etkileri olmaması gösterilmektedir. Hibrit sistem iki veya daha fazla kaynağın bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu kaynakların bir araya getirilip hibrit güç üretim sistemi oluşturulmasının amacı ise kaynakların birlikte kullanımını sağlamak ve böylece verimliliği arttırmaktır. Ayrıca kaynaklardan birinin olmaması veya azalması durumunda diğer kaynaktan sistem için gerekli enerji ihtiyacının karşılanması sağlanacaktır. Rüzgar ve güneş enerjisi de sahip oldukları avantajlar ile hibrit güç üretim sistemlerinde kullanılmaktadır (Ulutaş 2015).

Rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemlerinde gün boyunca güneşten gelen enerji kullanılmakta güneş battıktan sonra ise potansiyel rüzgar enerjisi ile gerekli enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu nedenle rüzgar-güneş sistemlerinin bir hibrit güç üretim sisteminde birlikte iyi çalışması için şebekeye bağlı fotovoltaik veya rüzgar sistemlerinden bir yıl boyunca enerji çıktısı sağlanarak analizler yapılmaktadır. Ayrıca bağımsız çalışmalarda pil gibi uygun yardımcı sistemlerin kullanımı ile bir binanın dönem boyunca kullandığı elektrik taleplerinin karşılanmasında faydalı olacak enerjiyi depolamak mümkündür. Bu tezin odak noktası olan şebekeye bağlı bir rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminde jeneratör sistemi de oldukça önemlidir. Jeneratörün nominal gücü artırılarak sistemin gelecekte artan talepler ile başa çıkabilmesi sağlanmaktadır. Şebekeye bağımlı hibrit güç sistemlerine kıyasen bağımsız hibrit olmayan güç sistemlerinin dezavantajı yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcudiyetinin günlük ve mevsimsel kalıplara sahip olması bu da yük talebiyle başa çıkmak için çıkış gücünün

düzenlenmesinde zorluklara ve çok yüksek bir başlangıç yatırım maliyetine neden olmaktadır. Bu bağlamda şebekeye bağımlı hibrit rüzgar-güneş güç üretim sistemleri üretilen gücün daha güvenilir, uygun maliyetli ve daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır (Karimi 2014).

Bu tez çalışmasında bir rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi modellenmiştir. PV paneller ve rüzgar türbini çıkışına akülerle birlikte şebeke gücü ve frekansını sağlayan hibrit güç inverteri bağlanıp çıkışından yükler beslenilmiştir. Sistemi oluşturan PV panellerin ve rüzgar türbininin ürettiği enerji, akım ve güç değerleri, panellerin ve türbinin durumu hibrit güç üretim sisteminin inverterinde kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler sayesinde hibrit güç üretim sistemin verimliliği değerlendirilerek verimliliği artırıcı yönde gerekli işlemler yapılmaktadır. Güç sistemlerinde kararlılık, dengeli bir çalışma halidir ve bozucu etkiler sonrası sistemin eski kararlı haline tekrar gelebilmesidir. Tüketicilere ulaştırılacak enerjinin kararlı ve verimli olması son derece önemlidir. Sunulan bu tez çalışması ile birlikte hibrit güç üretim sisteminin güç ve sistem kontrolü yapılarak alıcılara daha kararlı ve daha verimli bir enerji ulaştırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Enerji kaynaklarının birlikte kullanılması amacı ile hibrit sistemler geliştirilmiştir. Böylece hibrit güç üretim sisteminin verimini artırmak, kaynaklardan birisinin bulunmaması ya da az bulunması durumlarında diğer kaynaktan sistem için gerekli enerjinin karşılanması mümkün olmaktadır. Hibrit sistemler iki ya da daha fazla kaynak bileşeninden oluşturulabilmektedir. Buna güneş-rüzgâr, güneş-rüzgâr-dizel, güneş-rüzgâr-hidrojen ve güneş-yakıt pili- rüzgâr örnek olarak verilebilir.

Hibrit sistemlerde ilgili sistemin kontrolü ve sistem veriminin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı sistemin kurulumundan önce gerekli modelleme, optimizasyon, analiz ve tasarım çalışmaları yapılarak ilgili sistem risk ve maliyet analizleri bakımından değerlendirilmektedir (Ulutaş 2015).

Dursun yaptığı tez çalışmasında, hibrit (rüzgâr, güneş, yakıt pili) sistemin güç analizini yapmıştır. Hibrit sistemde rüzgâr türbini ile PV panelden üretilen elektrik enerjisi akü aracılığıyla depolanmıştır. Sistem tarafından üretilen ve istenen ani güç değerleri ile akü şarj seviyesi sistemin devamlı ve verimli çalışması amaçlanarak hesaplanmıştır. Üç farklı kontrol algoritması kullanılarak akü için ideal algoritma tespit edilmiştir. Bu çalışmada sistemde yedek depolama elemanı olarak kullanılan yakıt pili daha az kullanılarak kullanım ömrünün artması amaçlanmıştır. Sistemin benzetim çalışmaları yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir (Dursun 2013).

Ersoy tez çalışmasında, enterkonnekte bir şebekeye ilk olarak rüzgâr ve daha sonra güneş enerjisi santralının de entegre edilmesi ile bir hibrit sistem oluşturmuştur. Sisteme eklenen rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin üretim maliyetlerini düşürme oranları incelenmiştir. Sistemin üretim maliyetleri PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu), DGA (Diferansiyel Gelişim Algoritması), AKO (Arı Kolonisi Optimizasyonu), GA (Genetik Algoritma) ve BTA (Benzetilmiş Tavlama Algoritması) olmak üzere 5 farklı algoritma kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçta, DGA, AKO ve BTA algoritmaları birbirleri ile benzer sonuçlara ulaşarak PSO ve GA algoritmalarına kıyas ile daha kararlı bir performans sergiledikleri ifade edilmiştir (Ersoy 2015).

Oğuz, batarya destekli güneş ve rüzgârdan oluşan hibrit güç sisteminin simülasyonunu Matlab/Simulink programını kullanarak gerçekleştirmiştir. Sistemde BM (Bulanık Mantık) tabanlı kontrol yapılarak enerji akışı yönlendirilmiştir. Üretilen enerjinin direkt olarak bataryalara verildiği ve bataryalarda meydana gelen aşırı şarj-deşarj olma durumlarının batarya ömrünü çok hızlı tükettiği belirtilmiştir. Batarya ömrünün kısaltılmaması için üretilen gücün ilk olarak tüketiciye gönderilmesinin kalan üretim fazlası gücün ise doluluk oranlarına bağlı olarak bataryalarda depolanmasının gerektiği ifade edilmiştir (Oğuz 2012).

Başaran, çalışmasında rüzgar ve güneş HİBRİT sistemden üretilen enerjinin ilk olarak akülerin şarj edilmesinde ardından yük ya da şebekede kullanılmasını sağlamıştır. Çalışmada hibrit sistemden gerekli miktarda enerji alınmadığı takdirde aküler ulusal şebeke tarafından şarj edilmektedir. Sistemden en yüksek verimin alınabilmesi amacı ile BM denetleyici kullanılarak DA/DA ve DA/AA gerilim dönüştürücüleri kontrol edilmiştir. Buna bağlı olarak klasik yöntemli çalışma durumuna kıyas ile yük ya da şebekeye %7-%10 civarında daha fazla enerji aktarılmıştır. Ayrıca BM kontrol ünitesinin yatırım maliyetine etki etmeyecek derecede olduğu belirtilmiştir. Diğer yandan sistemin amorti süresinin %10 azalacağı öngörülmüştür (Başaran 2013).

Kumar ve Garg yaptıkları çalışmada, yakıt pili, rüzgar ve güneşten oluşan bir hibrit sistem Matlab/Simulink programında modellenmiştir. Modellenen hibrit sistem yakıt pillerinin dışında diğer depolama sistemleri kullanılarak da incelenmiştir. Bu çalışmada yakıt hücresinin, batarya ve akü grubunun yerine kullanılması durumunda hibrit sistemin daha verimli çalışacağı belirtilmiştir (Kumar ve Garg 2013).

Koca çalışmasında, PV paneller ve rüzgâr türbinleri gibi enerji üretim sistemlerinde gelişen teknoloji sayesinde maliyette düşüş gözlemlendiğini belirtmiştir. Bu çalışmada yalnız PV panelin kullanıldığı sisteme rüzgar türbininin de eklenmesi ile maliyette 1.5 kat artış olmaktadır. Fakat enerjinin üretildiği zaman periyotlarına dikkat edildiğinde hibrit sistemin daha ekonomik, verimli ve sürekli olduğu ifade edilmiştir (Koca 2006).

Oğuz yaptığı doktora çalışmasında, Matlab/Simulink programını kullanarak bir kırsal

yerleşim yerinin elektrik ihtiyacını karşılamak için gereken güç üretim sistemini modellemiştir. Sisteme ait çıkış enerjisi ANFÇK (Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolör) kullanılarak istenilen noktada sabit tutulmuştur. Sistem çıkış enerjisine bu kontrol PID (Oransal-İntegral-Türevsel) kontrolör ve ANFÇK kullanılarak yapılmıştır. Burada çıkarım kontrolörü ile rüzgâr türbinine ait kanat eğim açısının denetimi amaçlanmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarında kanat eğim açısında meydana gelen değişime karşılık frekans, akım, güç ve gerilim gibi değerler 1.5 saniye gibi kısa sürede istenilen değere ulaşmaktadır. Ayrıca bu çalışmada güç dönüşümleri esnasında oluşan gerilim harmoniklerinin en aza indirgenilmesi amacı ile sisteme LCL filtre devresi uygulanmıştır. Sonuçta yapılan hibrit sistemde ANFÇK'nın kullanımı ile istenmekte olan kalite ve verimlilikte enerjinin elde edildiği belirtilmiştir (Oğuz 2007).

Shashi ve Rekha, çalışmalarında bir güneş-rüzgâr HİBRİT sistem önermişlerdir. Çalışmada Fotovoltaik hücreye ait dizilerin benzetimi yapılarak çevresel koşullarının etkisi gözlemlenmiştir. Ardından doğrusal olmayan I-V (akım-gerilim) ve P-V (güç-gerilim) karakteristik eğrileri incelenmiştir. Benzer şekilde rüzgar enerjisi sisteminin ve dizel generatörün de benzetimleri yapılmış ve karakteristik eğrileri elde edilmiştir. Diğerlerine kıyasla dizel generatörün çıkış dalga formları batarya çıkışından daha az harmonik içermektedir. Sonuçta, şebeke bağımsız rüzgar-güneş ve dizel generatörden oluşan hibrit sistemin şebekeden uzak ve ada alanları için kullanılması önerilmiştir (Shashi ve Rekha 2015).

Kaya yaptığı tez çalışmasında, 300 W'lık rüzgâr türbini ile 80 W'lık üç güneş panelinden oluşan bir şebekeden bağımsız hibrit kurulu sistem tasarlamıştır. Ayrıca bu sistemde 12 V 130 Ah kapasiteli bir jel akü kullanılmıştır. Burada akü ile ihtiyaç dışı gücün depolanması ve güç üretim sistemi yetersiz olduğunda devreye girerek sistem sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan Arduino tabanlı BM kontrolör ile klasik sistemler kıyaslanmıştır. Arduino tabanlı sistem ile üretilen enerjinin aküyü şarj etmeden yükü beslediği görülmesi ile akülerin ekonomik ömürlerinin korunduğunu ifade etmiştir. Sistemde kullanılan akünün 9 ay boyunca BM kontrol sistemiyle 140 defa dolma-boşalması engellenerek akü ömrüne %4'lük katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Bu sistemde BM kontrol sisteminin kullanılması ile enerji üretim

sisteminde enerji üretilmediği takdirde şebekenin devreye girmesi sağlanmaktadır. Fakat klasik sistemlerde bu işlem yapılamamaktadır. Sonuçta sistem performansı bakımından BM tabanlı sistemin klasik sisteme kıyasla daha iyi olduğu ifade edilmiştir.

2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji, mal ve hizmet sektörlerinde büyük öneme sahip temel bileşendir. Aydınlatma ve ısıtma ile insanların hayat standardını yükseltmekte toplumların kalkınmasını hızlandırmaktadır. Bundan dolayı enerjinin olmadığı zamanlarda hayat standartları zorlaşmaktadır. Enerji kesintisi olduğu durumlarda üretim durmakta aydınlanma, ısınma gibi birçok açıdan insanlar yaşamını devam ettirmekte zorlanmaktadır. Burada enerjide sürekliliğin önemi ortaya çıkmaktadır. Yenilenemeyen kaynakların (kömür, doğalgaz, petrol ve türevleri gibi) gelecekte tükeneceği göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarına (rüzgâr, güneş, su, jeotermal gibi) olan gereksinim artmaktadır (Erdal 2011).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr, güneş ve su elektrik enerjisi üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tezde şebekeye bağlı rüzgâr-güneş hibrit enerji üretim sistemi Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir.

2.1.1 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneşin dünya etrafındaki havayı ısıtması ile oluşan farklı basınç alanlarına bağlı olarak değişmektedir. Havanın ısındığı alanlarda alçak basınç oluşurken soğuduğu alanlarda yüksek basınç oluşmaktadır. Yüksek basınca sahip alandan alçak basınca sahip olan alana doğru hava akımının oluşması ve bu akımın hareketleriyle rüzgâr meydana gelmektedir. Diğer taraftan rüzgâr, güneş tarafından karanın denizlere kıyasla daha hızlı ısınmasından da oluşmaktadır. Denizlerde oluşan soğuk havanın karada ısınan hava ile yer değiştirmesi de rüzgârı meydana getirmektedir. Bu süreç gündüz meydana gelmektedir. Bu sürecin tersi olarak karanın denizden daha hızlı soğuması ile rüzgâr karadan denize doğru esmektedir. Ayrıca bu rüzgârların hızlanması ile kasırga gibi afetler oluşabilmektedir (İlkılıç 2009).

2.1.1.1 Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinin Durumu

Dünya çapında rüzgar santralleri kurulum miktarları incelendiğinde bölgesel düzeyde Latin Amerika, Asya Pasifik ve Kuzey Amerika’daki kara santral kurulumları için 2020 yılı bir rekor yılı olmuştur. Bu üç bölgede geçen yıl toplam 74 GW kapasiteli yeni rüzgar santrali kurulmuştur. Başka bir deyişle, Bir önceki yıla kıyasla %76 daha fazla artış sağlanmıştır. Avrupa’da yeni kara santralleri kurulumlarında yıllık olarak %0.6’lık büyüme kaydedilmiştir. Orta Doğu ve Afrika’da neredeyse 2019 ile aynı seviyede 8.2 GW kapasiteli rüzgar santrali kurulmuştur. Çin yeni küresel açık deniz rüzgar kapasitesinin tamına kıyasla 1/2 oranında santral kurarak rekor kaydetmiştir. Avrupa’da Hollanda başta olmak üzere onu Belçika, İngiltere, Almanya ve Portekiz izlemiştir. 2020 yılı için kalan yeni açık deniz santral kurulumlarını ABD ve Güney Kore paylaşmıştır. Toplam açık deniz rüzgar kapasitesi 35 GW’ı geçmiş ve bu toplam küresel kümülatif rüzgar kapasitesine kıyasla %4.8’i oluşturmaktadır (İnt.Kyn.1).

Türkiye için yer seviyesinden 50 metre yukarısı ve 7.5 m/s üzerindeki rüzgar hızlarına sahip olan alanlarda kilometre başına 5 MW güçlü rüzgar santralinin kurulmasının uygun olacağı kabul edilmiştir. Türkiye’nin rüzgar enerji potansiyelinin 48.000 MW olduğu ifade edilmiştir. Bu potansiyel Türkiye toplam yüz ölçümünün %1.30’unu ifade etmektedir (İnt.Kyn.2).

IRENA (International Renewable Energy Agency) 2021 yılı Ağustos ayında yayınlanan rapora göre Türkiye ve Dünya’daki yenilenebilir enerji ve rüzgar enerjisi kurulu güç miktarları Çizelge 2.1’de verilmiştir (İnt. Kyn.3).

Çizelge 2.1 IRENA Türkiye ve Dünya'daki yenilenebilir enerji ve rüzgar enerjisi kurulu güç miktarları 2021 yılı Ağustos raporu.

	Yıllar	Dünya	Türkiye		Yıllar	Dünya	Türkiye
Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü (MW)	2010	1.223.533	17.369	Rüzgâr Enerji Kurulu Gücü (MW)	2010	180.846	1.320
	2011	1.328.870	19.086		2011	220.015	1.729
	2012	1.441.737	22.186		2012	266.905	2.261
	2013	1.563.346	25.551		2013	299.916	2.760
	2014	1.692.941	27.940		2014	349.297	3.630
	2015	1.847.079	31.516		2015	416.241	4.503
	2016	2.009.632	34.446		2016	466.844	5.751
	2017	2.179.492	38.746		2017	514.376	6.516
	2018	2.356.065	42.230		2018	563.186	7.005
	2019	2.532.866	44.587		2019	622.408	7.591
2020	2.802.004	49.398	2020	732.410	8.832		

Rüzgar türbinleri çoğunlukla rotor eksen biçimlerine göre sınıflandırılmaktadır.

Bundan dolayı rüzgar türbinleri;

- Yatay eksenli rüzgar türbinleri,
- Dikey eksenli rüzgar türbinleri,
- Eğik eksenli rüzgar türbinleri,

olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır (İnt. Kyn.4).

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Bu rüzgar türbinlerinde kanatlar rüzgar yönüne dik şekilde olurken dönme eksenini paralel olmaktadır. Bu türbinlerde rotor kanatları sayısında azalma oldukça dönme hızının artması en önemli özelliktir. Bu türbinler çoğunlukla yerden 20-30 metre yükseklikte kurulmakta ve yaklaşık %45 verime sahiptirler. Çevredeki engeller göz önüne alındığında türbinler 10 metre yüksekte kurulmalıdır. Kanat uç hız oranı (λ) hesaplanırken rüzgar hızı rotor kanadına ait uç hızına bölünerek elde edilir.

Kanat uç hız oranına göre;

- $\lambda = 1-5$ Çok kanatlı rotor,
- $\lambda = 6-8$ Üç kanatlı rotor,
- $\lambda = 9-15$ İki kanatlı rotor,
- $\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor olarak kullanılır (İnt.Kyn.5).

Şekil 2.1’de yatay eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Yatay eksenli rüzgar türbini.

Düsey eksenli rüzgâr türbinleri: Bu rüzgar türbinlerinde dönme eksenleri rüzgar yönüne dik şekilde ve türbin kanatları düşey biçimdedir. Bu türbinler her yönden rüzgarı alabilmektedir. Jeneratörleri ve dişli kutusu toprak seviyesine yerleşik oldukları için kuleye ihtiyaç yoktur. İlk çalışma sırasında bir motor ile ilk hareket verilmelidir. Toprak seviyesine yakın noktalarda rüzgar hızı azalır ve bu türbinlerin verimleri düşüktür (İnt.Kyn.6) (Kaya 2019). Şekil 2.2’de düşey eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Düşey eksenli rüzgar türbini.

2.1.2 Güneş Enerjisi

Güneş, Samanyolu galaksisinde bulunan yıldızlardan birisi olarak dünyamız için ısı ve ışık kaynağıdır. Yaklaşık dünyaya 1.5×10^8 km uzaklıktadır. Güneş yaklaşık 5800 K yüzey sıcaklığına sahiptir. Merkeze yaklaştıkça bu sıcaklık 1.5×10^6 K civarına çıkmaktadır. Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının yüksek sıcaklıklar ve çok yüksek basınç altında helyum gazına dönüşmesiyle ortaya çıkan ışımanın sahip olduğu enerjidir. Güneş enerjisinin güç türünden karşılığı yaklaşık 3.86×10^{26} W olarak ifade edilir. Güneş'in sahip olduğu enerji şiddeti atmosfer dışında ortalama 1370 W/m^2 değerindedir. Fakat yeryüzüne $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasındaki değerler kadar ulaşmaktadır. Bu miktar insanlığın tükettiği mevcut enerji miktarına kıyasla çok fazladır. Güneş ışınımının tamamı yeryüzüne ulaşamamaktadır. Işımanın %30'luk kısmı atmosferden geri yansıtılmaktadır. Atmosfer ve bulutlar ile ışımanın %20'lik kısmı emilmektedir. Kalan %50'lik kısım ise atmosferi geçip yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselmekte ve yeryüzünde yaşayan tüm canlılar yaşamlarını devam ettirmektedir (Tüysüz 2018). Ayrıca güneş enerjisinden elektrik üretiminde de

faaydalanılmaktadır. Bunun için birçok farklı sistemler geliştirilmiştir. Güneş bacaları, Fotovoltaik paneller gibi sistemler örnek verilebilir.

2.1.2.1 Güneş Bacaları

Güneş enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üretilen ısı tabanlı sistemlerdir. Bu sistemlerin temelinde ısınan havanın yükselme prensibi bulunmaktadır. Kollektörde bulunan hava güneş ışınları vasıtasıyla ısınır. Bu hava ile dış ortamdaki hava arasındaki yoğunluk ve sıcaklık farkından dolayı ısınan hava bacanın tabanına doğru hareket gösterir. Baca yapısı gereği bu hareketi hızlandırır ve tabandaki türbinlerin dönmesi ile elektrik üretimi gerçekleştirilir.

Güneş bacalarının avantajlarına;

- Gündüzleri kollektöre güneş ışınlarının doğrudan düşmediği bulutlu havalarda bile elektrik üretimi yapılabilmesi,
- Kollektör tabanına içerisinden su geçen boruların döşenmesi ile verimli ve düşük maliyetli enerji depolaması yapılarak sistemin 24 saat elektrik üretebilme potansiyeline sahip olması,
- Herhangi bir yakıt ya da soğutma suyu gerektirmediğinden çöl gibi ıssız bölgelerde kurulabilmesi,
- Tesisin kurulumunda yüksek teknolojik ürünlerin kullanılmasına gereksinim duyulmaması,
- İlk kurulum için yüksek maliyet gerektirse de işletme ve bakım maliyetlerinin çok düşük olması,
- Çevreye herhangi bir zararlarının olmaması örnek olarak verilebilmektedir.

Güneş bacalarının dezavantajlarına;

- Verimli şekilde elektrik üretimi için çok büyük alan gerektirdiğinden ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması,
- Elektrik üretim kapasitesinin artırılması için çok yüksek baca gerektirmesi ile

- birlikte rüzgar kuvvetine karşı dayanıklılık gerektirmesi,
- Baca yüksekliğinin artması ile hava taşıtlarına risk oluşturması,
 - Mevsimler ve gece-gündüzden elektrik üretiminin etkilenmesi örnek verilebilir (İnt.Kyn.7).

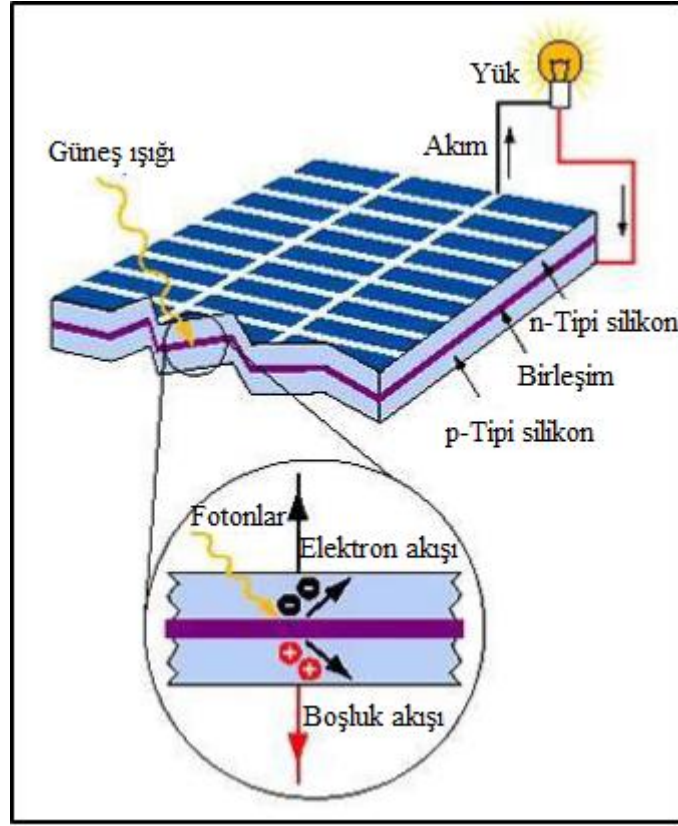


Şekil 2.3 Güneş bacası.

2.1.2.2 Fotovoltaik Paneller

P tipi ve n tipi silikondan oluşan diyot benzeri güneş hücrelerinden meydana gelen sistemlerdir. Işığın bazı dalga boylarında silikon atomları iyonize olabilmekte ve bağlantı aracılığıyla üretilen iç alan, fotovoltaik (PV) hücredeki elektrondan bir miktar pozitif yükü (delik) ayırmaktadır. Birleşim bölgesindeki bu yük taşıyıcılar gradyan potansiyeli oluşturarak elektrik alanın altında hızlanarak harici devre yoluyla akım dolaşmaktadır (Duffie ve Beckman 2006) (Akova 2008). P katmanına yönelen elektronlar ile n katmanına yönelen deliklerin birbirlerine çekildiği durumda, bu parçacıkların çoğu, iç potansiyel enerji bariyerinden dolayı malzemenin dışındaki bir dış devreden geçmesi ile tekrar birleşebilmektedir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi bir devre olduğunda serbest elektronlar delik ile tekrar birleşmek için yükten geçerek aydınlatmanın altında bulunan

hücreden güç üretilmektedir (Kalogirou 2009) (Karadöl 2017).



Şekil 2.4 Bir güneş hücresinde oluşan fotovoltajik etki.

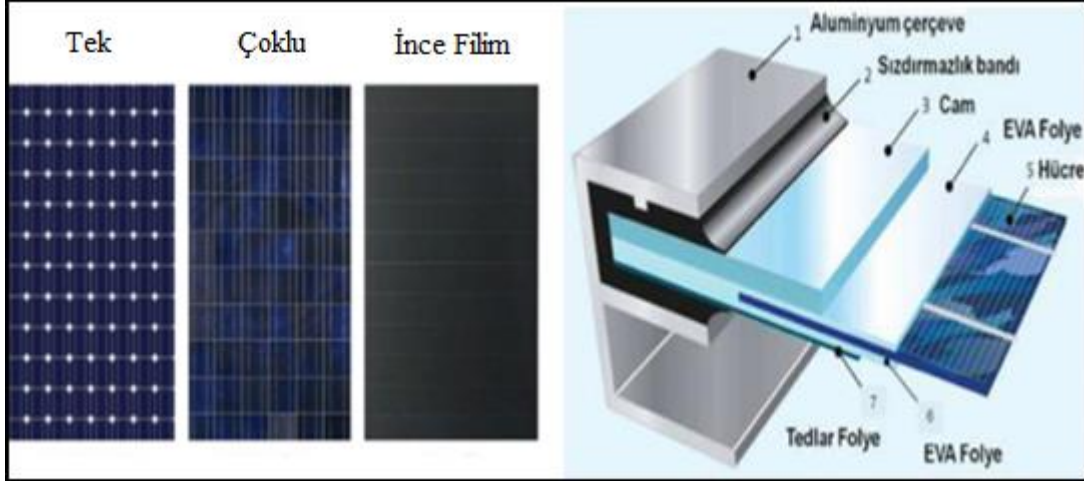
2.1.2.3 PV Panellerde Verimlilik

PV panellerde verim, güneş ışığından alınabilecek potansiyel gücün miktarını gösteren ve PV hücreler vasıtasıyla üretilen gücün yüzdesini ifade etmektedir. Verimin yüksek ya da düşük olması, aynı yüzey alanında ışık enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinin yüksek ya da düşük olduğunu ifade etmektedir. Ticari amaçlı olarak piyasada kullanılan PV hücrelerin birçoğu %15 ile %22 arasında değişen verimliliğe sahiptir. PV panellerde verimlilik, sıcaklığın 25 °C ve ışınımın 1000W / m² alındığı bazı test şartlarında tespit edilmektedir. Bu değerler, güneşli bir günde 37° lik bir açı ile güneş ışığına bakan yüzeye çarpan ışığın eşdeğerini belirtmektedir. Bu şartlar altında, % 15 verimliliğe sahip 100 cm² yüzey alanlı bir PV panel 150W güç üretmektedir (İnt.Kyn.8).

Verim ve maliyet bakımından farklı olan üç temel güneş panel tipi bulunmaktadır. Bunlar

Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Çarkıt 2017).

- Tek kristalli güneş panelleri
- Çok kristalli güneş panelleri
- İnce film güneş panelleri



Şekil 2.5 Güneş panel tipleri ve yapısı.

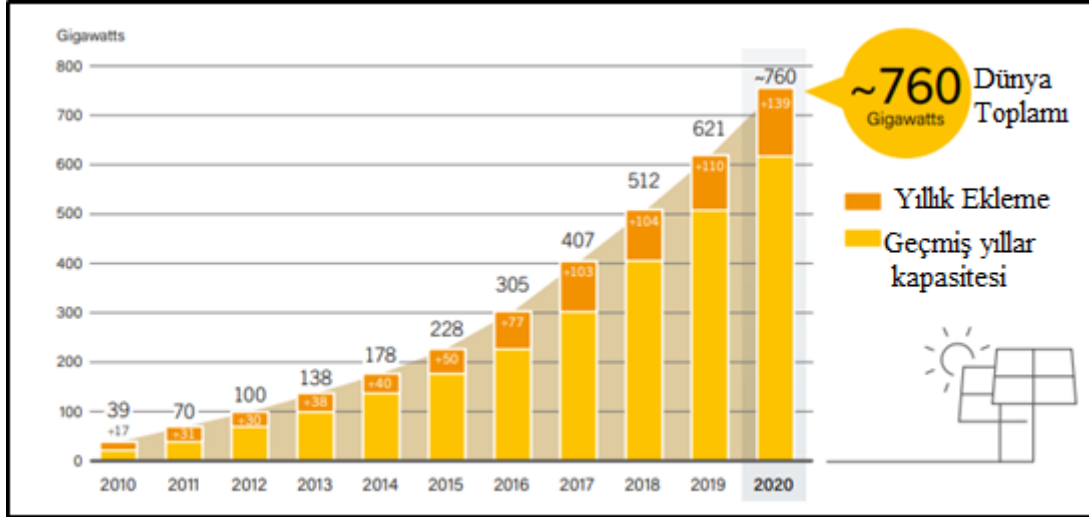
Tek Kristalli Güneş Panelleri: Bu güneş panelleri en saf silikondan üretilmektedir. Diğer iki farklı güneş panel tipine kıyasla bu güneş panelleri belirli test şartlarında en yüksek verimi sağlamaktadır. Verimlerinin %22-27 olduğu bilinmektedir. Yuvarlatılmış kenarlı ve koyu renkte olmaları bu güneş panellerinin belirgin özelliklerindedir.

Çok Kristalli Güneş Panelleri: Tek kristalli güneş panellerine kıyasla daha az verime sahiptir. Bu güneş panellerinin verimi %15-22 arasındadır. Kare şeklinde kesilmiş ve mavi benekli renkte olması belirgin özelliklerindedir.

İnce Film Güneş Panelleri: Bir ya da daha çok ince fotovoltajik bileşen katmanı bulunan herhangi bir cam, metal ya da plastik yüzeyin kaplanmasıyla oluşmaktadır. Bu güneş panelleri genellikle düşük ağırlıkta ve esnek yapıdadır. Diğer iki güneş panel tipine kıyasla biraz daha hızlı bozulmaktadır. Verimleri %15-22 arasında değişiklik göstermektedir. Yakın gelecekte veriminin %50 oranlarına erişebileceği tahmin edilmektedir (Tüysüz 2018).

2.1.2.4 Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisinin Durumu

Dünya’da güneş enerji santrallerin kurulum miktarları incelendiğinde Ren21 komisyonun 2021 raporuna göre 2010-2020 yılları arasındaki PV santrallerin küresel kapasitesi ve yıllık kurulum miktarları Şekil 2.6’da sunulmuştur (İnt.Kyn.9).



Şekil 2.6 2010-2020 yıllarında PV santrallerin küresel kapasitesi ve yıllık kurulum miktarları.

TEİAŞ’ın (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) yayınladığı 2021 Ağustos Ayı raporu incelendiğinde Türkiye’nin toplam kurulu gücü ay sonu itibariyle bir önceki aya kıyasla 228.5 MW artış göstererek toplam 98.492.7 MW seviyesine ulaşmıştır.

Güneş enerjisi kurulu gücü ise temmuz ayına kıyasla 111.1 MW artış göstermiş ve 7435.2 MW seviyesine ulaşmıştır. Raporda güneş enerjisinin Türkiye’deki toplam kurulu güç miktarının %7.55’ni oluşturduğu ifade edilmiştir (Tablo 2.1) (İnt.Kyn.10).

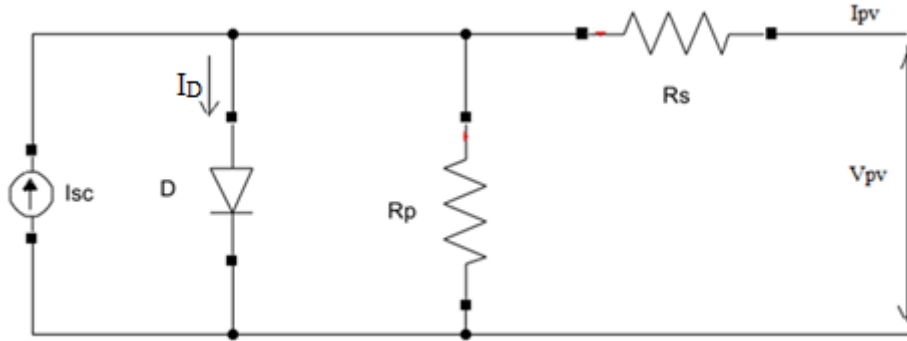
Çizelge 2.2 TEİAŞ 2021 raporu birincil kaynaklara göre santral adedi ve kurulu güç çizelgesi.

Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
Akarsu	588	8167.9
Asfaltik Kömür	1	405
Atık Isı	89	383.4
Barajlı	138	23272.9
Biyokütle	369	1429.7
Doğalgaz	348	25548.7
Fuel Oil	9	251.9
Güneş	8.064	7435.2
İthal Kömür	16	8995.4
Jeotermal	63	1650.2
Linyit	47	10119.9
Lpg	1	2
Motorin	1	1
Nafta	1	4.7
Rüzgar	352	10014.1
Taş Kömürü	4	810.8
Toplam	10.101	98492.7

2.2 Güneş Fotovoltaik Hücresinin Matematiksel Modellenmesi

Güneş ışığının yakalandığı ve doğrudan elektriğe dönüştürüldüğü sistemler güneş sistemleri olarak bilinmektedir. PV hücre, bu güneş sistemlerinin temel bileşenidir. Bir PV hücre, aslında p-n bağlantısı ışığa açık olmak üzere bir yarı iletken diyot niteliğindedir. Güneş ışığının PV hücrede bulunan güneş pili bağlantısına çarpması ile serbest elektronlar ve delikler oluşmakta kısa devre durumunda da yüke bir akım iletilmektedir. Bir grup PV hücresinin birleştirilmesi ile bir güneş paneli oluşturulmaktadır. PV hücreleri büyük çıkış gerilimi elde edilmesi için seri bağlanarak büyük çıkış akımı için de paralel bağlanarak güneş panellerini oluşturmaktadır (Rana ve Ilyas 2015).

Bir PV hücresine ait elektriksel eşdeğer devre Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Devreye ait matematiksel eşitlik denklem 2.1’de verilmiştir. Birden fazla PV hücresinin birleşerek oluşturduğu güneş panellerinde çeşit güneş ışınımları meydana gelmektedir. Güneş panellerinde farklı sıcaklıklarda ve güneş ışınımlarına göre üretilen enerji, akım ve gerilim değerlerinin değişimi Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’da verilmiştir (Ulutaş 2015).



Şekil 2.7 Fotovoltaik hücreye ait elektriksel eşdeğer devresi.

$$I_{PV} = I_{SC} - I_D \left[e^{\left(\frac{6}{KT_{PV}} (V_{PV} + R_S I_{PV}) \right)} - 1 \right] - \frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{R_P} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de kullanılan ifadeler aşağıdaki gibidir:

I_{PV} : PV panele ait çıkış akımı (A)

I_{sc} : Kısa devre akımı (A)

I_D : Diyotun ters doyum akımı (A)

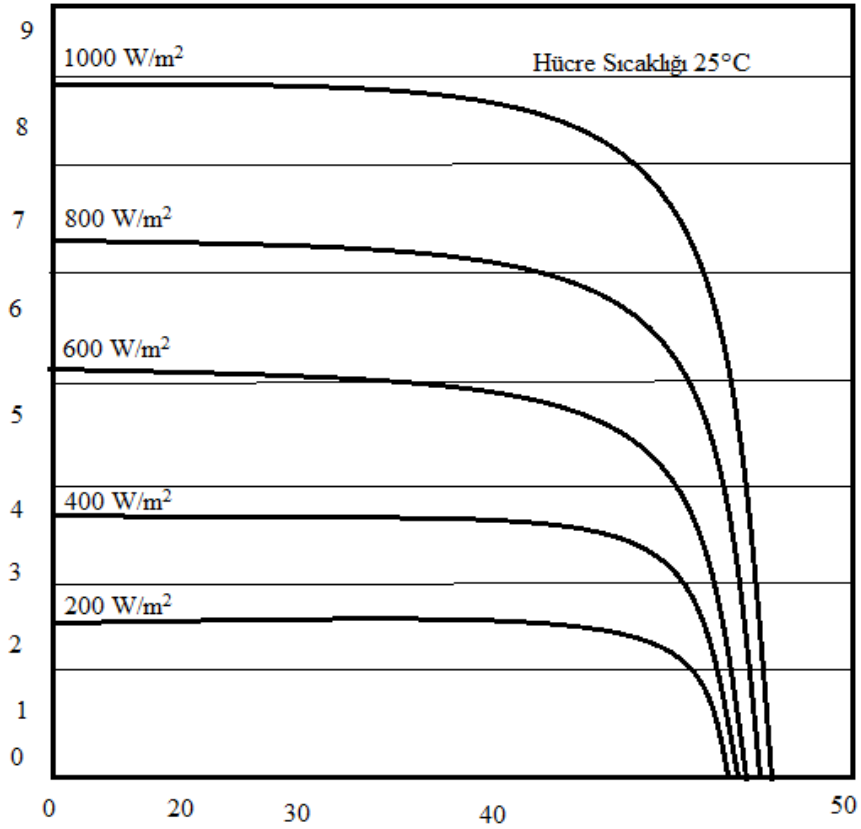
R_S : PV panele ait seri direnç değeri Ω

R_P : PV panele ait paralel direnç değeri (Ω)

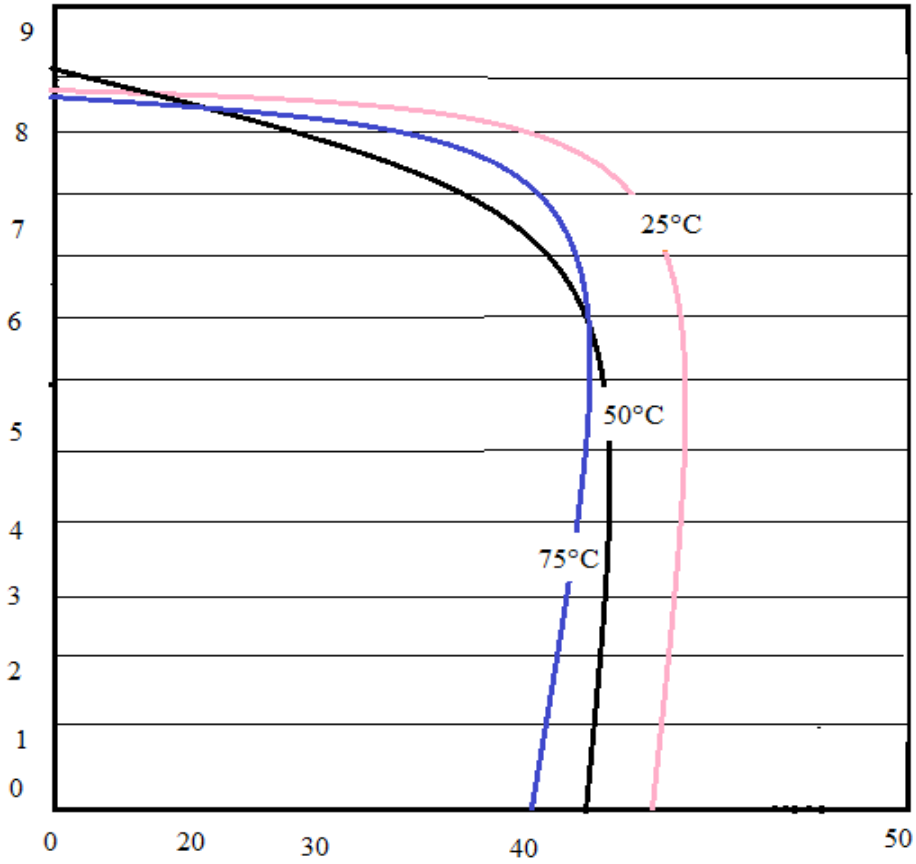
K : Boltzmann sabiti ($1,380622 \times 10^{-23}$ J/K)

e : Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C)

T_{PV} : Referans alınan çalışma sıcaklığı (K)



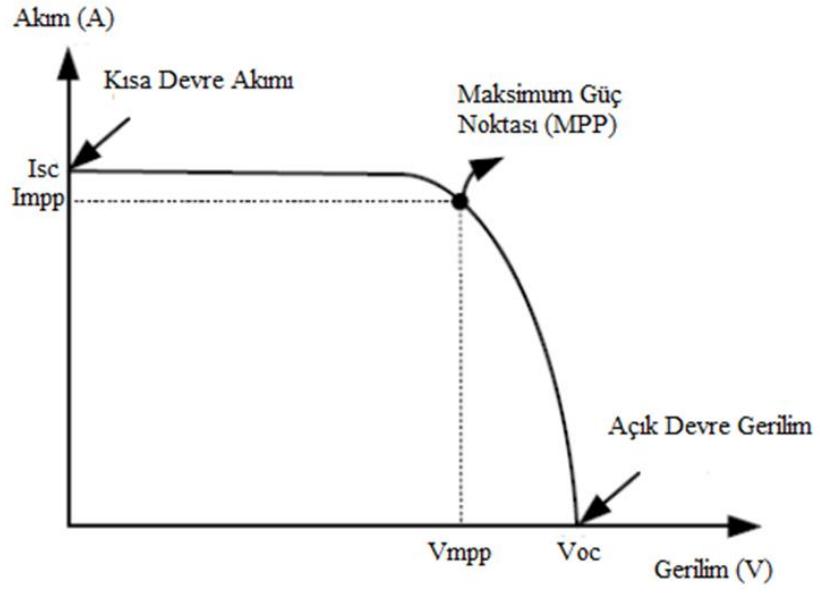
Şekil 2.8 Radyasyona göre I-V değişim grafiği.



Şekil 2.9 Sıcaklığa göre I-V değişim grafiği.

2.3 PV Sistemlerin Elektriksel Karakteristiği

PV sistemlerin sahip oldukları karakteristikler standart koşullarda belirlenerek doğrusal olmayan niteliktedir. Şekil 2.11’de bir PV panelin I-V karakteristiği gösterilmiştir (Nakir 2012). Şekil incelendiğinde PV paneller, bir noktaya kadar akım kaynağına benzer bir noktadan sonra ise gerilim kaynağına benzer şekilde davranış göstermektedir. Bu paneller kısa devre yapıldıklarında panelden sabit bir akım değeri alınmaktadır. Bu değer şekilde akım eksenini kesen I_{SC} değeri ile ifade edilmiştir. Gerilim eksenini kesen V_{OC} değeri ise açık devre gerilimini belirtmektedir. (Kalogirou 2009).



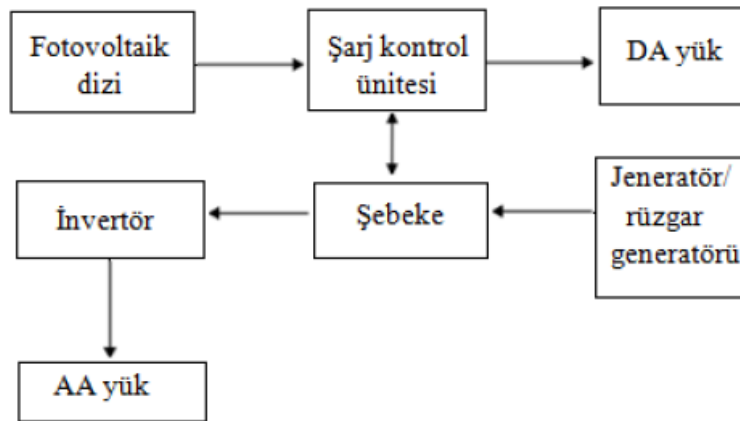
Şekil 2.10 Bir PV panele ait akım-gerilim grafiği.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Hibrit Enerji Üretim Sistemleri

Enerji üretim sistemlerinde yenilenemeyen enerji kaynaklarının ömürlerinin kısa olması ve bu kaynakların birçok dezavantajları bulunmasından üretim sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, su, güneş, jeotermal gibi) sıklıkla tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılması amacı ile hibrit sistemler geliştirilmiştir. Böylece sistem verimi artmakta, kaynaklardan birisinin bulunmamasında ya da az bulunmasında diğer kaynaktan sistem için gerekli enerji karşılanarak süreklilik sağlanmaktadır. Hibrit sistemler iki ya da tercihen daha fazla kaynak bileşeninin bir araya getirilmesi yoluyla oluşturulmaktadır. Buna güneş-rüzgâr, güneş-rüzgâr-dizel, güneş-rüzgâr-hidrojen ve güneş-yakıt pili- rüzgâr örnek olarak verilebilir.

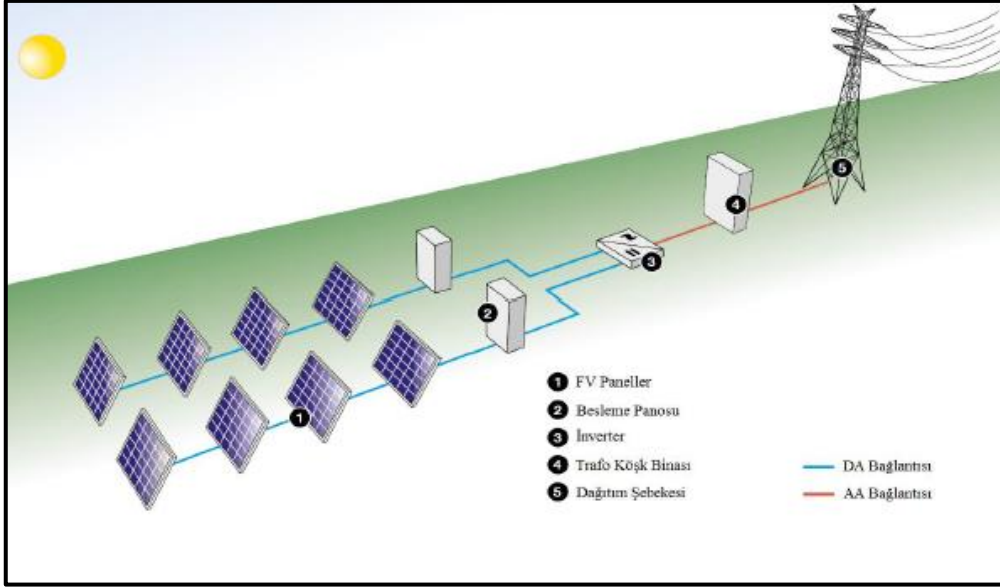
Yapılan tez çalışmasında şebekeye bağlı bir rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Bulanık mantık ve klasik (PI) denetleyici yöntemleri kullanılarak bu modelin analizi yapılmıştır. Modellenen hibrit güç üretim sisteminin frekans, gerilim, faz, güç ve harmonik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.1’de örnek bir rüzgar-güneş hibrit sisteminin blok şeması gösterilmiştir (Küçükilhan 2017).



Şekil 3.1 Hibrit (rüzgar-güneş) sistemin blok şeması.

3.1.1 Şebekeye Bağlı Sistemler

Şebekeye bağlı sistemlerde sistemin ürettiği enerji gereksinim miktarınca kullanılmakta kalan üretilmiş enerji ise şebekeye verilmektedir. Diğer taraftan sistemin ürettiği enerji yetersiz kaldığında şebekeden enerji takviyesi yapılmaktadır. Bu sistemlerde üretilen enerji anlık olarak yük üzerinde kullanılmakta fazlası ise şebekeye verilmektedir. Bu nedenle akümülatör, batarya gibi yardımcı depolama ekipmanlarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Şebekeye bağlı PV sistemlerde inverterin tasarımı spesifik olmakta ve şebekeye kontrollü olarak enerji aktarmaktadır. Bu inverter güneş pillerinin akıllı MPP (Maximum Power Point) maksimum güç noktası ile çalıştırılmasını sağlamaktadır. Böylece sistem yüksek verim alınabilmektedir (İnt. Kyn. 11). Şekil 3.2 incelendiğinde iki farklı şekilde şebekeye bağlı PV santraller tasarlanmaktadır (ABB 2014). Birincisinde üretilen DC akım AC akıma dönüştürülerek direkt olarak tek yönlü sayaç vasıtası ile şebekeye aktarılmaktadır. İkincisinde ise sanayi, konut ve mesken gibi elektrik tüketimi olan yerlerde inverterin ardına çift yönlü sayaç bağlanarak aynı zaman aralığında farklı yüklerin beslenmesi sağlanmaktadır (Abamor 2016). Şekildeki besleme panolarında koruma elemanları bulunmakta ve PV panellerin çıkış uçları bu panolara bağlanmaktadır. Bu panolar şalter ve manyetik kaçak akım rölesi gibi koruma ve anahtarlama elemanlarını bulundurmaktadır. Şebekeye bağlı inverterler, PV panellerin ürettiği DC akımı AC akıma dönüştüren yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşmaktadır. Piyasada kullanılan inverterler yaklaşık %98 verim değerine sahiptir (Fraunhofer 2015).



Şekil 3.2 Şebeke bağlantılı PV sistem ve bileşenleri.

3.1.1.1 Şebekeye Bağlı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Güç üretim sistemleri şebekeye bağlı veya bağımsız olarak tesis edilebilmektedir. Sistemde kullanılan yenilenebilir enerji kaynağına göre şebekeye bağlılık miktarı değişkenlik göstermektedir. Şebekeye bağlı güç üretim sistemleri ile enerji kesinti sorunu en aza indirilmeye çalışılmaktadır (İnt. Kyn. 12). Aşağıda bir şebekeye bağlı bir PV sistemin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

- Üretilen fazla enerji enterkonnekte şebekeye satılması,
- Modül sayısı (çıkış gücü) istenildiği zaman artırılabilmesi,
- Herhangi arıza durumlarında veya fotovoltaik sistemlerin yeterli olmadığı zamanda şebekenin otomatik olarak devreye girebilmesi gibi avantajları bulunmaktadır.
- Fotovoltaik sistemlerin yeterli olmadığı ve şebekede herhangi bir sıkıntı olduğu durumlarda tüketicinin enerjisiz kalması,
- Frekans, güç faktörü, harmonikler, dalga şekli gibi önemli elektriksel parametrelerin çok düzenli regülasyon gerektirmesi,
- Regülasyonu şebekeye bağlı sistemde yapmak için yüksek kalitede elektronik

ekipmanlara ihtiyaç duyulması ve bunun da maliyeti arttırması gibi dezavantajları bulunmaktadır. (İnt. Kyn. 13).

3.1.1.2 Şebekeye Bağlı Rüzgar Güç Üretim Sistemleri

Son yıllarında güç üretim sistemlerinde gerilimin etkili şekilde kontrol edilebilmesi için hibrit uyartım metodu geliştirilmiştir. Burada hibrit terimi jeneratör uyartımında sabit mıknatıslar ile birlikte DC uyartım sargılarının da kullanılmasını belirtmektedir. Böylece yük açısı ve güç faktörünün kontrol edilmesi mümkün olmaktadır. Senkron jeneratörlerin asenkron jeneratörlere kıyasla dönme hızları düşük ve tork değerleri yüksektir. Bu nedenle senkron jeneratörler doğrudan tahrik uygulamaları için uygundur. Senkron jeneratörlerin kullanıldığı topolojilerde yüksek enerji verimi alınmaktadır. Rüzgâr türbinlerinde senkron jeneratörleri kullanıldığında genel olarak dişli kutularının atılması ve verimlilik ile bakım açısından sakıncaları göz önüne alınmalıdır. Ancak tek ya da iki kademeli dişli kutularının bağlandığı ve orta hızlı senkron jeneratörler henüz yaygın şekilde kullanılmamaktadır (Aysel 2019). Kararlı durumda rüzgar türbininde meydana gelen matematiksel güç (P_m), Betz'in temel momentum teorisinden faydalanılarak Denklem 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'te ifade edilebilmektedir.

$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} V^3 \quad (3.1)$$

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \beta - C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda \quad (3.2)$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (3.3)$$

$$\lambda = \frac{R\omega}{V} \quad (3.4)$$

T_m ile ifade edilen mekanik tork, denklem 3.5'te olduğu gibi mekanik gücün rüzgar türbin hızına oranlanmasıdır.

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (3.5)$$

Bu denklemlerde C_p güç katsayısını, V rüzgar hızını, β eğim açısını, A tarama alanını ifade etmektedir (Meghdadi 2014)

Sunulan tez çalışmasında rüzgar türbini, temsil edilecek frekans aralığına göre güç şebekelerine bağlı VSC (Gerilim Kaynağı Dönüştürücüler) tabanlı enerji dönüşüm sistemlerini modellemek için özelleştirilmiş güç sistemleri ile Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir (İnt. Kyn. 14).

Bu çalışmada bir şebekeye bağlı rüzgar güç üretim sistemi Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Modelde bir adet 2MW'lık rüzgar türbini 25kV'luk bir dağıtım sistemine bağlanarak 2MW'lık bir rüzgar çiftliği oluşturulmuştur. Bu rüzgar çiftliği, dağıtım sistemine 30km uzaklıktaki bir besleyici tarafından 120kV'luk bir şebekeye güç üretim sağlamaktadır. Sunulan bu tez çalışmasında kullanılan rüzgar güç üretim sistemi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

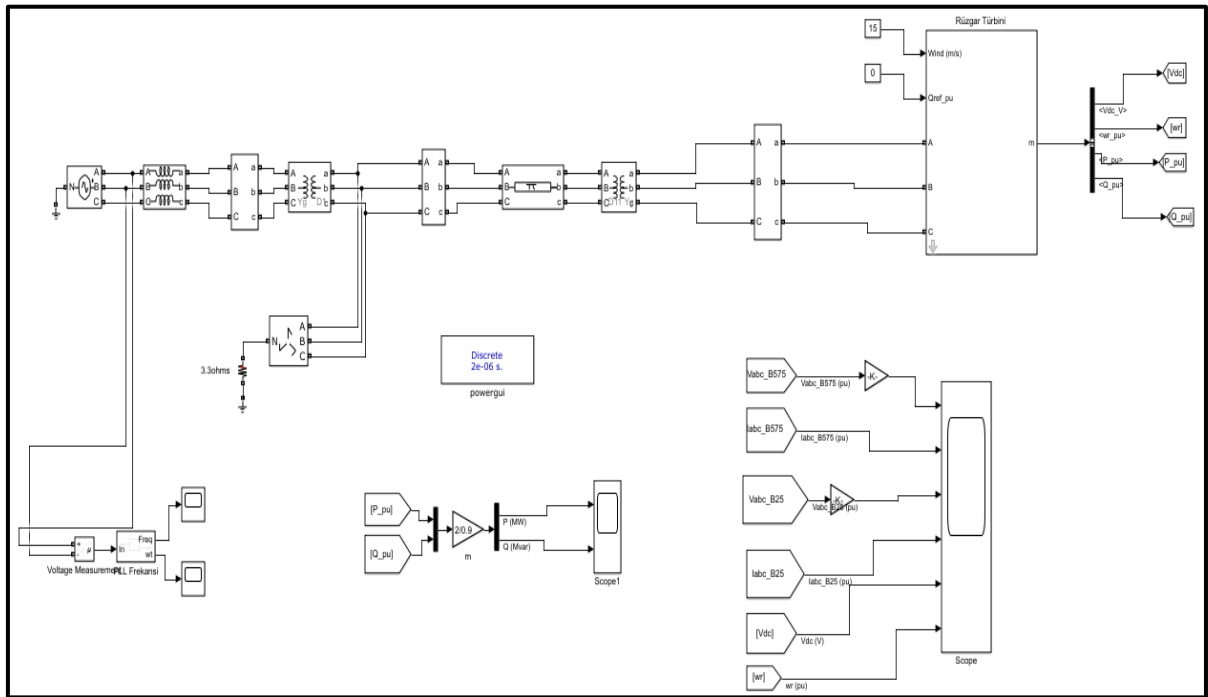
- Rüzgar türbini modeli
- DC-AC evirici
- 3 fazlı RL, RLC ve RC yük
- LCL filtre
- Gerilim ölçüm noktası
- PWM jeneratör
- 0.4kV/25kV transformatör
- Frekans ve faz açısı ölçüm noktaları

➤ 50Hz, 1500rpm, 400V, 2000kVA'lık, senkron jeneratör

➤ DC-DC IGBT tabanlı PWM boost

➤ DC/AC IGBT tabanlı PWM dönüştürücünden oluşmaktadır.

Bu sistemde rüzgar türbini hızı 15m/s'de sabit tutularak DC-DC dönüştürücünün kontrol sistemi hızı 1 pu'a sabitlenmiştir. Gerilim düşmesi durumunda kontrol sistemleri DC gerilimi 1100 V'ta ve reaktif gücü 0 MVAR'de sınırlamaktadır. Matlab/Simulink ortamında simülasyonu yapılan rüzgar güç üretim sisteminin blok diyagramı Şekil 3.3'te verilmiştir.

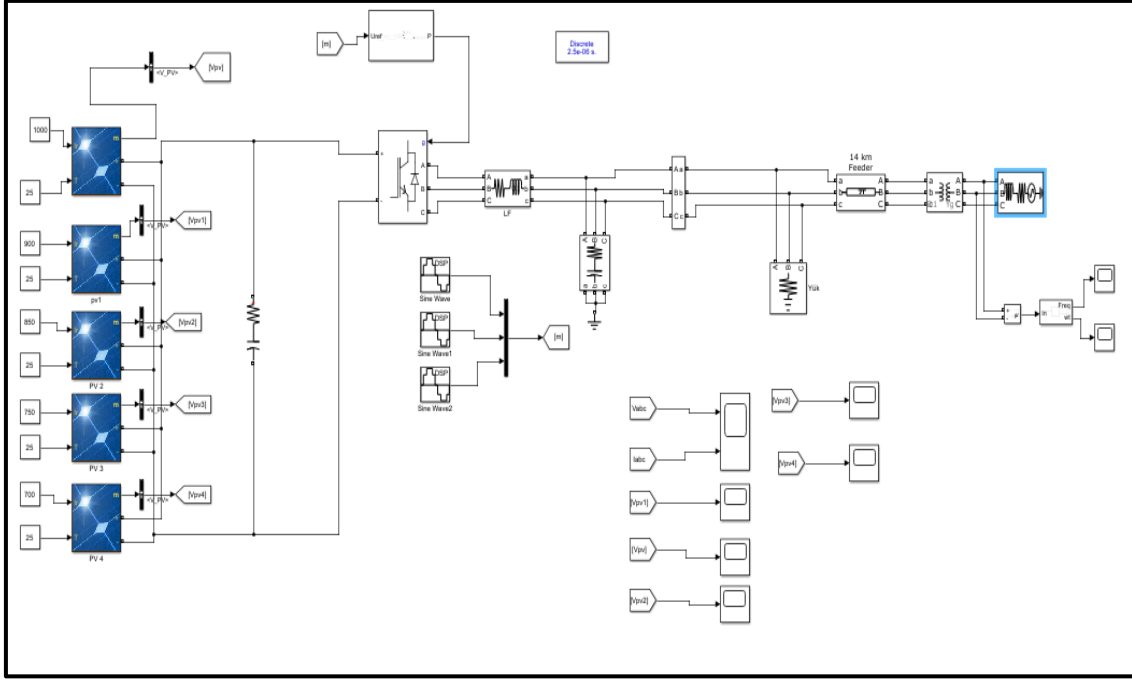


Şekil 3.3 Şebekeye bağlı rüzgar güç üretim sisteminin blok diyagramı.

3.1.1.3 Şebekeye Bağlı Güneş Güç Üretim Sistemleri

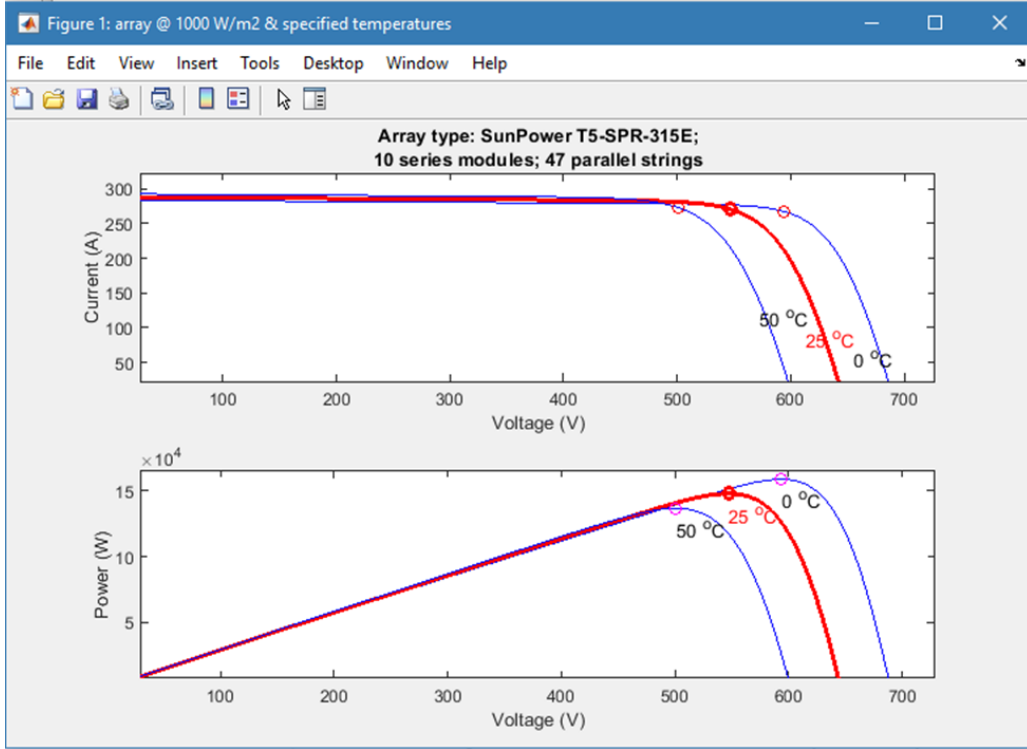
Sunulan bu tez çalışmasında 5 adet 315.072 W'lık PV panel, Matlab/Simulink ortamında Sunpower-T5-SPR-315E (monokristal hücre) (47 paralel modül ve 10 seri dize) fotovolttaik modülü kullanılarak modellenmiştir. Sunulan şebekeye bağlı güneş güç üretim sisteminin bileşenleri aşağıda verilmiştir.

- 5 adet PV panel
- DC-AC evirici
- 3 fazlı RL, RLC ve RC yük
- LCL filtre
- Gerilim ölçüm noktası
- PWM jeneratör
- 0.4kV/25kV transformatör
- Frekans ve faz açısı ölçüm noktalarından oluşmaktadır (Şekil 3.4).

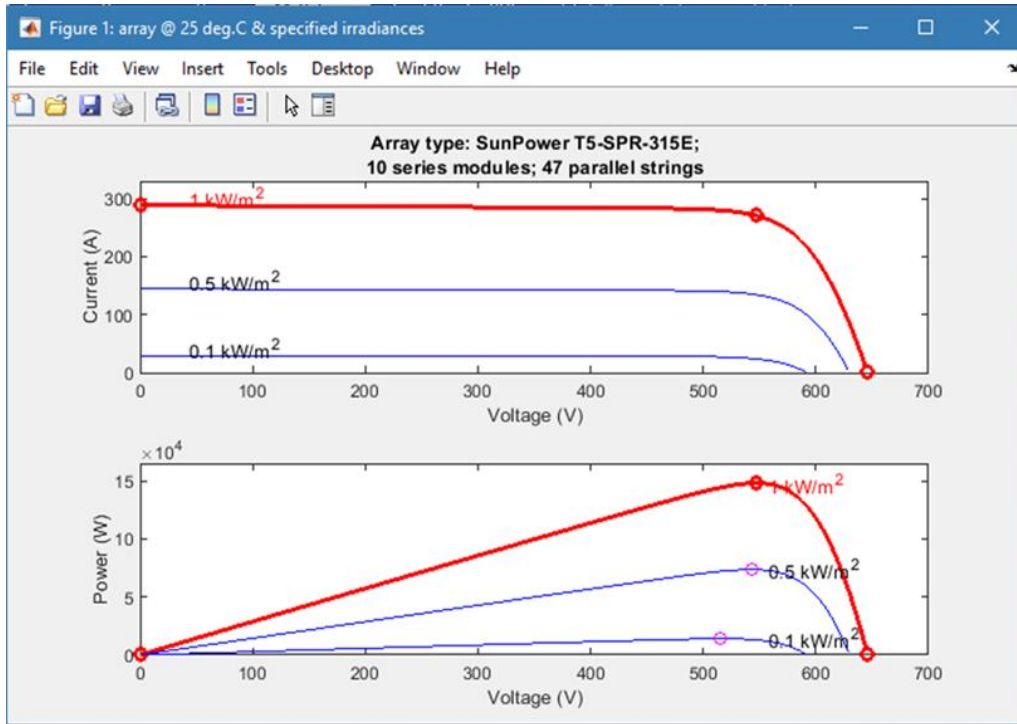


Şekil 3.4 Simülasyonda kullanılan şebekeye bağlı PV sistemin blok diyagramı.

Fotovoltaik modülün 3 farklı 0, 25 ve 50°C sıcaklık değerlerindeki akım-gerilim karakteristiği Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde farklı sıcaklık değerlerindeki maksimum güç noktasına kadar voltaj arttıkça güç de artmaktadır. Sıcaklık arttıkça neredeyse akım değerlerinde değişim olmaz iken gerilim değerlerinde düşüş gözükmemektedir. Fotovoltaik panelin 25°C sıcaklıktaki çeşitli ışınım seviyelerinde akım-gerilim karakteristiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekilde maksimum güç noktasına kadar voltaj arttıkça akım değerlerinde neredeyse bir değişiklik olmaz iken maksimum güç noktasından sonra akım değerlerinde düşüş olmaktadır.



Şekil 3.5 Matlab/Simulink ortamında PV modülün 1000 W/m² ve 3 farklı sıcaklık değerlerinde I-V grafiği.



Şekil 3.6 PV panelin 25°C'de ve çeşitli ışınım seviyelerindeki I-V karakteristiği.

Şekil 3.7’de PV panelin Matlab/Simulink ortamında standart test koşulları altındaki değerleri gösterilmiştir. PV modüle ait parametreler ve değerleri Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

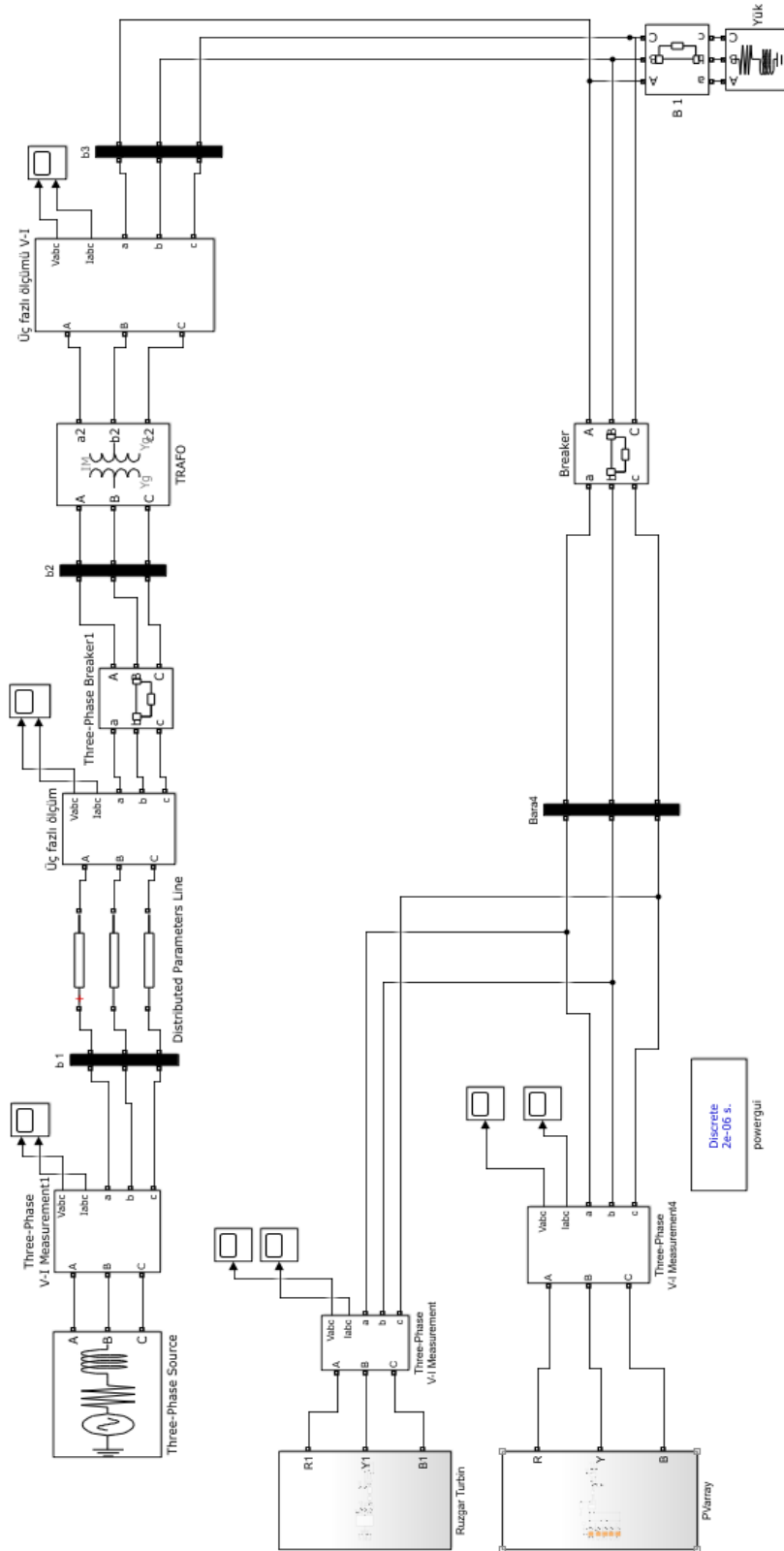
Şekil 3.7 PV panelin standart test koşulları altındaki değerleri.

Çizelge 3.1 PV modulün parametre değerleri.

Modül Parametreleri	Değeri
Maksimum gücü (W)	315.072
Açık devre gerilim V_{OC} (V)	64.6
V_{OC} sıcaklık katsayısı (% / deg.C)	-0,27269
Modül başına hücreler	96
Kısa devre akım I_{SC} (A)	6.14
Maksimum güç noktasında akım IMP (A)	5.76
I_{SC} sıcaklık katsayısı (% / deg.C)	0.0761743
Işık kaynaklı akım I_L (A)	6.1471
Diyot doygunluk akım I_0 (A)	6,5048e-12
Diyot idealite faktörü	0,9507
Şant Direnci R_{SH} (ohm)	430.058
Seri Direnç R_s (ohm)	0.43042

3.1.1.4 Şebekeye Bağlı Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemleri

Bu tez çalışmasında güneş ve rüzgardan elektrik enerjisi üreten şebekeye bağlı bir hibrit güç üretim sistemi Matlab/Simulink ortamında modellenerek simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemin iki farklı yöntemle (bulanık mantık ve PI denetim (Proportional Integral-Oransal İntegral)) göre Matlab programında analizleri yapılmıştır. Şekil 3.8’de şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin Matlab/simulink ortamında simülasyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin Matlab/Simulink ortamında simülasyonu.

3.1.4.1 Şebekeye Bağlı Hibrit Güç Üretim Sisteminin Bulanık Mantık ile Denetlenmesi

Yapılan çalışmada şebekeye bağlı hibrit güç üretim sistemi ile şebeke gerilimi frekans ve gerilim değerleri bakımından karşılaştırılmıştır. Gerilim ve frekans kontrolü bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak yapılmıştır. Böylece üretilen elektrik enerjisinin daha verimli ve kaliteli bir şekilde kullanılabilmesi sağlanmıştır. Bulanık mantık kontrolörü sayesinde gerilim ile frekanstaki hata ve hatanın değişimi incelenmiştir. Bulanık mantık denetleyicisi tarafından üretilen hata sinyali gerilim ya da frekansın eşit olduğu anda anahtar bloğuna iletilerek harici bir müdahale olmadan tamamen otomatik olarak kontak kapanmaktadır. Ardından buna bağlı olarak kesici kontağı otomatik olarak kapalı konuma getirilmektedir.

Enerji üretim sistemleri denetim ve kararlılığın büyük öneme sahip olduğu sistemlerdir. Bir enerji üretim sistemi PI (Proportional Integral-Oransal İntegral), PD (Proportional Derivative-Oransal Türev), PID (Proportional Integral Derivative-Oransal İntegral Türev) gibi klasik yöntemler kullanılarak denetlenebildiği gibi bulanık mantık (BM) ve diğer yapay zeka yöntemleri ile denetlenmektedir. Yaşamımıza yapay zeka ve uygulamalarının girmesi ile günlük hayatımızda birçok kolaylık meydana gelmektedir. Günümüzde elektrik enerjisi olmazsa olmazlar arasında olduğu bir gerçektir. Bu ihtiyacımızın karşılandığı elektrik enerjisi üretim sistemleri de bu nedenle büyük öneme sahiptir. Enerji üretim sistemlerinde BM gibi yapay zeka yöntemlerinin kullanılması ile sistemin çok daha kararlı bir şekilde çalışması, sistem performansında beklenen değerlere erişilmesi ve sistem sürekliliği sağlanmaktadır. Bu nedenle enerji üretim sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda başarılı bir şekilde BM tabanlı kontrolü yapılmaktadır. Günümüzde bu alanda çalışan birçok araştırmacı da enerji üretim sistemlerinin BM tabanlı denetim edilmesine yönelmiştir (İnt. Kyn. 15).

Bulanık mantık küme ve kavramını ilk defa 1965 yılında Prof. Dr. Lotfi Zadeh yayınladığı bir makale ile ortaya koymuştur. Hızla gelişerek birçok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur (Şaka 1999).

Hibrit güç üretim sisteminde enerji akışı sağlanmakta olup bulanık mantık kural tabloları oluşturulmaktadır. Oluşturulan kural tablolarına göre üyelik fonksiyonları sisteme girilmektedir (Kaya 2019). Bulanık mantık ile güç üretim sisteminin Matlab/Simulink ortamında kontrolü sağlanmıştır. Şebekeye bağlı hibrit sistemi kontrol etmek için bulanık mantık ile kontrolör dizaynı 2 giriş ve 1 çıkış olarak modellenmiştir.

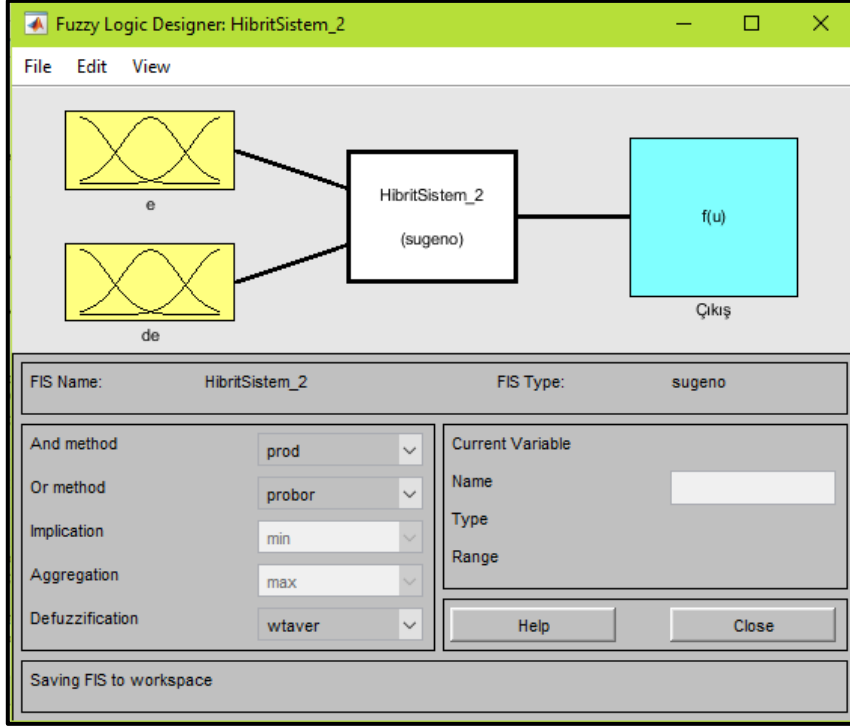
Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminde kullanılmakta olan bulanık mantık yapısı aşağıda gösterilmiştir. Bulanık mantık sisteminde Sugeno yöntemi kullanılmıştır. Sugeno bulanık çıkarım metodu kullanılarak hibrit güç üretim sisteminde rüzgar ve güneşten gelen enerji ile şebeke arasında hata ve hatanın değişimi kontrol edilmiştir. Hata (e) ve hata değişimi (de) olmak üzere iki giriş değişkeni kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 15).

Her iki giriş değişkeni için 5 etiketli üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılmakta olan dilsel etiketler NB(Negatif Büyük),NS(Negatif Küçük),ZE(Sıfır),PS(Pozitif Küçük) ve PB(Pozitif Büyük) olarak tespit edilmiştir (İnt. Kyn. 16) (Tablo 3.2).

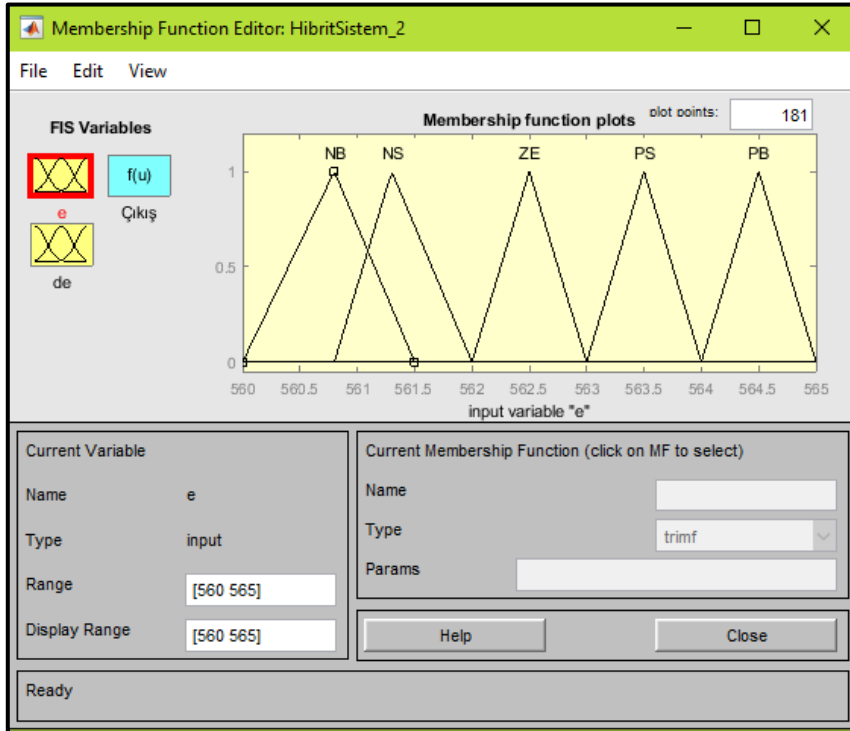
Çizelge 3.2 Bulanık mantık denetleyici kural tablosu.

Hata (e) Hata Değişimi (de)	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

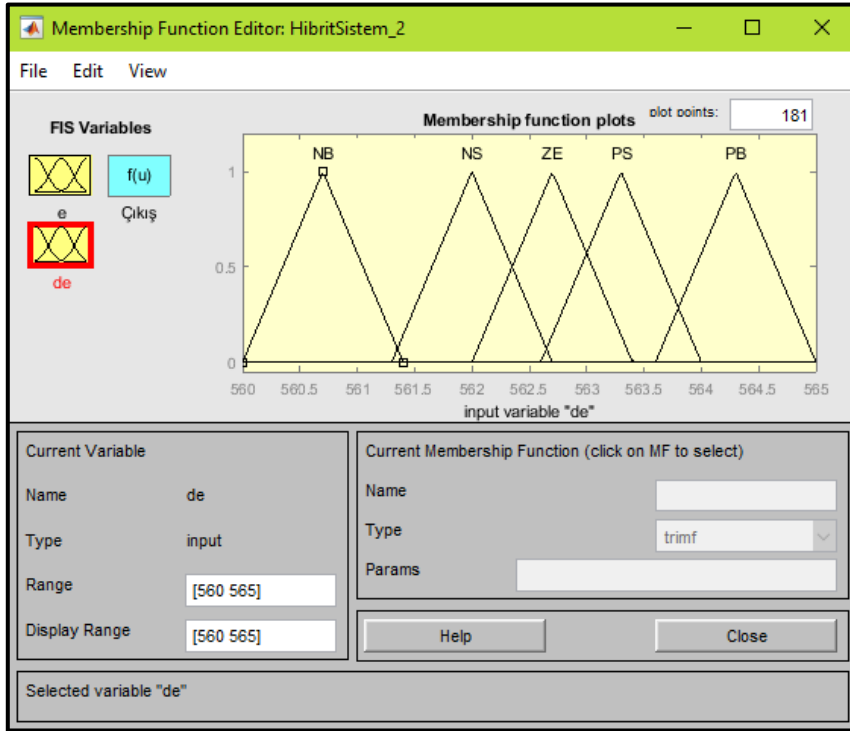
Şekil 3.9'da Matlab/Simulink ortamında Sugeno bulanık mantık metodu modeli gösterilmiştir. Hata ve hatanın değişimi için kullanılan üyelik fonksiyonlarına ait Matlab görüntüleri Şekil 3.10 ve 3.11'de verilmiştir. Şekil 3.12'de bulanık mantık çıkış modeli için üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



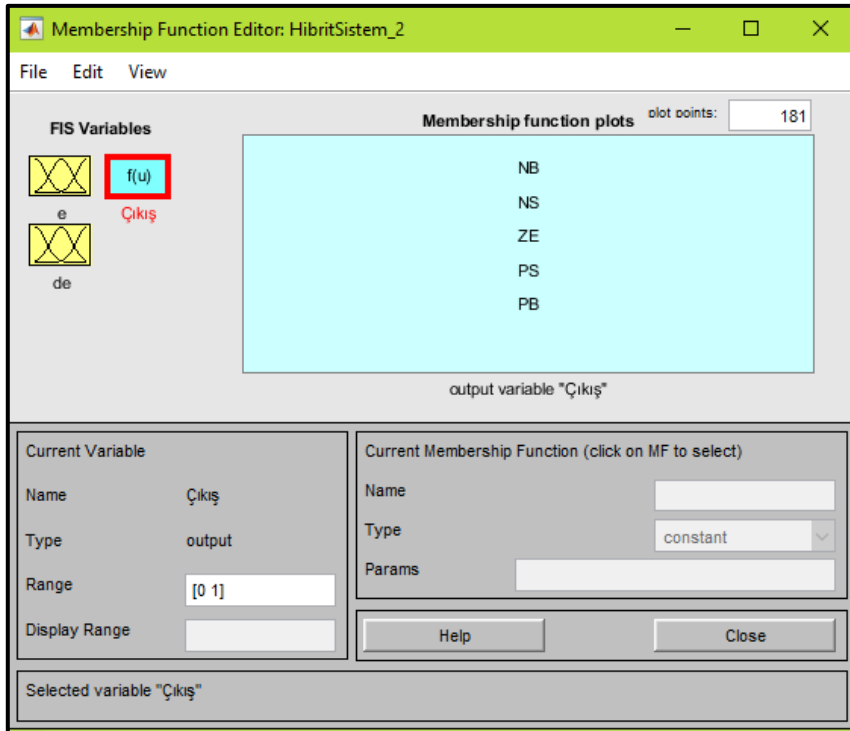
Şekil 3.9 Sistemin Sugeno bulanık mantık modeli.



Şekil 3.10 Hata için kullanılan üyelik fonksiyonlarının Matlab görüntüsü.

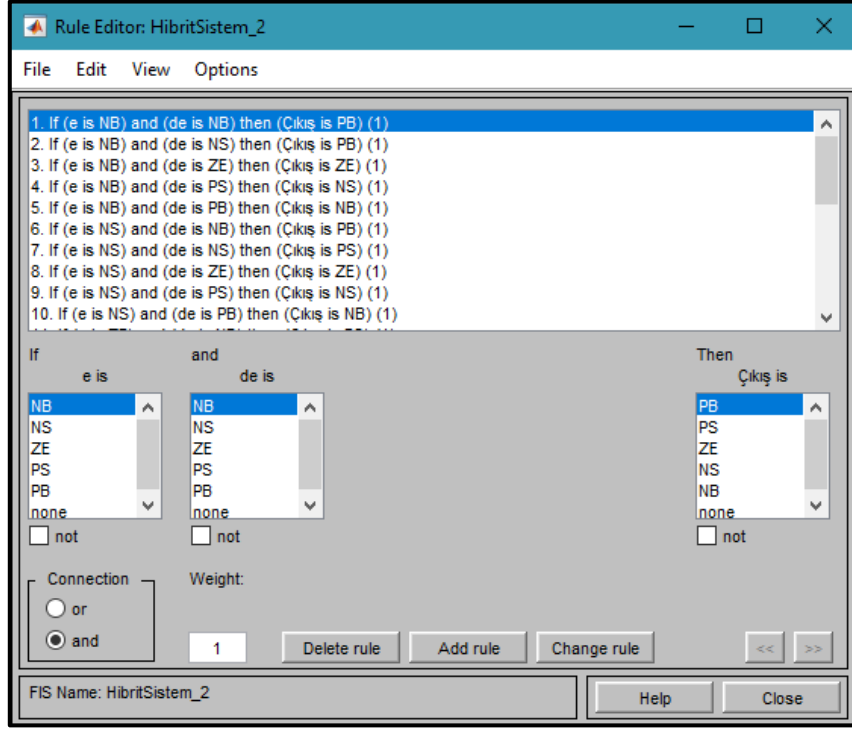


Şekil 3.11 Hatanın değişimi için kullanılan üyelik fonksiyonlarının Matlab görüntüsü.



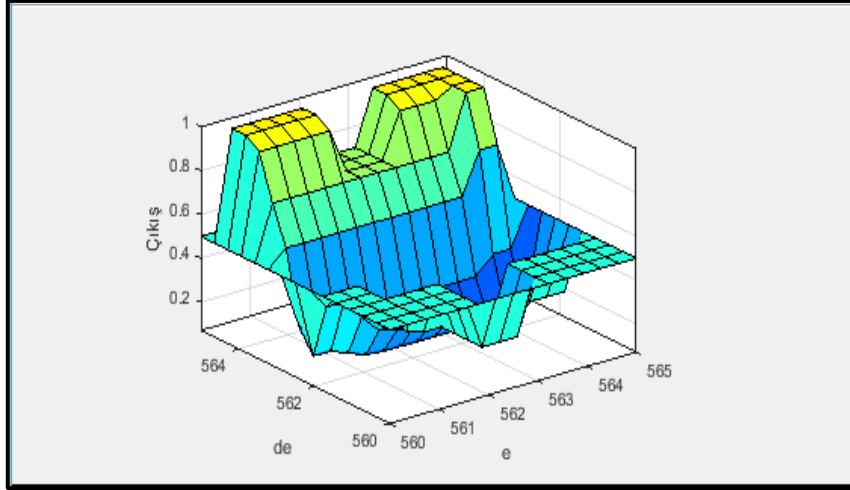
Şekil 3.12 Bulanık mantık model çıkışı için üyelik fonksiyonlarının Matlab görüntüsü.

Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sistemi bulanık mantık denetleyicisinde kullanılan kural tablosu Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık kural tablosu.

Hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık ile kontrol sisteminde matematiksel modele ihtiyaç duymadan sadece dilsel değişkenler yardımıyla denetimin mekanizmasını yapılmaktadır. Bu çalışmada gerilim ve frekans hatasının en aza düşürülmesi ve bulanık mantık ile modellenmesi yapılarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık denetiminin üç boyutlu gösterimi Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



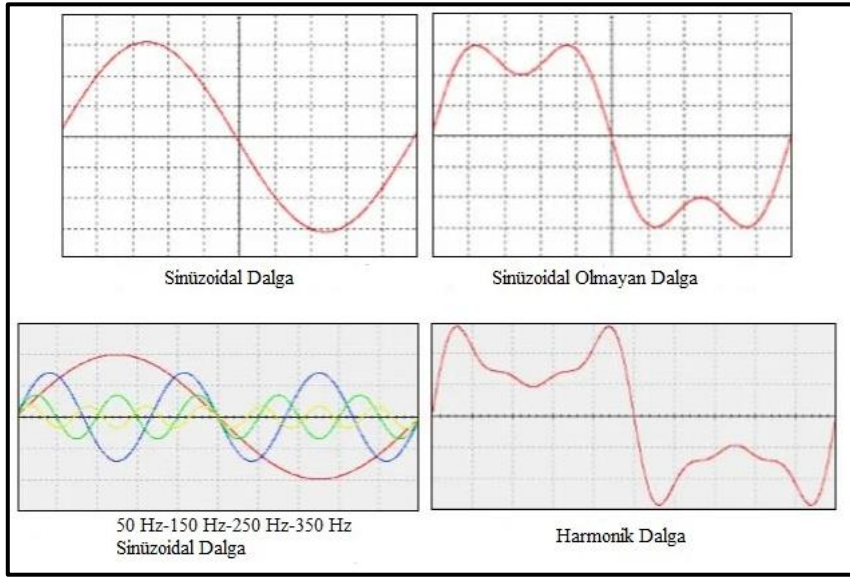
Şekil 3.14 Hibrit güç üretim sistemi için bulanık mantık denetleyicinin giriş-çıkış yüzeyi.

3.1.2 Güç Kalitesi

Güç kalitesi tanımı için farklı insanlar ve kurumlar tarafından çeşitli yorumlar getirilmiştir. Güç kalitesi için kullanılmakta olan farklı terimlere örnek vermek gerekirse servis kalitesi, gerilim kalitesi, akım kalitesi terimleri bunlardandır (Weidong Xiao 2004). IEEE 1159 (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü), standardının güç kalitesi tanımı ise hassas elektrik cihazlara güç verme ve topraklama işlemlerinin bu cihazlara uygun bir biçimde gerçekleştirilmesidir. IEEE 100 standart terimleri sözlüğünün güç kalitesi tanımı ise elektrik cihazlara güç verme ve topraklama işlemlerinin bu cihazların işleyişine göre kablolama sistemi ile sisteme bağlı diğer ekipmanlara uygun olmasıdır. Kullandığımız enerji sinusoidal yapıda belirli bir frekans ve genlikte çalışacak şekilde olmaktadır (Fuchs ve Masoum 2008). Bu enerjide meydana gelen gerilim çökmesi, akım-gerilim harmonikleri, gerilim kesintisi, frekansın düşüp-yükselmesi, gerilim sıçraması, kırpışma, geçici rejim olayları, çentik, kırpışma ve sistemde meydana gelen gerilim dengesizlikleri gibi parametreler güç kalitesini etkilemektedir. Bu yüzden bu parametrelerde yaşanacak dengesizlikler güç kalitesi problemine yol açmaktadır.

3.1.4 Harmonik

Harmonikler elektrik güç üretim sistemlerinin güç kalitesi parametrelerinde gücün düzenlenmesinde veya tüketiminde etkin bir rol almaktadır. Harmonikler, ana sinyalin dalga biçimindeki mevcut istenmeyen dalga formları oranıdır. Harmonikler ana dalga formlarının temel frekansının tam katlarında oluşmaktadır. Şekil 3.15'te sinüzoidal bir dalga şekli gösterilmektedir. Ana sinyalin harmonikleri sisteme etki etmeye başladığında akım ve gerilim dalga formları sinüzoidal şeklinde sapmaktadır. Şekil 3.15'te bozulmuş bir sinüzoidal dalga şekli gösterilmektedir (İnt. Kyn. 18). Lineer yüklerin ve lineer olmayan yükler olmak üzere iki yük vardır. Lineer yüklerin harmoniği bozucu yönde olumsuz bir etkileri yoktur. Lineer yükler sinüzoidal akım çeker fakat akım ve voltaj dalga formunu bozmazlar. Diğer taraftan anahtarlamalı güç kaynakları kesintisiz güç kaynakları alternatif akım ve doğru akım sürücüleri, transformatörler ve motor gibi lineer olmayan yükler sistemdeki sinüzoidal olmayan akımı çekerken akım dalgalarının biçimini bozarak voltaj bozulmalarına neden olmaktadır. (Arrillaga ve Watson 2004).



Şekil 3.15 Sinüzoidal dalga ve sinüzoidal olmayan dalga.

Elektrik enerji üretim sistemlerde bulunan harmoniklerin miktarını belirlemek amacıyla iki ayrı yöntem kullanılmaktadır. Bunların birincisi, IEC (International Electrotechnic Commission) tarafından tercih edilen herhangi bir nonlineer yükün

bağlanmakta olduğu noktaya uygulanan yöntemdir. Bunlardan ikincisi ise IEEE tarafından kabul edilen birden fazla nonlineer yükün beslendiği bir veya daha fazla merkezi noktadan uygulanan bir yöntemdir.

IEC'in öngördüğü sınırlama mantığında, tek tek her yükün meydana getirdiği harmonikler sınırlandırılmaktadır. Bundan dolayı harmoniklerin getirdiği toplamsal etkinin de sınırlandırılacağı kabul edilmektedir. Ancak bu görüş uygulamada harmonik sınırlamalar hakkında yapılan kabullerden dolayı gerçekte uyuşmamaktadır.

IEEE'in öngördüğü sınır ölçütleri ise akım ve gerilimin her ikisindeki harmoniklere sınırlar getirmesi nedeniyle daha etkin ve sınırlayıcı nitelikte olduğu görülmektedir. Birçok ülke için toplam harmonik distorsiyonu (THD) değerine göre harmoniklerin sınırlandırılmasında farklı standartlar bulunmaktadır. IEEE 519 standardında gerilim ve akım distorsiyonu için izin verilen maksimum sınırlar belirtilmiştir. Buna standarda göre birçok endüstriyel tesise izin verilen maksimum THD %5 olurken herhangi bir harmonik bileşene ise %3'tür. IEEE 519 standardının öngördüğü THD gerilim ve akım sınır değerleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 de gösterilmiştir (Demirkol 2006).

Çizelge 3.3 IEEE-519 THD gerilimin sınır limitler.

Sistem Gerilim	Max. HarmonikKomponet	Tek Max. THDV (%)
69 kV altı	3	5
69 kV-161 kV	1,5	2,5
161 kV üstü	1,0	1,5

Çizelge 3.4 IEEE-519 THD akım için sınır limitleri.

I_k/I_1	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD
<20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20<50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50<100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100<1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

3.1.5 Pulse Generatörünün Modellenmesi ve Simülasyonu

Pulse jeneratörünü boost konverterdeki mosfeti anahtarlayarak düzenli aralıklarla kare dalga üretmektedir. Matlab/Simulink ortamında modellenen pulse jeneratörün parametreleri ve bu parametrelere ait değerleri aşağıda verilmiştir.

Pulse tipi : Zaman eksenli

Pulse zamanı : Simülasyonu zamanı

Genliği : 10 ns

Periyodu: 0,0005sn

Pulse genişliği: 65 (periyodun %65'i)

Fazın gecikmesi:0

3.1.6 DC/AC Eviricinin Modellenmesi ve Simülasyonu

DC/AC evirici, şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminde bulunan boost konverterin çıkışında bulunan DC sinyali 3 fazlı AC sinyale dönüştürmek için kullanılmıştır. Böylece şebekeye AC sinyal aktarılmaktadır.

Çizelge 3.5'te evirici devrenin değişkenleri ve bu değişkenlerin sahip olduğu değerler verilmiştir.

Çizelge 3. 5 DC/AC evirici devrenin değişken ve değerleri.

Değişken	Değeri
Şebekenin RMS Gerilimi (V_{ϕ})	400 V
Eviricinin Gücü (P_o)	1 kW
Giriş Gerilimi (V_{DA})	400 V
Şebekenin Frekansı (f_{ϕ})	50 Hz
Anahtarlama Frekansı (f_a)	5 KHz
Anma Aktif Gücü	10 kW
Tss (Örneklem zamanı)	2,5e-6

3.1.7 Y¼klerin Modellenmesi ve Sim¼lasyonu

Œebekeye baēlı hibrit g¼¼ üretim sisteminde RC tip y¼¼ kullanılmıŒtır. Hibrit sistem ile Œebeke arasına baēlanan y¼¼te senkronizasyonun saēlandığı anda kesici kontrol¼yle Œebekeye baēlantı saēlanmaktadır. RC tipi y¼¼, 10kW aktif, 100Var kapasitif reaktif g¼¼te, 400V genlikte ve 50Hz frekansa sahiptir. Sim¼lasyon aŒamasında RC y¼¼te g¼¼, gerilim, frekans ve harmonik bozulma gibi gerekli ¼l¼mler yapılmıŒtır.

3.2 Hibrit Güç Üretim Sisteminin Bulanık Mantık Kontrolör ile Modellenmesi

Hibrit güç üretim sisteminde bulanık mantık (fuzzy logic) kontrolör kullanılarak rüzgar ve güneşten gelen gerilim ile şebeke arasındaki kontrol sağlanmıştır. Matlab/Simulink programı yardımıyla üç fazlı kesici kontrolü yapılmıştır. Bu sistemin modellenmesi ve kontrolör tasarımı sugeno bulanık mantık çıkarım sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada şebeke ile rüzgar ve güneş güç üretim sistemleri arasındaki gerilim karşılaştırılmaktadır. Şebekeden bir giriş ve rüzgar-güneş güç üretim sistemleri ortak bir baraya girmesi ile buradan bir giriş alınmaktadır. Bu iki giriş sinyalin gerilim değerleri karşılaştırılıp arasındaki farka göre hata sinyali üretilmektedir. Ardından bu hata sinyali bulanık mantık kontrolörüne gönderilmektedir. Burada bulanık mantık hata sinyalini sıfırladığı anda kesici devreye girmektedir. Burada şebeke ile hibrit güç üretim sinyalin gerilim değerleri bulanık mantık kontrolörü kullanılarak 560-565V etkin değerlerine sınırlandırılmıştır. Şekil 3.16'da hibrit güç sisteminin bulanık mantık ile gerilim kontrolünün modellenmesi verilmiştir.

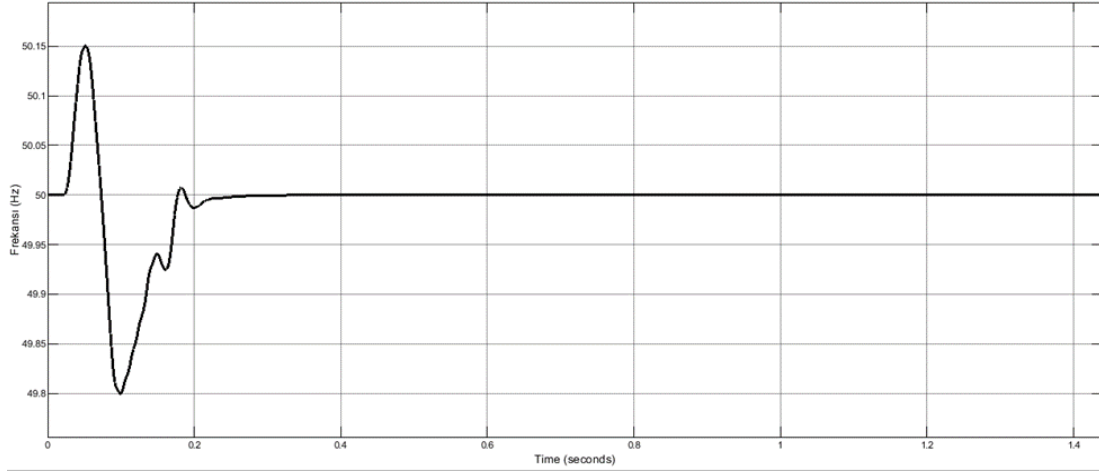
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Matlab/Simulink Ortamında Gerilim, Güç ve Frekans Analizi

Sunulan bu tez çalışmasında Matlab/Simulink ortamında rüzgar türbini, PV panelin ve şebekenin frekans, faz açısı, gerilim ve güç ölçüm analizleri yapılmıştır. Ayrıca hibrit güç üretim sistemi ile şebeke arasında bulanık mantık kullanılarak gerilim kontrolü incelenmiştir. Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin Matlab/Simulink ortamında yapılan ölçüm analizleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

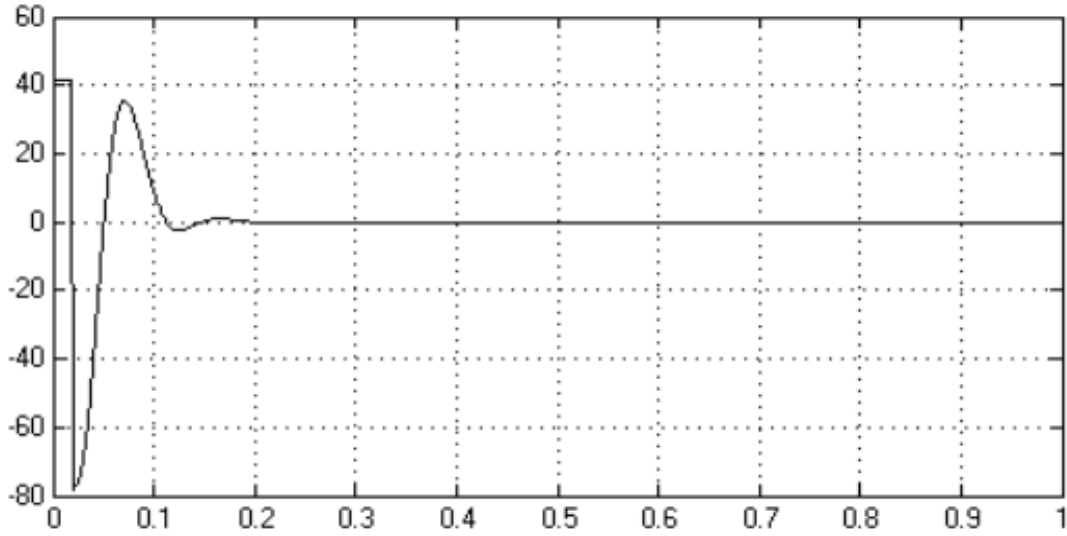
- Rüzgar türbinin frekans ölçümü
- Rüzgar türbinin faz açısı ölçümü
- Rüzgar türbinin şebeke tarafının frekans ölçümü
- Rüzgar türbinin üç fazlı gerilim ölçümü
- Filtreden sonrası oluşan gerilim dalgasının harmonik ölçümü
- Rüzgar türbin sisteminin aktif güç, reaktif güç ölçümleri
- PV sistemin frekans ölçümü
- PV sistemin üç fazlı gerilim ölçümü
- Trafo çıkış gerilimi ölçümü
- Hattın başındaki gerilim dalgası harmonik ölçümü
- Hat sonundaki gerilim dalgası harmonik ölçümü
- Matlab/Simulink ortamında alçak gerilim ölçümü
- Klasik PI kontrolör Matlab ölçümü
- Klasik bulanık mantık geliştirilmiş PI kontrolör ölçümü
- Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sistemi bulanık mantık ile ölçüm sonuçları

Matlab/Simulink ortamında rüzgar türbini ve güneş panelin sistemleri ile şebekenin öncelikle senkronizasyonu izlenmiş olup hem PV hem de rüzgar türbin sistemin şebeke frekansı, faz derecesi ve gerilimin değerleri ölçülmüştür. Aşağıda Şekil 4.1’de rüzgar türbin sisteminin frekans zaman grafiği verilmiştir. Frekansının 50 Hz ‘e sabitlendiği görülmektedir.



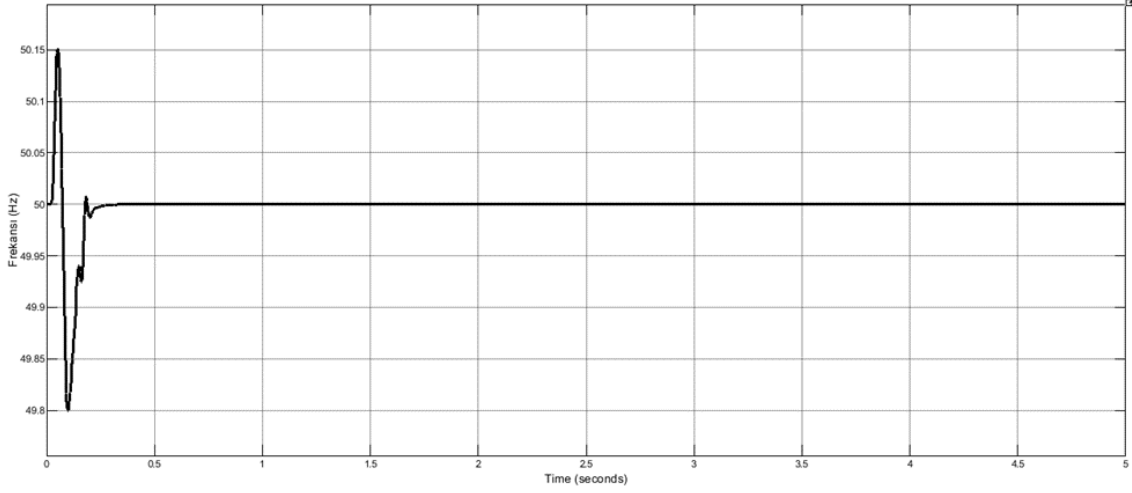
Şekil 4.1 Rüzgar türbinin sistemin Matlab/Simulink ortamında frekans-zaman grafiği.

Şekil 4.2 'de rüzgar türbin sisteminin faz açısı-zaman grafiği gösterilmiştir. Grafikte faz açısının 0 dereceye sabitlenmektedir. Frekans ile faz derecesinin aynı anda sabitlenmeye başladığı an 0,25'inci saniyedir. 0,25'inci saniyeden sonra ise sürekli sabit kalmaktadır.



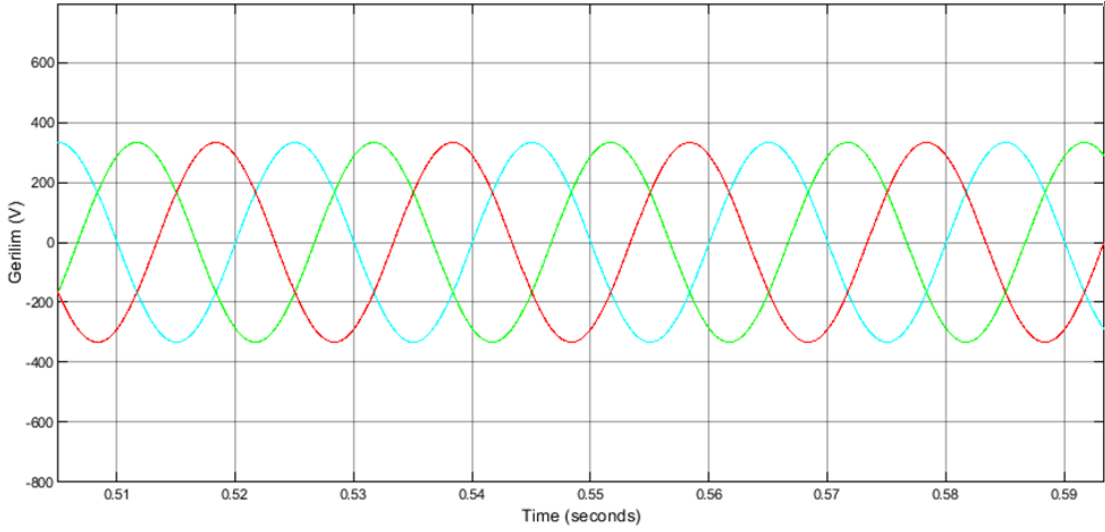
Şekil 4.2 Rüzgar türbin sisteminin faz açısı-zaman grafiği.

Şekil 4.3'te şebeke tarafının frekans zaman grafiği verilmiş olup burada da rüzgar türbin sistemindeki gibi frekansın 50 Hz'e sabitlendiği görülmektedir.



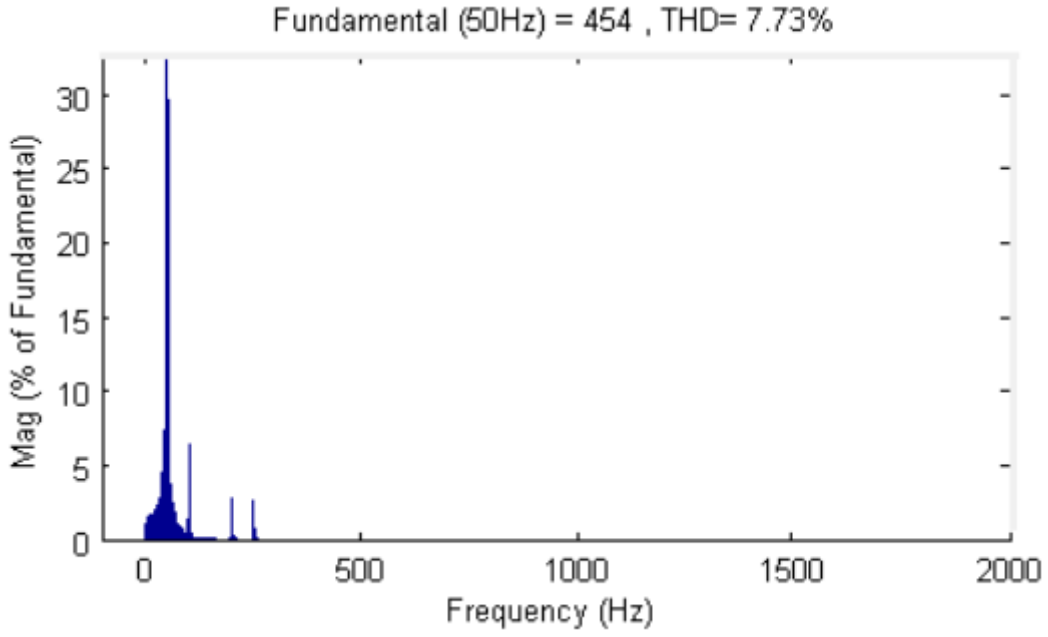
Şekil 4.3 Rüzgar türbin şebeke tarafının frekans zaman grafiği.

Yapılan gerçek ölçümler trafonun alçak gerilim tarafından gerçekleşmiş olup Şekil 4.4'te verilmiştir. Maksimum gerilim değeri, etkin gerilim değerinin $\sqrt{2}$ katı olduğu için filtre sonrası oluşan gerilim dalgasının etkin değeri faz-nötr $565/\sqrt{2}$ den 400 V olarak bulunmaktadır.

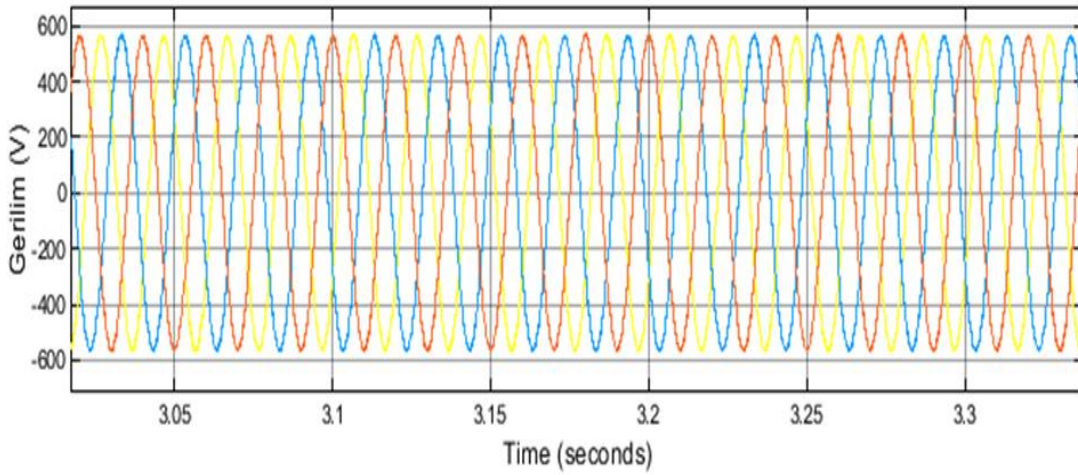


Şekil 4.4 Matlab/Simulink ortamında rüzgar türbinin şebekeye bağlı üç fazlı gerilim grafiği.

Şekil 4.5'te filtre sonrası oluşan gerilim dalgasının harmonik değerleri verilmiştir. Bu değerleri %7,73 olarak 50 saykıl için ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonucunda elde edilen gerilimin dalgası verilmektedir. Gerilimin etkin değeri maksimum $(400*\sqrt{2})$ iken faz-faz gerilimin maksimum değeri 564V olarak sabitlenmiştir.



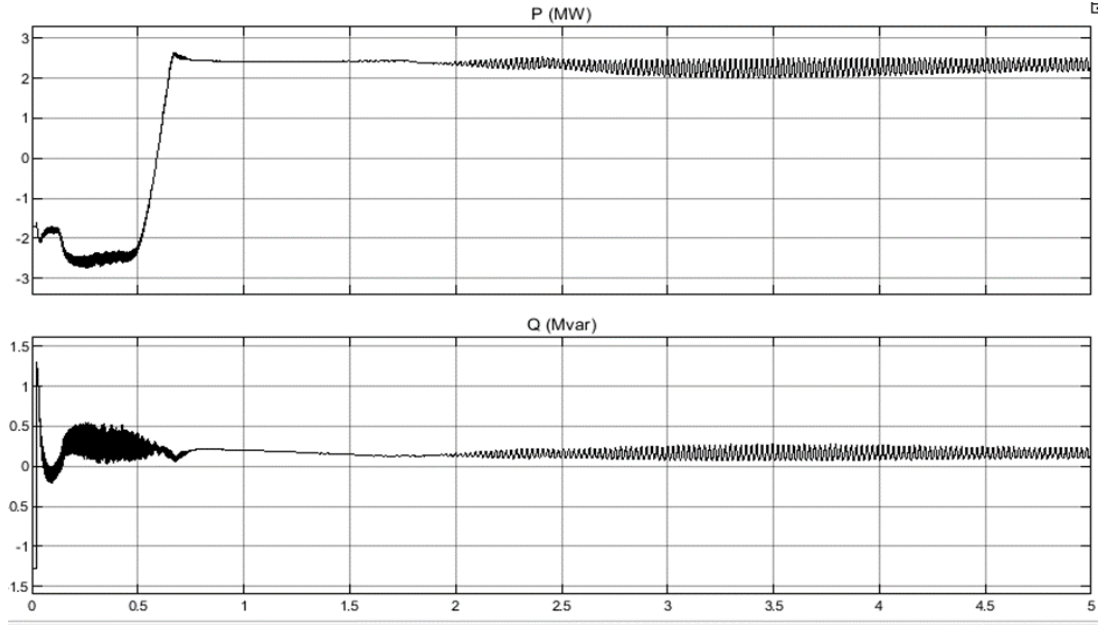
Şekil 4.5 Matlab/Simulink ortamında filtre sonrası oluşan gerilimin dalgası harmonik değeri.



Şekil 4.6 Matlab/Simulink ortamında rüzgar türbinin üç fazlı gerilim ölçümü.

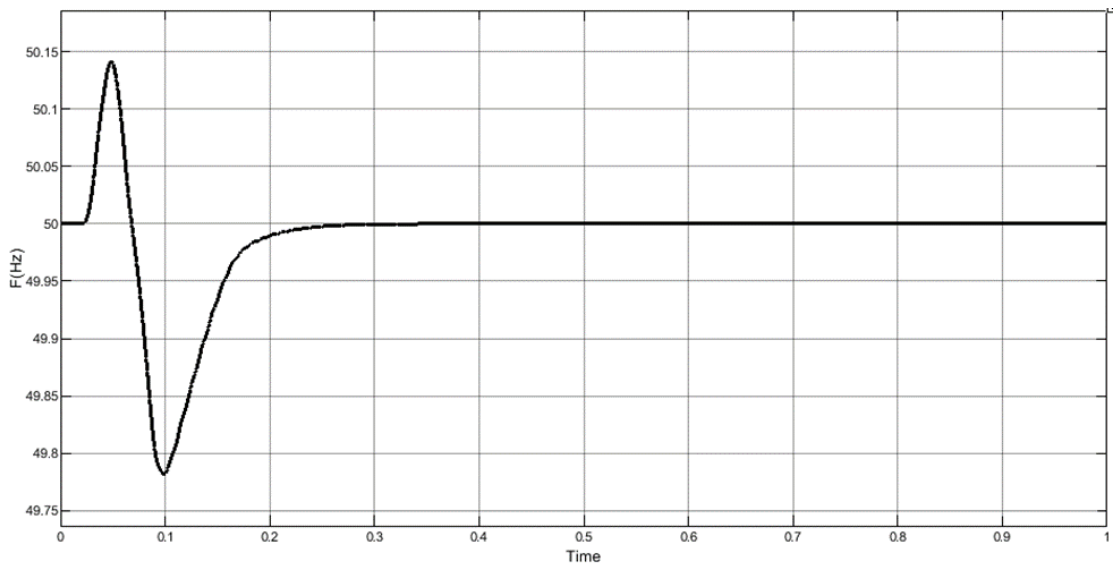
Yapılan analiz sonuçlara göre incelenen tam ölçekli frekans çeviricili rüzgar türbini şebekeye bağlı meydana gelen arızalarda sisteme bağlı kaldığında arıza sonra aktif güç ve reaktif güç çıkışlarının incelenmesiyle sistemi dengede tutulmaktadır. Arıza durumunda düşen gerilimin miktarına bağlı olarak üretilen aktif güçte azalma meydana gelir. Reaktif güç üretimi ise düşen gerilimi arttırmak için artmaktadır. Arızaların sonlanmasıyla aktif güç ve reaktif güç üretimi istenilen sürelerde ilk durumuna geri dönmektedir. Böylece rüzgar santrali devrede kalarak herhangi bir üretim kaybına olmadan sisteminin dengesi korunmuş olmaktadır. Aşağıda Şekil 4.7’de şebekeye bağlı

rüzgar türbinin aktif güç ve reaktif güç ölçümü verilmiştir.



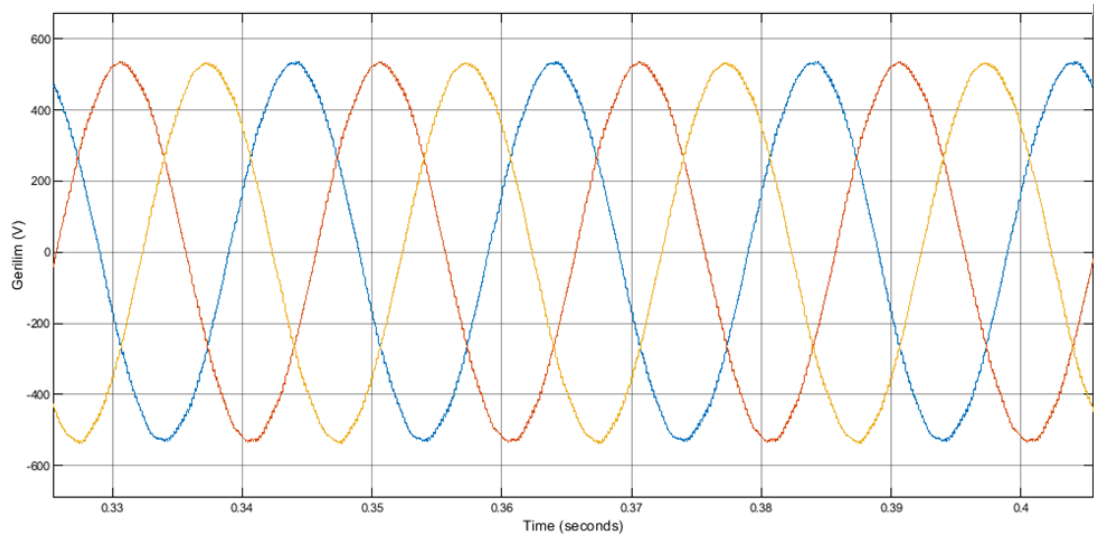
Şekil 4.7 Şebeke bağlantılı rüzgar türbinin aktif güç ve reaktif güç ölçüm grafiği.

Yapılan bu tez çalışmasında şebekeye bağlı PV güneş panellerine ait gerilim, frekans ve güç değişimleri Matlab/Simulink ortamında analiz edilmiştir. Şekil 4.8’de PV sistemin frekans-zaman grafiği verilmiştir.



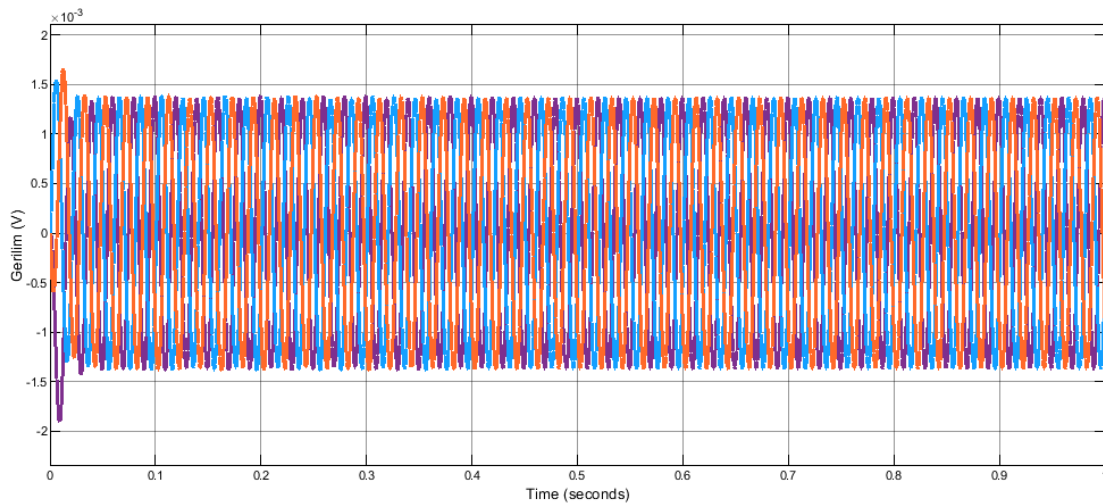
Şekil 4.8 PV sistemin frekans zaman grafiği.

Yapılan ölçüm sonucunda şebekeye bağlı PV sistemin faz-faz geriliminin etkin değeri 565V olarak Şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9 Şebekeye bağlı PV sistemin faz-faz gerilimi.

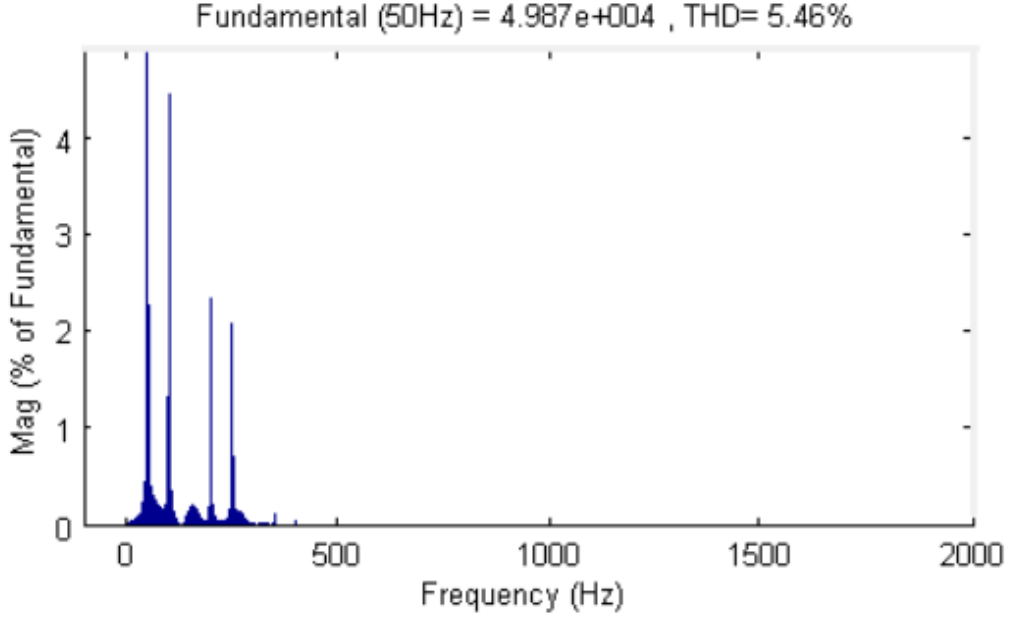
Şekil 4.10’da trafonun çıkışındaki gerilim dalgası verilmekte olup yine senkronizasyon 0,25’ inci saniyeden itibaren gerçekleştirilmektedir. Gerilim dalgası 0,25’inci saniyeden başladığında maksimum değer olarak 34,5kV değerine sabitlenmektedir. Trafonun çıkışındaki gerilim dalgasının etkin değeri ise $34,5/\sqrt{2}$ den 25kV olarak ortaya çıkmaktadır.



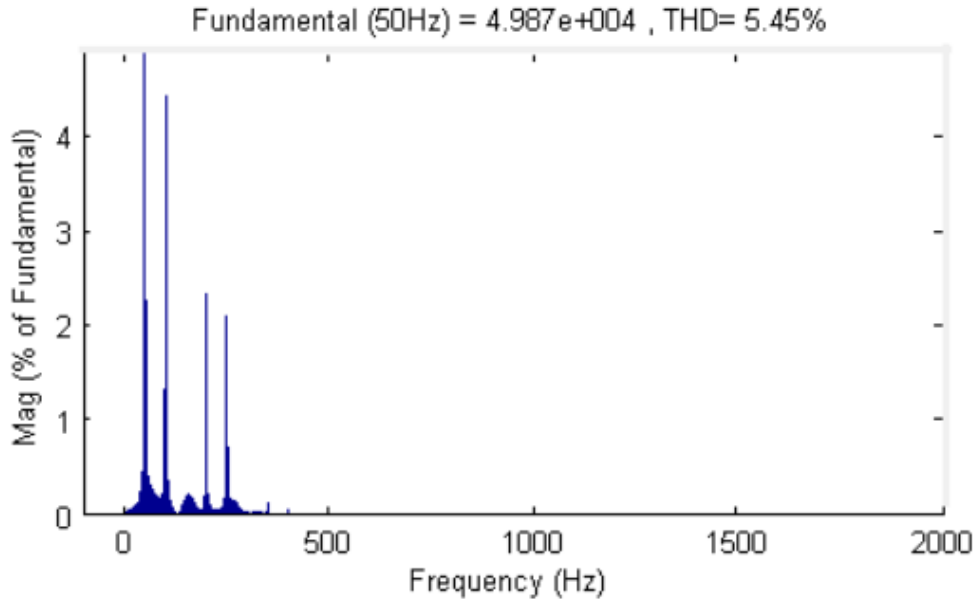
Şekil 4.10 Matlab/simulink ortamında trafonun çıkışındaki gerilim dalgası.

Şekil 4.11’de 30 km’lik pi tipi hibrit enerji hattı başındaki gerilim dalgasında meydana gelen harmonikler oranı %5,46 olarak görülmektedir. Aynı hattın sonunda da bir

harmonik ölçüm yapılarak bu değerler Şekil 4.12’de görüldüğü gibi %5,45 olarak ölçülmüştür. Böylece hat başındaki harmonik değerler hat sonunda yüzde 0.01’lik azalma göstermiştir.

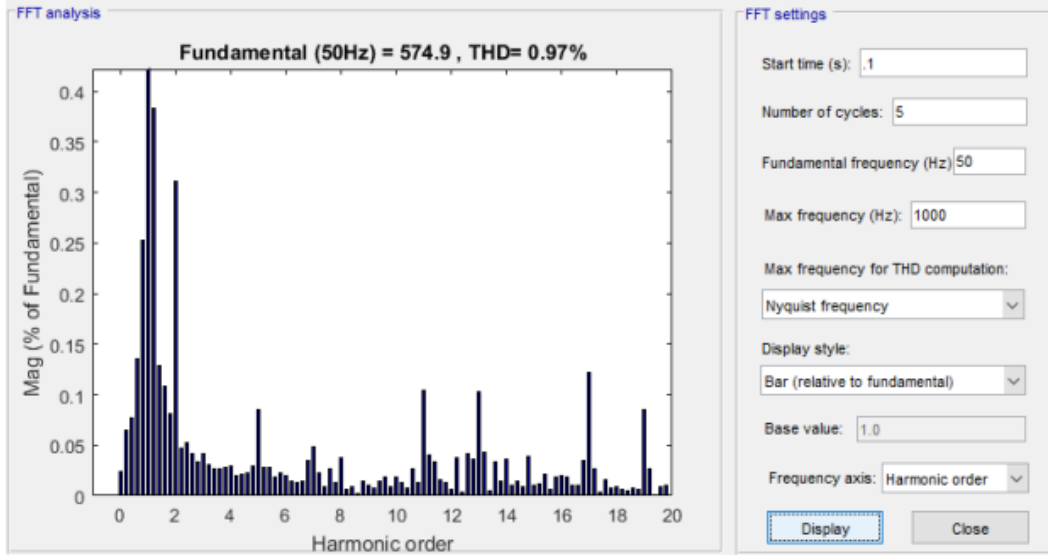


Şekil 4.11 Hattın başındaki gerilim dalgasının harmonik değerleri.



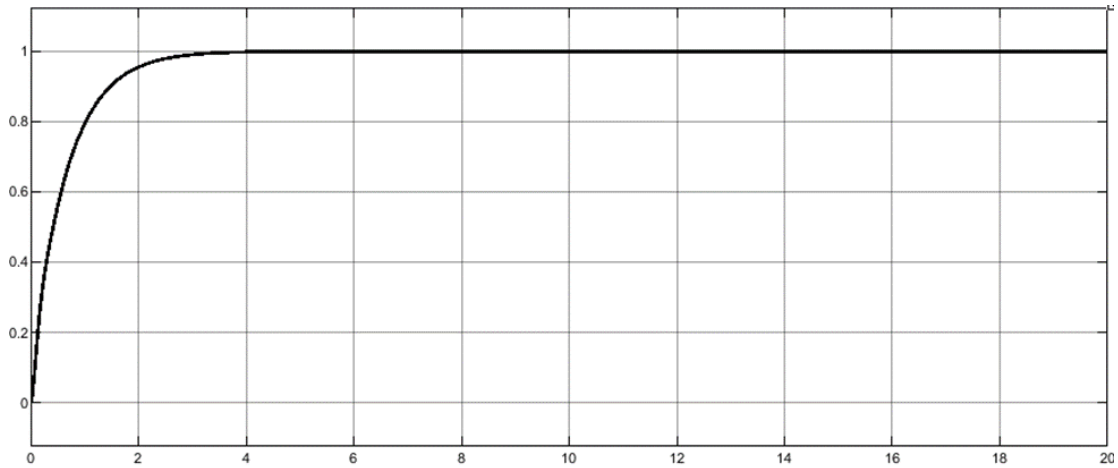
Şekil 4.12 Hattın sonundaki gerilim dalgasının harmonik değerleri.

Matlab/Simulink ortamında yapılan trafonun alçak gerilim harmonik analizi Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

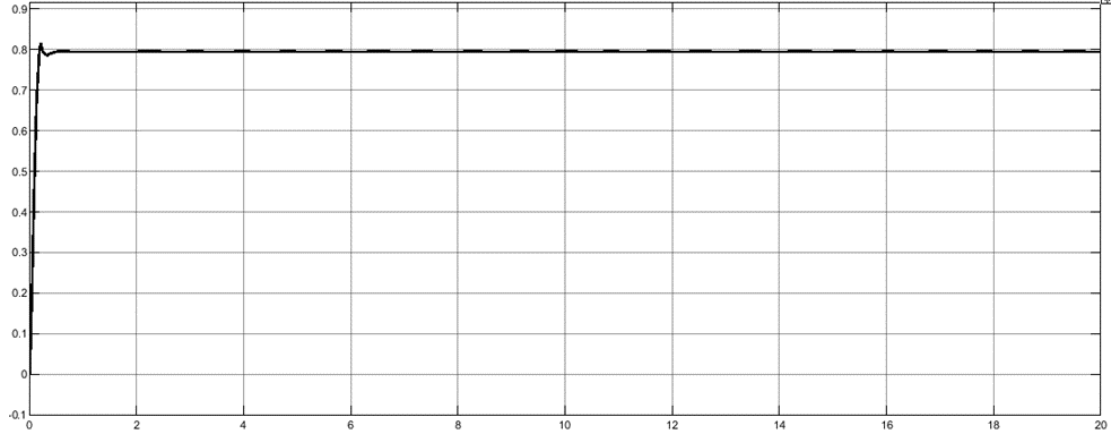


Şekil 4.13 Matlab/Simulink ortamında alçak gerilimin harmonik analizi.

Sunulan bu tez çalışmasında modellenen güç üretim sistemin klasik PI kontrolör ve klasik-bulanık mantık kontrolör ölçümleri yapılarak Şekil 4.14 ve 4.15'te sırasıyla gösterilmiştir.

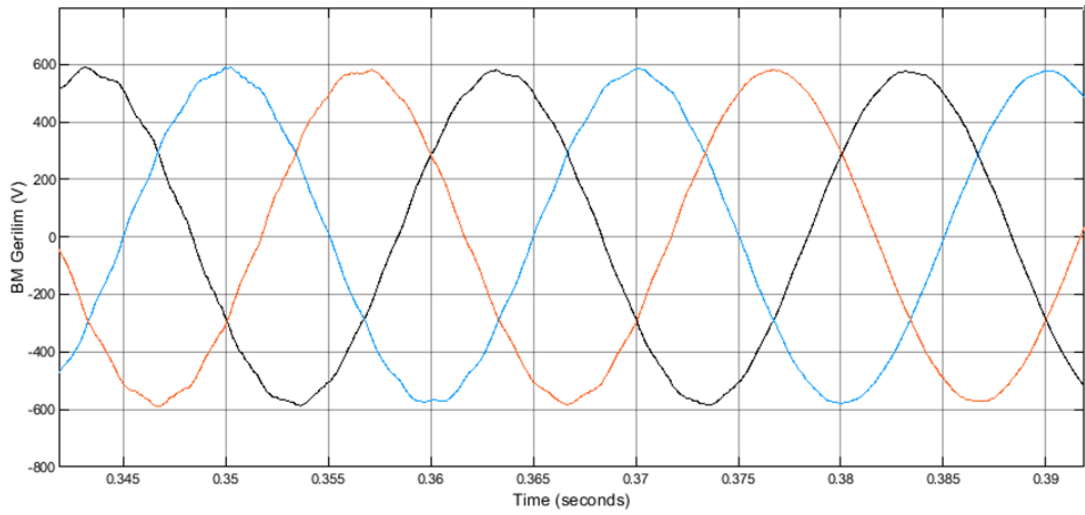


Şekil 4.14 Klasik PI kontrolörün Matlab/Simulink ortamındaki ölçüm grafiği.

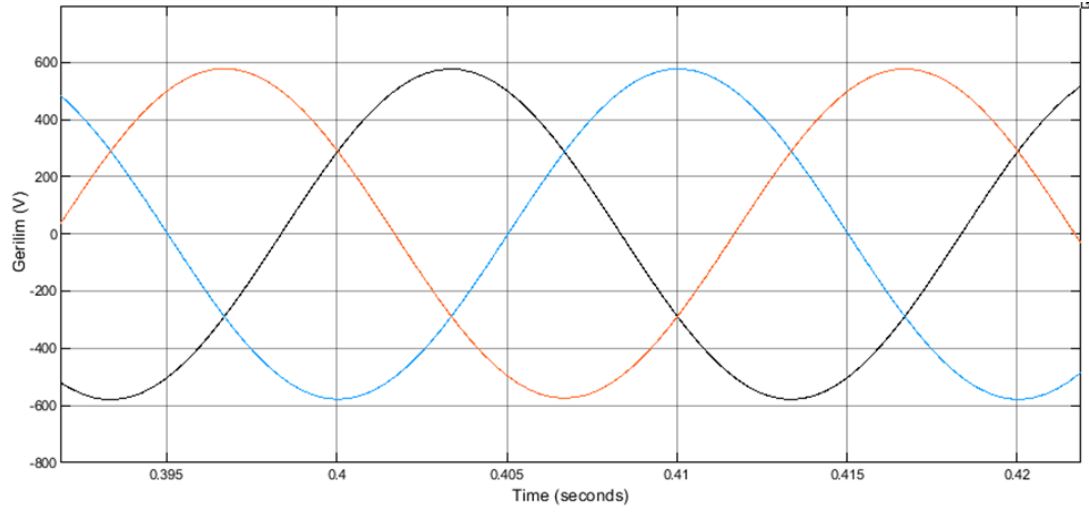


Şekil 4.15 Klasik bulanık mantık genelleştirilmiş PI kontrolör ölçümü.

Şebekeye bağlı hibrit rüzgar-güneş güç üretim sisteminin bulanık mantık ile gerilim kontrolü ve bulanık mantık ölçümü sırasıyla Şekil 4.16 ve 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16 Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık ile gerilim kontrolü.



Şekil 4.17 Şebekeye bağlı hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık ölçüm grafiği.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında şebekeye bağlı rüzgar türbini ve PV panel sistemlerin ayrı ayrı modellenmesi ve simülasyonu Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Daha sonra bu enerji kaynakları dönüştürücü ve gerilim regülatörü yardımıyla birleştirilerek bir hibrit model oluşturulmuştur.

Hibrit sistemlerin kullanıldıkları koşullar ve bölgelerin şartları farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, son zamanlarda bu sistemlerin otomatik kontrol edilebildiği sistemler geliştirilmektedir. Bu sistemlerin en güncel olanı yapay zeka temelli olanlarıdır. Ancak yapay zeka yöntemleri ile enerji üretiminin yapıldığı sistemlerin ülkemizde çok gelişmediği görülmektedir. Klasik sistemler üzerinde geliştirilmeler yapılmakta olup kontrol sistemleri de yerini yapay zeka yöntemlerine vermektedir. Yapay zeka yöntemlerinin kullanıldığı güç üretim sistemleri hem daha kolay kontrol edilebilmekte hem de kontrol senkronizasyonu sağlamaktadır. Şüphesiz bu sistemlerin yavaş olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Fakat hızla gelişen teknoloji, bilgisayar ve mikrodenetleyici sistemlerinin bu dezavantajları ortadan kaldıracakları öngörülmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında da hibrit güç üretim sistemi yapay zeka yöntemlerinden birisi olan bulanık mantık kullanılarak Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık denetleyicisinde Sugeno yöntemi kullanılmıştır. Modelde kullanılan girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarının sınırları ve türleri tanımlanarak bu üyelik fonksiyonları üzerinde dilsel gruplandırma yapılmıştır. Yapılan dilsel gruplandırma; NB (Negatif büyük), NS (Negatif küçük), ZE (sıfır), PS (Pozitif küçük) ve PB (Pozitif büyük) gruplarını içermektedir. Hibrit güç üretim sistemi için modellenen bulanık mantık denetleyicisinde 25 adet kuralın kullanıldığı bir kural tablosu oluşturulmuştur.

Bu çalışmada modellenen hibrit güç üretim sisteminde rüzgar ve güneş güç üretim sistemlerinde üretilen gerilimler tek bir barada birleştirilerek referans şebeke gerilimi ile bulanık mantık denetleyicisinde karşılaştırılmıştır. İki gerilimin eşit olduğu anda (hatanın sıfır olduğu) bulanık mantık kontrolörüne bağlı anahtar bloğundaki kontak otomatik olarak indirilerek kesici kontağı kapalı konuma getirilmektedir. İki gerilimin eşit

olmadığı anda ise kesici kontağı açık konuma getirilerek sistemin enerjisi kesilmektedir. Böylece bulanık mantık denetleyicisi ile sistem otomatik olarak kontrol edilerek oluşabilecek hata en aza indirgenmektedir.

Ayrıca bu çalışmada klasik PI kontrolör incelenmiş ikinci ve üstü derecelerdeki sistemlerde iyi sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Kullanılan klasik PI kontrolöre resetleme parametresi eklendiğinde aşımın çok büyük bir oranda düştüğü ve sistemin geçici hal cevabının önemli miktarda iyileştiği görülmektedir.

Yapılan simülasyonda bulanık mantık kontrolör ile sistemin çok hızlı olarak referans değere ulaşmasına rağmen PI kontrolör ile daha yavaş referans değere yaklaşılmaktadır. Fakat klasik PI kontrolörde integratörün sürekli performans iyileştirmesi yaptığı ifade edilebilmektedir. Sonuç olarak bulanık mantık kontrolörün klasik PI kontrolöre kıyasla hem oldukça hızlı olması hem de otomatik kontrol senkronizasyonu sağlaması gibi avantajları olduğu görülmektedir. Ayrıca bulanık mantık kontrolöründe oluşturulan kural tablosu aynı dinamik davranışa sahip diğer bir sistemde de rahatlıkla kullanılabilir.

Sunulan bu tez çalışmasında oluşturulan rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin çıkışına yük ve kesici bağlanmıştır. Kesici kullanılarak hibrit sistemden üretilen gerilim ile şebeke arasındaki senkronizasyon sağlanmıştır. Sistemin şebekeye bağlı kısmında ise 30 km uzunluğunda pi tipi enerji hattı, 500 KVA'a sahip bir gerilim kaynağı ve 0,4/25 kV gerilim değerlerine sahip yıldız üçgen trafo kullanılmıştır. Trafonun çıkışındaki gerilim dalgası için senkronizasyon 0,25' inci saniyeden itibaren sağlandığı için gerilim dalgası bu andan itibaren maksimum olarak 34,5kV değerine sabitlenmiştir. Trafonun çıkışındaki gerilim dalgasının etkin değeri ise $34,5/\sqrt{2}$ den 25kV olarak ortaya çıkmaktadır.

Öte yandan hibrit güç üretim sistemlerinde konvertörlerin meydana getirdiği harmonikler için Matlab programında FFT analizi yapılmıştır. Harmonikler filtre tasarımı yapılarak uluslararası standartlara uygun olacak şekilde en aza indirgenmiştir. Hibrit güç üretim sisteminde 30 km'lik pi tipi enerji hattı başındaki gerilim dalgasında meydana gelen

harmonik oranı %5,46'dır. Matlab ortamında yapılan FFT analizi yardımı ile enerji hattının sonunda harmonik oranı %5,45 olarak ölçülmüştür. Böylece hat başındaki harmonik oranına kıyas ile hat sonunda %0,01 değerinde bir azalma kaydedilmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, şebekeye bağlı hibrit rüzgar-güneş güç üretim sistemlerin kullanımı gün geçtikçe arttığı için rüzgar ve güneş sistemlerinin şebekeye olan etkileri ve güç kalitesini arttırmak üzerine daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır. Hibrit güç üretim sistemlerin kullanımı daha da yaygınlaştırılarak rüzgar ve güneş güç üretim sistemlerini geliştirmeye yönelik çalışmalar üzerine yoğunlaşılmalıdır. Bir örnek olarak harmoniklere sebep olarak güç kalitesini olumsuz etkileyen konvertörler üzerine iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abamor S, 2016, Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Santrallerinin Elektrik Güç Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Analizi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- ABB, 2014, Photovoltaic Plants, Technical Application Papers No. 10, Italy.
- Akova İ, 2008, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara,.
- Arrillaga J., ve Watson N. R. 2004, Güç sistemleri harmonikleri. New York: John Wiley ve Oğulları.
- Aysel A, 2019, Hybrid Excited Synchronous Generator Design And Comparison Of Direct Drive Wind Turbines, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Başaran K, 2013, Bulanık Mantık Kontrollü Otonom ve Şebeke Bağlantılı Rüzgâr-Güneş Hibrid Güç sisteminin Optimizasyonu ve Adnan Menderes Üniversitesi Kampüs Alanında Uygulanması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çarkıt T, 2017, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Depolama Sistemlerinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Demirkol Ö, 2006, Harmonik İçeren Ve Dengesiz Şebekelerde Ölçme Ve Kompanzasyon, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Duffie J A , ve Beckman W. A. 2006, Duffie, J.A and Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd edition, John Wiley&Sons, INC, New Jersey.
- Dursun E, 2013, Şebekeden Bağımsız Rüzgar, Güneş ve Hidrojen Kaynaklı Hibrit Enerji Sisteminin Analizi . Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdal L, 2011, Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Faktörler ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatifi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Ersoy D, 2015, Rüzgar ve Güneş Enerjisi İle Enterkonnekte Şebeke Bağlantılı Bir Sistemde Optimal Yük Dağılımının Farklı Algoritmalarla İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Fuchs E F, Masoum M A S 2008, Güç sistemlerinde ve elektrik makinelerinde güç

kalitesi.

Fraunhofer I, 2015, Photovoltaics Report, 26 August, Freiburg.

İlkılıç C, 2009, Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyeli ve kullanımı, Mühendis ve Makine Dergisi, 50:26-33.

Kalogirou S, 2009, Solar energy engineering: processes and systems, Academic Press, United States of America, 8, 469–517.

Karadöl İ, 2017, Kahramanmaraş Bölgesi İçin Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Hibrit Sisteminin İncelenmesi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.

Karimi M Z, 2014, Modelling, Implementation and Performance Analysis of a Hybrid Wind solar Power Generator With Battery Storage, Universidade de Coimbra.

Kaya Ü, 2019, Şebekeden bağımsız Hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sistemin bulanık mantık ile kontrol, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Koca N, 2006, Konutlarda Hibrit Enerji Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Küçükilhan G, 2017, Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi ve Şebekeye Etkilerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.

Kumar S, Garg V, 2013, Hybrid System Of Pv Solar / Wind&Fuel Cell. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2, 3666-3679.

Meghdadi S, 2014, Study of stand-alone and grid-connected setups of renewable energy systems for Newfoundland, Newfoundland Memorial Üniversitesi, Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Newfoundland and Labrador.

Nakir İ, 2012, Ulaşım Araçlarında Fotovoltaik Yapılar İçin Uygun Bir Maksimum Güç Takip Algoritması ile Verimliliğin Artırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Oğuz E, 2012, Bir Laboratuvar Aydınlatma Sistemi İçin Batarya Desteklemeli Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Üretim Sisteminin Simülasyonu Ve Bulanık Mantık Kontrolü İle Enerji Akış Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Oğuz Y, 2007, Hibrid Güç Üretim Sisteminin Modellemesi, Analizi Ve Neuro-Fuzzy Kontrolör Kullanılarak Sistem Performansının İyileştirilmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Rana A, Ilyas M, 2015, Implementation of a Wind/PV Hybrid System. International Journal of Advanced Research in Electrical, 4, 5941-5948.
- Şaka S, 1999, Bulanık Kontrol ve Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Shashi K K, Rekha J, 2015, Modeling Simulation and Performance Analysis of Hybrid Power Generation System, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 9, 5837-5844.
- Tüysüz M, 2018, Hibrit Güç Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Bulanık Denetleyicinin Optimizasyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Ulutaş H, 2015, Kırsal Tesisler için hibrit (Rüzgâr + Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Weidong Xiao, W G, 2004, Modifiye edilmiş bir adaptif tepe tırmanma mppt yöntemi fotovoltaik güç sistemleri için.
- Yarar N, 2019, Bir Güneş Santralının Elektrik Şebekesine Entegrasyonunda Güç kalitesine Etkilerinin İncelenmesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Yılmaz A, 2018, Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik (PV) Sistemlerin Mevcut Elektrik Şebekesi İle Entegrasyonu Ve Güç Sistemine Etkileri, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.dunyaenerji.org.tr/2021-kuresel-ruzgar-raporu/>, 11.03.2021
- 2) <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>, 11.03.2021
- 3) <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>, 15.03.2021
- 4) <https://egitim448.wordpress.com/2017/02/10/ruzgar-turbinlerinin-siniflandirilmesi/>, 15.03.2021
- 5) <https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/ruzgar-turbinlerinin-cesitleri-ve-birbirleriyle-karsilastirilmesi/8178>, 20.03.2021
- 6) <http://sunenerji.blogspot.com/2013/10/ruzgar-turbin-cesitleri.html>, 20.03.2021
- 7) <https://muhendistan.com/gunes-bacasi-nedir-gunes-bacasi-ile-elektrik-uretimi/>, 23.03.2021
- 8) <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/11/how-efficient-are-solar-panels>, 23.03.2021
- 9) https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf, 02.04.2021
- 10) <https://www.gensed.org/basin/turkiyenin-gunes-enerjisi-kurulu-gucu-7-435-2-mwa-yukseldi>, 02.04.2021
- 11) http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=2380, 04.04.2021
- 12) <https://www.house-energy.com/Wind/Hybrid.htm>, 14.04.2021
- 13) <https://320volt.com/gunes-pilleri-ve-teknolojik-uygulamalari.html>, 22.04.2021
- 14) https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples.html?s_tid=CRUX_topnav, 24.04.2021
- 15) <https://www.researchgate.net/publication/241179200>, 07.05.2021
- 16) emo.org.tr/ekler/03d2e9220a41a16_ek.pdf, 28.09.2021
- 17) https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589263/mod_resource/content/1/IEE%20Std%20519-2014.pdf, 29.08.2021
- 18) <https://www.kontrolkalemi.com/harmonik-nedir/>, 30.08.2021

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sediqullah HABİBİ
Doğum Yeri ve Tarihi : 06.12.1990
Yabancı Dili : İngilizce,Türkçe
İletişim (Telefon / e-posta) : sediq.habibi123@gmail.com

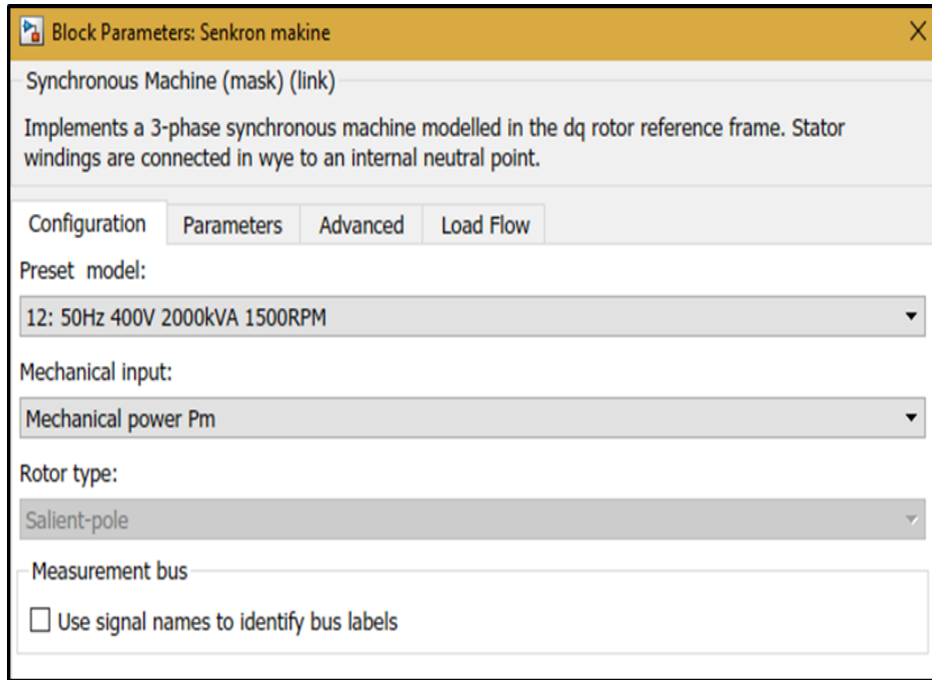
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İmam Sahib Zokor Lisesi (2006 –2010)
Lisans : Gazi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü,(2012– 2018)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı,(2018–2022)

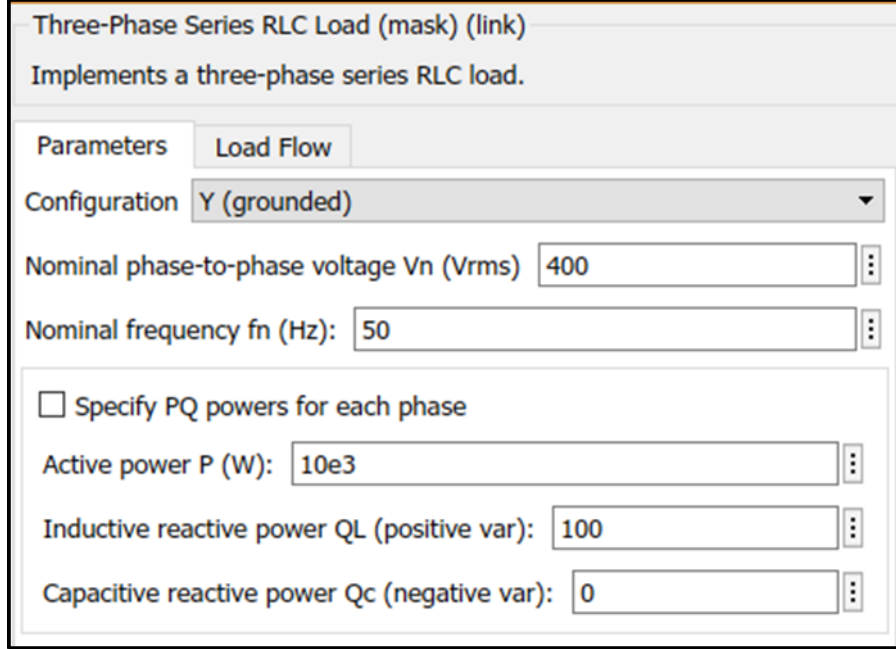
EKLER

EK 1: Matlab/Simulink ortamında kullanılan her eleman ve parametreleri hibrit güç üretim sistemine ait veriler.

Name ▲	Value
cfmax	9.9472e-06
f	50
fsw	5000
Lf	0.0051
p	10000
RLf	0.5093
Tss	2.5000e-06
u	400



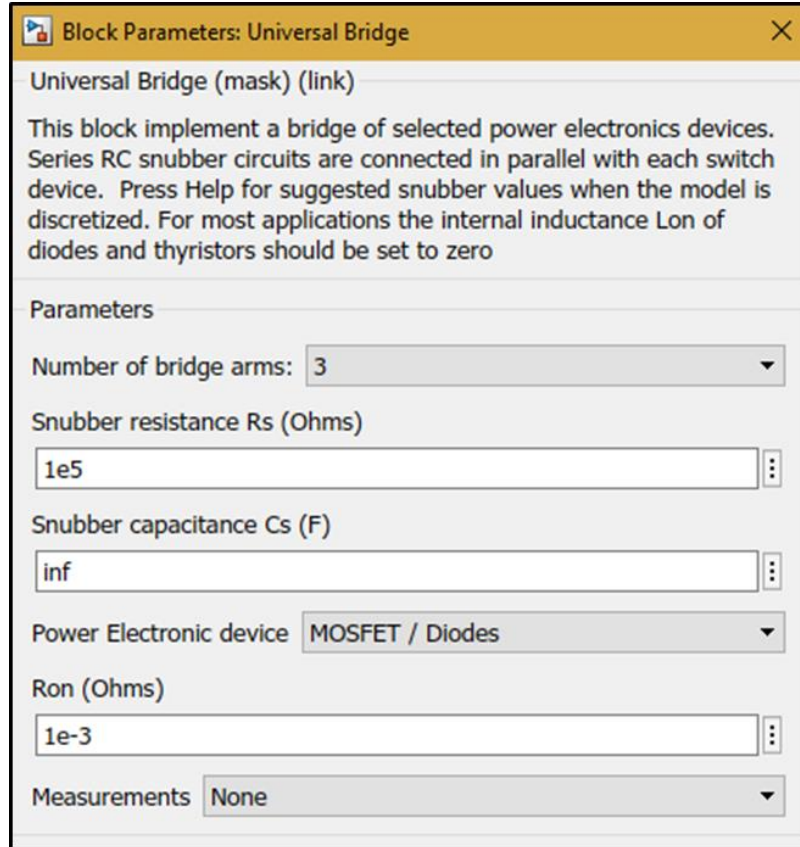
Şekil 1. Senkron makinenin Matlab/Simulink ortamında parametreleri.



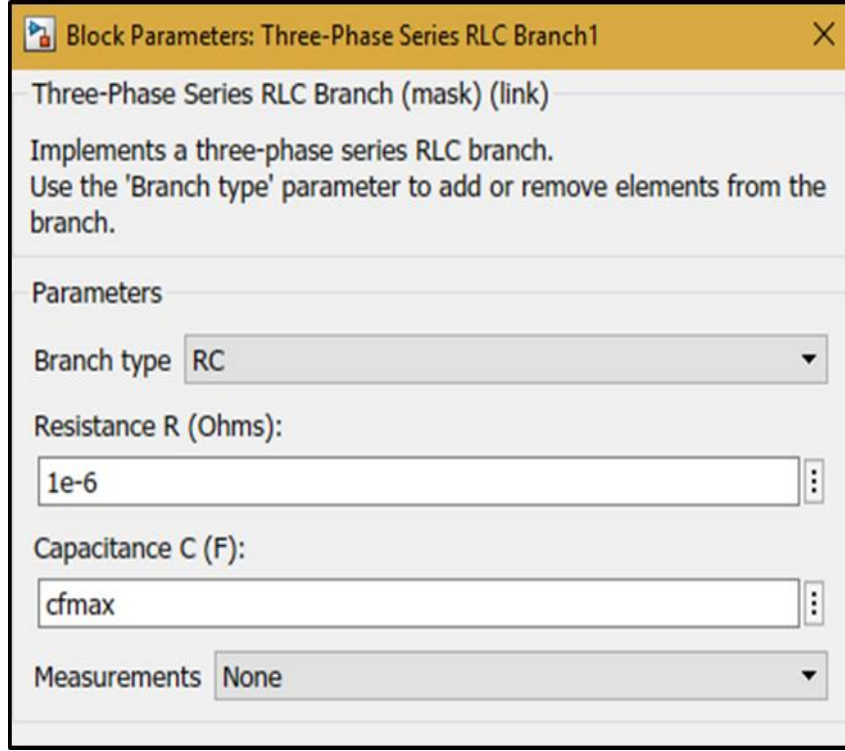
Şekil 2. Üç fazlı RLC yükün Matlab/Simulink parametreleri.

```
Untitled.m x +
1 % inverter filter hesaplama
2 - Tss= 2.5e-6; % sampling time
3 - p= 10e3; % rated active power
4 - u=400;
5 - f=50;
6 - fsw=5e3; % switching frekans
7
8 - cfmax=(0.05*p)/(2*pi*f*u^2);
9 - Lf=(0.1*u^2)/(2*pi*f*p);
10 - RLf=Lf*100;
```

Şekil 3. Matlab/Simulink ortamında inverter filtre hesaplaması.



Şekil 4. DC/AC Eviricinin Matlab/Simulink parametreleri.



Şekil 5.. Matlab/Simulink RLC yük parametreleri.