

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKRO ŞEBEKELERDE NEURO-FUZZY TABANLI AKILLI ENERJİ
YÖNETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Ahsen ULUTAŞ

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKRO ŞEBEKELERDE NEURO-FUZZY TABANLI AKILLI ENERJİ
YÖNETİMİ**

Elektrik-Elektronik Müh. Ahsen ULUTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ "
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 20 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı'nda

Ahsen ULUTAŞ Tarafından Hazırlanan

MİKRO ŞEBEKELERDE NEURO-FUZZY TABANLI AKILLI ENERJİ YÖNETİMİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun **28/05/2019** gün ve **1806** sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Üye : Prof. Dr. Cemil GÜRÜNLÜ

Üye : Doç. Dr. Onur Özdal MENGİ


.....

.....

.....

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Elektrik tüketiminin artması üretime olan talebi de artırmıştır. Artan bu talep ve mevcut fosil kaynakların tükenebilirliği yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelime sebep olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları kesintili ve değişken bir karakteristiğe sahip olduğundan tüketicinin enerjisiz kalması, elektrik şebekesinde dalgalanma gibi birtakım problemlere sebep olmakta ve bu sebeplerden dolayı enerji yönetimi önem kazanmaktadır. Mevcut problemler bu tez çalışmasında ele alınarak Hibrit (FV-Dalga) bir sistem tasarlanmış, tüketicilerin enerjisiz kalmaması ve öncelikle yenilenebilir kaynaklardan tüketim yapılması amaçlanmış ve bunun için enerji yönetim algoritması tavsiye edilmiştir. Gün öncesinden Yapay Sinir Ağları kullanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarının kestirimi ve Akıllı Neuro-Fuzzy Enerji Yönetim Algoritması ile enerji yönetimi yapılmıştır.

Bu tez çalışması süresince, tezin amacına ulaşması için bana yol gösteren, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca, gerek bilimsel çalışmalarında gerekse diğer konularda beni destekleyen ve yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a ilgi ve desteğinden dolayı teşekkürlerimi saygı ve minnetle sunarım.

Çalışmalarım süresince yardımlarını eksik etmeyen başta Arş. Gör. Büşra ÖZGENÇ olmak üzere POWENCON laboratuvarı çalışma arkadaşlarıma yanımda oldukları için teşekkür ederim. Manevi desteklerinden dolayı çalıştığım kurum olan Necmettin Erbakan Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği' ndeki tüm öğretim üyesi/görevlisi hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm eğitim-öğretim hayatımda yer alan ve maddi-manevi desteklerini esirgemeyen hocalarım ve arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Varlıkları ve destekleriyle bana güç veren ve her zaman yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım. Son olarak bu tez çalışmasını ülkemize faydalı olması temennisi ile üzerimde yadsınamaz emeği olan ablam Zeytin ULUTAŞ' a ithaf ediyorum.

Ahsen ULUTAŞ
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Mikro Şebekelerde Neuro-Fuzzy Tabanlı Akıllı Enerji Yönetimi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/06/2019

Ahsen ULUTAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Araştırması	4
1.3. Mikro Şebeke Yapıları.....	9
1.4. Dünya’ da ve Türkiye’ de Yenilenebilir Enerji	10
1.5. Güneş Enerjisi	12
1.5.1. FV Güneş Pilleri	12
1.5.2. FV Güneş Pili Karakteristiği	14
1.5.3. Fotovoltaik Sistemler	16
1.5.3.1. Şebeke Bağlantısız FV Sistemler	17
1.5.3.2. Şebeke Bağlantılı FV Sistemler.....	17
1.5.4. Maksimum Güç Noktası Takibi	18
1.5.4.1. Değiştir-Gözle (D&G) Algoritması.....	19
1.6. Dalga Enerjisi	20
1.6.1. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri	22
1.6.1.1. Salımlı Su Kolonu	23
1.6.2. Generatör Modeli	25
1.6.2.1. Senkron Generatör	26
1.7. DA/DA Dönüştürücüler.....	26
1.7.1. DA/DA Artıran Dönüştürücü	26
1.7.2. Çift Yönlü (Bi-directional) Dönüştürücü	28

1.8.	DA/AA Dönüştürücüler (Eviriciler).....	29
1.9.	Aküler	30
1.10.	Kestirim	31
1.10.1.	Yapay Sinir Ağı (YSA)	31
1.11.	Neuro-Fuzzy Algoritması	35
1.11.1.	ANFIS Yapısı	36
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	37
2.1.	Giriş	37
2.2.	FV Sistemin Matlab/Simulink Benzetimi	39
2.3.	Dalga Enerji Sisteminin Matlab/Simulink Benzetimi	43
2.4.	Akü	47
2.5.	Çift Yönlü DA/DA Dönüştürücü.....	47
2.6.	Evirici	50
2.7.	YSA Yöntemi ile Kestirim	51
2.8.	Neuro-Fuzzy Tabanlı Enerji Yönetim Algoritması	57
3.	BULGULAR	61
3.1.	Kestirim Sonuçlarının İrdelenmesi.....	61
3.2.	Neuro-Fuzzy Tabanlı Akıllı Enerji Yönetiminin İrdelenmesi.....	62
3.2.1.	Durum 1	63
3.2.2.	Durum 2	65
3.2.3.	Durum 3	67
3.2.4.	Durum 4	69
3.2.5.	Durum 5	71
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	73
5.	ÖNERİLER	74
6.	KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

MİKRO ŞEBEKELERDE NEURO-FUZZY TABANLI AKILLI ENERJİ
YÖNETİMİ

Ahsen ULUTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2019, 81 Sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payı giderek artmaktadır. Enerji sistemlerinin verimliliği açısından birden fazla yenilenebilir kaynak bir araya getirilerek hibrit sistemler oluşturulmuştur. Hibrit sistemlerde enerji sürekliliği ve sistemin kararlılığını artırmak için depolama birimleri de eklenir. Depolama birimleri enerji sürekliliği açısından önemlidir. Bu tür hibrit sistemlerde kesintisiz ve kararlı çalışma için enerji yönetimi de mutlaka olması gereken bir uygulamadır.

Bu tezin amacı yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji gün öncesinden 24 saatlik kestirimini yaparak sistemin kontrolünü Neuro-Fuzzy tabanlı akıllı bir algoritma ile sağlayıp tüketicilerin enerji talebini kararlı bir şekilde işletilen şebekeden sağlamaktır. FV, dalga ve aküden oluşan hibrit bir enerji sisteminin olası çalışma durumları belirlenerek bu şartlarda sistemin kararlı çalışmasını sağlamak üzere neuro-fuzzy tabanlı akıllı bir enerji yönetim algoritması gerçekleştirilmiştir.

Güneş ışınımı ve dalga boyunun Yapay Sinir Ağı (YSA) ile kestirimine dayalı enerji yönetimi Neuro-Fuzzy tabanlı akıllı bir algoritma kullanılarak yapılmıştır. Şebeke bağlantılı hibrit sistem MATLAB/simulink benzetim programında tasarlanmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları ile akıllı neuro-fuzzy enerji yönetim algoritmasının geçerliliği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çift yönlü dönüştürücü, Enerji yönetim sistemi, Hibrit (FV, dalga) enerji sistemi, Kestirim, Neuro-fuzzy kontrol algoritması, Yapay sinir ağı

Master Thesis

SUMMARY

NEURO-FUZZY BASED SMART ENERGY MANAGAMENT IN MICROGRIDS

Ahsen ULUTAŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2019, 81 Pages

The share of renewable energy sources in energy generation has been increased tremendously during last decades. Hybrid systems have been created by combining more than one renewable resources in terms of energy sustainability and efficiency. Storage units have been added to enhance the stability of the hybrid systems. Storage units have made the energy more feasible especially during peak hours. In these hybrid systems, energy management is carried out for uninterrupted and stable operation.

The aim of this thesis is to provide a day ahead prediction of the energy to be generated from renewable sources before the day and provide an intelligent energy management system based on Neuro-Fuzzy to meet the energy demand of the consumers and ensure the stable operation of the network. In this thesis, the possible working conditions of a hybrid energy system consisting of FV, wave and battery are determined and a smart energy management algorithm based on neuro-fuzzy has been realized in order to ensure stable operation of the system under various conditions.

The day ahead energy prediction is done by estimating solar radiation and sea wavelength using an artificial neural network method. Then the intelligent energy management is done by a Neuro-fuzzy based algorithm. The grid-connected hybrid system is modelled in the MATLAB/simulink simulation program. The simulation results show the applicability of the proposed of the day ahead energy prediction and intelligent management system.

Key Words: Artificial neural network, Bi-directional converter, Energy management system, Estimation, Hybrid (FV, wave) energy system, Neuro-Fuzzy control algorithm

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Mikro şebeke yapısı	10
Şekil 1.2. Küresel yenilenebilir güç kapasiteleri [46].	11
Şekil 1.3. Türkiye’ de elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi (1970-2018) [47].....	12
Şekil 1.4. Tek diyotlu FV güneş pilinin eş değer devresi.....	13
Şekil 1.5. Farklı sıcaklık değerlerinde FV güneş pili (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim grafikleri.....	15
Şekil 1.6. Farklı güneş ışıınım değerlerinde FV güneş pili (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim grafikleri.....	16
Şekil 1.7. Şebeke bağlantısız FV sistem.....	17
Şekil 1.8. Şebeke bağlantılı FV sistemler.....	18
Şekil 1.9. FV güneş pili gerilim-akım ve gerilim-güç eğrileri	19
Şekil 1.10. Değiştir-gözle algoritması akış diyagramı [49].....	20
Şekil 1.11. Dalga kestirimlerinin yapıldığı yerlerin yıllık ortalama enerjileri	22
Şekil 1.12. SSK sistem şeması [69].....	24
Şekil 1.13. SSK sistem parametreleri [70].	25
Şekil 1.14. DA/DA artıran dönüştürücü yapısı [73].....	27
Şekil 1.15. Çift yönlü DA/DA dönüştürücü yapısı.....	28
Şekil 1.16. Şebeke bağlı DA/AA dönüştürücü yapısı	30
Şekil 1.17. Nöron modeli.....	32
Şekil 1.18. YSA eğitim algoritmasının akış şeması	34
Şekil 1.19. ANFIS yapısı (a) Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı Sugeno	36
Şekil 2.1. Hibrit (PV-Dalga) enerji sisteminin Matlab/Simulink blok diyagramı.....	38
Şekil 2.2 FV dizinin PI kontrol ile denetimi.....	40
Şekil 2.3. Şebeke bağlı 2 kW’ lık FV sistem.....	42
Şekil 2.4. SSK modelinin (a) alt sistemi, (b) simulink diyagramı.....	43
Şekil 2.5. 2 kW’ lık DES Matlab/simulink modeli	46
Şekil 2.6. Akü deşarj eğrisi.....	47
Şekil 2.7. Azaltan/artıran durum kontrolü Matlab/simulink blok diyagramı	48
Şekil 2.8. Tasarlanılan akü, çift yönlü DA/DA dönüştürücü ve kontrol ünitesi	

Matlab/Simulink blok diyagramları.....	49
Şekil 2.9. (a) Güneş ışınım verisi, (b) Dalga boyu verisi	52
Şekil 2.10. Tasarlanan YSA'nın yapısı	54
Şekil 2.11. Benzer gün seçim aralığı [80].	55
Şekil 2.12. (a) SOC, (b) güç ve (c) akü akımının bulanık kümeleri.....	58
Şekil 3.1. 03/05/2016 gününe ait kestirilen ve gerçek güneş ışınımı eğrileri.....	61
Şekil 3.2. 03/05/2016 gününe ait kestirilen ve gerçek dalga boyu verileri	62
Şekil 3.3. Durum 1 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı	63
Şekil 3.4. Durum 1 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü	64
Şekil 3.5. Durum 1 yük akımı	64
Şekil 3.6. Durum 2 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı	65
Şekil 3.7. Durum 2 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü	66
Şekil 3.8. Durum 2 yük akımı	66
Şekil 3.9. Durum 3 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı	67
Şekil 3.10. Durum 3 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü	68
Şekil 3.11. Durum 3 yük akımı	68
Şekil 3.12. Durum 4 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı	69
Şekil 3.13. Durum 4 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü	70
Şekil 3.14. Durum 4 yük akımı	70
Şekil 3.15. Durum 5 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı	71
Şekil 3.16. Durum 5 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü	72
Şekil 3.17. Durum 5 yük akımı	72

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. PV panel parametre değerleri	39
Tablo 2.2. Artıran dđnüşürücü parametre değerleri	39
Tablo 2.3. SSK parametre değerleri	45
Tablo 2.4. Çift tđnlü DA/DA dđnüşürücü değerleri.....	50
Tablo 2.5. Üç fazlı evirici ve filtre değerleri	50
Tablo 2.6. YSA'nın Giriş ve Çıkış Değişkenleri.....	54
Tablo 2.7. Güneş ışınım kestirimi için tasarlanan YSA' nın parametreleri	56
Tablo 2.8. Dalga boyu kestirimi için tasarlanan YSA' nın parametreleri	57
Tablo 2.9. Bulanık kural tablosu	59

SEMBOLLER DİZİNİ

AA	Alternatif Akım
ANFIS	Adaptive Network Fuzzy Inference System
BEDS	Batarya Enerji Depolama Sistemi
BM	Bulanık Mantık
BMD	Bulanık Mantık Denetleyici
DA	Doğru Akım
DES	Dalga Enerji Sistemi
ESS	Enerji Depolama Yönetim Sistemi
EYS	Enerji Yönetim Sistemi
FLC	Bulanık Mantık Kontrolörü (Fuzzy Logic Controller)
FV	Fotovoltaik
JES	Jeotermal Elektrik Santrali
MAS	Çoklu Ajan Sistemi (Multi-Agent System)
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
MŞAEY	Mikro Şebekelerde Akıllı Enerji Yönetimi
PI	Proportional İntegral
PMSG	Sabit Miknatıslı Senkron Generatör
SOC	Batarya Şarj Durumu (State of Charge)
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
YSA	Yapay Sinir Ağı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerji kaynakları değerlendirilirken enerjinin maliyeti, elde edilme kolaylığı, dışa bağımlılık ve çevrede sebep olduğu etkiler dikkate alınır. Bu sebeplerden dolayı yüzyıldan fazla enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alan fosil yakıtların kullanımı yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına artan ilgiden dolayı bu kaynaklar daha fazla incelenerek verimli ve düşük maliyetle kullanımı sağlanmaya çalışılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında hidrolik kaynaklar olmak üzere rüzgâr, güneş ve dalga gibi enerji kaynakları yer almaktadır. Her enerji kaynağında olduğu gibi bu kaynakların da bazı olumsuz yanları mevcuttur. İlk kurulum maliyeti ve enerji arz güvenilirliğinin olmaması bunlara örnektir.

Yenilenebilir enerji kaynakları sürekli olarak ve sabit miktarda elektrik üretememektedirler. Örneğin; güneşin parlak olduğu zamanlar güneş enerji sistemleri kararlı bir şekilde elektrik enerjisi üretirken, bulutlu ve akşam saatlerinde elektrik üretimi yapamamaktadır. Rüzgâr enerji sistemleri rüzgâr hızına bağlı olarak, dalga enerji sistemleri de aynı şekilde dalga boyuna ve periyoduna bağlı olarak değişken bir şekilde elektrik üretimi yapmaktadır. Bu kararsız ve kesintili yapıdan dolayı önemli problemler ortaya çıkmaktadır ve bu sebepten bu konu hakkında daha yoğun olarak çalışılmaktadır. Çalışmalardaki amaç enerjinin sadece elde edilmesi değil, aynı zamanda enerjiyi uygun değerlere getirmek, mevcut enerjiyi yönetmek ve sistemde neden olabileceği dalgalanmaları ortadan kaldırmaktır. Bu yüzden birden fazla enerji kaynağı bir araya getirilerek birleştirilmiş (hibrit) enerji sistemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde, birden fazla kaynağın (güneş, rüzgâr, dalga...) hibrit olarak çalışması, tek tek çalışmasına kıyasla daha karmaşıktır. Bir çeşit kaynağın bulunduğu sistemlerde bir eleman kontrol edilirken birden fazla kaynağın bir araya getirilmesiyle oluşan sistemlerde sistemin birbiri ile uyumlu bir şekilde çalışması için birden fazla elemanın kontrol edilmesi gerekir.

Güneş ışınım ve sıcaklığının değiştiği durumlarda güneş paneli devamlı ve sabit bir güç veremez. Aynı şekilde dalga boyunun ve periyodunun yeterli olmadığı durumlarda da üretim olmayacaktır. Kullanıcılar tarafından enerjinin talep edilmediği ya da yenilenebilir

enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarının çok olduğu durumda da enerji fazlalığı ortaya çıkacaktır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji, geleneksel enerji kaynaklarında olduğu gibi istenen zamanlarda sağlanamaz. Yenilenebilir enerji sistemleri depolama birimleri ile kullanılarak, üretilen enerji depolanıp kullanıcılar için enerjinin sürekliliği sağlanabilir. Yani enerji depolama uygulamaları ile bu kaynaklardan elde edilen enerji depolanarak ihtiyaç duyulan zamanda kullanılabilir. Bu gibi durumlar halinde sistemin verimli çalışması ve yüklerin enerjisiz kalmaması için enerji yönetimi yapılması gerekmektedir.

Hibrit enerji sistemlerinde enerji yönetimi ile maliyetler düşer, daha güvenilir ve çevreci bir sistem sağlanmış olur. Değişken hava koşulları, gündüz-gece durumları ve yüklerdeki değişim enerji yönetimi yapılmasını gerektirmektedir. Sistemler de mevcut durumlardaki hava şartlarında olabilecek en verimli çalışma noktasının tespiti için Maksimum Güç Noktası Takip (MGNT) [1] cihazlarının kullanılıp sistemlerin birbirlerini destekleyerek devreye girip çıkmaları, akülerin doluluk oranına göre gerekli durumlarda doldurulup boşaltılmaları ve akülerin bitip enerjisiz kalınabileceği durumlarda şebekeye bağlanmayı sağlayacak şekilde enerji yönetimi yapılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki kararsızlık probleminin en önemli çözümlerinden biri enerji depolamadır. Enerji depolanarak, enerji yönetiminde planlanan bir şekilde güç alışverişi yapılabilir ve böylece depo birimi enerji yönetiminde büyük bir esneklik sağlayarak ayrı bir aktif ve reaktif güç kaynağı gibi davranabilir. Bu depolama birimleri enerji sistemlerinin yanı sıra elektrikli araç teknolojisinde de kullanılmaktadır [2-4].

Hibrit enerji sistemleri, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak iki sınıfa ayrılırlar [5]. Şebekeden bağımsız enerji sistemleri, şebeke desteği olmadan çalışan sistemlerdir. Bağımsız sistemlerin uzak alanlarda sürekli elektrik sağlayabilmesi için, enerji ihtiyacını karşılayabilecek kapasiteye sahip depolama birimlerine sahip olması gerekir. Aksi halde, hibrit sistemden yeterli güç elde edilemeyince sistem enerjisiz kalır. Şebekeye bağlı sistemler ise bu durumda şebeke üzerinden enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Bu sistemler şebeke bağlantısı kesilerek şebekeden bağımsızda çalışabilirler.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerji sistemleri yarı iletkenler yardımıyla güneş ışınımını doğru akım elektriğine dönüştürerek güneşten elektrik enerjisi üretir. Dalga yoğun enerjiye sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dalga türbinleri, deniz seviyesinin sürekli değişmesinden dolayı meydana gelen hareketten yararlanarak bir türbini döndürmekte ve bunu kinetik enerjiden elektrik enerjisine çevirmektedir.

Fotovoltaik panelden elde edilen gerilim Doğru Akım şeklindedir. Güç elektroniği elemanları yardımıyla bu gerilim istenen gerilim seviyesine artırıp azaltılabilir ve istenen değerde sabitlenebilir. Belirli bir aralıkta sabitlenen bu gerilim evirici yardımıyla DA' dan Alternatif Akım (AA)' a çevrilir. Dalga türbininden elde edilen gerilim ise AA şeklindedir. Doğrultucu bu gerilimi DA' ya dönüştürür. Eviricide doğrultucunun zıttı olarak DA olan bir gerilimi AA gerilime dönüştürür.

Güneş enerjisi üretimi güneş ışınımı ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Dalga enerjisi de dalga boyu ve periyoduna bağlı olarak değişmektedir. Enerji yönetimi için üretimi etkileyen bu etkenlerin kestirimi önemli bir yere sahiptir. Gün öncesinden ya da daha önceden yapılan kestirim yardımıyla planlama yapılarak şebekede dengesizlik, enerji kaybı ve yetersizliği gibi problemlere karşı önlem alınabilir. Ayrıca güç elektroniği ekipmanları kullanılarak çeşitli algoritmalar ile enerji yönetimi yapılarak kesintisiz enerji sağlanabilir.

Mikroşebeke, şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağlı olarak işletilebilen, kendi enerji kaynakları, üretimleri ve yükleri olan belirli özerkliğe sahip küçük ölçekli enerji şebekeleridir [6]. Bu özerklik, kendi depolarını yönetme, kendi üretimlerini yönetme ve şebekeden çeşitli kriterlere göre fayda sağlayacak şekilde güç akışını yönetme ve kontrol etme olanağı sunmaktadır. Akıllı şebekelerde yönetim planlaması için enerjinin tüketim ve üretim kestirimi yapılmaktadır. Yapılan kestirimler zaman aralığına göre dakikalık, saatlik, haftalık veya aylık olabilmektedir. Güneş ışınımı kestirimi için regresyon analizi ve zaman serileri gibi geleneksel yöntemlerden; uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağı (YSA) gibi akıllı sistem örneklerine kadar çok farklı yöntemler kullanılmıştır [7-12].

Dalga kestirimi için de günümüze kadar farklı yapay sayısal modeller (Sverdrup, Munk ve Breitshneider (SMB) yöntemi, Wilson yöntemi, SPM yöntemi, Coastal Engineering Manual (CEM) yöntemi, JONSWAP yöntemi, Pierson-Moskowitz yöntemi, Donelan yöntemi) geliştirilmiştir [13]. Bunların kökeninde WAM dalga modeli [14] olduğu belirtilmektedir [15]. Diğer üçüncü nesil dalga modellerine örnek olarak halen WAM [14], Dalga İzleme III [16] ve SWAN [17], çoğu meteorolojik merkezde kullanılan ve iyi bilinen matematiksel modellerdir. Bu modeller dalga spektrumu yöntemini kullanır. Bu tür modeller kullanılırken, meteorolojik verilerin hazırlanması zordur ve daha güçlü işlemcilerle sahip bilgisayarlara ihtiyaç vardır [13].

Dalga boyu ve periyodu kestirimleri için gelişmiş sayısal modellerin mevcut olmadığı durumlarda ise rüzgar hızı, feç mesafesi ve rüzgar esme süresi gibi veriler kullanılarak kestirim yapılmaya çalışılmıştır. Bunun için, stokastik modeller olarak oto regresif kayan

ortalama (ARMA ve ARIMA) yöntemleri kullanılmıştır [18]. Ayrıca yapay sinir ağları (YSA) [19, 20] ve bulanık mantık [21, 22] ile dalga parametrelerinin kestirimi yapılabilmektedir. Nümerik dalga kestirim modellerinin doğruluğunu artırmak için optimum interpolasyon [23] ya da Kalman Filtresi [24] gibi yöntemler de denenmiştir.

Yapılan bu çalışmada Dalga Enerji Sistemi (DES), Fotovoltaik (FV) güneş paneli ve akü sisteminden oluşan şebeke bağlantılı hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanılan hibrit sistem için FV güneş panelleri ile DES' den elde edilen güçten yüklerin beslenmesini sağlayacak ve ortam koşullarının değiştiği durumda yüklerin enerjisiz kalmasını engelleyecek Neuro-Fuzzy tabanlı akıllı enerji yönetimi (AEY) önerilmiştir. Yönetim kolaylığı için yapay sinir ağları kullanılarak gün öncesinden 24 saatlik güneş ışınımı ve dalga boyu kestirimi yapılmıştır. Bu sistem Matlab/Simulink yazılımında oluşturulmuş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Mikro şebekelerde enerji yönetimi ile ilgili çalışmalar artarak devam etmektedir. Binalarda [25,26], elektrikli araçlarda, tek çeşit ya da birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının bir araya gelerek oluşturdukları elektrik sistemlerinde [27-39], enerjinin kesintisizliği ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla çeşitli kontrol ve yönetim algoritma önerileri sunulmuştur.

Shahgoshtasbi ve Jamshidi (2014) akıllı evlerde yeni bir akıllı enerji yönetim sistemi önermişlerdir [26]. Önerilen enerji yönetim sistemini, bulanık ve akıllı arama tablosu olmak üzere iki alt sistem olarak tasarlamışlardır. Bulanık alt sistem, akıllı arama tablosu alt sistemi için uygun çıktılar sağlayan üyelik işlevleri ile birlikte 15 bulanık kurala sahiptir. Akıllı arama tablosu, girişleri istenen çıktılara haritalandıran bir yeni ilişkisel sinir ağıdır ve bulanık alt sistem, dış sensörler ve geri bildirim çıktılarından gelen üç tür girdi almıştır. Sigmoid fonksiyon kullanılmıştır. Tavsiye edilen sistemde farklı senaryolarla en iyi enerji tüketimi senaryosu bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışma girdi olarak güneş ışınımı, akü doluluğu, fiyat, nem, sıcaklık ve kullanıcı davranışlarını kullanmaktadır.

Arcos-Aviles ve arkadaşları (2014) şebeke bağlantılı Elektro-Termal konut mikro şebekede akü enerji yönetimi için bulanık mantık (BM) kontrol stratejisi kullanmışlardır. Elektrik ve Termal mikro şebeke kontrolü için 2 tane 25 kuraldan oluşan BM tasarlamışlardır. Bu çalışma şebeke ile değiştirilen güç profilini geliştirmenin yanı sıra akü

şarj durumu ve depodaki suyun sıcaklığını korumayı temel almıştır. Mevcut çalışmayı simülasyon sonuçları ile kanıtlamışlardır. İki kısımdan oluşan bu çalışmada elektriksel kısmın girdisi olarak, elektriksel güç tüketim değeri ile yenilenebilir güç üretiminin arasındaki fark değerini ve akü doluluk oranını almıştır. Termal kısmı ise elektriksel güç tüketim değeri ile yenilenebilir güç üretiminin arasındaki fark değerinden akü tarafından çekilen güç çıkarılarak oluşturulan değer ve depo edilen suyun eski sıcaklığı kullanılmıştır. Ayrıca sistemi değerlendirmek için Güç Değişme Aralığı (Power Variation Range-PVR), Dinamik Akü Aralığı (Battery Dynamic Range -BDR) ve Güç Kalitesi (Power Quality -PQ) kriterleri dikkate alınmıştır [28].

Nassef ve arkadaşları (2015) DA üzerinde herhangi bir kalıcı depolama sistemi gerekmeksizin hibrit bir mikro şebeke üzerinden güç akışı yönetimi için proportional integral (PI) denetleyicili üç fazlı bir güç dönüştürücü (bi-directional converter) kullanılmasını önermiştir. Önerilen çalışma basit ve dinamik kontrol cihazlarını kullanarak herhangi bir kalıcı depolama elemanına ihtiyaç duyulmayacağını kanıtlamayı amaçlamıştır. Böylece yüksek maliyet, tasarım ve entegrasyon karmaşıklığı azaltılabileceği düşünülmüştür. Akü kullanımı olmadığı için hibrit şebeke güç sisteminde adalama söz konusu olmamıştır. Simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçlar ile tavsiye edilen sistemin verimliliği sağladığı görülmüştür [29].

Arcos-Aviles ve arkadaşları (2016) yenilenebilir enerji kaynakları (güneş ve rüzgâr) ve depolama birimi olan yerleşim şebekesine bağlı mikro şebeke için Bulanık Mantık Denetleyicili (BMD) bir Enerji Yönetim Sistemi (EYS) tasarımı sunmuştur. Tasarlanan BMD 25 kuraldan oluşmuştur. Sunulan bu çalışma ile akü gelişimi güvenli sınırlar içinde tutulurken şebeke güç profilindeki güç zirveleri ve dalgalanmaları en aza indirildiği simülasyon sonuçlarında gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile EYS şebeke gücündeki dalgalanmaları etkili bir şekilde azaltmak, akünün aşırı deşarj edilmesini önleyerek ömrünü uzatmak ve enerji depolama sistemi sayesinde daha iyi bir güç kalitesi sağlamak amaçlanmıştır. Yük gücü ile yenilenebilir kaynaklarda elde edilen güç arasındaki fark ve akü şarj durumu (SOC) alınarak giriş olarak kullanılmıştır [30].

Teo ve arkadaşları (2016) farklı ağ konumunda dağıtık olan FV/Rüzgâr kaynakları için BMD tabanlı Dağıtık Enerji Depolama Sistemi kontrol stratejisi önermiştir. Önerilen sistem gerçek verilerle test edilerek doğruluğu görülmüştür. Akıllı mikro şebeke için bulanık mantık temelli SOC seviye kontrol stratejisi tasarlayan bu çalışmada, bulanık mantık denetleyicinin girişi olarak SOC seviyesi, solar çıkış gerilimi ve DC barasının yük seviyesi

kullanılmıştır. Şarj akımı çıkış olarak elde edilmiştir. Akü ve güneş ışınım durumuna göre 9 kural oluşturulmuştur [31].

Mahmud ve arkadaşları (2017) artan FV miktarının, düşük voltajlı dağıtım şebekesine uygulanması sonucu oluşan gerilim dalgalanması problemini ele almıştır. ANFIS temelli FV arabirim evirici için yeni bir PID kontrol şeması ve solar FV sistem bağlantılı 3 fazlı şebekenin düzenlenmesi için ANFIS temelli kontrollü enerji depolama yönetim sistemi tavsiye edilmiştir. Önerilen ANFISPID ve ANFIS temelli enerji yönetim sistemi gerçek müşteri yük profil verileri, güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı verileri ile gerçek senaryolarda değerlendirilmiştir. Önerilen sistem ile hat kayıpları azaltılmış, daha uzun ömürlü ve daha verimli depolama sağlanmıştır [32].

Hasaranga ve arkadaşları (2017) BM tabanlı Batarya Enerji Depolama Sistemi (BEDS) kontrol şemasını ele almıştır ve DC bus gerilim kontrolü için bulanık kontrolörün uygunluğunu göstermiştir. Önerilen bu çalışma ile simülasyon sonucunda DC bara geriliminin tanımlanan aralıkta muhafaza edilebileceği görülmüştür. Akü kontrolü yapılan bu çalışmada SOC derin deşarj ve aşırı şarjdan kaçınmak için imalatçı tarafından önceden verilen güvenli bir aralıkta tutulmuştur. Bu sayede şarj döngülerinin sayısı azaltılarak pil ömrü artırılmıştır. Girdi olarak yenilenebilir enerji kaynağının ürettiği gerilim, yükün gerilimi ve akünün doluluk oranı kullanılmıştır [33].

Küçükler ve arkadaşları (2017) rüzgâr, FV ve aküden oluşan mikro şebeke sistemi için kontrol ve anahtarlama tabanlı enerji yönetim sistemi tavsiye etmiştir. Önerilen mikro şebeke yüksek güvenilirlik ve sürekli güç akışı sağlamıştır. Tavsiye edilen EYS şebeke bağlantılı veya şebeke olmadan kullanılabilir. Bu sistem maksimum yük olduğu saatlerde yük gücünü tıraş etmek için farklı kaynaklarla senkronize edilebilir. Örneğin; stratejiye göre, rüzgâr birincil güç kaynağı olarak kullanılırken, Fotovoltaik (FV) farklı hava koşullarında sistemin güvenilirliğini artırmak için eklenir. Akü modülü, fazla güç ve / veya talep sırasında yedekleme cihazı sırasında bir enerji depolama sistemi olarak kullanılır. Önerilen sistem, Pakistan'ın İslamabad kentine ait küçük bir yerin gerçek hava durumu ve yük koşullarının verilerini kullanmıştır. MATLAB simülasyon sonuçları, önerilen sistemin şebeke kararlılığı, güç paylaşımı, yük takibi ve güç kalitesi açısından faydalarını göstermiştir [34].

Roldán-Blay ve arkadaşları (2017) mikro ölçekli enerji merkezlerinden dağıtılan enerji kaynakları yönetimi için yeni bir optimizasyon algoritması tavsiye etmişlerdir. Her kaynaktan elde edilen enerji, fiyatlar ve beklenen yük talebine bağlı olarak minimum enerji

maliyetini elde etmek için optimal enerji akışlarını yöneten kendini yenileyen bir algoritma tasarlanmıştır. 8 farklı durum ile test edilmiştir [35].

De Santis ve arkadaşları (2017) yenilenebilir kaynakları ve enerji depolama sistemi içeren mikro şebekede güç akışı yönetimi görevleri için karar veren bir algoritma önermişlerdir. BM ile genetik algoritma optimizasyon yöntemi hibrit olarak kullanılmıştır. Bulanık Çıkarım Sisteminin kural tabanını ayarlamak için Hiyerarşik Genetik Algoritmanın (HGA) önerilmiştir. Bulanık-HGA algoritmasının, kural tabanı içindeki kuralların yalnızca %47'sini kullanarak klasik Bulanık-GA algoritmasına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Daha basit Bulanık Mantık Kontrolörü elde edilerek tüm kontrol sisteminin, düşük maliyetli gömülü elektronik cihazlarda gerçek zamanlı olarak uygulanabilmesi sağlanmıştır [36].

Chettibi ve arkadaşları (2018) FV kaynağı, rüzgar türbini, Solid Oxide Fuel Cell (SOFC), BESS ve iki eşdeğer DA ve AA yükünden oluşan bir şebekeye bağlı mikro şebeke incelemiştir. MPPT için çevrimiçi eğitilmiş yapay sinir ağı tabanlı kontrol sistemi tavsiye etmiştir. Şebekeden çekilen gücü azaltmak amacıyla BM temelli EYS tasarlamıştır. Farklı üretim ve tüketim koşulları kullanılarak test edilmiştir. Önerilen kontrol sisteminin yüksek dayanıklılık, verimlilik ve kendini uyarılma özelliğine sahip olduğu görülmüştür [37].

Literatürde mikro şebekelere BM temelli Çoklu Ajan Sistemleri (MAS) de uygulanmıştır [38, 39]. Kullanılan bu sistemde ajanlar yenilenebilir enerji kaynaklarından, akü den ve yük miktarı gibi değişkenlerin bilgisini almak için kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yapılacak olan üretimin kestirimi enerji yönetimi açısından büyük öneme sahiptir. FV sistemlerle elektrik üretimi yapılan bir bölgenin güneş ışımının kestirimi, DES' lerde yapılan üretim için dalga boyu ve periyot kestirimi yapılarak FV ve dalga sistemlerinden üretilen güç miktarı kestirilebilir. Literatürde birçok farklı yöntem ile güneş ışınım verisi [7-12], dalga boyu ve periyodu [41-45] kestirimi yapılmıştır.

Feng (2012) yaptığı çalışmada, benzer gün metodu ve otokorelasyon metodunu birleştirip kısa vadeli iyonosferik bir kestirimi yapmıştır [9]. Kış ve ekinokslarda, benzer gün metodu ile yapılan en iyi kestirim sonucunun bağıl hata yüzdesi 1.4, yaz ayları için daha iyi bir sonuç almış ve hata yüzde 0,4 (ortalama değer) oranında azalmıştır.

Ertuğrul vd. (2015), Türkiye'nin 53 farklı yerinden aldıkları uydu ve meteorolojik verileri iki katmanlı benzerlik (zaman, konum) verilerine indirgeyerek ve destek vektör makineleri kullanarak güneş ışınım değeri kestirimi yapmıştır [10]. RMS hata değerini uygulanan farklı metotlar sonucu en düşük 1,4972 olarak elde etmişlerdir.

Hocaoğlu ve Serttaş (2017) güneş ışınımı kestirimi için yeni bir Mycielski tabanlı model önermiştir. Tavsiye edilen modelde kaydedilen saatlik güneş ışınım verileri bir dizi olarak düşünülmüş ve son kayıt değerinden başlayarak, tarihte en benzer alt dizilimi bulunmaya çalışılmıştır [11]. Verilerin olasılık ilişkilerini modellemek için bir Markov zinciri modeli kullanılarak arama modeli güçlendirilmiştir. Bu çalışma herhangi bir parametre olmaksızın geçmiş verilere dayanılarak yapılan kestirimlerin doğruluğunun yüksek olabileceğini göstermiştir.

Jain ve arkadaşları (2011) rüzgârın hızı ve yönünden elde ettiği zaman serisi modeli ile yapay zekâ yöntemlerinden faydalanarak dalga kestirimi yapmaya çalışmıştır [40]. Kısa süre öncesinin kestiriminden yapılması uzun zaman öncesinin kestiriminden daha iyi olduğu söylemiştir. Dalga verisi kullanılarak yapılan kestirimler, dalga şamandıraları tarafından yapılan geçmiş dalga ölçümleri sürekli olarak kullanılabilir olduğu sürece yararlı demıştır. Dalga verisinin toplanması maliyetli olabileceği için gerçek gözlemlenen dalga verileri yerine dalga-rüzgar temelli simülasyondan yararlanılarak elde edilen dalga verileri kullanılmıştır. Tavsiye edilen zaman serisi modeli ile sayısal modeller karşılaştırılmış ve seçilen hata ölçütü bakımından iyi benzerlik göstermiştir.

Cornejo-Bueno ve arkadaşları (2016) dalga enerjisinin kullanımı iyileştirmek için önemli dalga boyu kestirim probleminde özellik seçimi için yeni bir yaklaşım olarak Gruplandırma Genetik Algoritması- Ekstrem Öğrenme Makinesi (GGA-ELM) yöntemini önermiştir [41]. Önerilen GGA-ELM gerçek veriler kullanılarak test edip Hs (dalga boyu) kestirimini iyileştirdiği ve algoritmanın sonucunun daha sonra Destek Vektör Regresyonu gibi alternatif regresyon yaklaşımlarına uygulanabileceği gösterilmiştir.

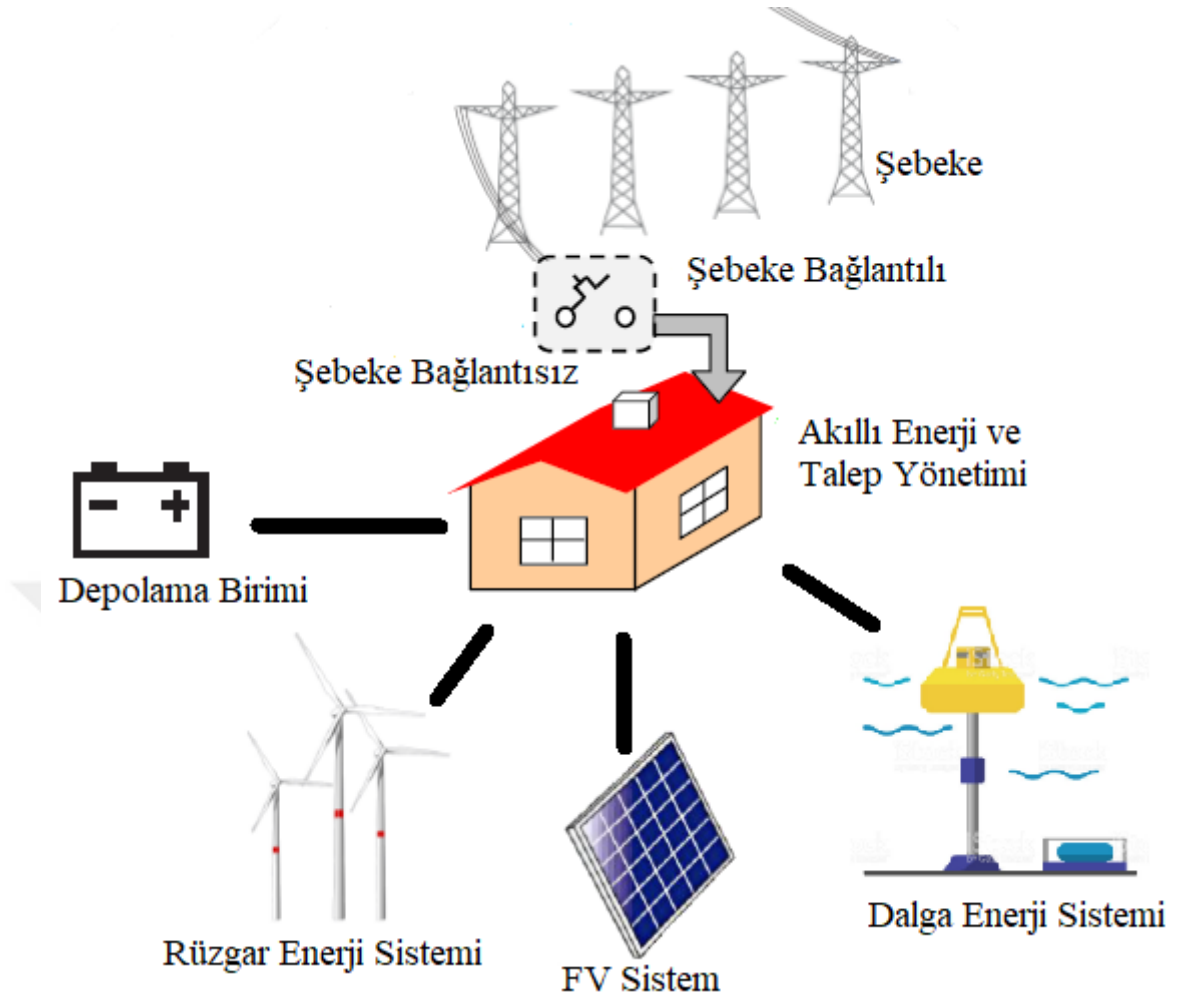
Londhe ve arkadaşları (2016) Hindistan kıyı şeridi boyunca dört istasyonda Indian National Centre for Ocean Information Services (INCOIS) tarafından yapılan sayısal dalga kestirimindeki hatayı azaltmayı amaçlamıştır [42]. Mevcut ve önceki zaman aşamalarındaki öngörülen ve gözlemlenen dalga yüksekliği arasındaki hata, YSA ile 24 saat önceden hatanın kestirimi için girdi olarak kullanılmıştır. Kullanılan veri 3' er saatlik aralıklarla alınmıştır. Kullanılacak zaman serisi girdisi Ortalama Karşılıklı Bilgi (Average Mutual Information (AMI)) yardımıyla bulunmuştur. Bu kestirimi yapılan hata daha sonra kestirim doğruluğunu geliştirmek için sayısal dalga kestirimine eklenmiş veya çıkarılmıştır. Kestirimi yapılan hata eklendiğinde veya çıkarıldığında sayısal model kestiriminden doğruluğu önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Gelişmiş dalga yüksekliğinin performansı, korelasyon katsayısı ve RMSE, MAE gibi diğer hata ölçütleri ile değerlendirilmiştir.

Literatürde yapılan bazı çalışmalara göre dalga kestirimi yapmak için geçmiş veriler sınırlı ise YSA ile zaman serisi analizinin Box-Jenkins stokastik modelinden daha iyi bir performansa sahip olduğu [43, 44] ve ayrıca YSA ' ların aşırı dalga koşullarını diğer mevcut yöntemlerden daha iyi kestirim yapabildiği bilgileri ile karşılaşılmıştır [13]. Ülkemizde ölçüm yapılan istasyonlarının yetersiz olması ve uzun dönemli verilerin bulunmamasından dolayı bu çalışmada dalga kestirimi için YSA yöntemi kullanılmıştır. Kestirimler yapılırken güneş ve dalga enerjisi potansiyelinin mevsimden mevsime değiştiği [45] bilindiğinden YSA ' da zaman serisi ile kestirim yapılmıştır.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak dalga ve güneş enerjisi hibrit kullanılmıştır. Ve YSA kullanılarak gün öncesinden 24 saatlik dalga ve güneşten elde edilecek enerji kestirimi sonucunda enerji talebi, enerji üretimi ve akü durumuna göre aküyü şarj eden, tüm kuralları kendi kendine uygulayarak sistemi öngörülü bir şekilde yönetebilen Neuro- Fuzzy tabanlı akıllı enerji yönetim algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem üzerinde gerçek veriler kullanılarak benzetim yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

1.3. Mikro Şebeke Yapıları

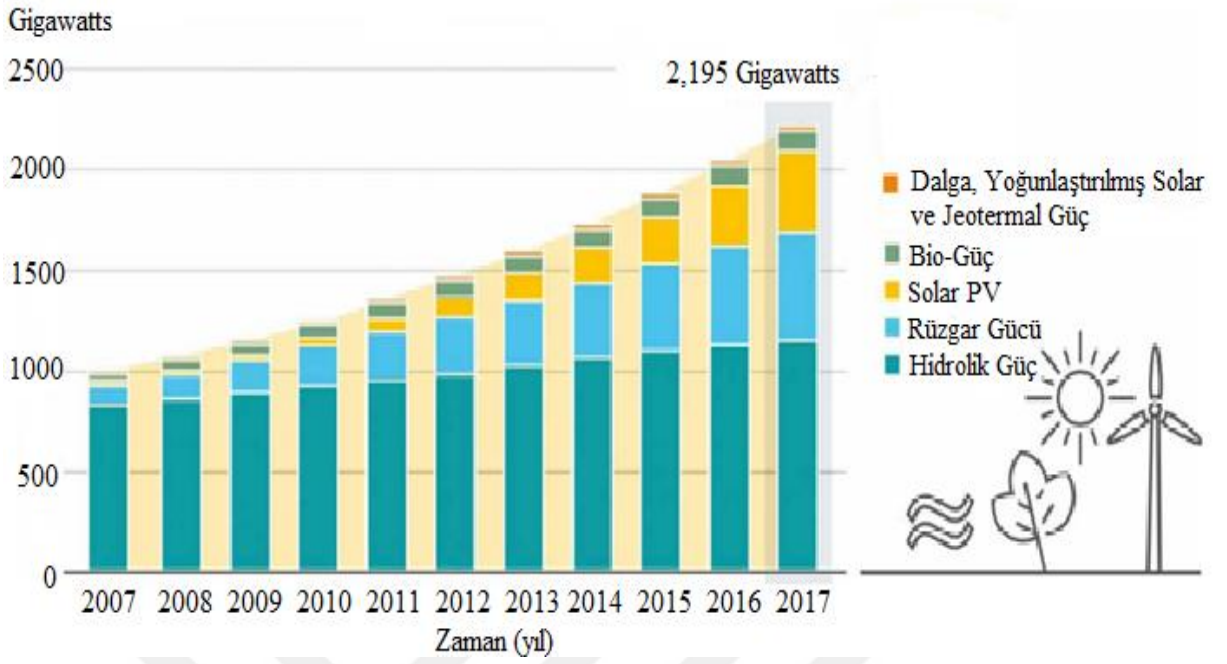
Kendi içerisinde üretim ve tüketim birimlerini akıllı sistemlerle kontrol edilebilen ve elektrik şebekesi ile bağlantısı koptuğunda da dengeli bir işletme sağlayabilen bölgesel dağıtım sistemlerine mikro şebeke denir. Mikro şebekelerin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak için kesintili ve değişken karakteristiğe sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen üretimin ve tüketimin yönetiminin yapıldığı şebeke sistemidir. Yerinde güç kaynağı (dağıtık üretim), bölgesel yükler ve anahtarlama devrelerinden oluşmaktadır. Mikro şebekelerde yapılan yönetim sayesinde şebeke dahil olan yeni enerji kaynaklarının şebeke ile entegrasyonu basitleşmiştir. Bu kaynakların değişkenlik ve kararsızlığından dolayı olan enerji kesintileri azaltılabilir, güç kalitesi artırılabilir ve enerji maliyetleri azaltılabilir. Şekil 1.1.' de verilen yapı mikro şebeke yapısına örnektir.



Şekil 1.1. Mikro şebeke yapısı

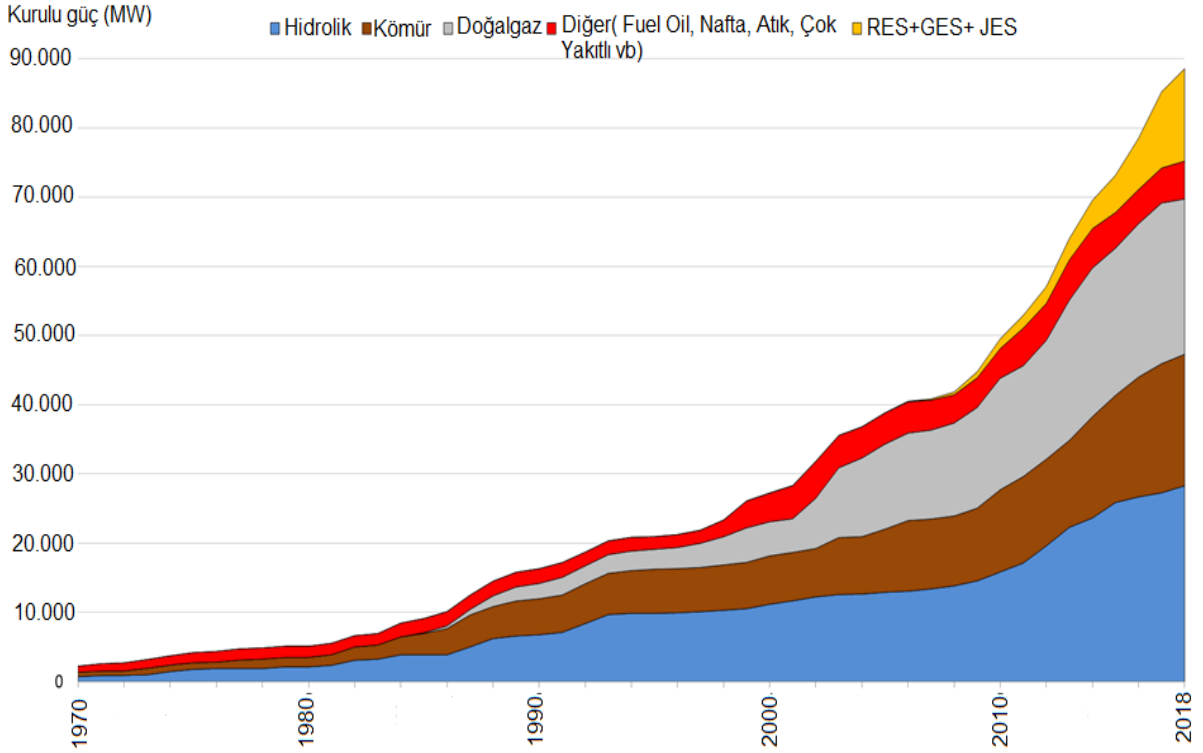
1.4. Dünya' da ve Türkiye' de Yenilenebilir Enerji

Dünya'da var olan fosil yakıtların az ve sınırlı olması diğer enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Özellikle de enerjiye ulaşımı olmayan insanlar düşünüldüğünde yenilenebilir enerji kaynakları daha da önem kazanmış ve enerji üretimindeki paylarını her geçen yıl artırmışlardır. Şekil 1.2'de yıllara göre küresel yenilenebilir güç kapasiteleri verilmiştir.



Şekil 1.2. Küresel yenilenebilir güç kapasiteleri [46].

Türkiye 2009 yılında kurulan Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın kurucu üyelerinin arasında yer alarak yenilenebilir enerji konusuna verdiği önemi göstermiştir. Şekil 1.3' de Türkiye' de elektrik enerjisi kurulu gücünün 1970-2018 yılları arasındaki değişimi verilmiştir.



Şekil 1.3. Türkiye’ de elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi (1970-2018) [47].

1.5. Güneş Enerjisi

Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları arasında her geçen yıl kapasitesini en fazla artıran enerji kaynağı güneştir [46]. Güneş, dünyaya 1 saat içinde insanlar tarafından tüm yıl boyunca tüketilen enerjiden daha fazla enerji sağlamaktadır [48]. Bu nedenle yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinden olan FV sistemler ile güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretimi sağlanmaktadır.

1.5.1. FV Güneş Pilleri

Güneşten gelen fotonların FV güneş pilinin üzerinde yaptığı fotovoltaik etki sonucu elektrik üretilir. FV hücrelerin her biri yaklaşık 0,5V üretir ve solar PV sistemin en küçük birimidir. Bu hücrelerden oluşan modüller seri veya paralel bağlanarak panelleri oluşturur. Güneş panelleri temel olarak verimlilik ve maliyet açısından monokristal, polikristal ve ince film güneş panelleri olmak üzere üçe ayrılırlar. Eğer yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç varsa güneş panelleri seri veya paralel bağlanarak FV dizini oluşturulur. Elde edilen bu FV dizinin

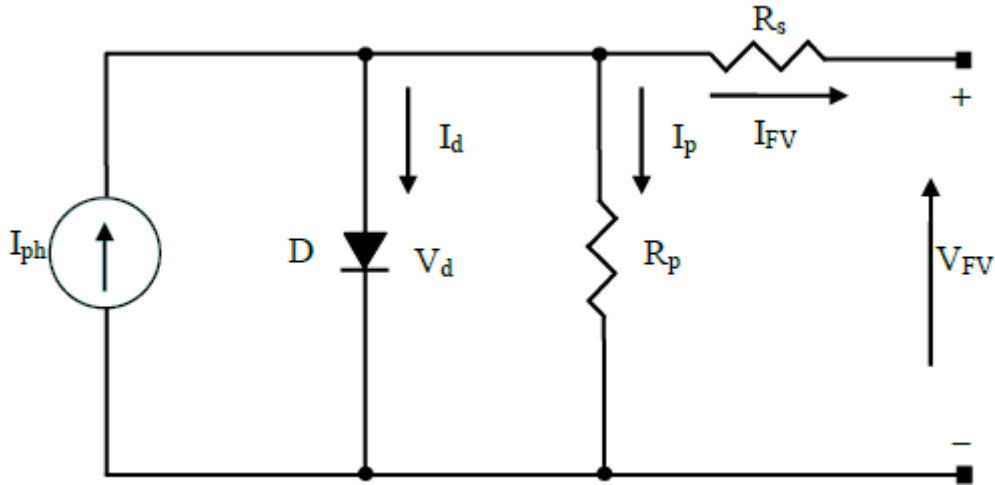
akım, gerilim ve gücü sırasıyla (1.1), (1.2) ve (1.3)' deki eşitliklerden elde edilir. Bu eşitlikteki N_p paralel bağlı kol sayısı, N_s seri bağlı kol sayısıdır. Akım değerini artırmak için N_p sayısını, gerilim değerini artırmak için N_s değerini artırmak gerekir. FV güneş pilinin akım-gerilim karakteristiği ve elde edilebilecek güç için en çok tek diyot modeli kullanılmaktadır. Modele ait eş değer devre Şekil 1.4.' te verilmiştir. Akım- gerilim ilişkisi (1.4) 'de kullanılan doğrusal olmayan matematiksel üssel eşitlikler kullanılarak ifade edilebilir. Gerilim ve akım arasındaki ideal ilişki (1.4)' deki eşitlikteki gibidir.

$$I_{panel} = I_{pil} \times N_p \quad (1.1)$$

$$V_{panel} = V_{pil} \times N_s \quad (1.2)$$

$$P_{panel} = I_{panel} \times V_{panel} \quad (1.3)$$

$$I_{FV} = I_{ph} - I_d - I_p = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{qV_d}{KFT_{FV}} \right) - 1 \right] - \frac{V_d}{R_p} \quad (1.4)$$



Şekil 1.4. Tek diyotlu FV güneş pilinin eş değer devresi

Bu eşitlikte,

I_o : Ters sızıntı akımı (A),

I_d : Birleşimdeki (jonksiyon bölgesindeki) diyot akımı (A),

I_p : Paralel kol direncinden geçen akım (A),

q : Elektron yükü ($1,6 \cdot 10^{-19}$ c.),

K : Boltzman sabiti ($1,38 \cdot 10^{-23}$ j/K°),

T_{FV} : Hücrenin mutlak sıcaklığı (K°),

R_P : Paralel kol direnci (ohm),

R_S : Seri direnç (ohm),

F_{FV} : Hücrenin ideal faktörü,

I_{FV} : FV panel akımı (A),

V_d : Diyot gerilimi (V),

V_{FV} : FV panel çıkış gerilimi (V) olarak ifade edilmektedir.

I_{ph} , ışık fotonları ile üretilen akım, FV güneş hücresi üzerine düşen ışınım ve hücre sıcaklığına bağlı olarak eşitlik (1.5)'deki gibi değişmektedir.

$$I_{ph} = [\mu_{sc}(T_c - T_r) + I_{sc}]S \quad (1.5)$$

Yukarıdaki eşitlikte,

μ_{sc} : hücrenin kısa devre akımındaki sıcaklık katsayısı,

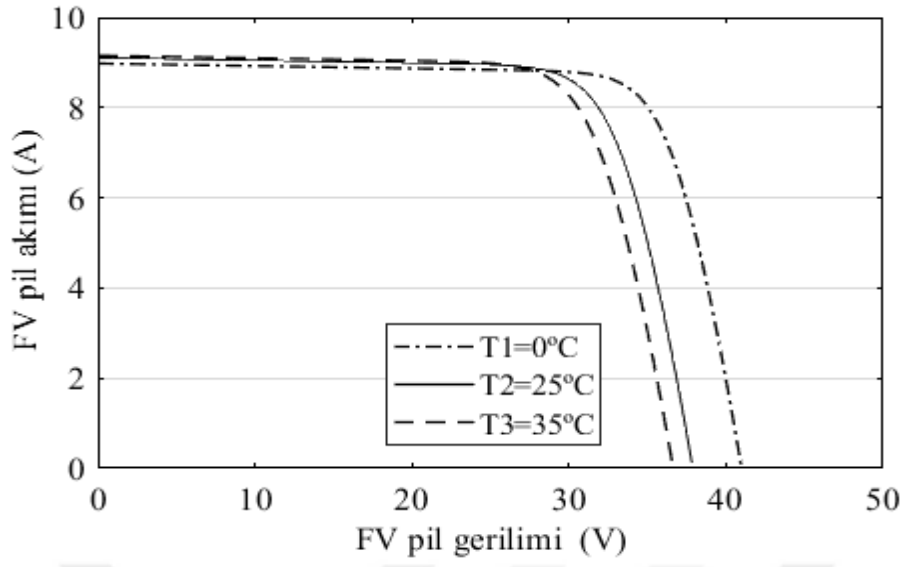
T_r : hücrenin referans sıcaklığı,

I_{sc} : hücrenin kısa devre akımı (1 kW/m² ve 25°C'deki),

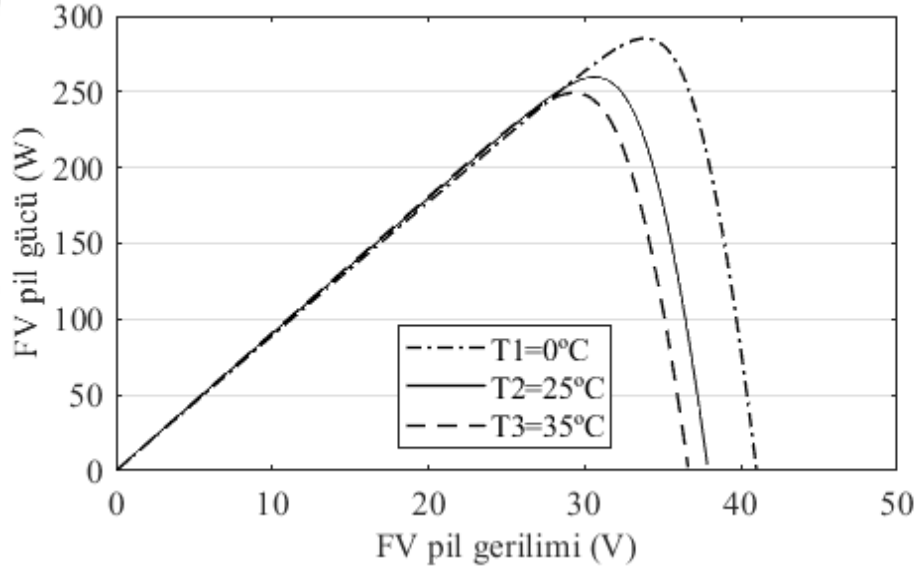
S: W/m² cinsinden güneş ışınımıdır.

1.5.2. FV Güneş Pili Karakteristiği

FV güneş pillerinden elde edilen akım ve gerilim değerleri güneş ışınımı ve sıcaklık ile değişmektedir. FV güneş pilinden elde edilen akım ve gerilim güneş ışınımı arttıkça artar. Sıcaklık arttıkça ise akım ve gerilim azalır yani elde edilecek gücü azaltır. Bu etkiler Şekil 1.5. ve Şekil 1.6.' de görülmektedir.

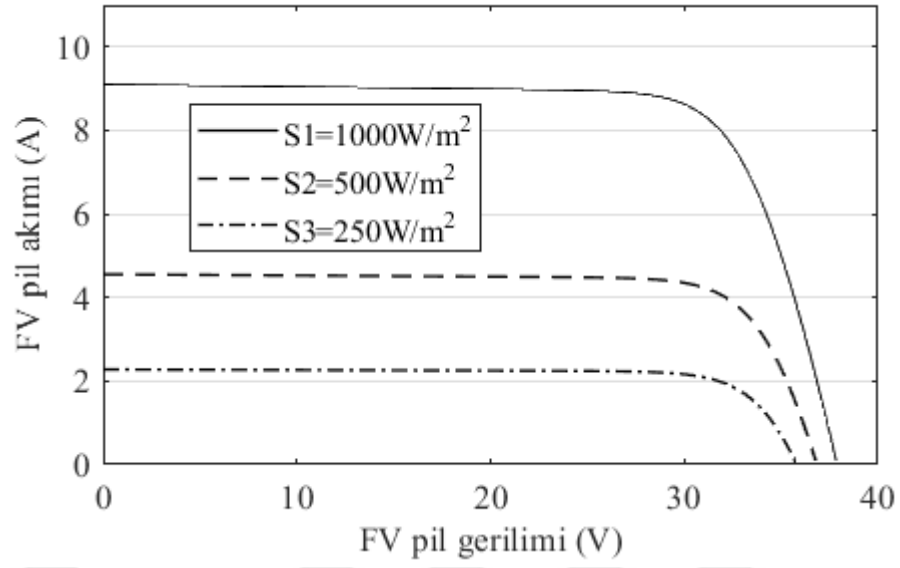


(a)

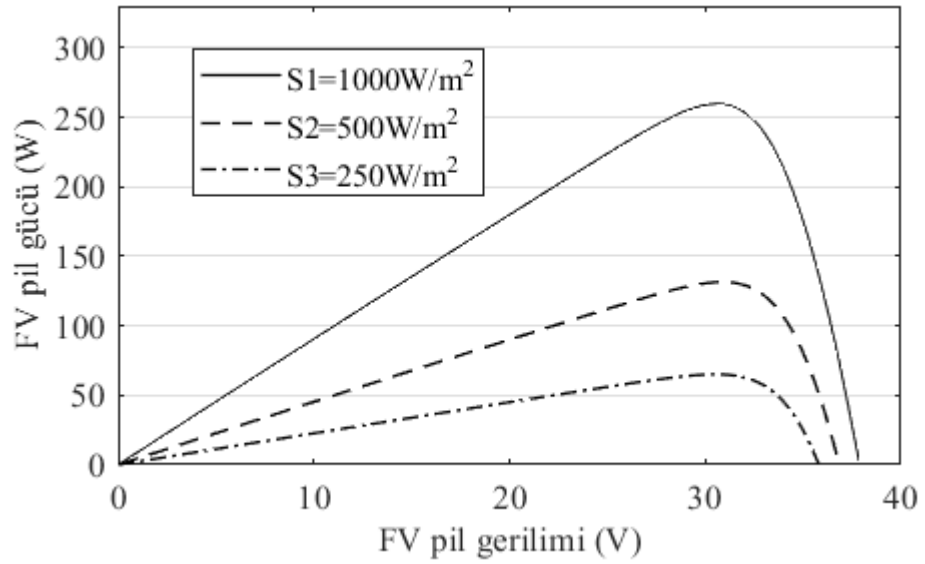


(b)

Şekil 1.5. Farklı sıcaklık değerlerinde FV güneş pili (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim grafikleri



(a)



(b)

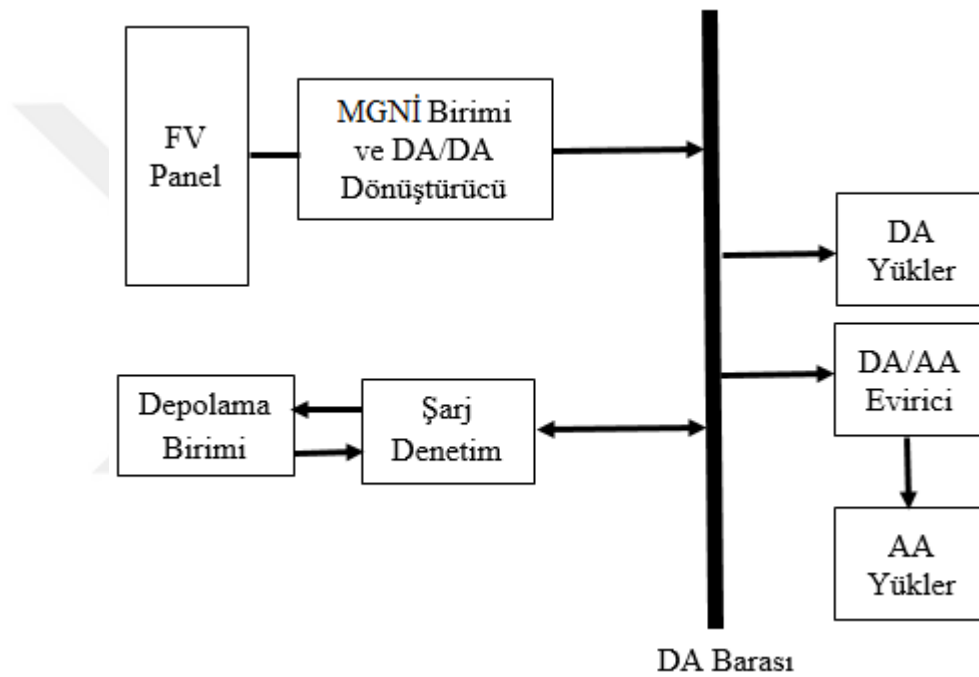
Şekil 1.6. Farklı güneş ışınım değerlerinde FV güneş pili (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim grafikleri

1.5.3. Fotovoltaik Sistemler

Güneş paneli ve DA/AA evirici olmak üzere iki temel bileşeni vardır. FV sistemler şebeke bağlantısız ve şebeke bağlantılı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ayrıca bu FV sistemler başka yenilenebilir enerji kaynaklarla hibrit olarakta kullanılabilirler.

1.5.3.1. Şebeke Bağlantısız FV Sistemler

Şebekeden uzak konumlarda genellikle tercih edilirler. Yükü tek başına besleyebilirler fakat çevre koşullarından dolayı besleyememesi durumu göz önüne alınarak sistemde depolama birimleri de kullanılabilir. Şekil 1.7. 'da depolama birimine, MGNI ve DA/DA dönüştürücü birimine, AA ve DA yüklerden oluşan şebekeden bağımsız FV sistem verilmiştir.

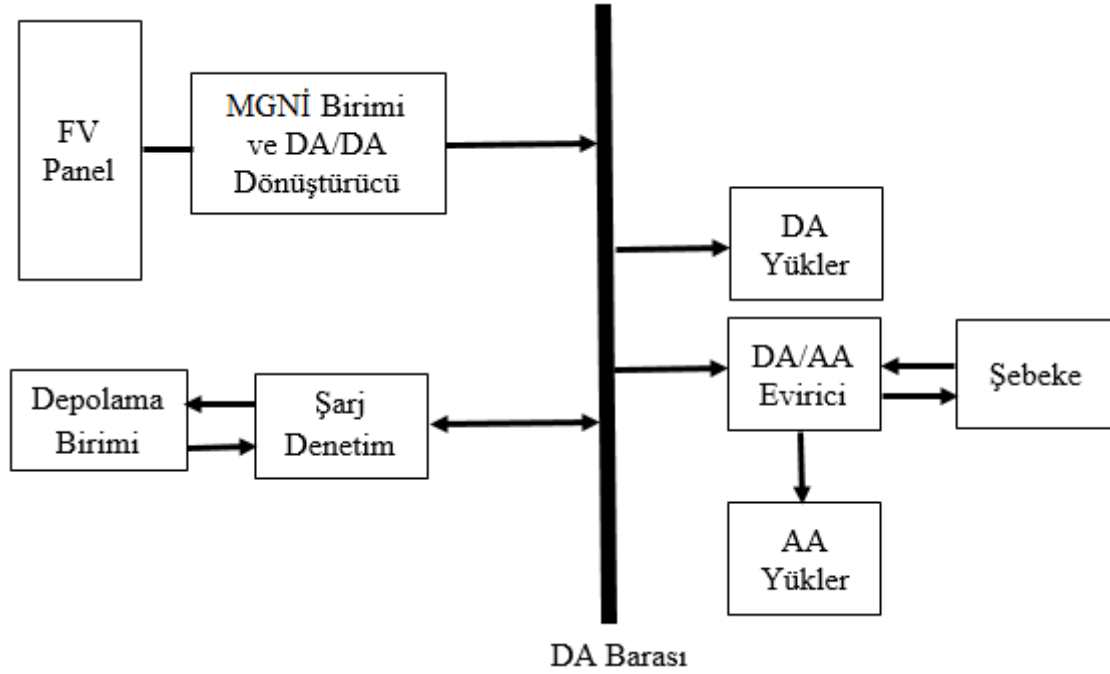


Şekil 1.7. Şebeke bağlantısız FV sistem

1.5.3.2. Şebeke Bağlantılı FV Sistemler

Günümüzde en yaygın kullanılan FV enerji üretim sistemleridir. FV enerji üretim sistemleri değişken ve kesintili bir yapıya sahip olduğu için bağlandıkları şebekede güç kalitesine olumsuz etki yaparlar. FV enerji üretim sistemindeki güç çıkışında hava şartları gibi doğal şartlardan etkilenerek büyük ve ani değişim görülebilir. Ayrıca FV sistemlerin üretim süreleri güneşin doğuşu ile batışı arasındaki süredir ve geri kalan sürede enerji üretimi yapılamamaktadır. Bu gibi durumlar şebeke bağlantılı FV sistemler depolama birimi ve depolama biriminin yetersiz kalması halinden şebeke destekli olarak çalışırlar. Şebekeye

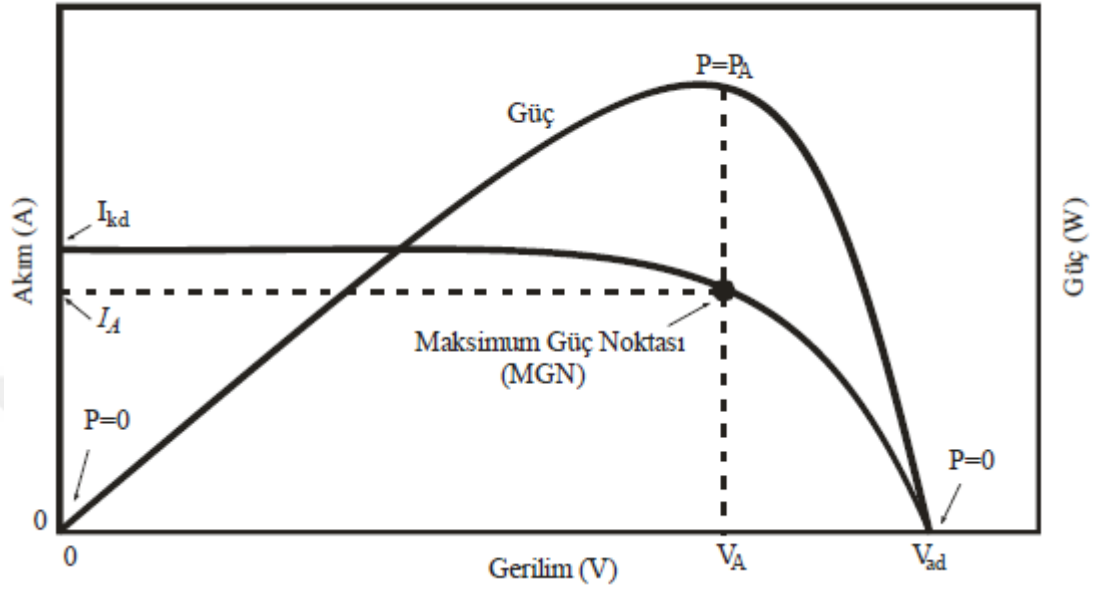
bağlanırken senkronizasyon için faz kilitli çevrim (FKÇ) methodu kullanılır. Bu sistemlerin genel yapısı Şekil 1.8. 'de verilmiştir.



1.5.4. Maksimum Güç Noktası Takibi

FV sistemlerde panelin üretebileceği maksimum güç sıcaklık ve güneş ışınımına bağlı olarak değişmektedir. FV panellerin daha verimli olarak çalıştırılabilmeleri için maksimum gücün alındığı noktanın bilinmesi gerekmektedir. Şekil 1.9. 'da görüldüğü gibi FV güneş pilinin kısa devre akımı (I_{kd}) ya da açık devre (V_{ad}) geriliminin maksimum olduğu yerlerde güç maksimum olarak elde edilmez. Sabit ışınım ve sabit sıcaklıkta maksimum güce ulaşılan tek bir nokta mevcuttur. Maksimum güç noktası takip sistemleri kullanılarak bu noktada çalışma sağlanabilir ve böylece panelin verimliliği artırılabilir. Maksimum güç noktasının bulunması için literatürde birçok çalışma yapılmıştır ve günümüzde de bu çalışmalar devam etmektedir. Tepe tırmanma tekniği, değiştir ve gözle metodu, sabit gerilim metodu, sabit akım metodu, artan iletkenlik metodu ve eğri uydurma tekniği bu çalışmada birkaç tane yazılımsal örnektir. Burada kullanılan yöntemlere ek olarak bulanık yapay sinir ağları ve

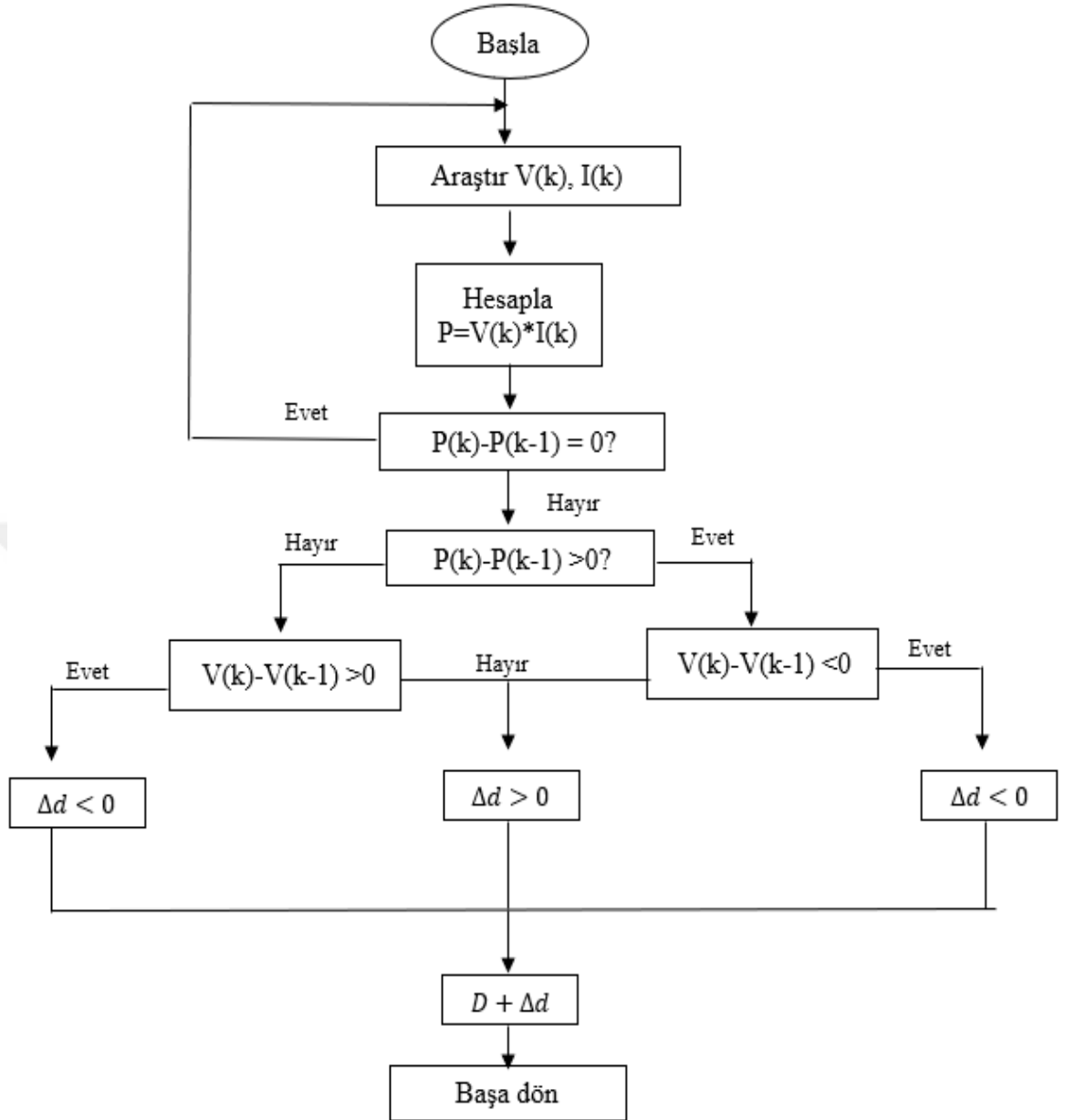
mantık denetleyiciler gibi gelişmiş kontrol tekniklerinin bu tekniklere yardımcı olarak kullanılmaktadırlar [1].



Şekil 1.9. FV güneş pili gerilim-akım ve gerilim-güç eğrileri

1.5.4.1. Değiştir-Gözle(D&G) Algoritması

Değiştir-gözle algoritması basit yapısı, kontrol edilebilirlik ve yüksek verimlilik özellikleri sayesinde pratikte sık olarak kullanılmaktadır. Kontrol parametresi olarak gerilim, akım veya dönüştürücünün doluluk-boşluk oranı kullanılır. Uygulamalarda en çok kullanılan parametre gerilimdir. FV sistemin maksimum güç üreteceği gerilim değeri tespit edilir ve DA/DA çeviricisinin anahtarına bu gerilim değerini sağlayacak tetikleme sinyali uygulanarak istenen gerilim değeri elde edilir. Bu yöntemde bir önceki ölçülen gerilim ve akım değerinden elde edilen güç ile mevcut zamanda ölçülen gerilim ve akım değerinden elde edilen güç değeri karşılaştırılır ve arada fark olup olmadığına bakılır. Arada fark yoksa doluluk-boşluk oranında değişim yapılmaz. Fark varsa gerilim değerleri karşılaştırılır ve doluluk-boşluk değeri duruma göre değiştirilir. Şekil 1.10.' da algoritmaya ait akış diyagramı verilmiştir [49].



Şekil 1.10. Değiştir-gözle algoritması akış diyagramı [49].

1.6. Dalga Enerjisi

Güneş dünya yüzeyini farklı sıcaklıklarda ısıtarak rüzgarı oluşturmaktadır. Rüzgar da deniz yüzeyinde eserek dalgayı meydana getirir. Yeryüzünün %75' inin okyanuslar ile kaplı olduğu düşünülürse yenilenebilir enerji bakımından en büyük potansiyele sahip olan enerji kaynağı dalga enerjisidir. Dalga enerjisi büyük bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra çoğu yenilenebilir enerji kaynağından daha güvenilirdir çünkü belirli bir sahadaki dalga enerjisi

zamanın %90'ında üretilirken, güneş ve rüzgâr enerjisi zamanın sadece %20-30' unda üretilir [50]. Dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında teknolojisinin yeni olmasına rağmen birçok ülke tarafından ilgi görmektedir. Deniz dalgaları yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olarak avantajlı bir durumda olduğundan çoğu araştırmacı tarafından araştırılıp birçok dalga enerjisi dönüştürücüsü tasarlanmış ve model boyutlarında denenmiştir [51]. Avrupa 1973 yılındaki petrol fiyatlarındaki aşırı artıştan dolayı dalga enerjisine yönelmiştir. Avrupa genelinde 320 GW'lık bir dalga enerjisi kaynağı mevcuttur [52]. Kuzey ve Güney yarım kürenin 40°-60° enlemleri arasında kalan alan dalga enerjisi bakımından en zengin alandır. En yüksek yıllık ortalama potansiyele sahip alan ise Güney yarım küre tarafıdır [53]. Norveç, Portekiz, İngiltere, Avustralya, Hindistan, Japonya ve Kore'de dalga enerjisi üzerine birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır [54].

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz için de dalga enerjisi önemli bir yere sahiptir. Türkiye kıyılarının beşte birinden sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyelinin, 18,5 milyar kWh olduğu tahmin edildiği [55] göz önüne alınırsa dalga enerjisinin ne kadar önemli olduğu daha iyi görülebilir. Ülkemizde İstanbul boğazının kuzeyi ve Karadeniz'in batısındaki bölgeler için dalga enerji üretimi bakımından en uygun yerler olduğu belirtilmiş fakat herhangi bir doğrulama yapılmamıştır [56]. Türkiye'de gerçek dalga enerji üretimi ile ilgili olarak çalışmalar mevcuttur. Bunlardan bazıları Sakarya'nın Karasu ilçesindeki üretim tesisi kurulumu [57], Zonguldak'ta pilot tesis kurulumu [58] ve Karadeniz Teknik Üniversitesi tarafından Doğu Karadeniz Projesi Bölge Kalkınma Başkanlığı iş birliği kapsamında Kalkınma Bakanlığı desteği ile dalga enerjisinden elektrik üretimidir [59]. Türkiye kıyılarında yer alan belirli istasyonlardaki rüzgâr verilerinin kullanılmasıyla yapılan ölçümlere göre dalgaların tahmini ortalama enerjileri Şekil 1'de verilmiştir [60].



Şekil 1.11. Dalga kestirimlerinin yapıldığı yerlerin yıllık ortalama enerjileri (kWh /m.yıl) [60].

1.6.1. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri

Dalga enerjisinin belirlenmesinde enerji periyodu (T_e) ve belirgin dalga yüksekliği (H_s) önemli değişkenlerdir. Bu iki değişken yardımıyla deniz dalga karakteristiği genel olarak düzenli ve düzensiz olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Düzenli deniz dalgası sabit bir periyot ve yüksekliğe sahip bir sinüs dalgası gibidir. Düzensiz deniz dalgası ise farklı periyot ve yüksekliğe sahip birden çok deniz dalgasının birleşiminden oluşur. Gerçek deniz dalgaları birçok basit dalganın birleşiminden oluşur yani düzensiz ve rastgele bir karakteristik yapıya sahiptir. Dalga dönüştürücüleri dalga enerjisinin değeri göz önünde bulundurularak tasarlanır yani deniz dalgasının ortalama dalga periyodu ve dalga yüksekliğinin bilinmesi gerekir. Deniz dalgalarını modellemek için de dalga spektrumları, deneysel kestirim yöntemleri ve çeşitli analiz yöntemleri mevcuttur. Dalga spektrumu bir veya daha fazla parametreye bağlı olarak dalga enerjisini çeşitli frekans, genlik ve fazda düzgün kosinüs ve sinüs dalgaları olarak bileşenlerine ayırır [61]. En çok kullanılan dalga spektrum modelleri Pierson Moskowitz ve JONSWAP (Joint North Sea Wave Observation Project)' tır [62]. Dalga enerji modellerinden elde edilen ağırlıklı ortalama periyoda karşı gelen enerji periyodu (T_e) ve en büyük dalga yüksekliklerinin ortalaması olan belirgin dalga yüksekliği (H_s) verileri (1.6)' daki dalga gücü eşitliğinde kullanılmaktadır [63].

$$P(kW/m) = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e \quad (1.6)$$

Bu eşitlikte,

ρ : su yoğunluğunu (ρ (Karadeniz): 1015 kg/m³ [64])

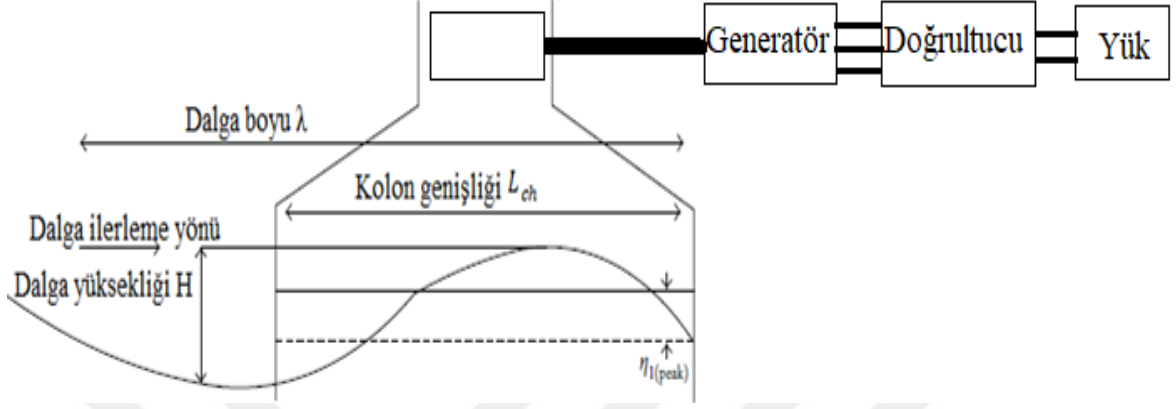
g : yer çekimi ivmesi' dir.

Dalga enerjisi ile ilgili ilk patent 1799 yılında alınmıştır [65]. Dalga enerjisi dönüştürücüleri dalgadan meydana gelen hareket enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bulunduğu konuma göre kıyı tipi, yakın kıyı tipi ve açık deniz tipi olarak üçe ayrılır. Kıyı tipi dönüştürücüler kıyı şeridine yani sığ sulara yerleştirilmektedir. Bu dönüştürücüler için uygun kıyı alanları kısıtlıdır ve diğer dönüştürücü tiplerine kıyasla dalga gücünden daha az yararlanırlar. Yakın kıyı tipi dönüştürücüler kıyıya birkaç yüz metre mesafeye ve 10-25 m derinlikte yerleştirilirler. Açık deniz tipi dönüştürücüler 40 m'den daha derin sulara yerleştirilirler. Açık sularda dalga genliği ve periyodu daha fazla olduğu için dalga gücünden en çok yararlanan sistemlerdir. Daha dayanıklı tasarımları gerekir ve bakımları pahalıdır. Enerjinin kıyıya taşınması için uzun ve dayanıklı deniz kablolarına ihtiyaç duyulur [66]. Salınlı Su Kolonu (Oscillating Water Column (OWC)), Pendular, Daralan Kanal (Tapchan) ve SeaDog kıyı tipi dönüştürücülere; Osprey, Oceanlinx, Dalga Paleti ve Linear Jeneratör yakın kıyı tipi dönüştürücülere; Pelamis, Wave Dragon, Arşimet Dalga Salınımı, Büyük Balina (Might Whale), Power Buoy ve Salter Ördeği açık deniz tipi dönüştürücülere örnektir. Bu tez kapsamında kullanılan dönüştürücü Salınlı Su Kolonu (SSK)' dur. Salınlı su kolonuna LIMPET adı verilen karaya monte edilen dalga enerji dönüştürücüsü örnek olarak verilebilir [67].

1.6.1.1. Salınlı Su Kolonu

Mevcut dönüştürücü türbin ve su kolonu (chamber) olmak üzere iki basit bileşenden oluşmaktadır. Bu sistemde kolon adı verilen yapıların alt tarafında deniz suyu üst tarafında ise hava bulunur. Dalga hareketi üstte yer alan havayı sıkıştırır ve kolon içerisinde sıkışan hava türbinini döndürerek enerji üretimini sağlamaktadır [68]. Mevcut türbin (örneğin geniş kolonlarda Wells türbin ya da küçük kolonlarda Savonius türbin) çift yönlüdür yani dalganın

kolona girişinde ve çıkışında enerji üretimine katkıda bulunur. Şekil 1.12.' de SSK sisteminin şeması verilmiştir [69].



Şekil 1.12. SSK sistem şeması [69].

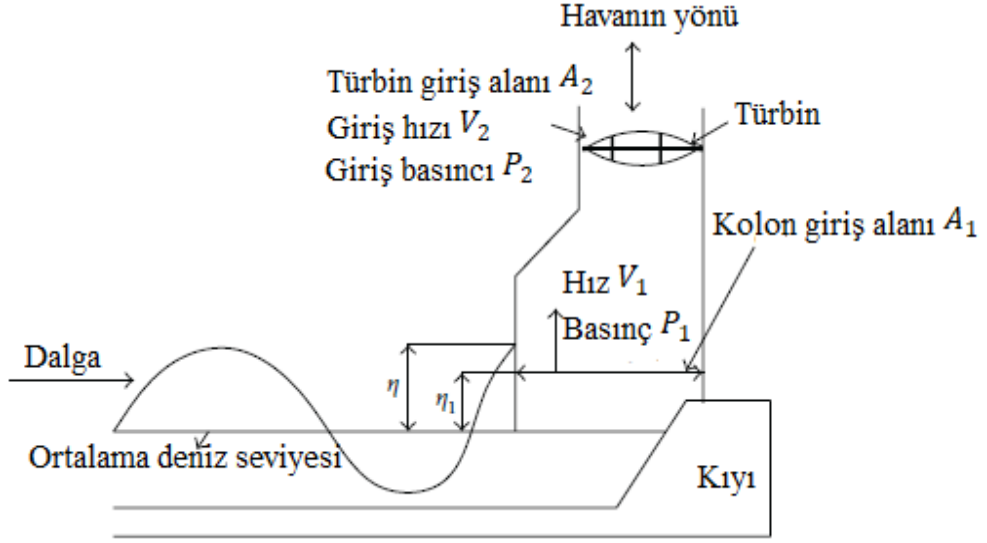
SSK dalga enerjisi çalışma prensibi rüzgar enerji sistemleri gibidir. Dalga türbininden hava basıncı (P_{pt}) ve hava hızı (P_a) olmak üzere iki güç elde edilir. Toplam giriş gücü eşitlik (1.7)' deki gibi tanımlanır. Sıkışan havanın akış hızından elde edilen güç eşitlik (1.8)' deki gibidir. Türbinden elde edilen güç ise (1.9)' daki gibi giriş gücünün türbin güç sabiti (C_p) ile çarpımıdır.

$$P_{in} = P_a + P_{pt} \quad (1.7)$$

$$P_a = \frac{\rho A_2 V_2^3}{2} \quad (1.8)$$

$$P_{toplama} = (P_a + P_{pt}) \times C_p \quad (1.9)$$

Şekil 1.13' de eşitlik (1.10)' daki parametreler gösterilmiştir. (1.10)' da hava basıncından elde edilen gücün eşitliği verilmiştir. Dalga enerjisi eldesine ait diğer eşitlikler için [69] ve [70] numaralı kaynaklardan faydalanılmıştır.



Şekil 1.13. SSK sistem parametreleri [70].

$$P_{pt} = \left[-\frac{A_1}{A_2} \frac{H_{in}^2}{\theta^2} \omega^2 \{2 \cos \omega t^2 - 1\} \times \sin^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) + \frac{Q}{A_2} (V_1 - V_2) \right] \times Q \times \rho \quad (1.10)$$

Bu eşitlikte,

A_1 : Kolon giriş alanı,

A_2 : Türbin giriş alanı,

V_1 : Kolon giriş hızı,

V_2 : Türbin giriş hızı,

Q : Hava akış oranı,

H : Dalga yüksekliği,

ω : Açısal hız' dır.

1.6.2. Generatör Modeli

Mekanik gücü alternatif akım elektrik gücüne çeviren makinalara generatör adı verilir. Dalga türbinlerinde generatör olarak senkron generatör, asenkron generatör ve DA generatörü kullanılmaktadır.

1.6.2.1. Senkron Generatör

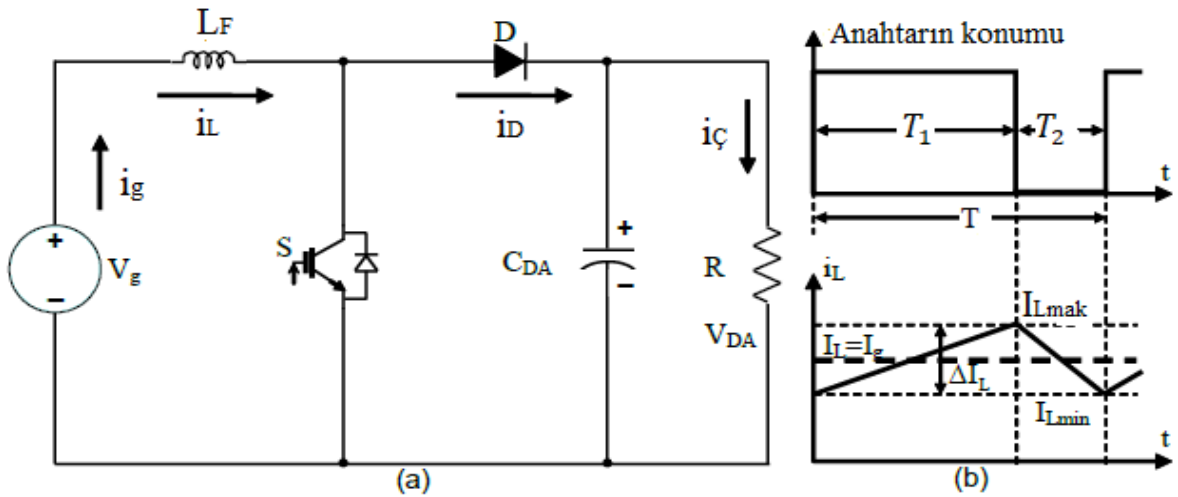
Senkron generatörler, aynı büyüklükteki asenkron generatörlere göre daha pahalı ve mekanik yapıları daha karmaşıktır. Senkron generatör çeşitlerinden kalıcı mıknatıslı senkron generatörlerde kalıcı mıknatıs yapısı nedeni ile klasik yapılardaki manyetik alan oluşturmak için kullanılan DA uyarımına gerek yoktur. Kalıcı mıknatıslı senkron generatörlerin karbon fırça tertibatının olmaması nedeniyle bakım maliyetleri düşüktür [71]. Farklı hız seviyelerinde güç üretebilmektedirler. Dişli kutusuna ihtiyaç duyulmadan generatör hızının denetimi yapılabilir. Bu çalışma da dalganın mekanik gücünden elektrik eldesi için kalıcı mıknatıslı senkron generatör kullanılmıştır.

1.7. DA/DA Dönüştürücüler

DA/DA dönüştürücüler değişken bir DA geriliminden istenen sabit bir DA gerilimi üretirler. Dönüştürücü devresi yarı iletkenli bir diyot, bir bobin, bir kapasitör ve yarı iletken güç elamanından oluşur. Anahtarlama eleman seçimi frekansa göre yapılır ve girişe uygulanan gerilim anahtarlanarak istenen gerilim değerine sabitlenir [72]. FV panelden alınan gerilim duruma göre dönüştürücü çıkışında anahtarlama yardımıyla artırılarak ya da azaltılarak sabitlenir.

1.7.1. DA/DA Artıran Dönüştürücü

Artıran dönüştürücü, değişken ya da sabit düşük DA giriş gerilimini çıkışta istenilen gerilim seviyesine yükselterek sabit bir DA çıkış gerilimi elde etmek için kullanılmaktadır. Yarı iletken anahtar, diyot, bobin ve kondansatör elemanlarından oluşur. Dönüştürücü yapısı Şekil 1.14' de verilmiştir.



Şekil 1.14. DA/DA artıran dönüştürücü yapısı [73].

DA/DA artıran dönüştürücü yapısındaki yarı iletken anahtar T_1 süresince iletimdedir. Girişteki kaynak tarafından endüktans beslenir, endüktanstan geçen akım doğrusal olarak artar ve endüktansın enerji seviyesi yükselir. Bu süre boyunca yük kondansatör tarafından beslenir. Yarı iletken anahtar pasif hale geçince, enerjili olan endüktansın ürettiği emk ile D diyodu iletime geçer. T_1 süresi boyunca, diyot iletimdedir, giriş kaynağı ve endüktansta biriken enerjiyle yük beslenir, endüktanstan geçen akım ve endüktansın enerji seviyesi azalır. Artıran dönüştürücü yapısına ait matematiksel eşitlikler (1.11-1.14)'deki gibidir [72].

$$V_C = \frac{1}{1-D} V_g \quad (1.11)$$

$$D = \frac{T_1}{T_2} \quad (1.12)$$

$$I_g = \frac{1}{1-D} I_C \quad (1.13)$$

$$\Delta I_L = D(1-D) \frac{V_C}{f_s \times L} \quad (1.14)$$

Bu eşitliklerde,

D : Doluluk oranı,

f_s : Anahtarlama frekansı, (kHz)

T_1 : S anahtar iletim süresi, (μ s)

T_2 : S anahtar kesim süresi, (μ s)

T : Çalışma periyodu, (μs)

V_g : DA giriş gerilimi, (V)

V_{DA} : DA çıkış gerilimi ($V_{\check{c}}$), (V)

I_g : DA giriş akımı, (A)

$I_{\check{c}}$: DA çıkış akımı, (A)

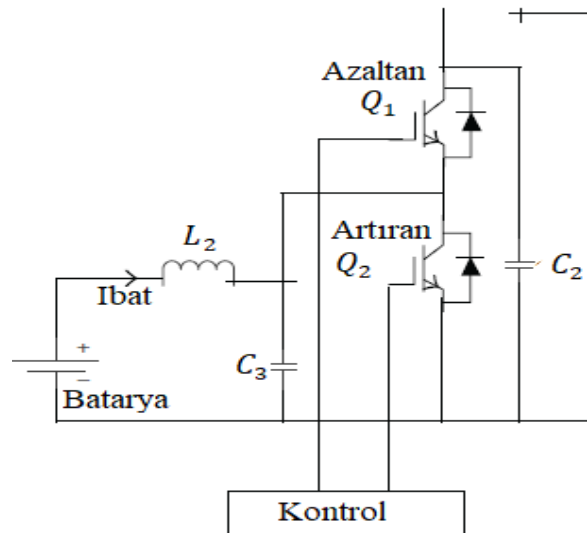
ΔI_L : Endüktans akım dalgalanması, (A) 'dır.

DA/DA artıran dönüştürücüde birinci aralıkta boşalan kondansatör ikinci aralıkta dolar. Kararlı durumda kondansatör gerilimi eşit miktarda artar ve azalır. Bu yüzden gerilimdeki dalgalanma miktarı sadece birinci aralık göz önünde tutularak eşitlik (1.15)'deki gibi hesaplanmaktadır [72,73].

$$\Delta V_{DA} = \frac{D \times I_{\check{c}}}{f_p \times C} \quad (1.15)$$

1.7.2. Çift Yönlü (Bi-directional) Dönüştürücü

Çift yönlü DA-DA dönüştürücü, hem ileri hem de geri yönde güç akışı sağlar. Çift yönlü dönüştürücü sayesinde akü kullanılan sistemlerde akü hem şarj hem de deşarj olabilir. Dönüştürücü yapısında iki adet yarı iletken bulunur. Şekil 1.15.' de dönüştürücü yapısı verilmiştir.



Şekil 1.15. Çift yönlü DA/DA dönüştürücü yapısı

Q_2 anahtarı aktif durumda iken aküden alınan gerilim artırılarak istenen gerilim değerinde sabitlenir, çıkışa verilir ve akü deşarj olur. Yani dönüştürücü artıran dönüştürücü gibi davranır. Q_1 anahtarı aktif durumda iken gerilim kaynağı görevi üstlenen kaynaktan yada baradan alınan gerilim azaltılarak istenen gerilim değerine sabitlenir, aküye verilir ve akü şarj olur. Dönüştürücü yapısındaki parametreler eşitlik (1.16-1.18)' deki gibi ifade edilir [74,75].

$$L_2 = \frac{V_{Akü} \times (V_{DAhat} - V_{Akü})}{I_{Akü} \times f_s \times I_{DAhat}} \quad (1.16)$$

$$C_2 = \frac{\Delta I_L \times I_{Akü}}{8 \times f_s \times \Delta V_{Akü}} \quad (1.17)$$

$$C_3 = \frac{D_{Arttıran} \times I_{DAhat}}{f_s \times \Delta V_{Akü}} \quad (1.18)$$

Bu eşitliklerde,

L_2 : İndüktans,

C_2 : Azaltan dönüştürücü modundaki kapasitans,

C_3 : Arttıran dönüştürücü modundaki kapasitans,

$V_{Akü}$: Akü çıkış gerilimi (V),

V_{DAhat} : DA hat gerilimi (V),

$D_{Arttıran}$: Artıran dönüştürücü doluluk oranı,

I_{DAhat} : DA hat akımı (A),

$I_{Akü}$: Akü çıkış akımı (A),

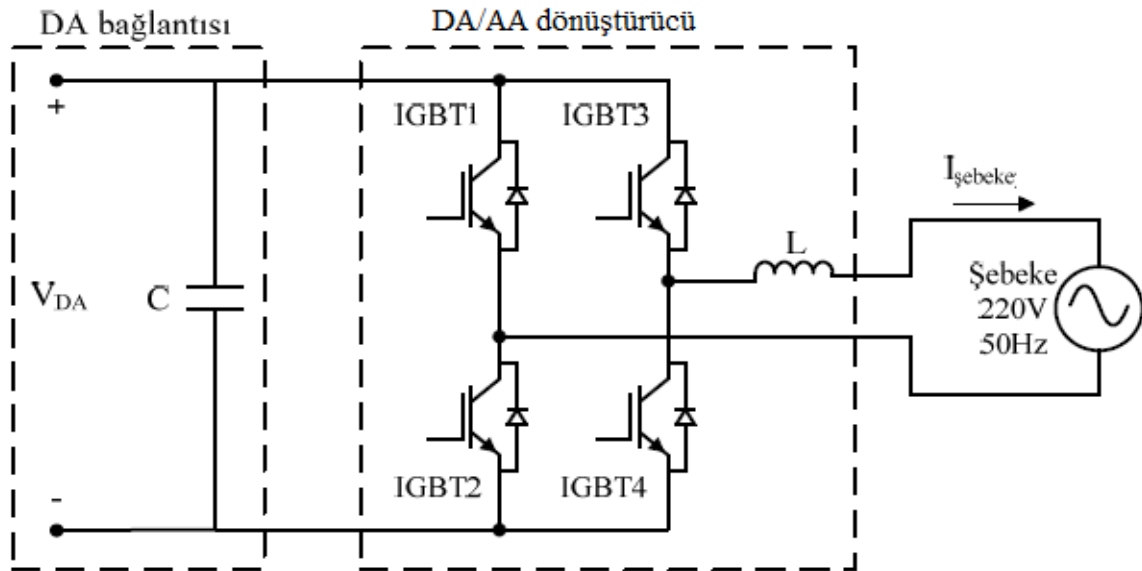
$\Delta V_{Akü}$: Akü çıkış gerilimindeki dalgalanma,

ΔI_L : Azaltan taraftaki indüktans akımındaki dalgalanma' dır.

1.8. DA/AA Dönüştürücüler (Evirciler)

Bir güneş panelinden (veya diziden) üretilen elektrik, DA biçimindedir ve şebekeye bağlanabilmesi ya da AA yükleri besleyebilmesi için AA biçimine çevrilmelidir. Bunun için DA/AA dönüştürücüler kullanılır yani DA/AA dönüştürücüler bir DA gerilimini bir AA gerilimine dönüştürür. Bu işlem sürekli olarak açılıp kapatılan anahtarlama cihazları

kullanılarak yapılır. 3 fazlı sistemlerde çeşitli genliklerdeki giriş gerilimlerini 3 fazlı 380V/50Hz AA'ya çevirirler. Her ülkede değişiklik gösteren şebeke gerilim değerleri sebebiyle farklı gerilim genliği ve frekans değerlerinde üretilirler. 3 fazlı eviricinin şebeke ile senkron bir şekilde enerji aktarabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları ve aküye ortak bağlandığı DA baradan gelen akım değerini işleyen park dönüşümü ve faz kilitli çevrim (FKÇ) kontrol birimi kullanılır. Tek fazlı yarım dalga evirici, tek fazlı tam dalga evirici ve 3 fazlı evirici olmak üzere üç sınıfa ayrılabilirler [72]. Şekil 1.16.' da şebeke bağlı bir evirici yapısı verilmiştir.



Şekil 1.16. Şebeke bağlı DA/AA dönüştürücü yapısı

1.9. Aküler

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan ve bu kimyasal enerjiyi tekrar elektrik enerjisine çevirip çıkışa veren bir üretdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında kaynaktan enerji alınmadığı durumlarda yükleri beslemek için yardımcı kaynak olarak kullanılırlar. Enerji yönetiminde büyük bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken ve kararsız yapısının olumsuzluklarını azaltır. Akü yapımında kullanılan malzemeye göre farklı verimlilikte ve yaşam süresindedirler. Yapıldıkları malzemeye göre kurşun asit (Pb-Asit), nikel kadmiyum (NiCd), nikel-metal hidrit (NiMH),

lityum-ion (Li-ion), lityum-polimer (Li-poly) ve çinko-hava olarak sınıflandırılabilirler [76]. Bu çalışmada kurşun asit aküler kullanılmıştır. Akü oranı (Ah) (1.18)' deki eşitlik kullanılarak bulunabilir ve eşitlikte akü şarj derinliği %60 alınmıştır [77].

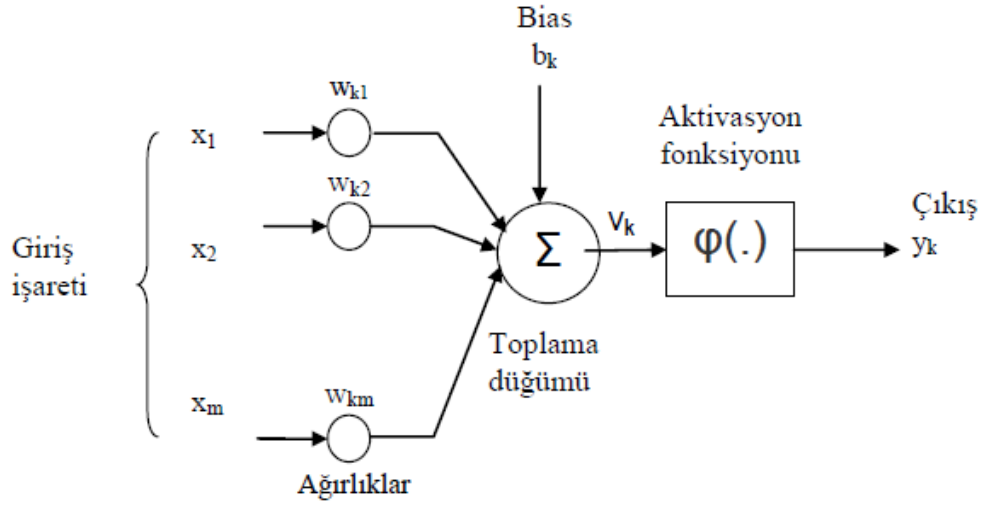
$$Akü\ oranı = \frac{Akünün\ toplam\ gücü \times Çalışması\ istenen\ süre}{Akü\ gerilimi \times 0.6} \quad (1.18)$$

1.10. Kestirim

Deniz dalgasının kullanılmasında bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Tasarlanacak dalga dönüştürücüsü için dalga boyutunun önemi, gemi rotalarının geçtiği yollar, askeri tatbikatlar, balık avlanma sahaları, su altı kabloları gibi kısıtlamalar büyük dalga enerjisi projelerine başlamadan önce dikkate alınması gereken hususlardır [78]. Ayrıca elde edilecek enerjinin ihtiyacı karşılayıp karşılamayacağına bakılması gerekir. Örneğin açık denizlerde enerji üretimi daha fazladır fakat kıyıdan çok uzak olunacağı için ekonomik açıdan uygun değildir. Aynı şekilde FV güneş enerjisi sistemi içinde hem sistemlerin kurulacağı bölgede verim alınıp alınmaması açısından hem de enerji yönetimi yapılabilmesi açısından kestirim yapılması önemlidir. Literatürde birçok farklı yöntem ile kestirim yapılmıştır [7-13, 19-24, 40-45]. Bu çalışmada zaman serisi analizi tabanlı YSA kullanılmıştır. Güneş ışınımı ve dalga boyunun zamana bağlı olarak değiştiği düşünüldüğü için zaman serisi analizi kullanılmıştır.

1.10.1. Yapay Sinir Ağı (YSA)

Sinir hücresinden esinlenerek, beynin çalışma sistemine yapay olarak benzetim çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Yani biyolojik sinir ağları gibi davranan algoritmalarıdır. Çözümü güç ve karmaşık olan veya pahalı olan tıp, savunma sanayi, üretim ve haberleşme gibi birçok farklı alanlardaki problemlerin çözümünde uygulanmıştır. Bir YSA' nın temel birimi nörondur [79]. Şekil 1.17.'de nöron yapısı verilmiştir.



Şekil 1.17. Nöron modeli

Giriş olarak dış kaynaklardan ya da diğer nöronlardan gelen işaretler alınır. Bu işaretlere göre ağırlıklar da farklıdır. Modelde ayrıca dışarıdan bir girişde vardır. b_k ile gösterilen, bias adı verilen referans değeri, değere göre aktivasyon fonksiyonunun net girişini yükseltir veya düşürür. Matematiksel olarak eşitlik (1.19)'daki gibi ifade edilebilir.

$$u_k = \sum_{j=1}^m \omega_{kj} x_j \quad (1.19)$$

u_k : lineer toplayıcı çıkışı,

Bias terimi b_k eklenirse:

$$v_k = u_k + b_k \quad (1.20)$$

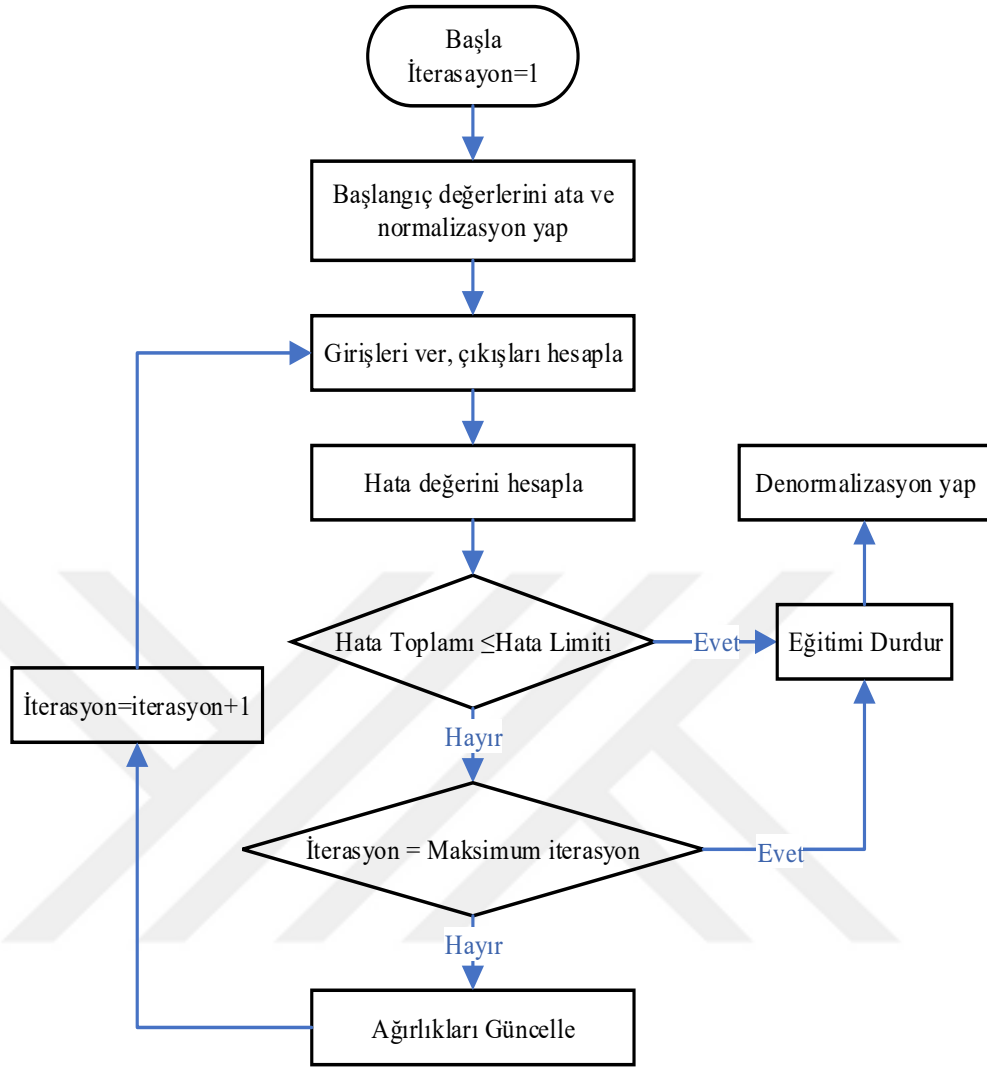
$$y_k = \varphi(v_k) \quad (1.21)$$

Burada, x_1, x_2, \dots, x_m giriş işaretleri; $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ k nöronunun sinaptik ağırlıkları; $\varphi(.)$ aktivasyon fonksiyonu ve y_k nöronun çıkış işaretidir. Doğrusal, parçalı doğrusal, eşik, hiperbolik tanjant ve sigmoid fonksiyon olmak üzere çeşitli aktivasyon fonksiyonları vardır. Aktivasyon fonksiyonu uygulanacak probleme göre kullanılır. Bu çalışmada veri tipine uygun olduğu için logaritmik sigmoid fonksiyon kullanılmıştır. Eşitlik (1.22)'de sigmoid aktivasyon fonksiyonu verilmiştir.

$$\varphi(v) = \frac{1}{1+e^{(-av)}} \quad (1.22)$$

Eşitlik (1.22)'deki a katsayısı, eğim parametresidir. Sigmoid fonksiyonu, değerleri 0-1 arasında olan, sürekli ve türevi alınabilen bir fonksiyondur ve dönüşüm işleminin analitik kontrolünü kolaylaştırmak bakımından türevinin alınabilmesi önemlidir.

Hücrelerin bağlantı şekillerine göre YSA yapıları ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere ikiye ayrılırlar. İleri beslemeli YSA'lar tek katmanlı ya da çok katmanlı olabilirler. Bilgiler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. Bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurulurken, nöronların aynı katman içerisinde bağlantıları yoktur. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğramadan gizli katmanlardaki hürelere iletir. Öğrenme şekillerine göre de sınıflandırılırlar. Eğitici öğrenme de YSA' ya örnek olması için bir doğru çıkış verilir. İstenilen ve gerçek çıktı arasındaki farka göre nöronlar arası bağlantı ağırlıkları en doğru çıkışı verecek şekilde değişir. Bu yüzden bu öğrenme için öğreticiye gereksinim vardır. YSA' larda katman ve gizli nöron sayısı probleme göre belirlenir. İleri beslemeli yapay sinir ağlarının parametrelerinin güncelleştirilmesi için bu tez çalışmasında geriye yayılım algoritması kullanılmıştır. Şekil 1.18.' de YSA eğitimi algoritmasının akış şeması verilmiştir.



Şekil 1.18. YSA eğitim algoritmasının akış şeması

YSA ile yapılan bu kestirimde, kestirim doğruluğunu artırdığı için güneş ışınım kestiriminde benzer gün algoritması kullanılmıştır [80]. Yani YSA ile eğitim yapılmadan önce kestirimi yapılacak günün verilerine benzer gün seçilmiştir. Dalga boyu kestirimi için yeterli veri olmadığı için sadece eğitim yapılan zaman aralığı belirli bir aralıkta tutularak doğru kestirim yapılmaya çalışılmıştır. Yapılan kestirimlerin performansını ölçmek için Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH/MAPE), korelasyon katsayısı (R), Karesel Ortalama Hata (KOH/RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH/MAE) gibi istatistiksel performans ölçütlerinden yararlanılmıştır [81].

1.11. Neuro-Fuzzy Algoritması

Neuro-Fuzzy algoritması yapay sinir ağlarının (YSA) öğrenme ve en uygun olanı bulma yeteneği ile, bulanık mantığın insan gibi karar verebilme ve uzman bilgisi sağlama yeteneklerinin birleştirilmesi temeline dayanır. Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS), FuNe, Bulanık RuleNet, GARIC veya NEFCLASS ve NEFCON gibi farklı yapılara sahiptir. Neuro-Fuzzy yönteminin amacı, giriş-çıkış eğitimi verilerini kullanarak bir öğrenme yöntemi uygulayarak bulanık sistemin parametrelerini ayarlamaktır. Lofti A. Zadeh tarafından ilk kez tanımlanan bulanık mantık, bulanık küme mantığını temel alır. Bulanık küme üyelik değeri ile tanımlanır ve klasik kümeden farklıdır üyelik derecesi μ değeri 0 ile 1 arasında değişir. Üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk ve gauss eğrisi gibi fonksiyonlarla ifade edilebilir.

Bulanık mantık yapısı bulanıklaştırma, çıkarım ve durulama olmak üzere üç temel aşamadan oluşur. Bulanıklaştırma aşamasında, üyelik fonksiyonları oluşturularak girişlerin uygun bulanık kümelerdeki üyelik dereceleri belirlenir. Bulanık Çıkarım aşamasında üyelik fonksiyonları ve “eğer-öyleyse” kuralları kullanılarak, bulanık kurallar oluşturulur. Durulama aşamasında, bulanık olan çıkış değerleri kesin çıkış değerlerine dönüştürülür. Bulanık mantık yapısında Sugeno, Mamdani gibi farklı çözümleme yöntemleri kullanılabilir.

Sugeno bulanık modelindeki klasik bulanık kuralı (1.23)' deki gibidir.

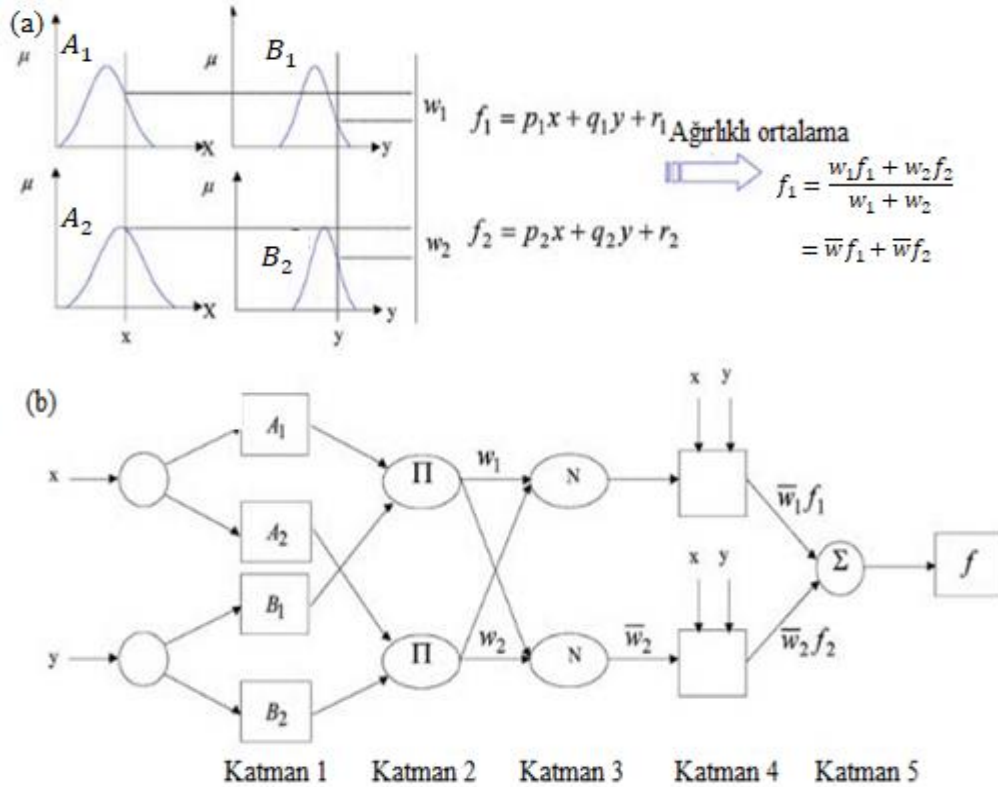
$$\text{Eğer } x = A \text{ ve } y = B \text{ ise } z = f(x, y) \quad (1.23)$$

(1.23)' de A ve B giriş bulanık kümeleri, $z = f(x, y)$ ' de x ve y'ye bağlı çıkış veren bir fonksiyondur. Bulanık kurallardan elde edilen çıkışların, kurallardan elde edilen üyelik değerleri üzerinden ağırlıklı ortalaması alınarak, sonuç değeri bulunur [82]. Sinirsel-Bulanık karma ağına ait parametrelerin güncellenmesinde Rough Hesaplama tabanlı ANFIS, Geriye yayılım Algoritması ve Genetik Algoritmaların birlikte kullanıldığı karma algoritmalar gibi algoritmalar kullanılır.

Bu çalışmada Bulanık Mantık ile Yapay Sinir ağlarının bir arada kullanıldığı ANFIS yapısı kullanılmıştır.

1.11.1. ANFIS Yapısı

ANFIS yapısında Sugeno bulanık kurallarını kullanır. 5 katmandan oluşur. Katman 1 giriş değişkenlerinden oluşur. Katman 2 üyelik katmanıdır. Üyelik fonksiyonunun ağırlıklarını kontrol eder. İlk katmandan giriş değerlerini alır ve ilgili giriş değişkenlerinin bulanık kümelerini temsil etmek için üyelik değerleri belirlenir. Katman 3 kural katmanı olarak adlandırılır ve önceki katmandaki girişleri alır. Bu katman her kuralın aktivasyon seviyesini hesaplar. Katman 4 durulaştırma katmanıdır. Kuralların çıkarımından kaynaklanan çıktı değerlerini sağlayan tanımlama katmanıdır. Katman 5 önceki katmandan gelen tüm girişleri toplayan ve bulanık sınıflandırma sonuçlarını net bir değere dönüştüren çıkış katmanıdır. Şekil 1.19'da ANFIS yapısı verilmiştir.

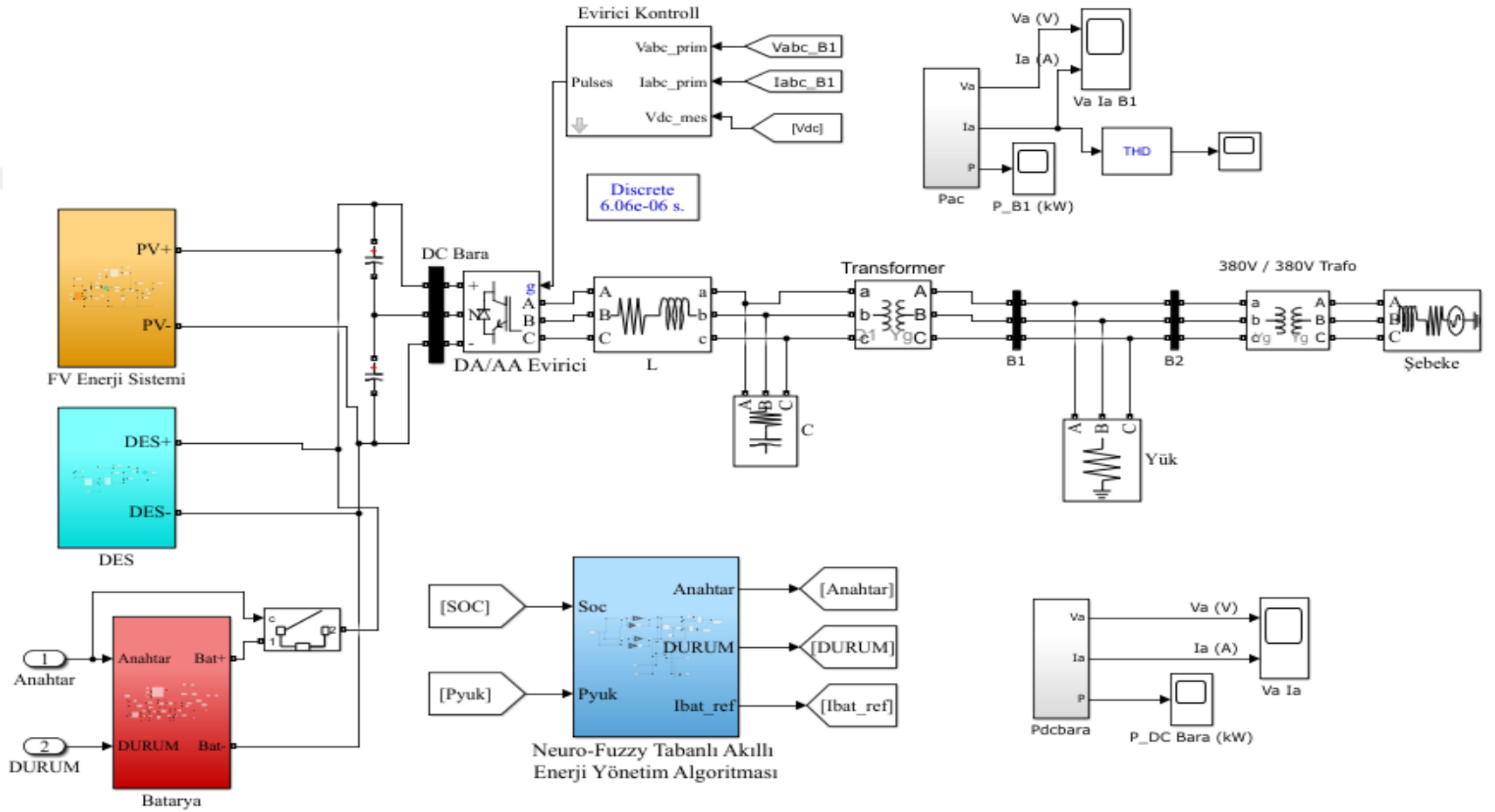


Şekil 1.19. ANFIS yapısı (a) Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı Sugeno Bulanık Modeli, (b) ANFIS eşdeğeri

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, gün öncesi dalga boyu ve güneş ışınımı kestirimi yapılmış ve bu kestirim kullanılarak FV ve Dalga enerjisinden oluşan şebeke bağlantılı hibrit sistemin enerji yönetimi neuro-fuzzy ile yapılmıştır. FV panel modelinin oluşturulmasında Matlab/simulink panel modeli referans alınmıştır. Tasarlanılan hibrit sistem için 8 adet panel seri bağlanarak 2 kW' lık FV dizin, [69] ve [70] numaralı kaynaklar referans alınarak 2 kW' lık DES ve 2 kW' lık akü kullanılmıştır. Tasarlanılan sistem, sabit mıknatıslı senkron generatör (PMSG) tabanlı dalga türbini, FV panel dizisi, güç elektroniği cihazları (DA-DA çevirici, doğrultucu ve evirici), akü ve Neuro-fuzzy tabanlı enerji yönetim algoritmasından meydana gelmektedir. Şekil 2.1.' de tasarlanan sistemin Matlab/ Simulink blok diyagramı verilmiştir. Tasarlanılan bu sistem için bulanık sınıflar dikkate alındığında 25 tane durum ortaya çıktığı görülmektedir. Enerji yönetim algoritması meydana gelen durumlar karşısında akünün şarj/deşarj olup olmayacağına ve şarj/deşarj miktarına karar vererek yüklerin enerjisiz kalmaması planlanmıştır.



Şekil 2.1. Hibrit (PV-Dalga) enerji sisteminin Matlab/Simulink blok diyagramı

2.2. FV Sistemin Matlab/Simulink Benzetimi

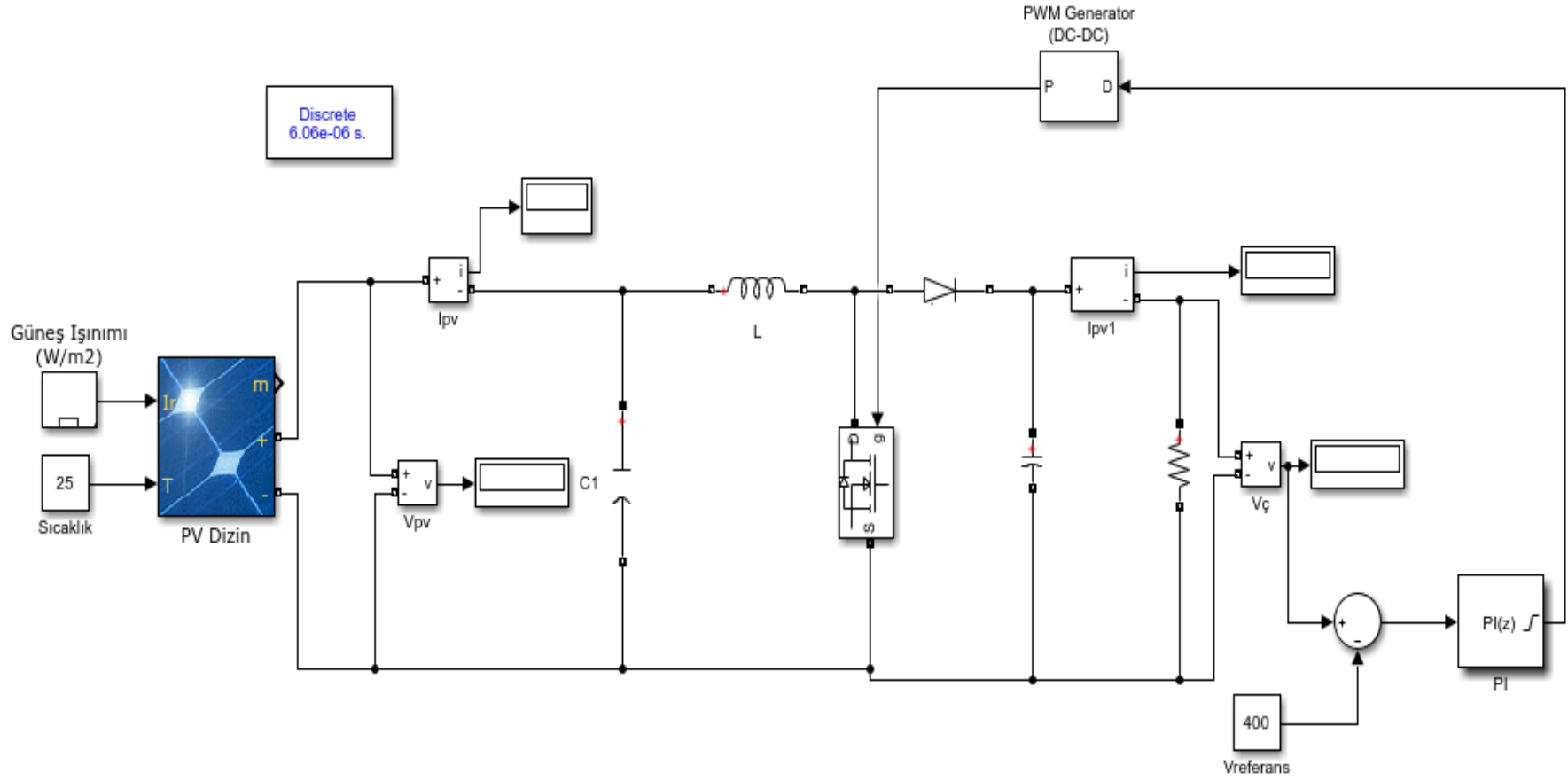
2 kW'lık şebeke bağlantılı FV sistem oluşturularak incelenmiştir. Kullanılan FV panele ait bilgiler Tablo 2.1.'de verilmiştir. Şekil 2.2' de FV sistemde kullanılan artıran dönüştürücünün PI kontrol ile denetimi yapılmıştır. Sistemde maksimum güç noktası takibi uygulamak ve gerilimi yükseltmek için yükselten DA/DA dönüştürücü kullanılmıştır. Dönüştürücü parametreleri ve kullanılan yük ile ilgili bilgiler Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.1. PV panel parametre değerleri

Parametreler	Değeri
Maksimum güç, P (W)	260 W
Açık devre gerilimi, V_{oc} (V)	37.89 V
Kısa devre akımı, I_{sc} (A)	9.08 A
Maksimum gerilim, V_{mp} (V)	30.61 V
Maksimum akım, I_{mp} (A)	8.5 A

Tablo 2.2. Artıran dönüştürücü parametre değerleri

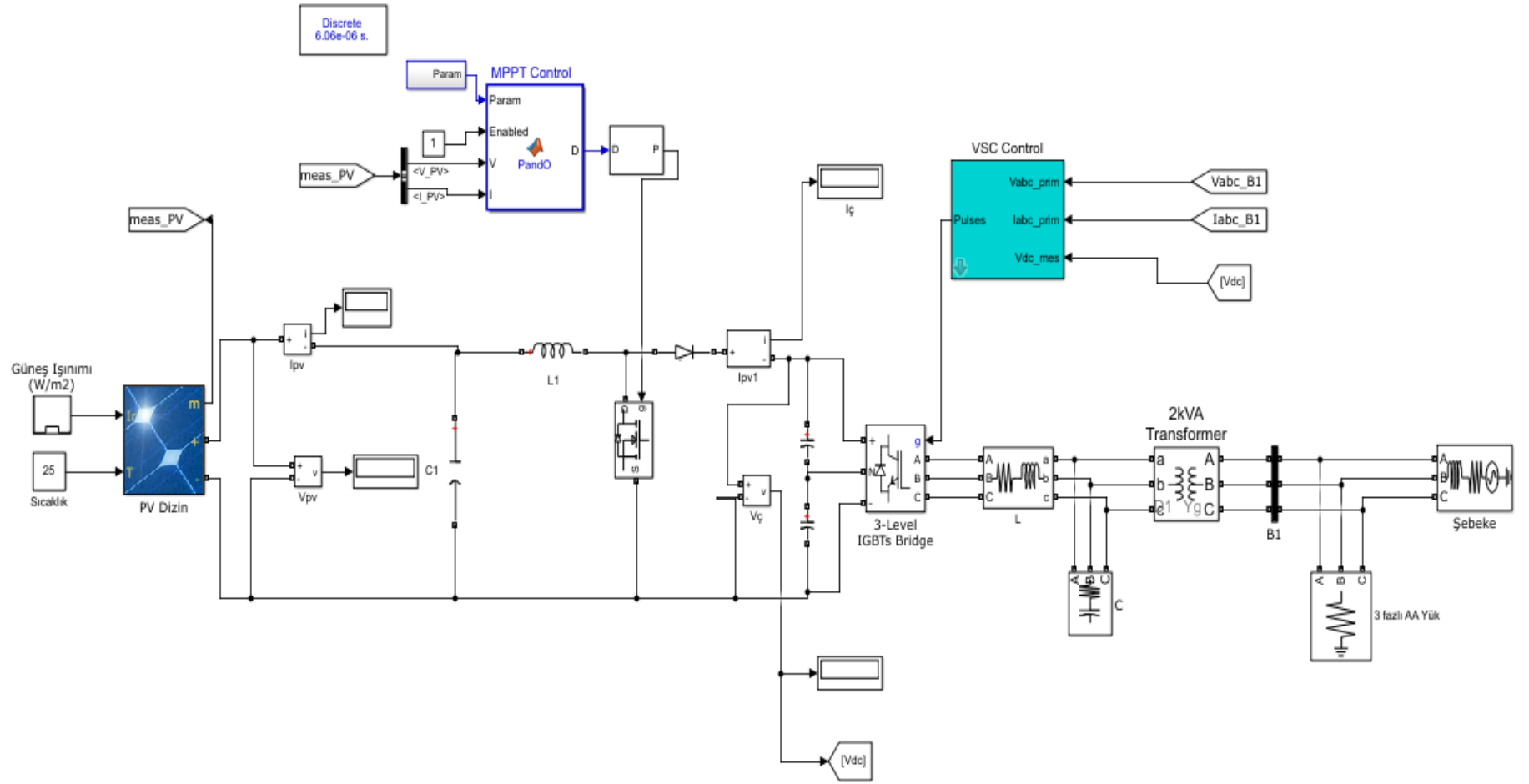
Parametreler	Değeri
V_i , giriş gerilimi	200-270 V
L, endüktans	7.448 mH
C, kapasite	0.9695 μF
V_0 , çıkış gerilimi	400 V
R, yük	80 Ω
f, anahtarlama frekansı	5000 Hz
ΔI_L , endüktans akımındaki dalgalanma	%30
ΔV_C , kondansatör gerilimindeki dalgalanma	%1



Şekil 2.2 FV dizinin PI kontrol ile denetimi

2 kW' lık PV sistemin şebeke bağlantılı modeli Şekil 2.3' te verilmiştir. Fotovoltaik panelden maksimum güç elde edebilmek için değiştir-gözle algoritması kullanılmıştır. Buradan elde edilen gerilim DA şeklinde olduğu için atıran dönüştürücü ile bu sinyal istenen gerilim seviyesine artırılmıştır. Belirli bir aralıkta sabitlenen bu gerilim evirici yardımıyla DA sinyalinden AA sinyaline çevrilmiştir. Evirici çıkışında meydana gelen harmonikler için LC filtre tasarlanmıştır. Harmonikleri azaltılan gerilim trafo ile şebeke gerilim ve frekansına yükseltilmiştir. Şebeke ile senkron çalışabilmesi için FKÇ kullanılmıştır. FKÇ evirici kontrol şemasının içerisinde yer almaktadır. Sistemin tasarımında [83] numaralı kaynak referans alınmıştır.

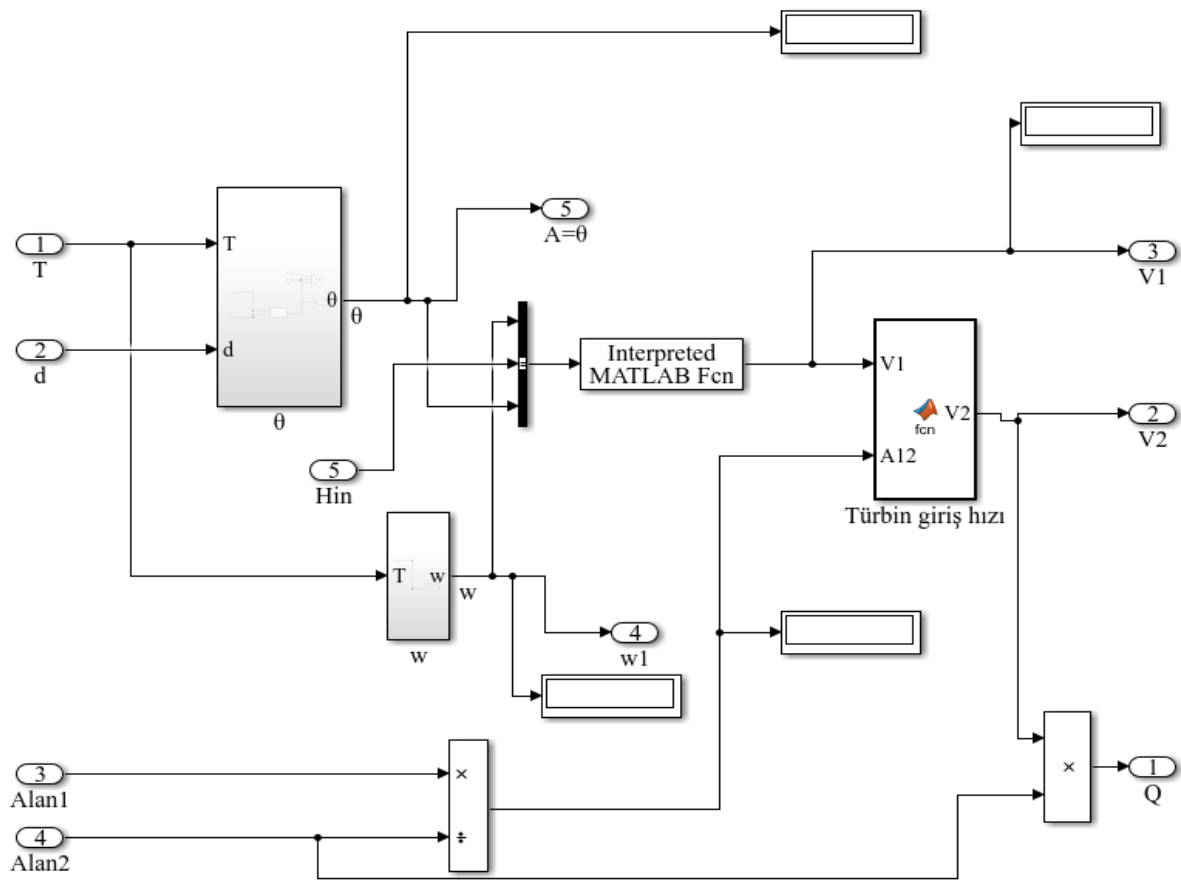




Şekil 2.3. Şebeke bağlı 2 kW' lık FV sistem

2.3. Dalga Enerji Sisteminin Matlab/Simulink Benzetimi

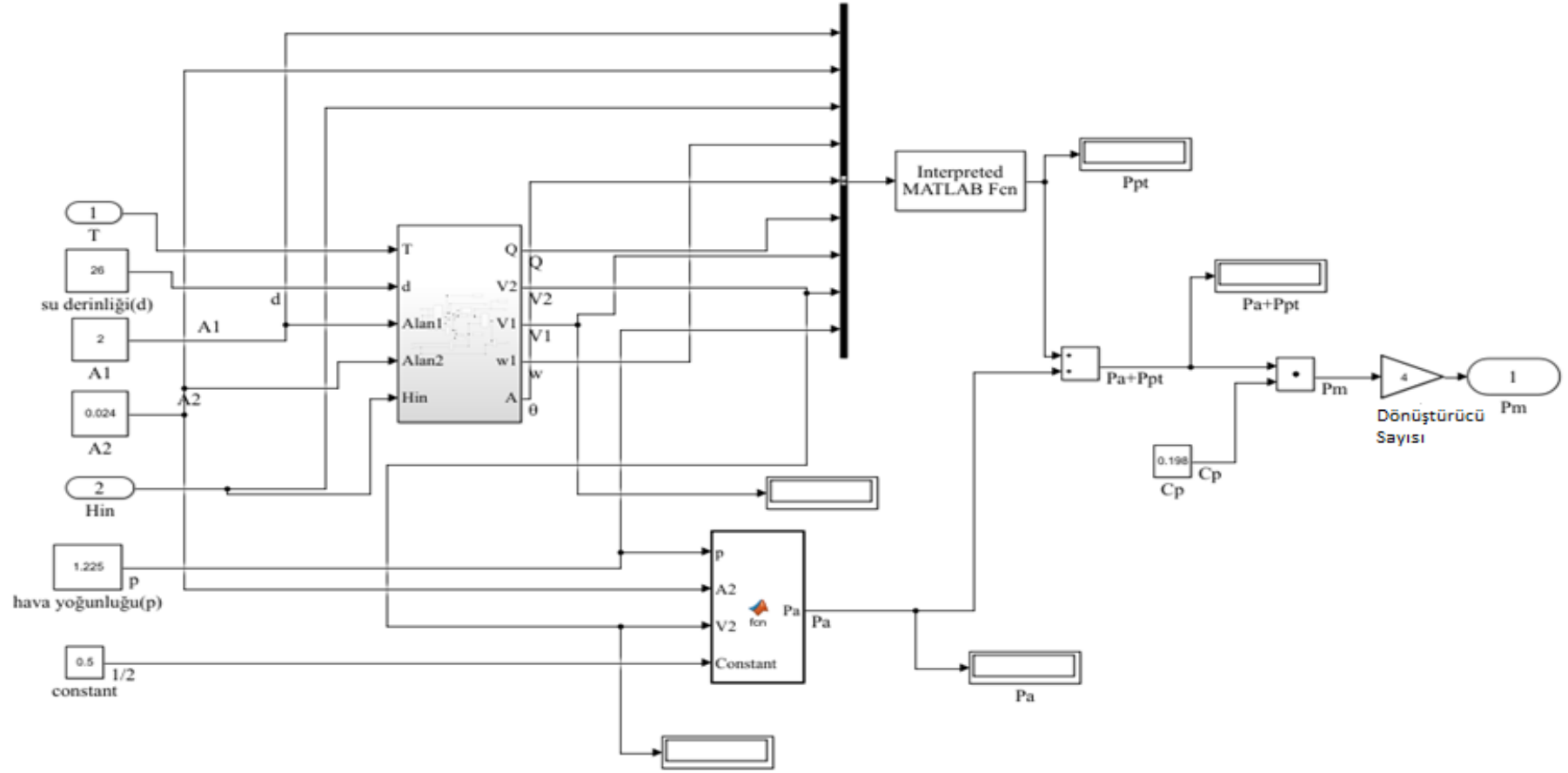
Bu sistemin tasarımında SSK dalga enerjisi dönüştürücüsü kullanılmıştır. [69] ve [70] numaralı kaynaklar referans alınarak (1.7)- (1.10)'daki eşitlikler Matlab/simulink ortamında Şekil 2.4.' deki gibi modellenmiştir. Tablo 2.3.' de tasarlanan sistemin parametreleri verilmiştir. Bu çalışma da 2 kW'lık bir güç elde etmek için 4 adet SSK dönüştürücü kullanılmıştır.



(a)

Şekil 2.4. SSK modelinin (a) alt sistemi, (b) simulink diyagramı

Şekil 2.4.' ün devamı

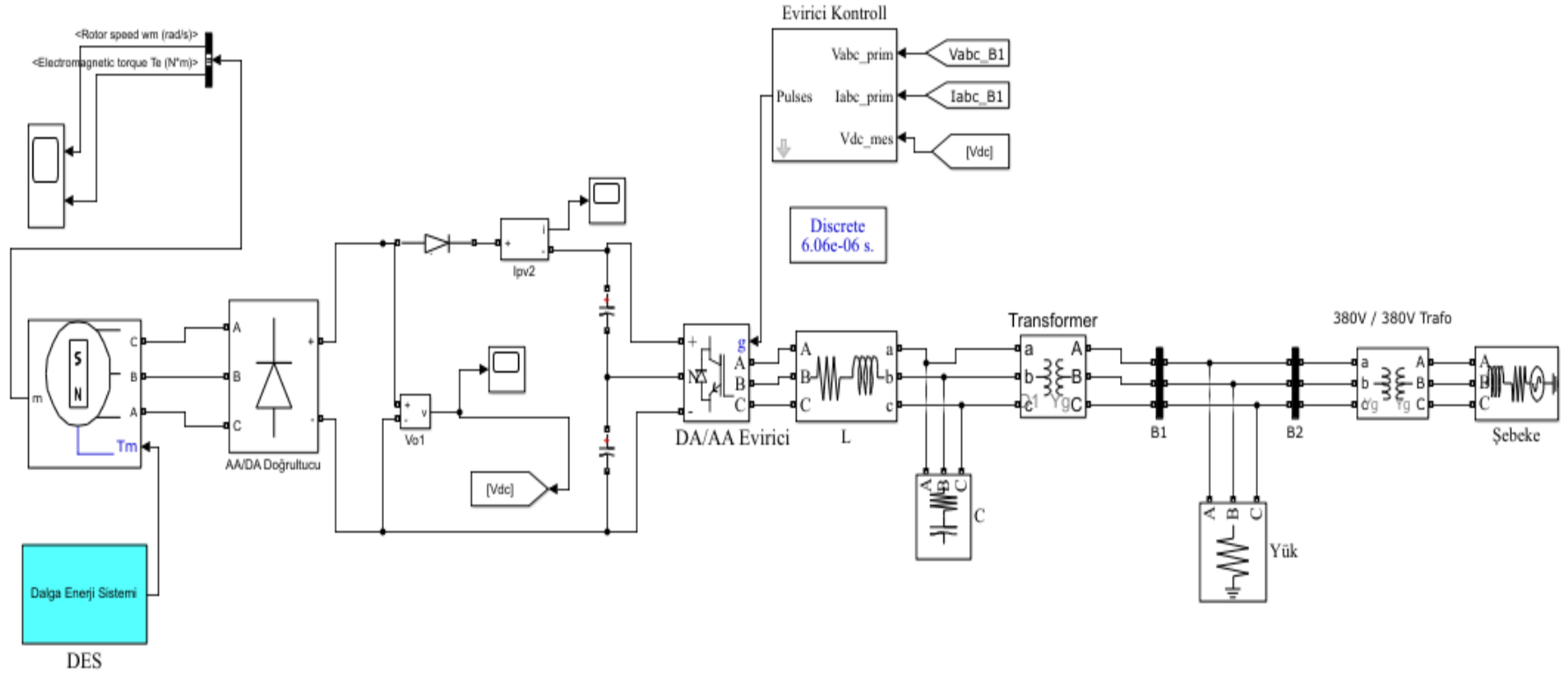


(b)

Tablo 2.3. SSK parametre değerleri

Parametreler	Değeri
A_1 , kolon giriş alanı	$2 m^2$
A_2 , türbin giriş alanı	$0.024 m^2$
d, su derinliği	26 m
L_{ch} , kolon geniřlięi	1.5 m
ρ , hava yoęunluęu	1.225
C_p , türbin sabiti	0.19

DES tasarımında 12000 rpm, %81 verime sahip farklı hız seviyelerinde güç ürettiği ve kalıcı mıknatıslı yapısından dolayı Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatör kullanılmıştır. Üretilen gücü PV sistem ile ortak barada toplamak için generatörün çıkışındaki AA gerilim AA/DA doğrultucu ile DA' ya çevrilmiştir. Sistemin tasarımı Şekil 2.5' de verilmiştir.

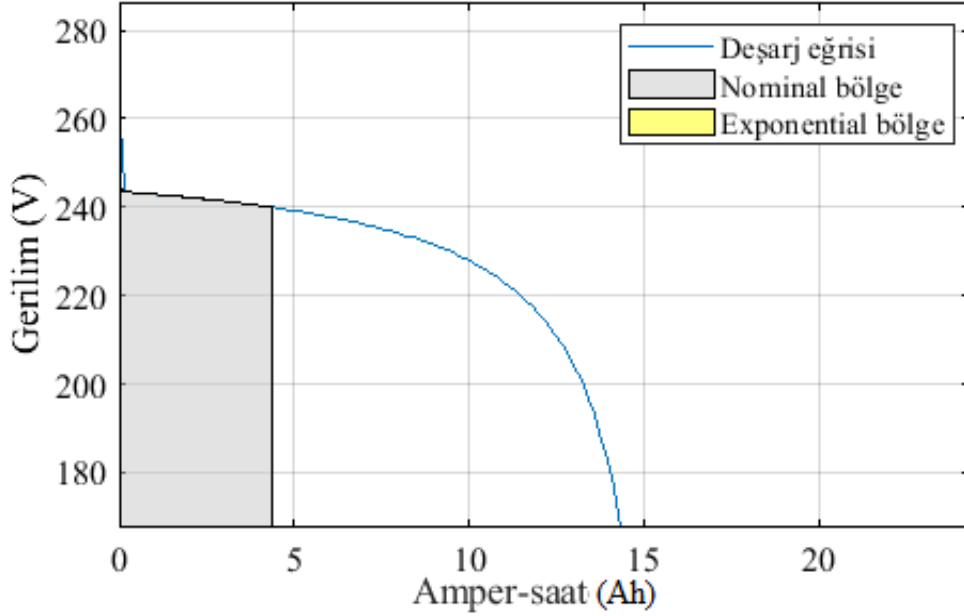


Şekil 2.5. 2 kW' lık DES Matlab/simulink modeli

2.4. Akü

Bu tez çalışmasında Matlab/Simulink kütüphanesindeki akü modeli kullanılmıştır. 20 adet 12V, 14 Ah' lik kurşun-asit akü seri bağlanarak 2 kW' lık bir depolama birimi oluşturulmuştur. Kullanılan akünün deşarj eğrisi Şekil 2.6' da verilmiştir. Akü 240V, 14 Amper-saat nominal değerlere sahiptir. Kapasite oranı eşitlik (1.18) kullanılarak;

$$\text{Akü kapasite oranı} = \frac{2 \text{ kW} \times 1 \text{ h}}{240 \text{ V} \times 0.6} = 13.8888 \cong 14 \text{ Ah} \text{ olarak bulunur.}$$

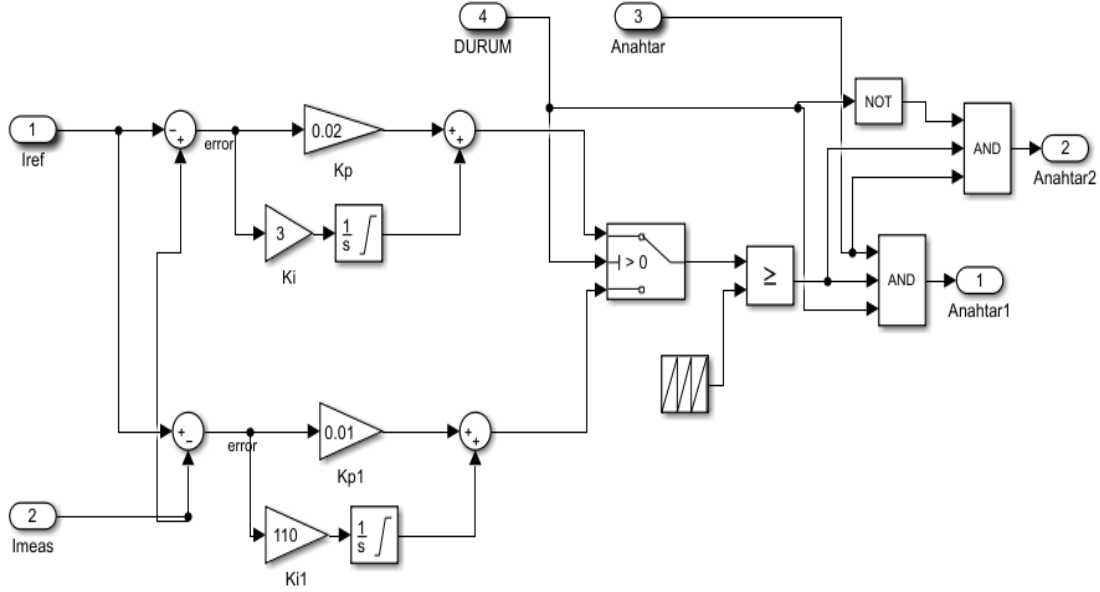


Şekil 2.6. Akü deşarj eğrisi

2.5. Çift Yönlü DA/DA Dönüştürücü

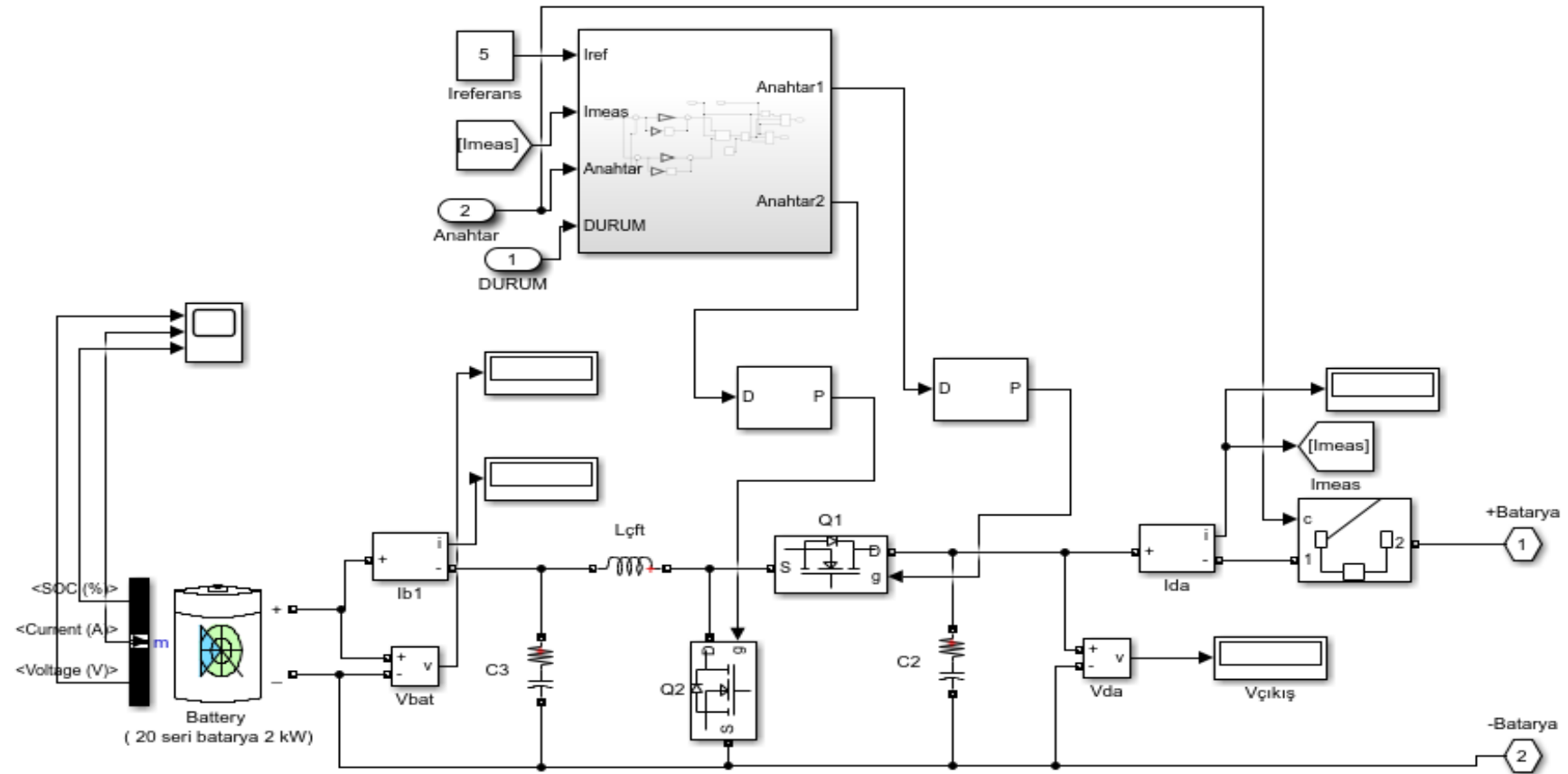
Tasarlanılan sistemde DA bara gerilimi 400 V olarak belirlenmiştir. Akünün çıkış gerilimi ise 230-245 V'dur. Akünün deşarj olabilmesi için DA baraya bağlanabilmesi gerekir ve bunu için de akü çıkış gerilimini gerilimi yükseltmemiz gerekir. Fakat aynı zamanda DA baradan gelen güç ile aküyü şarj edebilmemiz içinde 400 V' luk gerilimi akü çıkış gerilim değerine getirmeliyiz yani düşürmemiz gerekir. Bu yüzde çift yönlü bir dönüştürücü kullanılmıştır. Şekil 2.7' de verilen azaltan/artıran durum kontrol blok diyagramları ile akü kontrol edilerek akünün şarj-deşarj olması sağlanmıştır. Anahtar 1 azaltan, anahtar 2 artıran

dönüştürücü görevi yapmak için anahtarlama sinyali vermektedir. Akü referans akımı (Iref) enerji yönetim algoritması tarafından belirlenmektedir.



Şekil 2.7. Azaltan/artıran durum kontrolü Matlab/simulink blok diyagramı

Şekil 2.8’de akü, çift yönlü dönüştürücü ve kontrol ünitesinin blok diyagramı verilmiştir. Çift yönlü DA/DA dönüştürücü yapısının azaltan durumda çalışmasını sağlamak için Anahtar 1’ in aktif olması ve Anahtar 1’ in pasif olması yani açık devre konumda olması gerekir. Dönüştürücü kontrol algoritması enerji yönetim algoritmasına bağlı olarak çalışmaktadır. 4 nolu durum seçimine gelen bilgi, çift yönlü dönüştürücünün hangi durumda yani azaltan mı artıran mı olarak çalışması gerektiğini gösterir. Anahtar 1 ya da Anahtar 2’yi aktif hale getirir. 3 nolu giriş olan anahtar bilgisi de akü grubunun devreye girip çıkmasını yani çift yönlü DA/DA dönüştürücünün DA baradan ayrılmasını sağlamaktadır. Çift yönlü dönüştürücü Anahtar 2 nolu anahtarı devreye alarak aküyü deşarj etme, Anahtar 1 nolu anahtarı devreye alarak aküyü şarj etme imkanı verir. Tablo 2.4.’ de çift yönlü DA/DA dönüştürücü parametreleri verilmiştir.



Şekil 2.8. Tasarlanılan akü, çift yönlü DA/DA dönüştürücü ve kontrol ünitesi Matlab/Simulink blok diyagramı

Tablo 2.4. Çift tönü DA/DA dönüştürücü değerleri

Parametreler	Değeri
V	230-245 V
V _ç	400 V
P _{Akü}	2 kW
f	5 kHz
L _{çft}	2.304 mH
C ₂	0.260 μF
C ₃	100 μF

2.6. Evirici

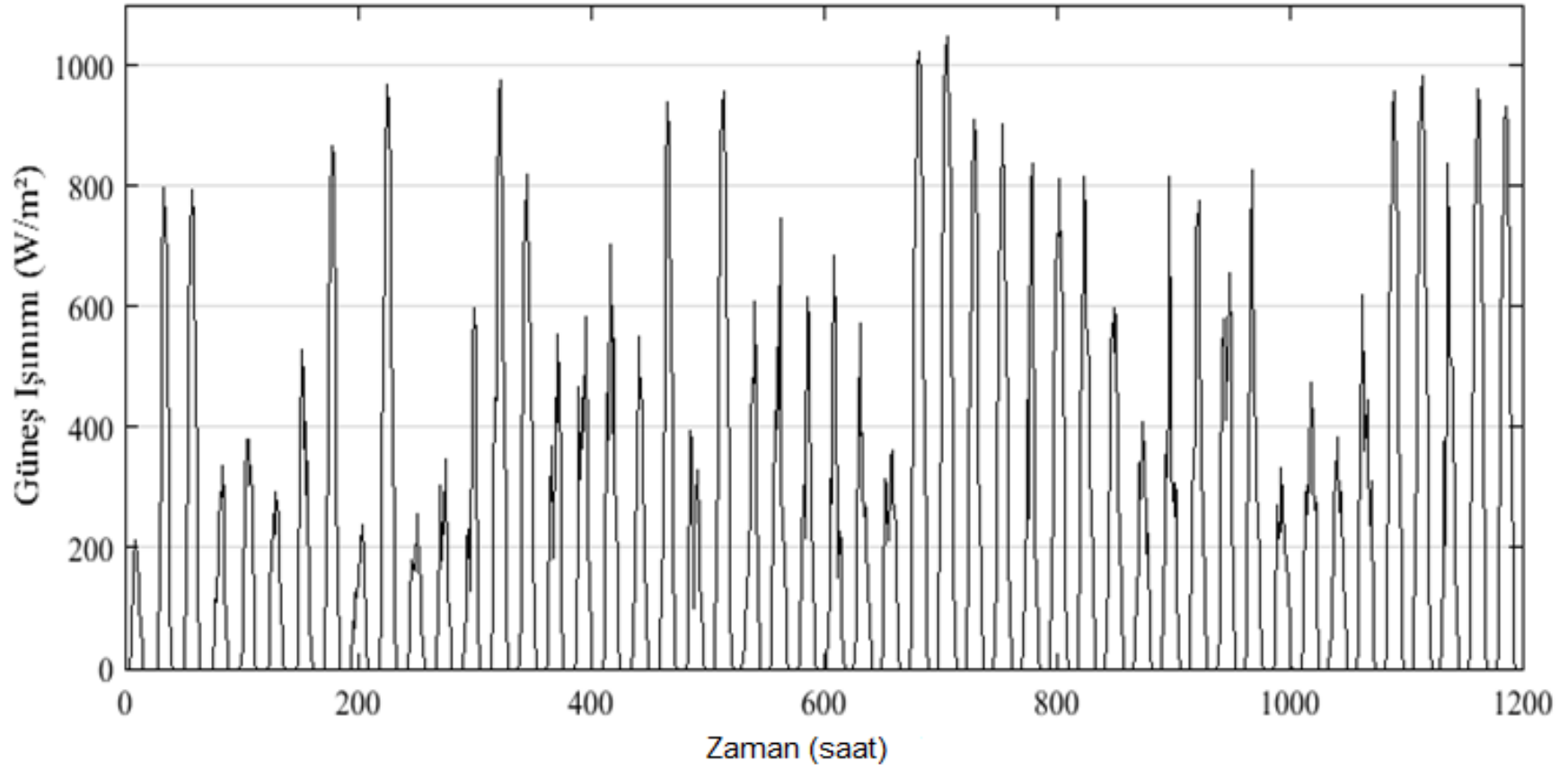
Tasarlanılan sistemde FV sistem, DES ve akü tek bir DA barada birleştirilmiştir. Böylece ortak evirici kullanılmıştır. Evirici yapılarının pahalı olması göz önüne alınarak bu şekilde bir tasarım yapılmıştır. Bu tez çalışmasında [75] numaralı kaynaktaki evirici yapısı tasarlanılan sisteme uygun hale getirilerek kullanılmıştır. Kullanılan evirici ve LC filtrenin parametreleri Tablo 2.5.' da verilmiştir. Eviricide PI denetleyici kullanılarak ve çıkış şebeke akımı değiştirilerek DA bara gerilimi düzenlenir.

Tablo 2.5. Üç fazlı evirici ve filtre değerleri

Parametreler	Değeri
Nominal güç ve frekans	4 kW, 50 Hz
Primer ve sekonder gerilim değerleri (Faz-faz arası etkin değer)	380 V, 208.2066 V
Nominal DA bara gerilimi	400 V
Gerilim düzenleyici kazançları (K_p, K_i)	4.5, 640
Akım düzenleyici kazançları (K_p, K_i)	0.38, 28
Filtre endüktans değeri	0.0052 H
Filtre kapasite değeri	0.7958 μF

2.7. YSA Yöntemi ile Kestirim

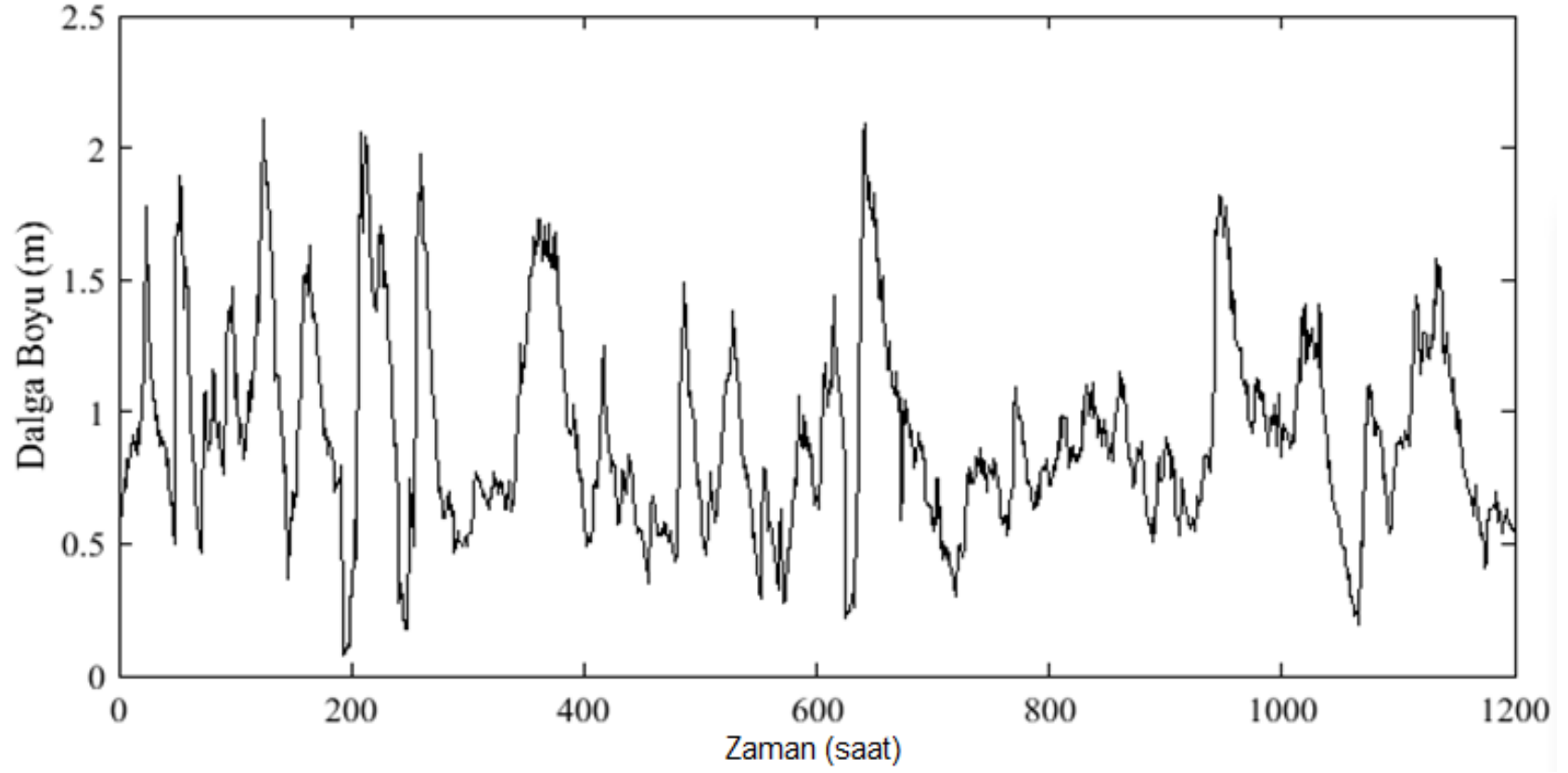
Güneş ışınımı kestirimi yapılırken kullanılan veri Trabzon (enlem: 40.991150, boylam: 39.784964) ili için, yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımı [84] numaralı kaynaktan, bağıl nem ve sıcaklık verisi ise [85] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Dalga boyu kestirimi için Meteoroloji genel müdürlüğüne ait 17390 numaralı istasyondaki İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışı Şamandıra verileri kullanılmıştır. 2015 ve 2016 yıllarına ait 3.-7. Aylardaki veriler kullanılmıştır. Şekil 2.9' da rastgele seçilen 50 güne ait saatlik güneş ışınım ve dalga boyu verileri verilmiştir. Bu tez çalışmasında gün öncesinden 24 saatlik kestirim yapılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi güneş ışınım ve dalga boyu verisi değişken ve kararsız bir yapıya sahiptir. Bu tez çalışmasında kestirim yapılırken çok katmanlı ileri beslemeli bir YSA kullanılmıştır.



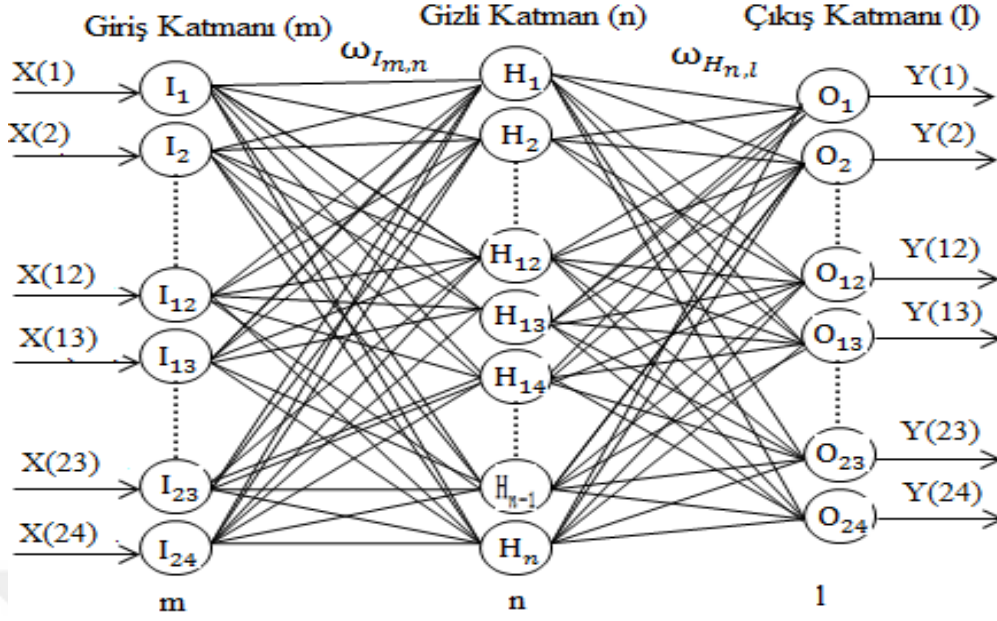
(a)

Şekil 2.9. (a) Güneş ışınım verisi, (b) Dalga boyu verisi

Şekil 2.9.' un devamı



(b)



Şekil 2.10. Tasarlanan YSA'nın yapısı

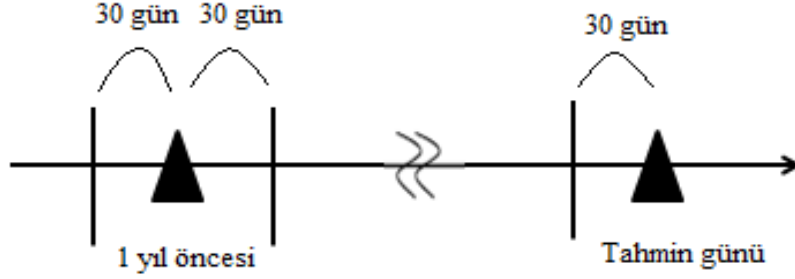
Şekil 2.10' da kestirim için tasarlanılan çok katmanlı YSA'nın yapısı verilmiştir. Veriler kullanılmadan önce 0.1-0.9 arasında normalize edilmiştir. Tablo 2.6.' da Güneş ışınımı için tasarlanan YSA'nın giriş ve çıkış değişkenleri verilmiştir. Dalga boyu için kullanılan $X(1)$ - $X(24)$ değişkenleri tahmin gününden hemen önceki güne ait dalga boyu verileridir.

Tablo 2.6. YSA'nın Giriş ve Çıkış Değişkenleri

Giriş Değişkeni	Açıklaması
$X(1)$ - $X(24)$	Benzer günün saatlik güneş ışınım değerleri (W/m^2)
Çıkış Değişkeni	Açıklaması
$Y(1)$ - $Y(24)$	Tahmin edilecek günün saatlik güneş ışınım değerleri (W/m^2)

[80] numaralı kaynaktaki kullanılan YSA eğitim zaman aralığı seçimi kullanılmıştır. Bahsedilen benzer gün seçim aralığı Şekil 2.11' de gösterilmiştir. Yıl içerisinde aynı zamanlarda mevsimsel etkilerden güneş ışınım ve dalga boyu karakteristikleri benzerlik

gösterdiği yani zaman serisi olduğu düşünüldüğünden, çalışma aralığı bu sınırlar dahilinde tutulmuştur.



Şekil 2.11. Benzer gün seçim aralığı [80].

Güneş ışınlam kestirimi için 90 günlük çalışma aralığı seçildikten sonra bu 90 güne ait her günün açıklık indeksi hesaplanıp benzer açıklıkta bulunan günler kendi aralarında sınıflandırılmıştır. Ayrıca maksimum sıcaklıkları arasında da benzerlik aranmıştır. Bu iki değişken güneş ışınlamı ile aralarındaki kolerasyon değerine bakılarak seçilmiştir. Böylece benzerlik oranı daha fazla artırılarak kestirimde oluşacak olan hatan en aza indirilmeye çalışılmıştır. Benzer gün, günlük maksimum sıcaklık ve açıklık indeksi kullanılarak oluşturulan ağırlıklı Öklid normu ile bulunmuştur. Benzerlik oranı (2.1)'deki eşitlik yardımıyla bulunmuştur.

$$D = \sqrt{g_1 \Delta T_{mak}^2 + g_2 \Delta AI^2} \quad (2.1)$$

$$\Delta T_{mak} = T_{mak} - T_{mak}^P \quad (2.2)$$

$$\Delta AI = AI - AI^P \quad (2.3)$$

Yukarıdaki eşitliklerde verilen,

T_{mak} : tahmin edilecek güne ait maksimum sıcaklık,

AI : tahmin edilecek güne ait açıklık indeksi,

T_{mak}^P : araştırılan güne ait maksimum sıcaklık,

AI^P : araştırılan güne ait açıklık indeksidir.

En küçük kareler yöntemiyle benzerlik seçimi için kullanılan parametrelerin güneş ışınlamını etkileme oranları belirlenmiştir. Belirlenen katsayılar Öklid normunda gün ışınlamını etkiledikleri oranda kullanılarak en uygun benzer gün seçilmiştir. Dalga boyu kestiriminde 90 gün aynı yöntemle seçilmiş fakat giriş olarak hemen önceki günün 24 saatlik güneş ışınlamı verisi kullanılmıştır.

Güneş ışınlamını için tasarlanan YSA'nın parametreleri Tablo 2.7.' de yer almaktadır. YSA parametreleri deneme yanılma ile belirlenmiştir. Çok katmanlı yapıldığında hata değerinin çok az değiştiği fakat programın süresinin uzadığı gözlemlendiği için program süresi ile azalan hata değeri göz önüne alınarak tek katmanlı bir ağı daha iyi olduğuna karar verilmiştir. İterasyon sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısı R değeri dikkate alınarak en yüksek doğruluğu sağlayacak şekilde deneme yanılma yolu ile bulunmuştur.

Tablo 2.7. Güneş ışınlamı kestirimi için tasarlanan YSA'nın parametreleri

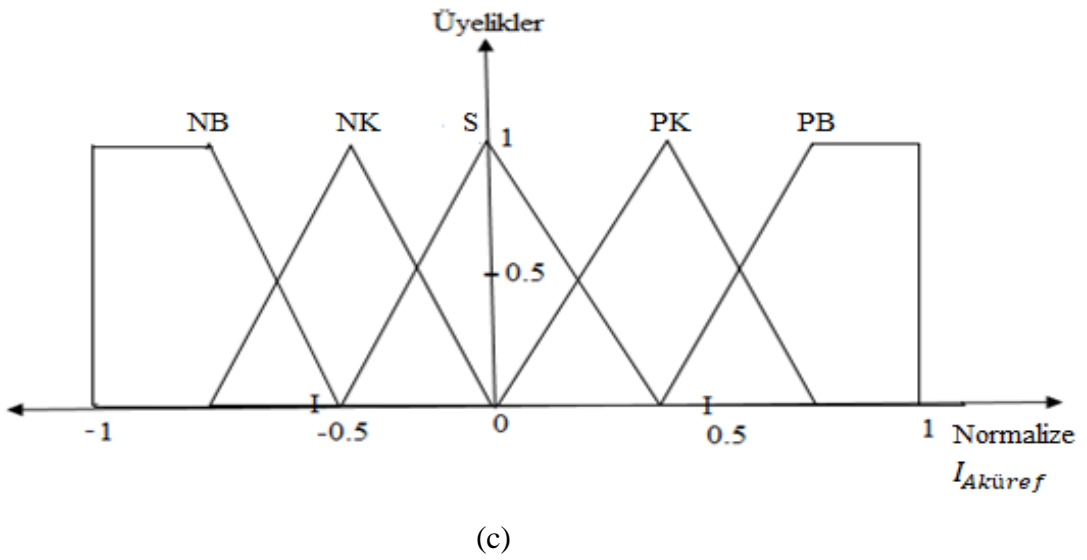
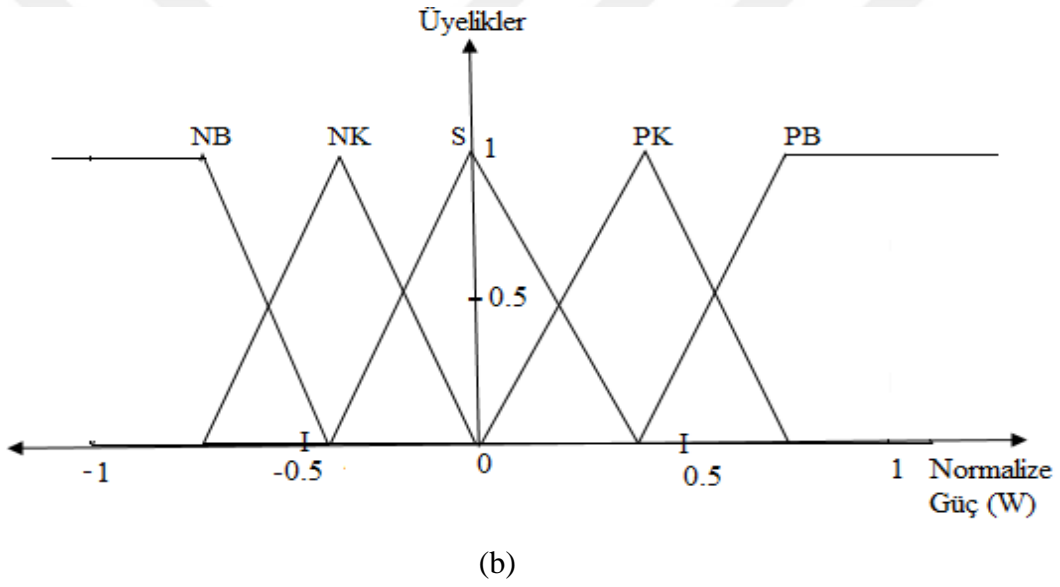
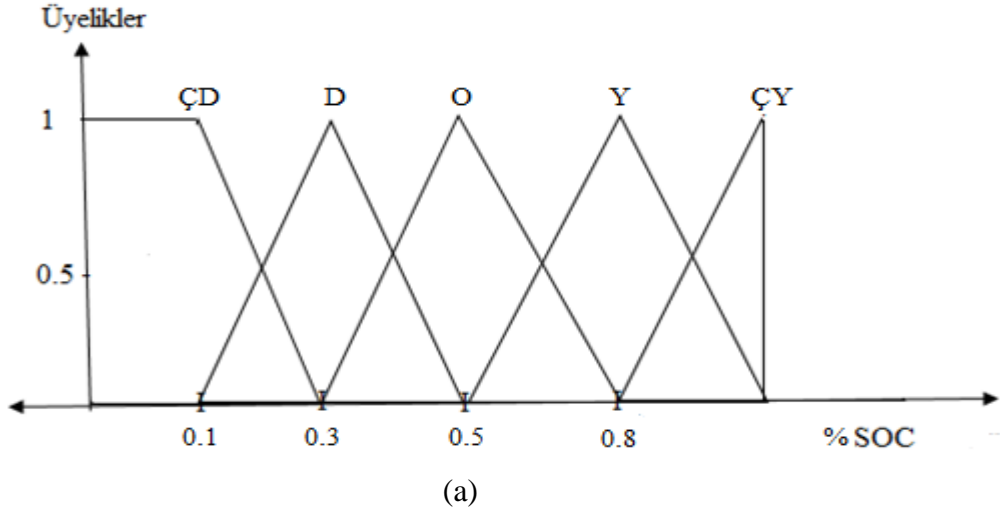
Giriş sayısı	24
Çıkış sayısı	24
Ara katman sayısı	1
Aktivasyon fonksiyonu	Log-sigmoid fonksiyon
Eğitim algoritması	Geri yayılım algoritması
Gizli katman nöron sayısı	29
İterasyon Sayısı	83000

Tablo 2.8. Dalga boyu kestirimi için tasarlanan YSA'nın parametreleri

Giriş sayısı	24
Çıkış sayısı	24
Ara katman sayısı	1
Aktivasyon fonksiyonu	Log-sigmoid fonksiyon
Eğitim algoritması	Geri yayılım algoritması
Gizli katman nöron sayısı	35
İterasyon Sayısı	85000

2.8. Neuro-Fuzzy Tabanlı Enerji Yönetim Algoritması

Bu tez çalışmasında hibrit enerji sistemin yönetimi akıllı neuro-fuzzy algoritması ile yapılmıştır. Neuro-fuzzy algoritmasında enerji durumu ve akü doluluk oranı giriş olarak, akü akımı da çıkış olarak kullanılmıştır. Giriş ve çıkışların sınırları ve deneme yanılma yoluyla üyelik fonksiyonlarının sınırları belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonunun sınırları optimize edilerek daha iyi yönetim yapılabilir. Şekil 2.12' de girişlerin ve çıkışın bulanık kümeleri verilmiştir. Tablo 2.8.' de bulanık kural tablosu verilmiştir.



Şekil 2.12. (a) SOC, (b) güç ve (c) akü akımının bulanık kümeleri

Tablo 2.9. Bulanık kural tablosu

	Güç (W)					
	$I_{Aküref}$	NB	NK	S	PK	PB
SOC	ÇD	S (1)	S (2)	S (3)	NK (4)	NB (5)
	D	PK (6)	S (7)	S (8)	NK (9)	NB (10)
	O	PB (11)	PK (12)	S (13)	NK (14)	NB (15)
	Y	PB (16)	PK (17)	S (18)	S (19)	NK (20)
	ÇY	PB (21)	PK (22)	S (23)	S (24)	S (25)

Neuro-fuzzy kural tablosunda SOC için beş fuzzy değer (ÇD: çok düşük, D: düşük, O: orta, Y: yüksek, ÇY: çok yüksek), güç için beş fuzzy değer (NB: negatif büyük, NK: negatif küçük, S: sıfır, PK: pozitif küçük, PB: pozitif büyük) ve akü referans akımı için beş fuzzy değer (NB: negatif büyük (çok şarj), NK: negatif küçük (az şarj), S: sıfır, PK: pozitif küçük (az deşarj), PB: pozitif büyük (çok deşarj)) tanımlanmıştır.

$$P_{Akü} = P_{Kestirim} - P_{yük} \quad (2.4)$$

$$I_{Aküref} = \frac{P_{Akü}}{V_{Akü}} \quad (2.5)$$

$$P_{Kestirim} = P_{pv} + P_{Dalga} \quad (2.6)$$

Bu denklemde,

$P_{akü}$: akü gücü,

$V_{Akü}$: çift yönlü DA/DA dönüştürücü çıkışındaki gerilim (400 V),

P_{pv} : kestirimi yapılan PV gücü (W),

P_{Dalga} : kestirimi yapılan dalga gücü (W),

$I_{Aküref}$: akü referans akımı (A),

$P_{yük}$: yük gücü (W)'dır.

Kural tablosuna bakıldığında 25 tane kural oluşturulmuştur. Neuro-fuzzy akıllı enerji yönetim algoritması bu durumlara göre karar vererek güç akışını kontrol etmektedir. Tablo 2.10' daki bulanık kural tablosu oluşturulurken yararlanılan kuralların bazıları aşağıda verilmiştir.

1. kural eğer Güç negatif büyük ve SOC çok düşük ise $I_{aküref}$ sıfırdır.
6. kural eğer Güç negatif büyük ve SOC düşük ise $I_{aküref}$ pozitif küçüktür.
10. kural eğer Güç pozitif büyük ve SOC düşük ise $I_{aküref}$ negatif büyüktür.
14. kural eğer Güç pozitif küçük ve SOC orta ise $I_{aküref}$ negatif küçüktür.
22. kural eğer Güç negatif küçük ve SOC çok yüksek ise $I_{aküref}$ pozitif küçüktür.

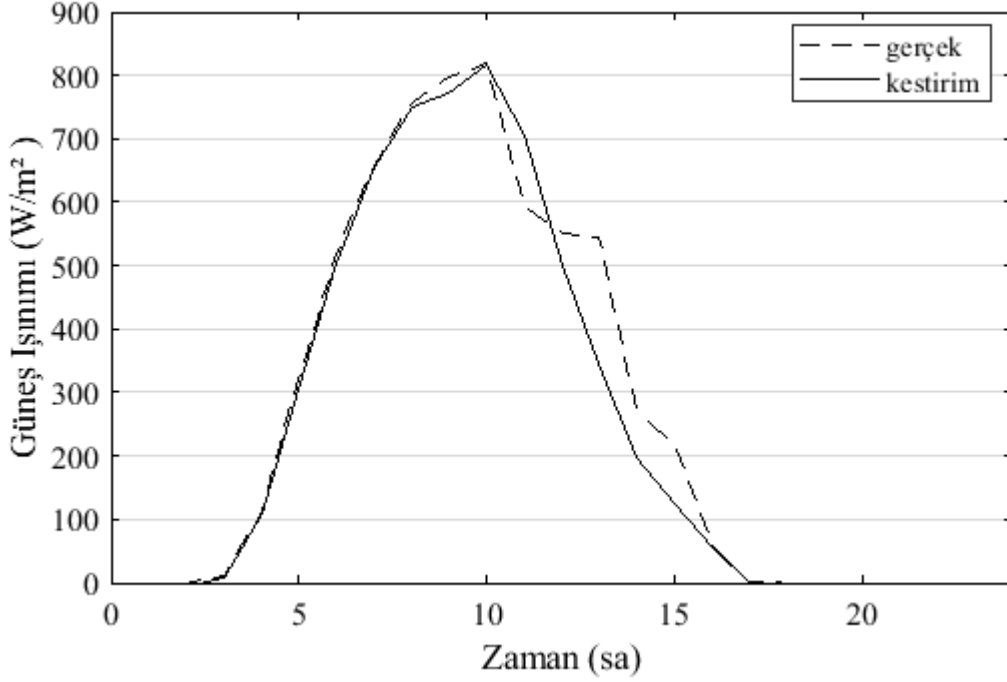
Yenilenebilir kaynaklardan üretilen gücün yükten çok çok az büyük ya da küçük olması halinde akünün bu kadar küçük bir değer için şarj ya da deşarj olarak akü ömrünü kısaltmaması için akü referans akımının bulanık kümeleri arasına Sıfır fuzzy değer tanımlanmıştır. Bu değer bazı kaynaklarda sistemin 1/3 gücüne karşılık gelecek şekilde alınmıştır [86].

Yönetim algoritması $I_{Aküref}$ değerinin Sıfır olduğu değerler dışında Şekil 2.8.' deki benzetim modelinde Anahtar adlı anahtarı bilgilendirerek aküyü sisteme alır ve sistemin şarj/deşarj (artıran /azaltan dönüştürücü) durumunu belirleyen DURUM anahtarına algoritma sonucuna göre bilgi sağlar. Bütün bu bilgiler sağlandıktan sonra Neuro-fuzzy akıllı enerji yönetim algoritması akünün referans akımını değiştirerek ne kadar şarj/deşarj olacağına karar vermektedir. Akü akımı akünün güvenli aralık bölgesinde kalacak şekilde sınırlandırılmıştır. Yani akü şarj ya da deşarj durumunda belirli akım değerini aşmamaktadır. Böylece bazı durumlarda yük şebeke tarafından beslenilmiştir ya da fazla olan güç şebekeye verilmiştir.

Neuro-fuzzy akıllı enerji algoritmasının eğitiminin yapılabilmesi için hazır giriş ve çıkış verisine ihtiyaç vardır. Yönetim algoritması için sanal veri oluşturulmuştur. Neuro-Fuzzy algoritmasında YSA kısmı, alınan üyelik fonksiyonlarının katsayılarını uygun hale getirerek fuzzy algoritmasının verimliliğini artırmıştır. Ayrıca bu algoritma ile eğitim yapılarak şebeke daha iyi tanınmış olunur.

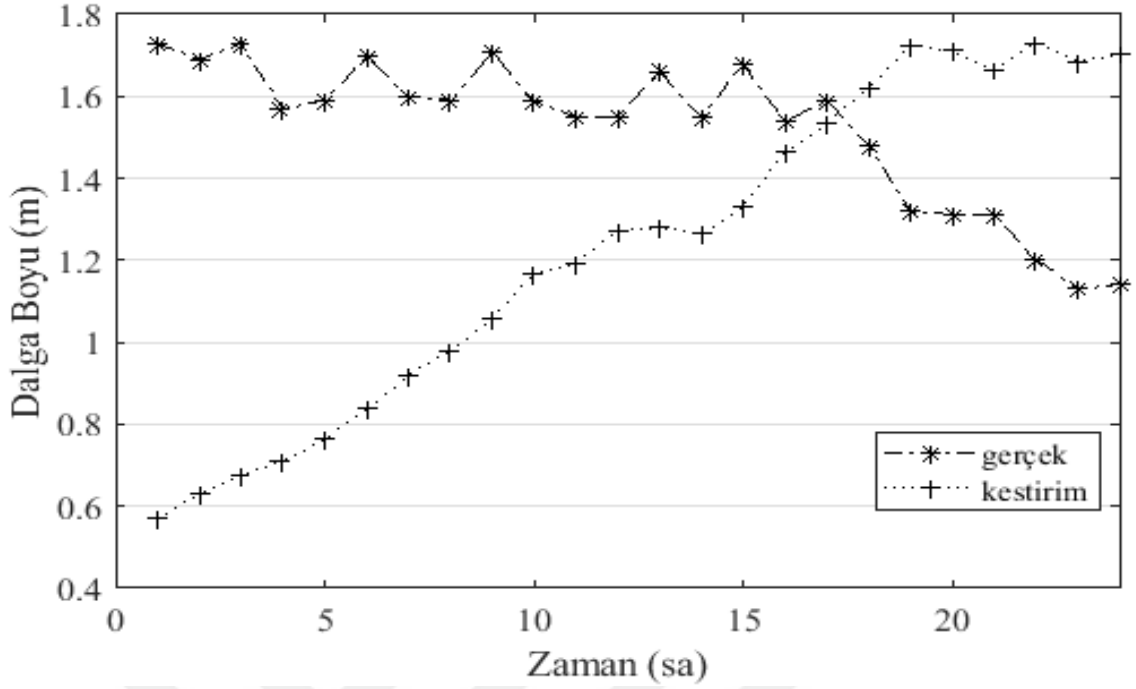
3. BULGULAR

3.1. Kestirim Sonuçlarının İrdelenmesi



Şekil 3.1. 03/05/2016 gününe ait kestirilen ve gerçek güneş ışınımı eğrileri

Rastgele seçilen veri 3 Mayıs 2016 tarihine aittir. Şekil 3.1’deki kestirim günü için saatlik güneş ışınımı %5.737 OMYH, 84.45 W/m² KOH, 26,784 OMH ve 0.9851 korelasyon katsayısı ile bulunmuştur. Korelasyon katsayısı 1’ e yaklaştıkça kestirimin doğruluğu derecesi artmaktadır. 0.9851 korelasyon katsayı değeri bize bugüne ait kestirimin çok iyi olduğunu göstermektedir. Benser seçim algoritması kestirimin doğruluğunu artırmıştır. Tasarlanan YSA yapısı ile yüksek doğrulukta güneş ışınım kestirimi yapılmıştır.



Şekil 3.2. 03/05/2016 gününe ait kestirilen ve gerçek dalga boyu verileri

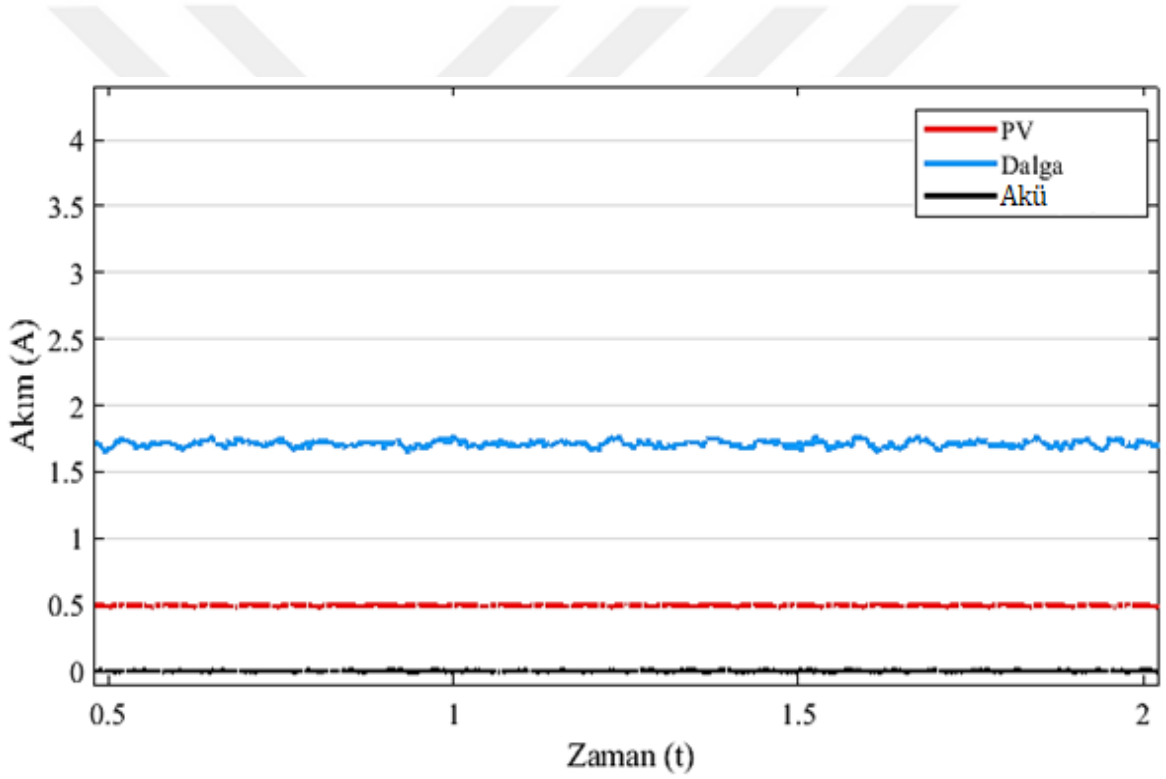
Güneş ışınlm verileri ile aynı güne ait verilerin kestiriminin yapılması için kestirim günü 3 Mayıs 2016 tarihi seçilmiştir. Şekil 3.2'deki kestirim günü için saatlik dalga boyu %26.771 OMYH, 0.6164 W/m² KOH, 0.0987 OMH ve -0.793 korelasyon katsayısı ile bulunmuştur. -0.793 korelasyon katsayı değeri bize bugüne ait kestirimin çok kötü olduğunu göstermektedir. Elimizdeki veriler sağlıklı olmadığı için YSA eğitiminde veriler arasında ilişki bulamamış ve kötü kestirim sonuçları elde edilmiştir.

3.2. Neuro-Fuzzy Tabanlı Akıllı Enerji Yönetiminin İrdelenmesi

Bu kısımda fuzzy kurallarından dolayı oluşan durumların sonucunda elde edilen gerilim, akım, güç ve SOC grafikleri verilmiştir. Neuro-Fuzzy tabanlı akıllı enerji yönetim algoritması olası bütün durumlara cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. 25 tane kural oluşturulmuştur fakat burada 5 farklı durum ele alınmıştır. Tasarlanan algoritma ile benzetimdeki Anahtar değişkeninin durumu ve DURUM anahtarının konumu da belirlenmiştir. Ayrıca akünün referans gerilimi değiştirilerek akünün şarj/deşarj miktarı belirlenmiştir.

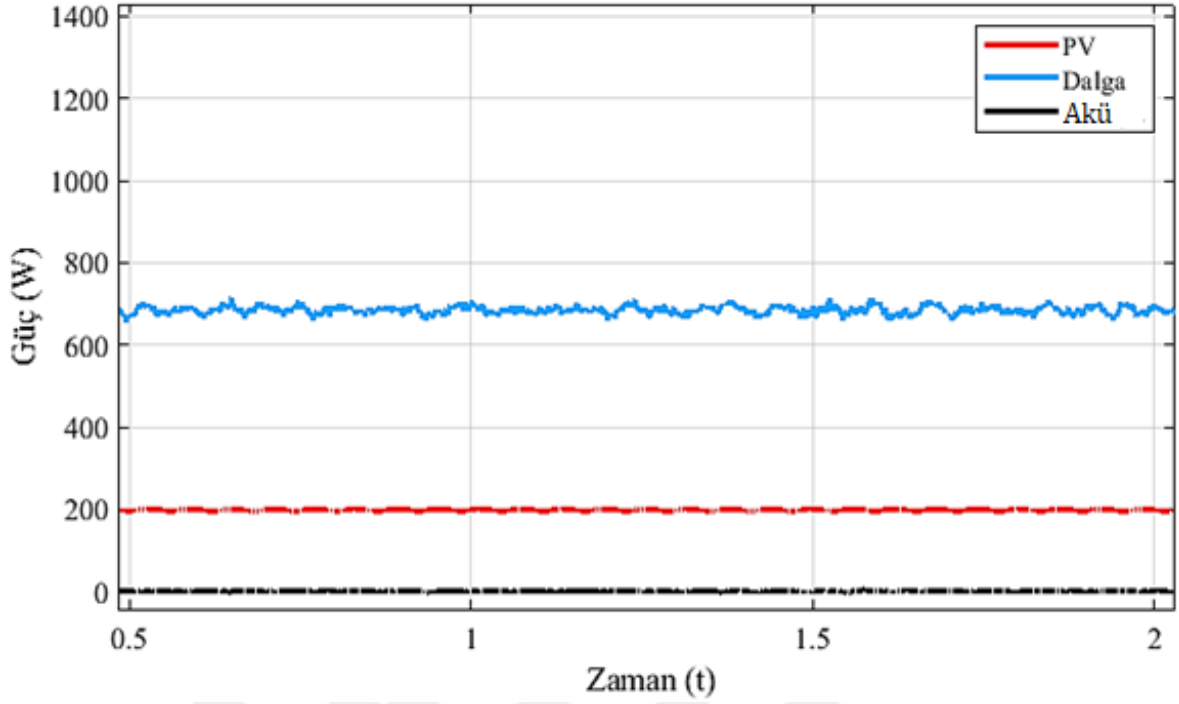
3.2.1. Durum 1

Güç negatif büyük (NB) ya da negatif küçük (NK) ve SOC çok düşük (ÇD) ise akü referans akımı sıfır (S) dır. Yani yenilenebilir kaynaklardan enerji üretilmiyorsa ya da üretilen miktar tüketime göre küçükse ve akü doluluğu çok düşükse benzetimdeki Anahtar pasif ve akü referans akımı sıfırdır yani akü şarj/deşarj olmaz. Enerji talebi şebekeden karşılanır. Bu kural ile garanti güç tekniği [86] kullanılıp garanti güç değeri $\pm 600W$ belirlenerek bu aralıkta akünün şarj/deşarj olması engellenerek akü ömrüne katkı sağlanılmıştır. Şekil 3.3.' de Durum 1' i sağlayan koşullarda yenilenebilir kaynaklardan alınan akım ve bu durum karşısında akünün şarj/deşarj akım çıktısı verilmiştir.



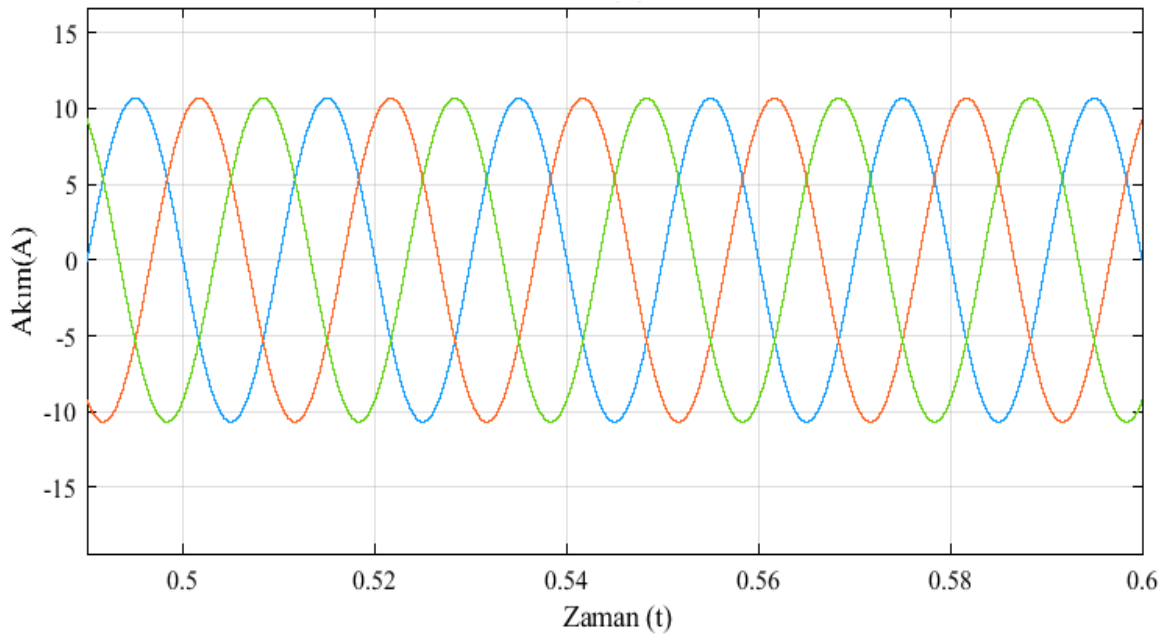
Şekil 3.3. Durum 1 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı

Durum 1' de ışınım değeri $100 W/m^2$, dalga boyu 0,6 m, yük 5 kW ve akü şarj oranı %30 olduğu durum incelenmektedir. Bu durumda akü referans akımı sıfırdır. Akü şarj-deşarj olmaz ve yükün enerjisiz kalmaması için şebekeden güç çekilir.



Şekil 3.4. Durum 1 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü

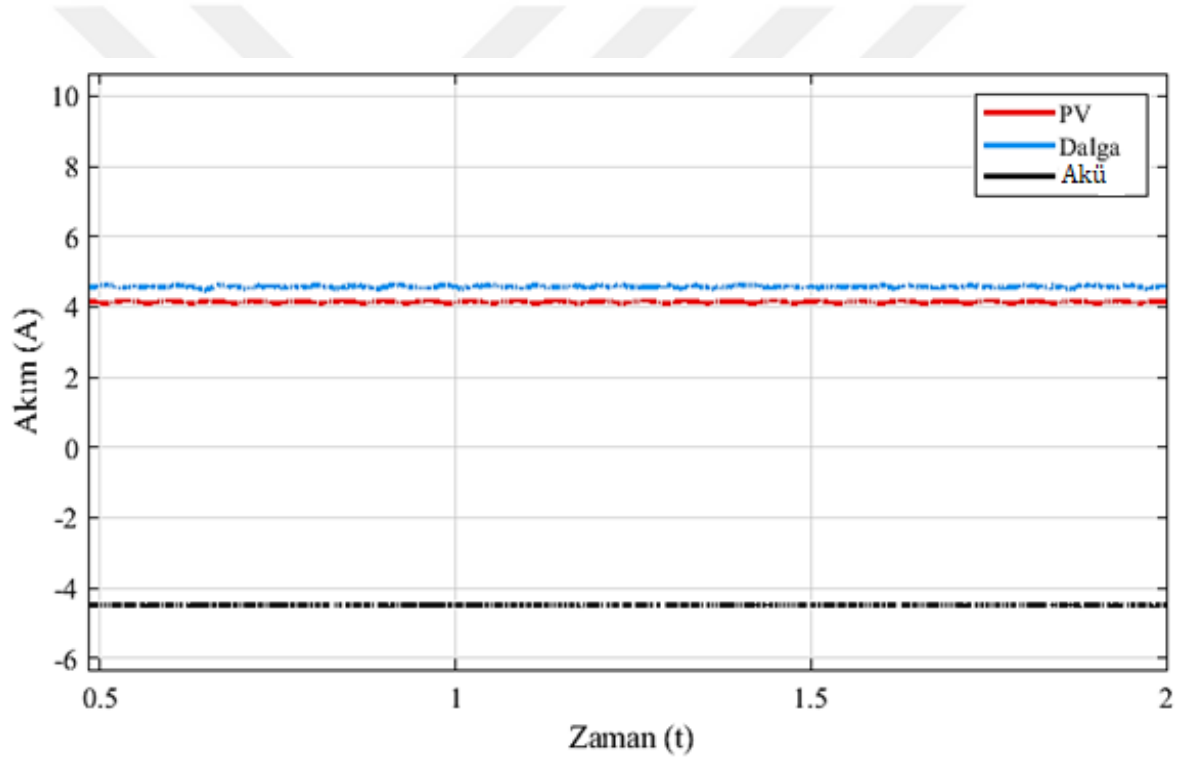
Şekil 3.4.' de yenilenebilir kaynakların ve akünün gücü verilmiştir. Üretilen enerji yaklaşık olarak tüketilene eşit olduğu için akü devreye girmemiştir. Şekil 3.5.' da yükün akım çıktısı verilmiştir. Şekil 2.1.' de verilen sistemin B1 barasında bu durumda ölçülen toplam harmonik bozunum (THD) %4' dür.



Şekil 3.5. Durum 1 yük akımı

3.2.2. Durum 2

Güç pozitif büyük (PB) ve SOC çok düşük (ÇD), düşük (D) ya da orta (O) ise akü referans akımı NB' dir. Yani yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji çok fazla ise ya da tükettim talebi üretim miktarına göre çok az ise ve akü doluluğu çok düşük, düşük ya da orta ise akü referans akımı şarj yönünde büyüktür ve benzetimdeki Anahtar aktiftir. Yani akü şarj olur. Benzetimdeki Durum anahtarı 1 konumunda yani çift yönlü DA/DA dönüştürücü azaltan dönüştürücü olarak görev yapar. Şekil 3.6.' de Durum 2' yi sağlayan koşullarda yenilenebilir kaynaklardan alınan akım ve bu durum karşısında akünün şarj/deşarj akım çıktısı verilmiştir.

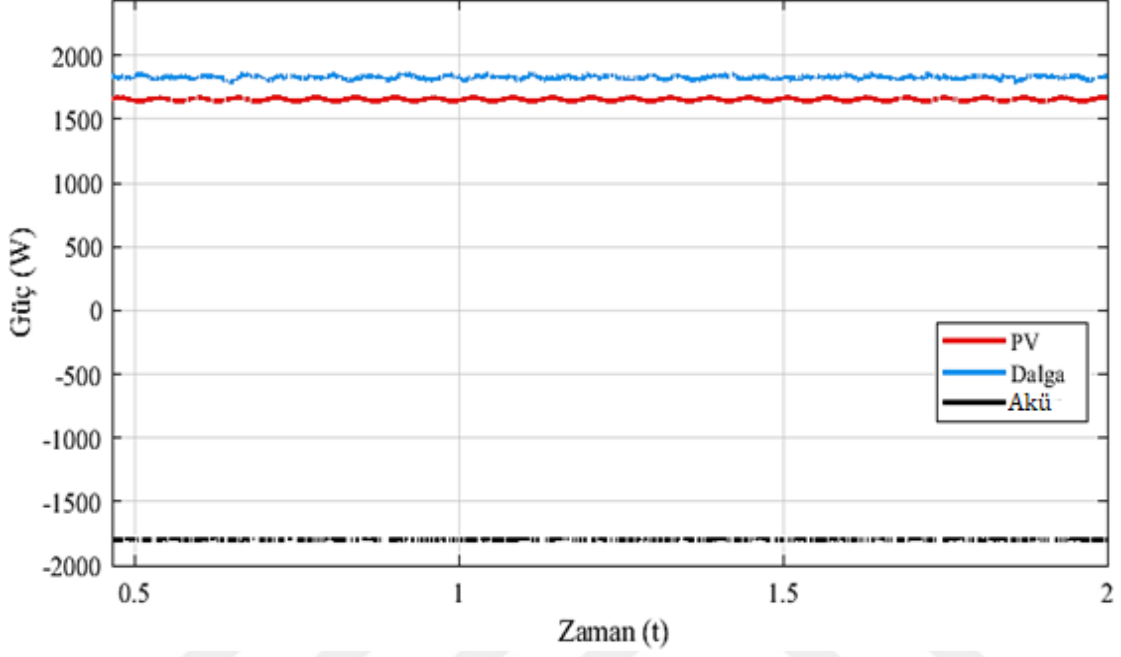


Şekil 3.6. Durum 2 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı

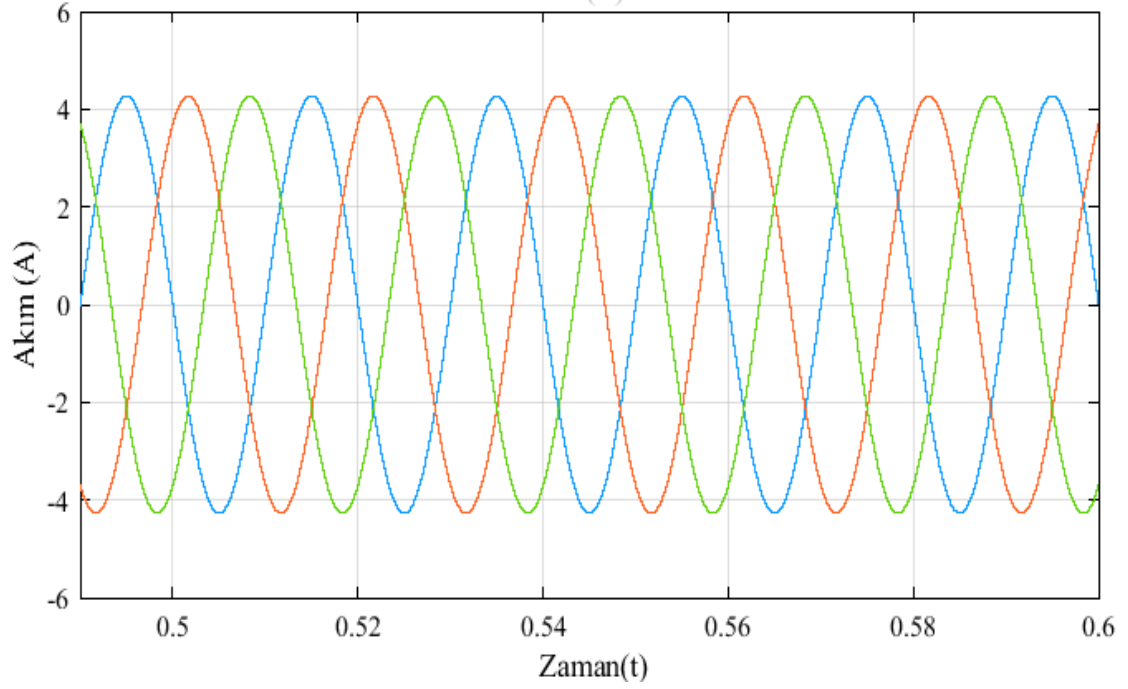
Durum 2' de ışınım değeri 800 W/m^2 , dalga boyu 1,2 m, yük 2 kW ve akü şarj oranı %25 olduğu durum incelenmektedir. Bu durumda akü referans akımı -4.5 A' dir. Üretilen güç fazla olduğu için öncelikle akü şarj edilir.

Şekil 3.7.' de yenilenebilir kaynakların ve akünün gücü verilmiştir. Üretilen enerji tüketilen enerjiden fazla olduğu için ve akü şarj durumu çok düşük olduğu için akü şarj olmuştur. Şekildeki eksi (-) değer akünün şarj olduğunu göstermektedir. Şekil 3.8.' de yükün

akım çıktısı verilmiştir. Şekil 2.1.' de verilen sistemin B1 barasında bu durumda ölçülen toplam harmonik bozunum (THD) %3.6' dır.



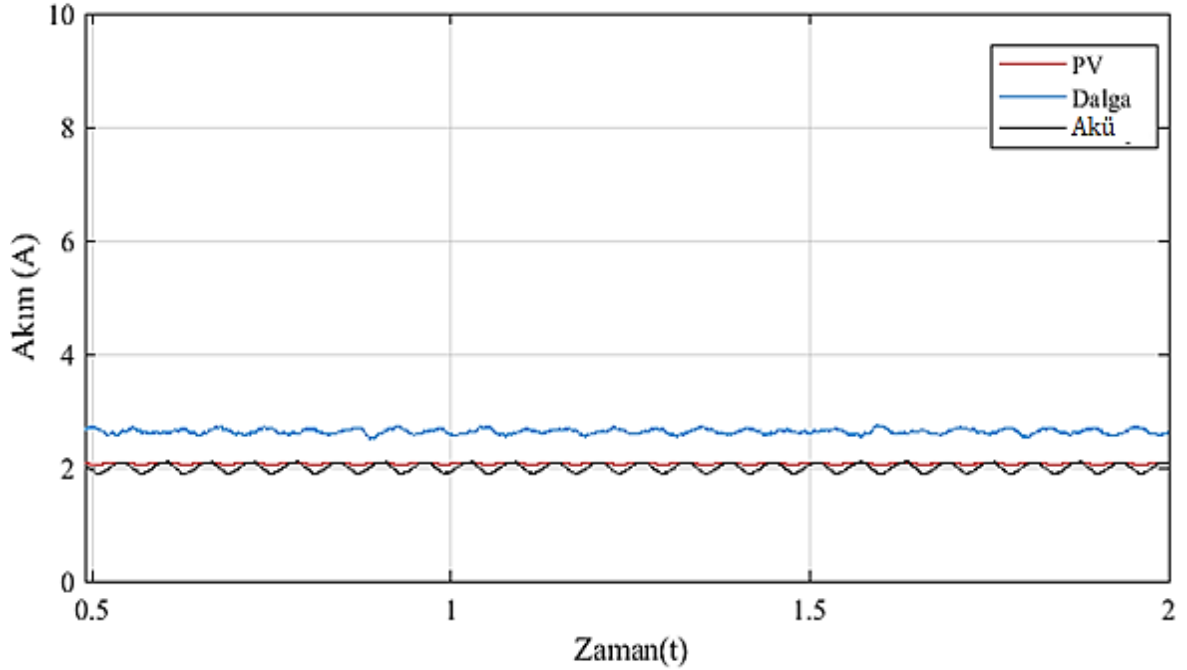
Şekil 3.7. Durum 2 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü



Şekil 3.8. Durum 2 yük akımı

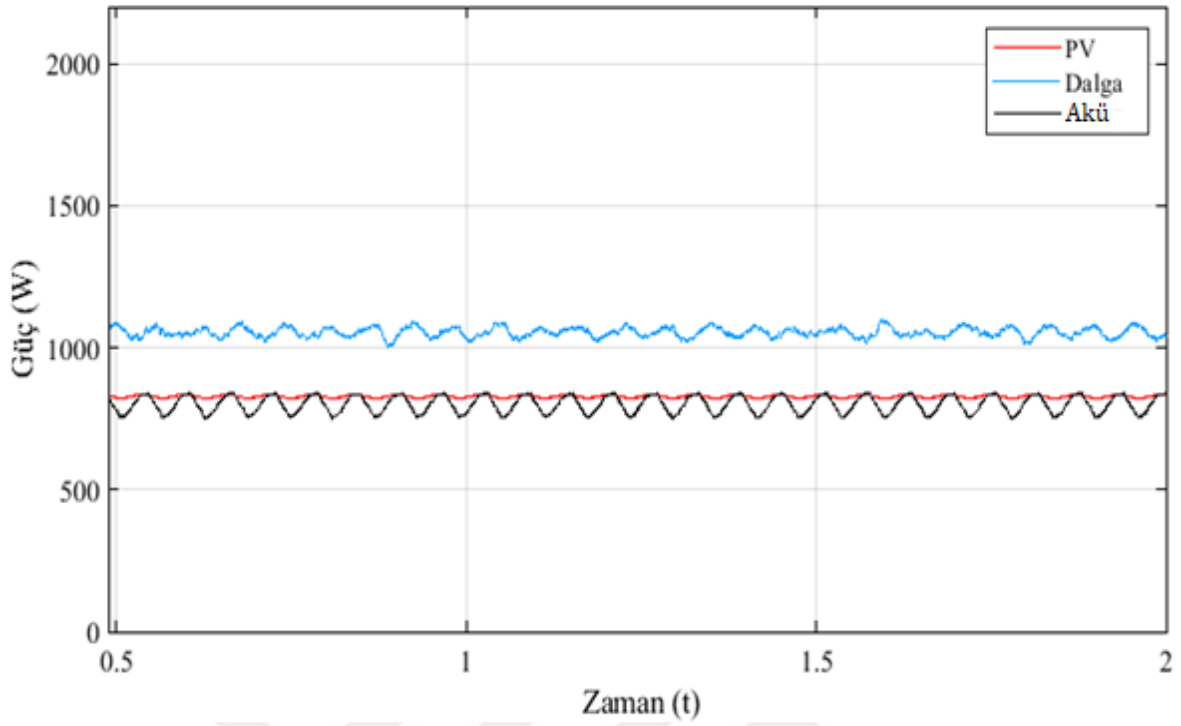
3.2.3. Durum 3

SOC ÇY, Y ya da O ve güç NK ise akü referans akımı PK' dir. Yani akü çok dolu, dolu ya da orta dolulukta ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretilmiyor ya da üretim miktarı tüketim talebinden az ise akü referans akımı deşarj yönünde küçüktür ve benzetimdeki Anahtar pasiftir. Benzetimdeki Durum anahtarı 2 konumunda yani çift yönlü DA/DA dönüştürücü artıran dönüştürücü olarak görev yapar. Şekil 3.9.' da Durum 3' ü sağlayan koşullarda yenilenebilir kaynaklardan alınan akım ve bu durum karşısında akünün şarj/deşarj akım çıktısı verilmiştir.

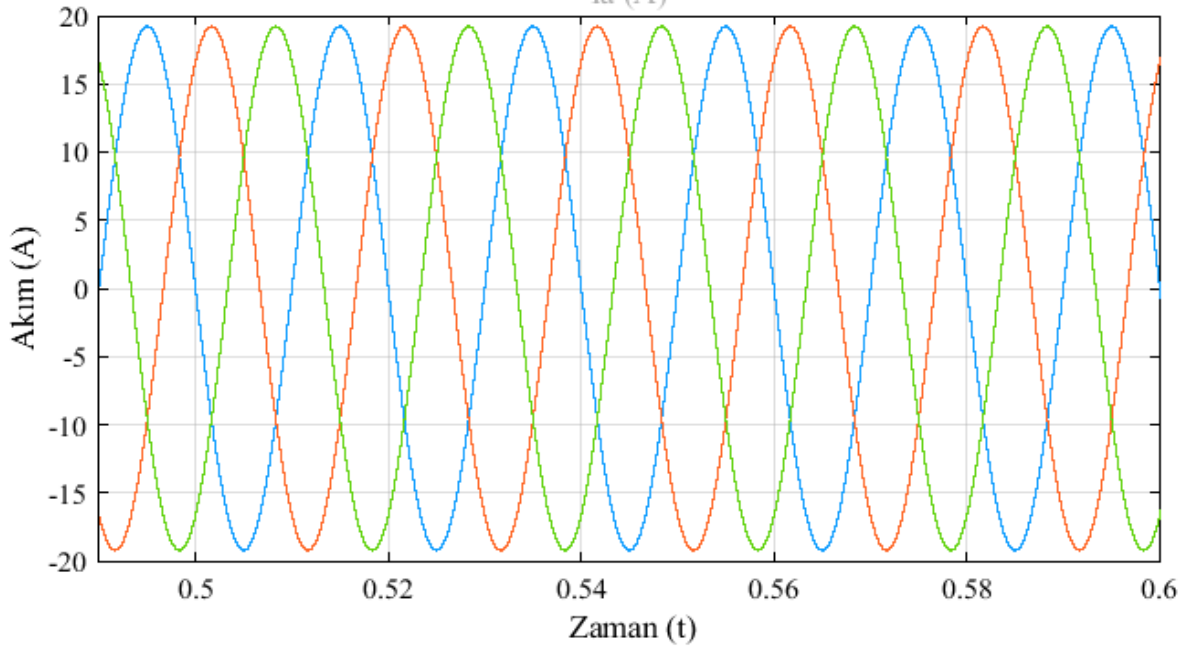


Şekil 3.9. Durum 3 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı

Durum 3' de ışınım değeri 400 W/m^2 , dalga boyu 0,8 m, yük 3 kW ve akü şarj oranı %90 olduğu durum incelenmektedir. Bu durumda akü referans akımı 2 A' dir. Akü deşarj olur. Yükün enerjisiz kalmaması için şebekeden güç çekilir.



Şekil 3.10. Durum 3 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü



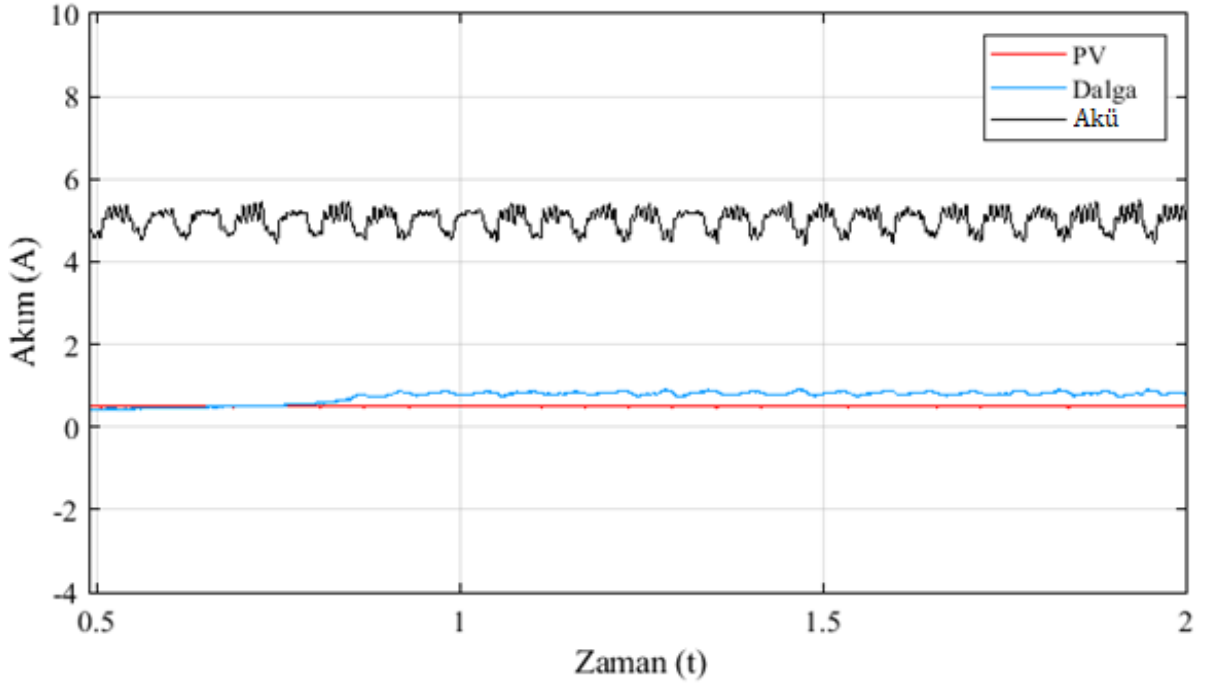
Şekil 3.11. Durum 3 yük akımı

Şekil 3.10.' de yenilenebilir enerji kaynaklarının ve akünün gücü verilmiştir. Üretilen enerji tüketilen enerjiden küçük miktarda az olduğu için ve akü şarj durumu yüksek olduğu

için akü az deşarj olmuştur. Şekil 3.11.' de yükün akım çıktısı verilmiştir. Şekil 2.1.' de verilen sistemin B1 barasında bu durumda ölçülen akımın toplam harmonik bozunum (THB) değeri %2'dir.

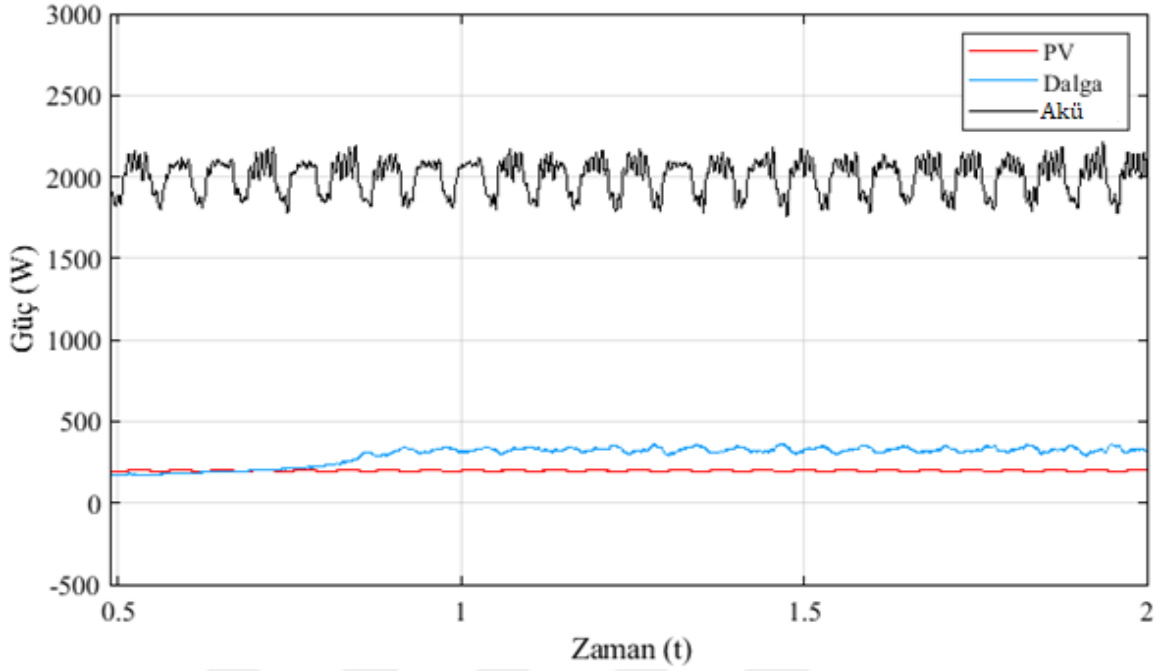
3.2.4. Durum 4

Güç NB ve SOC ÇY, Y ya da O ise akü referans akımı PB' dir. Yani yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji çok fazla ise ya da tüketim talebi üretim miktarına göre çok az ise ve akü doluluğu çok düşük, düşük ya da orta ise akü referans akımı deşarj yönünde büyüktür ve benzetimdeki Anahtar aktiftir. Yani akü deşarj oluyordur. Benzetimdeki Durum anahtarı 2 konumunda yani çift yönlü DA/DA dönüştürücü artıran dönüştürücü olarak görev yapar. Şekil 3.12.' de Durum 4' ü sağlayan koşullarda yenilenebilir kaynaklardan alınan akım ve bu durum karşısında akünün şarj/deşarj akım çıktısı verilmiştir.

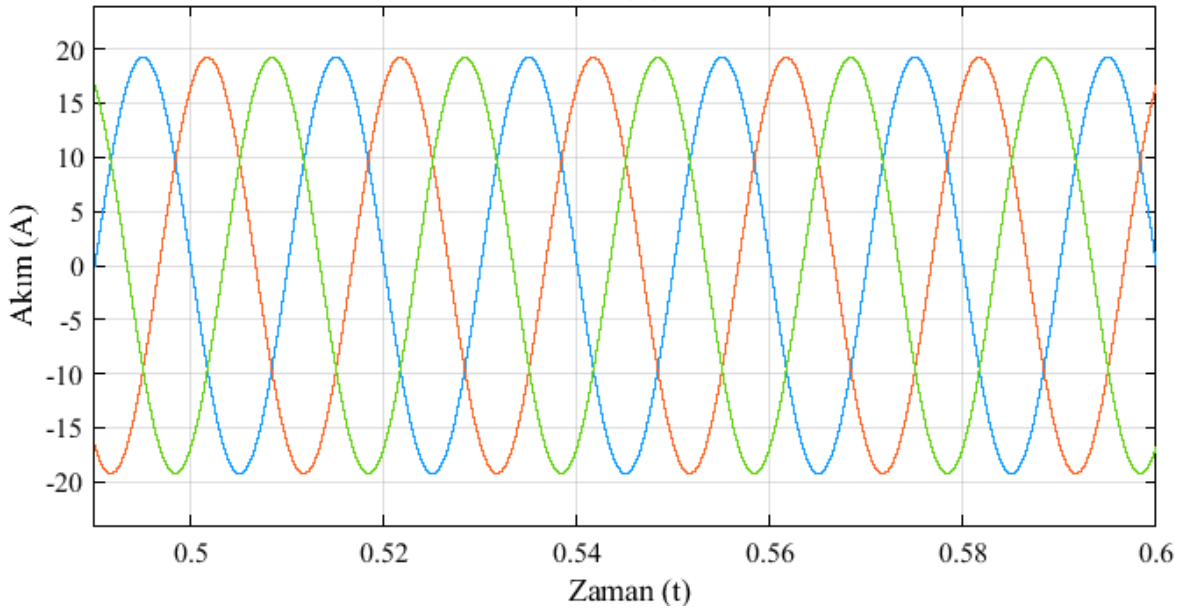


Şekil 3.12. Durum 4 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı

Durum 4' de ışınım değeri 100 W/m^2 , dalga boyu 0,2 m, yük 9 kW ve akü şarj oranı %70 olduğu durum incelenmektedir. Bu durumda akü referans akımı 5 A' dir. Akü deşarj olur. Yükün enerjisiz kalmaması için şebekeden güç çekilir.



Şekil 3.13. Durum 4 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü



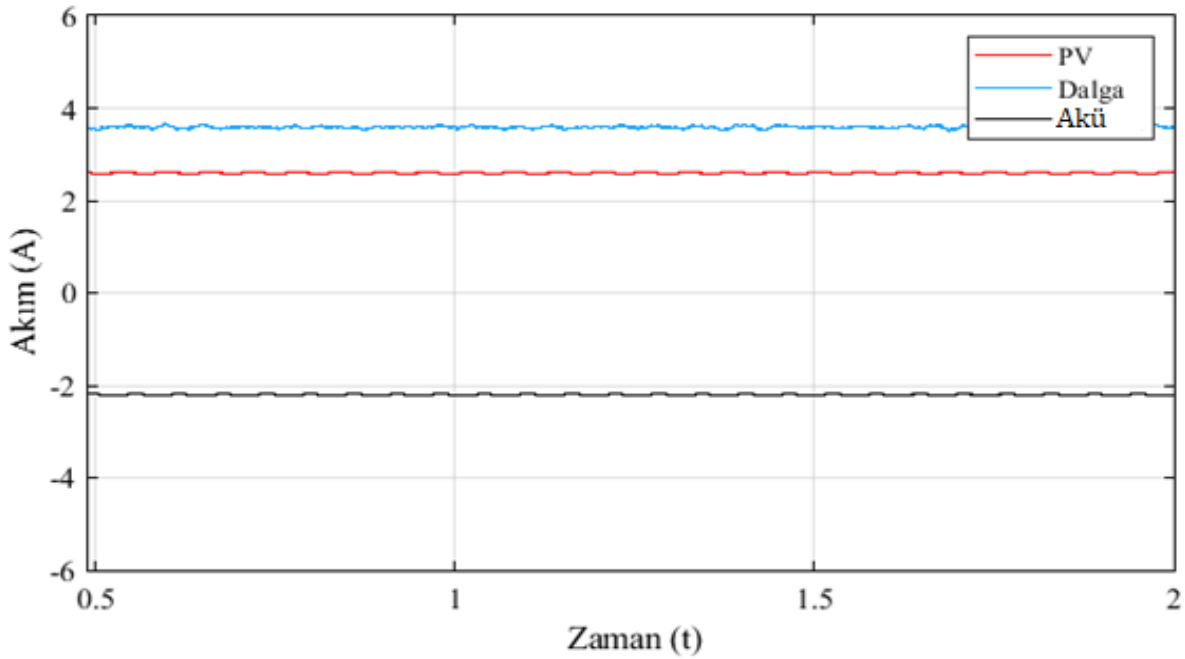
Şekil 3.14. Durum 4 yük akımı

Üretilen enerji tüketilen enerjiden çok küçük olduğu için ve akü şarj durumu çok yüksek olduğu için akü çok deşarj olmuştur. Şekil 3.14.' de yükün akım çıktısı verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok az üretim yapması sistemi olumsuz etkilemektedir.

Akünün çıkışında çok fazla salınım görülmektedir. Şekil 2.1.' de verilen sistemin B1 barasında bu durumda ölçülen akımın toplam harmonik bozunum (THB) değeri %4.6'dır.

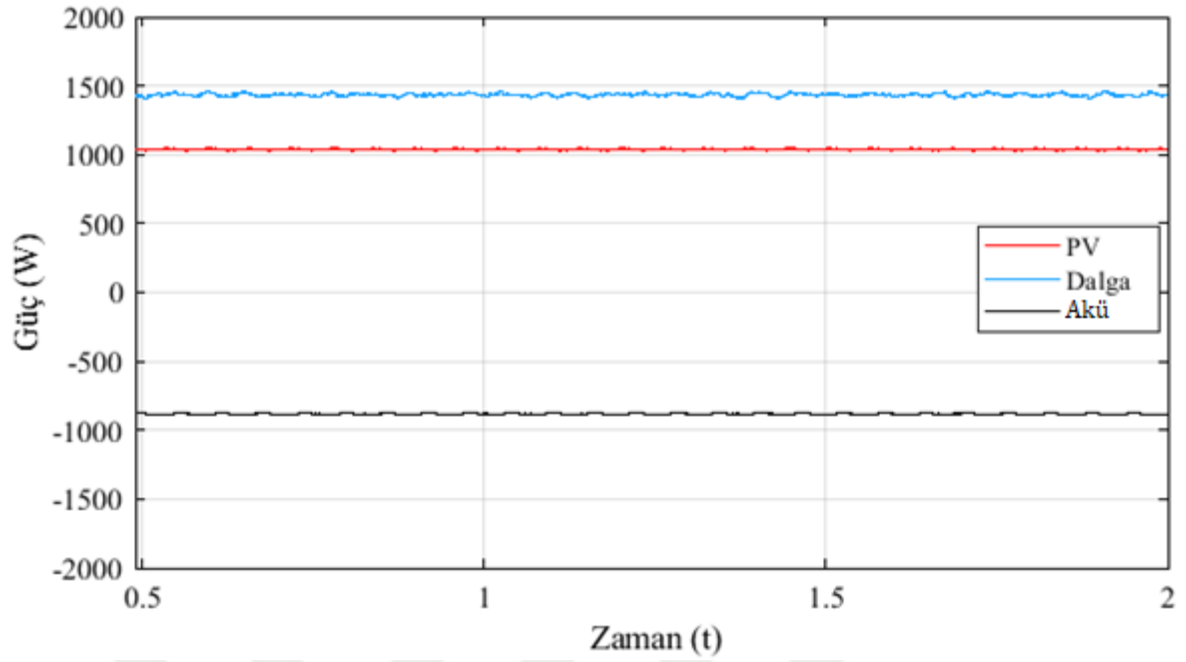
3.2.5. Durum 5

Güç PK ve SOC ÇD, D ya da O ise akü referans akımı NK' dir. Yani yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji çok fazla ise ya da tüketim talebi üretim miktarına göre çok az ise ve akü doluluğu çok düşük, düşük ya da orta ise akü referans akımı deşarj yönünde büyüktür ve benzetimdeki Anahtar aktiftir. Yani akü deşarj oluyordur. Benzetimdeki Durum anahtarı 1 konumunda yani çift yönlü DA/DA dönüştürücü azaltan dönüştürücü olarak görev yapar. Şekil 3.15.' de Durum 5' i sağlayan koşullarda yenilenebilir kaynaklardan alınan akım ve bu durum karşısında akünün şarj/deşarj akım çıktısı verilmiştir.

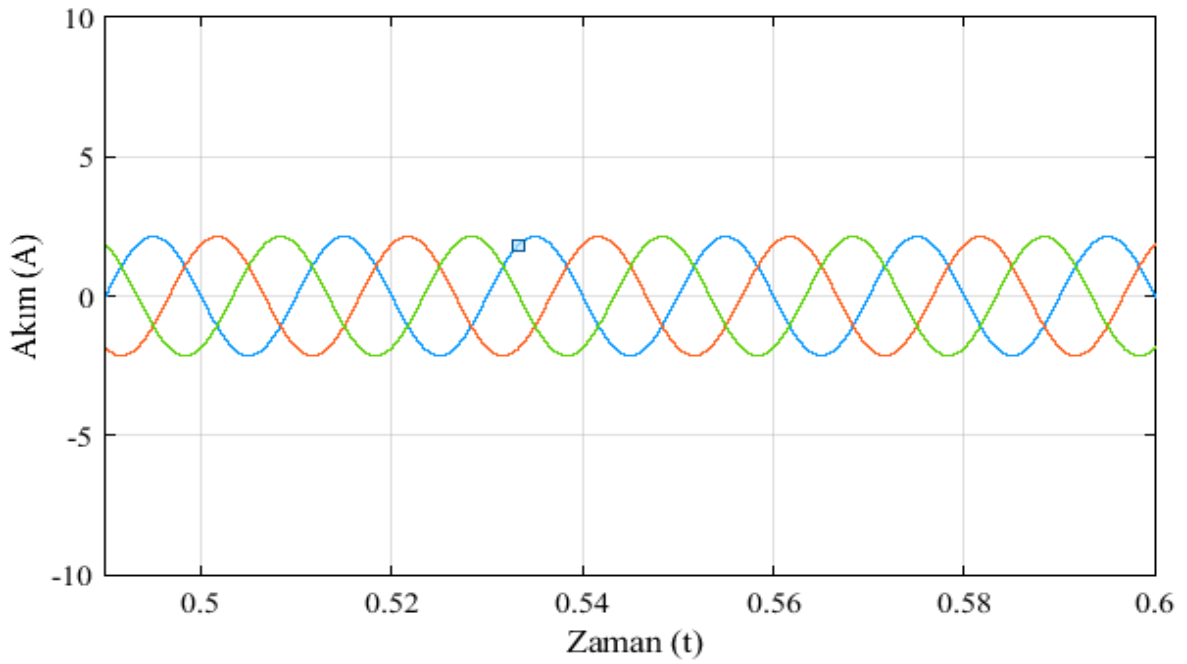


Şekil 3.15. Durum 5 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü akımı

Durum 5' de ışınım değeri 500 W/m^2 , dalga boyu 1 m, yük 1 kW ve akü şarj oranı %25 olduğu durum incelenmektedir. Bu durumda akü referans akımı -2.5 A' dir. Akü şarj olur. Üretilen güç fazla olduğu için artan güç şebekeye verilir.



Şekil 3.17. Durum 5 yenilenebilir enerji kaynağı ve akü gücü



Şekil 3.16. Durum 5 yük akımı

Şekil 3.16.' da yenilenebilir enerji kaynaklarının ve akünün gücü verilmiştir. Üretilen enerji tüketilen enerjiden fazla olduğu için ve akü şarj normal olduğu için akü a az şarj olmuştur. Şekil 3.17.' de yükün akım çıktısı verilmiştir. Şekil 2.1.' de verilen sistemin B1 barasında bu durumda ölçülen akımın toplam harmonik bozunum (THB) değeri %3.2'dir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada hibrit (PV-Dalga-Akü) enerji sistemi için Neuro-fuzzy tabanlı akıllı enerji yönetimi önerilmiş ve yönetim kolaylığı için gün öncesinden YSA ile güneş ışınımı ve dalga boyu kestirimi yapılmıştır. Önerilen yönetim algoritması ve YSA kestirim algoritması Matlab m-file' da oluşturulmuştur. Şebeke bağlantılı hibrit (FV-Dalga-Akü) sistemin Matlab/Simulink' te benzetimi yapılmıştır. YSA ile gün öncesinden 24 saatlik dalga ve güneş ışınım kestirimi yapılmıştır. Benzetim zamanı ile gerçek zaman arasında bir bağ kurulamadığı için, akünün farklı SOC durumlarında algoritmanın nasıl davranacağını görmek için çeşitli senaryolar oluşturulmuştur ve algoritmanın davranışı incelenmiştir.

Tavsiye edilen enerji yönetiminde enerji üretim verileri kestirildiği için algoritma tarafından enerji yönetimi planlanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak dalga ve fotovoltaik kaynak kullanılmıştır. Akünün, şarj durumu ve yenilenebilir kaynaklardan kestirilmiş olan üretime bakılarak tüketicilerin enerjisiz kalmaması ve aynı zamanda mümkün olduğunca şebekeden az enerji çekmesi sağlanmıştır. Tavsiye edilen algoritma ile hem enerji yönetilmiş hemde akünün ne kadar şarj ya da deşarj edileceğine karar verilmiştir. Mevsimlik ya da aylık olarak yönetimi yapılacak yerin üretimini bilineceği için daha kolay yönetim yapılır. Ayrıca güneş ışınım kestirimi için tatmin edilebilir sonuçlara ulaşılmış ve performans kriterleri ile değerlendirilerek gösterilmiştir. Dalga boyu kestirimi içinse elimizde sağlıklı veriler olmadığı için çok iyi sonuçlar elde edilememiştir.

Tasarlanılan sistemde yönetim algoritmasıyla akünün çok küçük güçler için devreye girip çıkması engellenmiş ve akü ömrüne katkı sağlanılmıştır.

Şebeke bağlantılı hibrit (FV-Dalga-Akü) sistemin Matlab/Simulink' te benzetimi yapılarak önerilen yönetim algoritmasının performansı irdelenmiştir. Farklı gün ışığı, dalga boyu ve akü SOC oranı için senaryo durumları oluşturulmuş ve kararlı bir yönetim yapılarak şebeke dalgalanmalarına ve tüketicilerin enerjisiz kalmasına engel olunmuştur.

Çevresel etmenlerden dolayı değişen FV dizin gücü ve Dalga enerjisi, evirici kontrolü ile Şebekeye bağlanmıştır. LC filtre kullanılarak ve PI denetleyici ile gerilim-akım düzenlenerek yük/şebeke tarafında harmonikler azaltılmış ve DA bara geriliminin sabit kalması sağlanmıştır.

Bu tez çalışması sırasında iki adet bildiri yayınlanmıştır [87, 88]

5. ÖNERİLER

Verimli bir yönetim için tüketim kestirimi yapılabilir. Sistem harmoniklerini azaltmak için aktif filtreler kullanılabilir. Dalga boyu kestirimi için gün ışınımı kestiriminde kullanılan benzer gün seçimi, rüzgar verileriyle yapılabilir böylece daha iyi kestirimde bulunabilir.

Farklı depolama birimleri kullanılarak sistem daha verimli hale getirilebilir. Neuro-fuzzy algoritmasındaki bulanık kümelerin sınırları optimize edilerek daha iyi yönetim yapılabilir.

Akünün deşarjı yapılırken bir sonraki saatte doluluk durumu kestirilebileceği için tüketimin maksimum olduğu zamanlarda akünün doluluk oranı yüksek tutularak şebeke için rahatlık sağlanabilir.

Kestirim yapılırken gün içerisinde birkaç saat sonraki zamanın kestirimi yapılırsa doğruluk değeri artabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Esmar, T. ve Chapman, P., L., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, 22,2 (2007) 439-449.
2. Romaus, C., Gathmann, K. ve Böcker, J., Optimal energy management for a hybrid energy storage system for electric vehicles based on Stochastic Dynamic Programming, 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Lille 2010, 1-6.
3. Lassila, J., Haakana, J., Tikka, V. ve Partanen, J., Methodology to Analyze the Economic Effects of Electric Cars as Energy Storages, IEEE Transactions on Smart Grid, 3, 1 (2012) 506-516.
4. Inayati, H. T. Waloyo, Nizam, M. ve Saidi, H., Model-Based Simulation for Hybrid Fuel Cell/Battery/Ultracapacitor Electric Vehicle, *2018 5th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)*, 2018, Surakarta, Indonesia, 112-115.
5. Masters, G., M., Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley and Sons, United States of America, 2004.
6. Mariam, L., Basu, M., ve Conlon, M. F., A Review of Existing Microgrid Architectures”, Journal of Engineering, 2013 (2013) 8.
7. Belaid, S., ve Mellit, A., Prediction of daily and mean monthly global solar radiation using support vector machine in an arid climate, *Energy Conversion and Management*, 2016, 118, 105–118.
8. Colak, İ., Yesilbudak, M., Genc, N. ve Bayindir, R., Multi-Period Prediction of Solar Radiation Using ARMA and ARIMA Models,” 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications, 2015.
9. Feng, J., A new method for ionospheric short-term forecast using similar-day modeling, China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao Shandong, China, 2012, 472-474.
10. Ertuğrul E., Şahin M., Ağgün F., Solar Radyasyonun Yapay Öğrenme Methodları ile Tahmini, Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015.
11. Hocaoglu, F. O. ve Serttas, F., A novel hybrid (Mycielski-Markov) model for hourly solar radiation forecasting, Renewable Energy 10 (2017) 635-643.
12. Çevik, S., Çakmak, R. ve Altaş, İ. H., A day ahead hourly solar radiation forecasting by artificial neural networks: A case study for Trabzon province, 2017 International

- Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), Kasım 2017, Malatya,1-6.
13. Zamani, A., Solomatine D., Azimian A., ve Heemink A., Learning from data for wind-wave forecasting, *Ocean Eng.*, 35, 10 (2008) 953–962.
 14. The WAMDI grup (13 yazar), The WAM model-third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography* 18, 12 (1988) 1775–1810.
 15. US Army, Coastal Engineering Manual Meteorology and Wave Climate. Engineer Manual 111021100. US Army Corps of Engineers, Washington, DC (Chapter II-2), 2003.
 16. Tolman, H.L., User Manual and System Documentation of WAVE-WATCH III, Version 1.18, NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical note 166, 1999.
 17. Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., A third generation wave model for coastal regions, Part I, model description and validation, *Journal of Geophysical Research* 104,4 (1999) 7649–7666.
 18. Agrawal, J., D. ve Deo, M., C., On-line Wave Prediction, *Marine Structures*, 15, (2002) 57-74.
 19. Tsai, C., Lin, C. ve Shen, J., Neural network for wave forecasting among multi-stations, *Ocean Engineering*, 29, (2002) 1683-1695.
 20. Makarynskyy, O., Improving wave predictions with artificial neural networks, *Ocean Eng.*, 31, 5–6 (2004) 709–724.
 21. Kazeminezhad, M., H., Etemad-Shahidi, A. ve Mousavi, S., J., Application of Fuzzy Inference System in the Prediction of Wave Parameters, *Ocean Engineering*, 32, 14-15 (2005) 1709-1725.
 22. Özger, M. ve Şen, Z., Prediction of wave parameters by using fuzzy logic approach, *Ocean Eng.*, 34, 3–4 (2007) 460–469.
 23. Voorrips, A.C., Spectral wave data assimilation for the prediction of waves in the North Sea. *Coastal Engineering* 37 (1999) 455–469.
 24. Voorrips, A.C., Heemink, A.W. ve Komen, G.J., A Kalman filter for wave data assimilation in WAM. In: Proceedings of the Third International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis (Waves 97), 1(1998) 668–682.
 25. Metwally, S. H. X., S. Ali, Z., ve Krishnamoorthy, H. S., Solar PV and BESS based Home Energy System, *2019 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, College Station, TX, USA, 2019, 1-6.
 26. Shahgoshtasbi, D. ve Jamshidi, M. M., A New Intelligent Neuro–Fuzzy Paradigm for Energy-Efficient Homes, in *IEEE Systems Journal*, 8, 2 (2014) 664-673.

27. Chen, Y., Wu, Y., Song, C. ve Chen, Y., Design and Implementation of Energy Management System With Fuzzy Control for DC Microgrid Systems, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28, 4 (2013) 1563-1570.
28. Arcos-Aviles, D., Vega, C., Guinjoan, F., Marroyo, L. ve Sanchis, P., Fuzzy logic controller design for battery energy management in a grid connected electro-thermal microgrid, 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2014, Istanbul, 2014-2019
29. Nassef, M. I., Ashour, H. A. ve Desouki, H., Battery-less hybrid micro-grid power management using bi-directional three phase power converter, 2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM), 2015, Atlanta, GA, 19-25.
30. Arcos-Aviles, D., Pascual, J., Marroyo, L., Sanchis, P. ve Guinjoan, F., Fuzzy Logic-Based Energy Management System Design for Residential Grid-Connected Microgrids, in *IEEE Transactions on Smart Grid*, PP, 99 (2016) 1-1.
31. Teo, T. T., Logenthiran, T., Woo W. L. ve Abidi K., Fuzzy logic control of energy storage system in microgrid operation, 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies- Asia (ISGT-Asia), 2016, Melbourne, VIC, 65-70.
32. Mahmud, N., Zahedi, A. ve Mahmud, A., A Cooperative Operation of Novel PV Inverter Control Scheme and Storage Energy Management System Based on ANFIS for Voltage Regulation of Grid-Tied PV System, in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13, 5 (2017) 2657-2668.
33. Hasaranga, W. V. H., Hemarathne, R. D. T. M., Mahawithana, M. D. C. P. K., Sandanuwan, M. G. A. B. N., Hettiarachchi, H. W. D. ve Hemapala, K. T. M. U., A Fuzzy logic based battery SOC level control strategy for smart Micro grid, 2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB), 2017, Chennai, 215-221.
34. Küçükler, A., Kamal, T., Hassan, S. Z., Li, H., MaazMufti, G. ve Waseem, M., Design and control of photovoltaic/wind/battery based microgrid system, 2017 International Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2017, Lahore, 1-6.
35. Roldán-Blay, C.; Escrivá-Escrivá, G.; Roldán-Porta, C.; Carlos, Á.-B. An optimisation algorithm for distributed energy resources management in micro-scale energy hubs. *Energy* 2017, 132, 126–135.
36. De Santis, E., Rizzi, A. ve Sadeghian, A. Hierarchical genetic optimization of a fuzzy logic system for energy fows management in microgrids, *Applied Sof Computing*, 60 (2017) 135– 149.
37. Chettibi, N., Mellit, A., Sulligoi, G. ve Massi Pavan, A., Adaptive Neural Network-Based Control of a Hybrid AC/DC Microgrid, in *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9, 3 (2018) 1667-1679.

38. Serraji, M., Boumhidi, J. ve Nfaoui, E. H., MAS energy management of a microgrid based on fuzzy logic control, *2015 Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, Fez, 2015, 1-7.
39. Elamine, D. O., Nfaoui, E. H. ve Jaouad, B., Multi-agent system based on fuzzy control and prediction using NN for smart microgrid energy management, *2015 Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, Fez, 2015, 1-6.
40. Jain, P., Deo, M. C., Latha, G. ve Rajendran, V., Real time wave forecasting using wind time history and numerical model, *Ocean Model.*, 36, 1–2 (2011) 26–39.
41. Cornejo-Bueno, L., Aybar-Ruiz, A., Jimenez-Fernandez, S., Alexandre, E., Nieto-Borge, J. C. ve Salcedo-Sanz, S., A grouping genetic algorithm — Extreme learning machine approach for optimal wave energy prediction, *2016 IEEE Congr. Evol. Comput.*, 2016, MI, 3817–3823.
42. Londhe, S.N., Shah. S., Dixit, P.R., Balakrishnan Nair, T.M., Sirisha, P. ve Jain, R., A Coupled Numerical and Artificial Neural Network Model for Improving Location Specific Wave Forecast, *Applied Ocean Research*, 59 (2016) 483-491.
43. Tang, Z., Almeida, C.D. ve Fishwick, P.A., Time series forecasting using neural networks vs Box– Jenkins methodology. *Simulation* 57, 1991, 303–310.
44. Chakraborty, K., Mehrotra, K., Mohan, C.K. ve Ranka, S., Forecasting the behavior of multivariate time series using neural networks. *Neural Networks* 5, 1992, 961–970
45. Özger M. , Dalga Enerjisi Tahmini Ve Stokastik Modelleme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
46. <https://www.energia.org/renewables-2018-global-status-report-ren21/>, 14.05.2019.
47. <http://direnc.blog/elektrik-istatistikleri-nisan-2019/>, 28.06.2019.
48. Lewis, N. S. ve Nocera, D. G., Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. *Proc. Natl Acad. Sci.* 103, 2006, 15729–15735.
49. Keskin, Y., E., Başoğlu, M., E., Tekdemir, İ., G. ve Çakır, B., Fotovoltaik Sistemlerde Değişir-Gözle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırılması, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (ELECO), Kasım 2014, Bursa.
50. Sağlam, M., Sulukan, E. ve Uyar, T. S., Wave energy and technical potential of Turkey, *Journal of Naval Science and Engineering*, 6, 2 (2010) 34-50.
51. McCormick, M., *Ocean wave energy conversion*, Wiley, Maryland. Centre for Renewable Energy Sources (CRES), 2002, Annapolis, 1981.
52. *Wave Energy Utilization in Europe; Current Status and Perspectives*, European

- Thematic Network on Wave Energy, Centre for Renewable Energy Sources (CRES), Greece. <http://www.wave-energy.net/Library/WaveEnergyBrochure.pdf>
53. López I., Andreu J., Ceballos S., De Alegría I.M. ve Kortabarria I., Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 2013, 413-34.
 54. Ün, Ü., T., Dalga Enerjisi, Teknolojisi, Ekonomisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim 2003, İzmir, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 1-9.
 55. Hepbaşlı, A., Özdamar, A. ve Ozalp, N., Present Status and Potential of Renewable Energy Sources in Turkey, *Energy Sources*, 23, 7, 2001, 631-648.
 56. Duman, Ç., Evaluation and Comparison of the Wave Energy Potential in Selected Coastal Regions in Turkey, Doktora Tezi, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2010.
 57. Kapluhan, E., Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Dalga Enerjisinin Dünyada'ki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, *Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*, 5, 17 (2014) 65-86.
 58. https://www.bakka.gov.tr/assets/haberler/ilgili_fotografilar/Dalga-Enerji-Santrali.pdf, 28.04.2019.
 59. <http://www.ktu.edu.tr/ktu-duyuru20184>, 28.04.2019.
 60. <http://www.emhk.itu.edu.tr/%5Cimg%5Cemhk%5Cdatafiles/Bihrat%20%C3%96N%C3%96Z%20-%20Dalga%20Enerjisi.pdf>, 28.04.2019.
 61. Chakrabarti, S. K., *Hydrodynamics of Offshore Structures*, U.S.A., (1987) 86-125.
 62. Yin Yeo, N. ve Soo-Hong, P., Analysis and Realization of Ocean Wave Surface by Utilizing Matlab, *Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, 5, 3 (2010) 281-287.
 63. Salter S.H., Wave power, *Nature*, 249, 5459 (1974) 720-724.
 64. Akpınar A., Kömürcü M.İ., Özger M. ve Kankal M., Dalga Simülasyonu için Karadeniz'de Swan Uygulaması, 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Kasım 2011, Trabzon, 269-279.
 65. Clément, A., McCullen, P., Falcão A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S. ve Pontes, M.T., Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and sustainable energy reviews*, 6, 5 (2002) 405-431.

66. López, I., Andreu, J., Ceballos, S., De Alegría, I.M. ve Kortabarria, I., Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27 (2013) 413-34.
67. The Queen's University of Belfast, Islay, LIMPET Wave Power Plant, Report, The European Commission, Framework of the Non Nuclear Energy Programme JOULE III, Contract JOR3-CT98-0312, 2002.
68. Hong Y., Waters R., Boström C., Eriksson M., Engström J. ve Leijon M., Review on electrical control strategies for wave energy converting systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31 (2014) 329-342.
69. Samrat, N. H., Ahmad, N. B., Choudhury, I. A. ve Taha, Z. B., Modeling, control, and simulation of battery storage Photovoltaic-Wave energy hybrid renewable power generation systems for island Electrification in Malaysia, The Scientific World Journal, 2014 (2014) 1–21.
70. Hsieh, M. F., Lin, I. H., Dorrell, D. G., Hsieh, M. J. ve Lin, C. C., Development of a wave energy converter using a two chamber oscillating water column, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 3, 3 (2012) 482–497.
71. Apaydın, M., Üstün, A., K., Kırbacı, M. ve Filik, Ü., Rüzgar Enerjisinde Kullanılan Generatörlerin Karşılaştırmalı Analizi, 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Haziran 2009, Diyarbakır, Bildiriler Kitabı: 103-107.
72. Rashid, M., H., Power Electronics Devices, Circuits and Applications, Alice Dworkin, 4. Baskı, 1027, Pearson Education, İngiltere, 2014.
73. Ang S., Oliva A., *Power-Switching Converters*, 2nd ed., CRC Press, USA, 2005.
74. Haruni, M. O., A stand-alone hybrid power system with energy storage [Ph.D. thesis], University of Tasmania, Sandy Bay, Australia, 2013.
75. M.Green, Design Calculations For Buck-Boost Converters, Texas Instruments, Dallas, Tex, USA, 2012.
76. Martha, S., K., Hariprakash, B., Gaffoor, S., A., Ambalavanan, S. ve Shukla, A., K., Assembly and Performance of Hybrid-VRLA Cells and Batteries, Journal of Power Sources, 144,2 (2005) 560-567.
77. IEEE Guide for Optimizing the Performance and Life of Lead-Acid Batteries in Remote Hybrid Power Systems, in *IEEE Std 1561-2007*, vol., no., pp.C1-25, 8 Mayıs 2008.
78. Department of Trade and Industry (DTI), Future Offshore: A Strategic Framework for the Offshore Wind Energy, DTI, London, 2002.

79. ZURADA, J. M., Introduction to Artificial Neural Systems, West, St. Paul, 1992.
80. Senjyu, T., Sakihara, H., Tamakı, Y. ve Uezato, K., Next-Day Load Curve Forecasting Using Neural Network Based On Similarity, Electric Power Components and Systems, 29 (2001) 939-948.
81. Stone, RJ., Improved statistical procedure for the evaluation of solar-radiation estimation models, *Solar Energy*, 1993,51:289-91.
82. Elmas, Ç., Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayıncılık, İstanbul, 2003.
83. <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/250-kw-grid-connected-pv-array.html>, 23 Şubat 2019.
84. [http://www.soda-pro.com/web-services/meteo data/merra](http://www.soda-pro.com/web-services/meteo-data/merra), 23 Ocak 2018.
85. [http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/cams radiation-service](http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/cams-radiation-service), 23 Ocak 2018.
86. Mengi, O. Ö., Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Süreklilik İçin Akıllı Bir Enerji Yönetim Sistemi, Doktora Tezi, KaradenizTeknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011.
87. Ulutaş, A., Çakmak, R. ve Altaş, İ. H., "Yapay Sinir Ağlarıyla Zaman Serisi Analizi Tabanlı Gün Öncesi Güneş Işınımı Tahmini: Trabzon ili Örneği", ICADET International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET) 2017, Bayburt, Türkiye, Eylül 2017, 1-2.
88. Ulutaş, A., Çakmak, R. ve Altaş, İ. H., "Hourly Solar Irradiation Prediction by Artificial Neural Network Based on Similarity Analysis of Time Series," *2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, Ekim 2018, Adana, 1-6.

ÖZGEÇMİŞ

Ahsen ULUTAŞ, 1993 yılında Malatya' nın Yazıhan ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Bahçelievler İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Tecirli İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2010 yılında Kubilay Lisesi'nden mezun oldu. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı sene Elektrik Mühendisliği'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 15.07.2016-27.12.2017 tarihleri arasında TÜBİTAK EEEAG-115E943 numaralı projesi kapsamında araştırmacı olarak çalıştı ve 27.12.2017 tarihinde Necmettin Erbakan Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Orta derecede İngilizce bilen ULUTAŞ, elektrik tesisleri ve yenilenebilir enerji alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir.

YAYINLARI

1. **Ulutaş A.**, Çakmak R. ve Altaş İ. H., "Yapay Sinir Ağlarıyla Zaman Serisi Analizi Tabanlı Gün Öncesi Güneş Işınımı Tahmini: Trabzon ili Örneği", ICADET International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET) 2017, Bayburt, Türkiye, 21-23 Eylül 2017, pp.1-2.
2. **Ulutaş A.**, Çakmak R. ve Altaş İ. H., "Hourly Solar Irradiation Prediction by Artificial Neural Network Based on Similarity Analysis of Time Series," 2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), 2018, Adana, pp. 1-6.