

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN KONTROL
TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Reem Faris ABOOD

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Tesisleri Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali DURUSU

Eylül, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN KONTROL
TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Reem Faris ABOOD tarafından hazırlanan tez çalışması 22.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ali DURUSU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ali DURUSU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Bedri KEKEZOĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Asiye KAYMAZ ÖZCANLI, Üye
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali DURUSU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Güç Sistemlerinde Kullanılan Kontrol Tekniklerinin İncelenmesi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Reem Faris ABOOD

İmza

TEŞEKKÜR

Bana bahşettiği bu büyük lütuf için öncelikle Yüce Allah'a, sonra da onları lütfedenlere şükrediyorum. Doğumumdan bu kutlu anlara kadar tüm emekleri için sevgili anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu araştırmanın hazırlanmasında ve geçirdiği aşamaların herhangi birinde gerekli referans ve kaynaklara ulaşmamda benimle birlikte tavsiyelerde bulunan, yol gösteren, katkıda bulunan veya beni yönlendiren herkese ve özellikle de değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali DURUSU'ya, tavsiyeleri, eğitimi, düzeltmeleri ve benimle birlikte yaptığı her şeyle beni desteklediği ve bana yol gösterdiği için teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimimi aldığım Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü yönetimi ve hocalarına teşekkür etmekten mutluluk duyuyorum.

Günlerdir benimle tez sürecini yaşayan kızım HİRA'yı unutamam. Umarım onun için bir gurur kaynağı olurum.

Ve en zor günlerimde bana destek olan eşime

Herkese sonsuz teşekkür ederim.

Reem Faris ABOOD

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Problem Tanımı.....	3
1.2 Literatür Taraması.....	4
1.3 Özet	6
1.4 Tez Kapsamı	7
1.5 Tez Organizasyonu	7
2 KURAMSAL ARKA PLAN	9
2.1 Giriş.....	9
2.2 Enerji Yönetim Sistemi.....	10
2.3 Sistem Bileşenleri	11
2.3.1 PV Sistem	11
2.3.2 İdeal PV Hücre Modeli.....	12
2.3.3 PV Dizi Modellemesi	14
2.4 Güneş Bataryaları Verimliliği	14
2.5 Gücü Maksimize Etmek için Takip Algoritması	16
2.5.1 P&O Yöntemi	16
2.5.2 INC. Yöntemi	17
2.5.3 PSO Yöntemi.....	18
2.6 Rüzgar Türbini	22
2.7 Enerji Depolama Sistemi	26
3 TASARM VE SİMULİNK MODELİ	28
3.1 Alt Başlık Önerilen Mikro Şebeke Sistemi.....	28

3.2	PV Çiftlik Tasarımı.....	29
3.3	Yükseltici DC-DC Dönüştürücü Tasarımı.....	31
3.4	DC Bağlantı Kapasitörü.....	32
3.5	DC-DC Akü Güç Konvertörü.....	32
3.6	Batarya Sistemi.....	34
3.7	İnvertör Kontrolü (Sarkma Kontrolleri).....	35
3.7.1	Güç-Frekans Droop Kontrolörü.....	36
3.7.2	VSG gerilim regülatörü.....	38
3.8	L-C Filtresinin Tasarımı.....	41
4	SONUÇ	42
4.1	Giriş.....	42
4.2	PV Sistem Sonuçları.....	43
4.2.1	P&O Algoritması ile PV Çıkışları.....	44
4.2.2	Inc. ile PV Çıkışları Algoritması.....	46
4.2.3	PSO Algoritması ile PV Çıkışları.....	47
4.3	Boost Dönüştürücü Çıkışı.....	50
4.4	Rüzgar Türbini Çıkışları.....	51
4.5	Öngörülen Yük Talebi.....	56
4.6	Batarya Sistemi.....	57
4.7	Şebeke içi ve Şebeke dışı EMS Çalışması.....	58
4.8	Frekans Tepkisi.....	60
4.9	Üç Fazlı Voltaj ve Akım Çıkışları.....	61
4.10	Sonuç.....	62
	KAYNAKÇA	65
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	71

SİMGE LİSTESİ

I_L	Fotovoltaik akım
I_D	Diyot akımı
V_D	Diyot Gerilimi
I_0	Ters Akım
K	Boltzman Sabit
I_{SH}	Şönt Direnç Akım
I_{SC}	Kısa Devre Akımı
T	Sıcaklık
G	Işınlama
R_{Sh}	Şönt Rezistör
R_s	Serise Direnç
ρ	Hava yoğunluğu
A	Türbin kanatları alanı
V	Rüzgar Hızı
C_p	Etkin Güç
λ	Uç hız oranı
w	Döner türbin kanatlarının hızı
r	Kanatların yarıçapı
β	Pitch açısı
V_{sd}	Doğru ekseninde stator gerilimi
V_{sq}	Karesel olarak Stator Gerilimi eksen
I_{sd}	Doğru ekseninde stator akımı
I_{sq}	Dördün ekseninde stator akımı
ψ_s	Stator akı bağlantısı
L_s	Stator indüktörü
N_s	Serideki PV sayısı
N_p	Paralel PV sayısı
F_s	Anahtarlama frekansı
L	endüktans
C	Kapasitans
Q	Batarya gücü

KISALTMA LİSTESİ

RES	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
PV	Fotovoltaik
ESS	Enerji Depolama Sistemleri
EMS	Enerji Yönetim Sistemi
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
PMSG	Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratör
P&O	Tedirgin Et ve Gözlemle
INC	Artımlı İletkenlik
PSO	Parçacık Sürüşü Optimizasyonu
THD	Toplam Harmonik Distorsiyon
SCADA	Denetimsel Kontrol ve Veri Toplama
MG	Mikrogird
PCC	Ortak Bağlantı Noktası
BESS	Batarya Enerji Depolama Sistemi
GA	Genetik Algoritmalar
VSG	Sanal Senkron Jeneratör
D	Görev süresi
P-F	Güç-Frekans
Q-V	Reaktif Güç - Gerilim

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	2000-2020 döneminde Avrupa'daki PV üretimleri [2].....	1
Şekil 2.1	Mikro şebeke konfigürasyonları [25].....	9
Şekil 2.2	Fotovoltaik sistemin silikon katmanları	12
Şekil 2.3	PV hücre, modül ve dizi yapısı [33].....	12
Şekil 2.4	(a) tek diyotlu, (b) çift diyotlu PV-hücrenin devre şeması [37]	13
Şekil 2.5	Dizinin Modellenmesi	14
Şekil 2.6	Sabit montaja karşı günlük güç çıkışı [39].....	15
Şekil 2.7	Tek ve çift eksenli izleyiciler [39].....	15
Şekil 2.8	P&O MPPT akış diyagramı.....	16
Şekil 2.9	MPPT işletim koşulları [41]	17
Şekil 2.10	Inc. akış diyagramı [45].....	18
Şekil 2.11	PSO MPPT tekniğinin akış diyagramı [45].....	20
Şekil 2.12	(a & b) Yatay ve dikey rüzgar türbini	22
Şekil 2.13	Önerilen rüzgar türbini sistemi.....	23
Şekil 2.14	P&O algoritma tekniklerinin rüzgar türbinleri ile çalışması	23
Şekil 2.15	MPPT sırasında C_{pmax} ve $\lambda_{optimal}$	24
Şekil 2.16	PMSG'nin d- ve q-eksenlerindeki eşdeğer devreleri	25
Şekil 2.17	ESS sınıflandırmaları	27
Şekil 3.1	Önerilen Mikro Şebeke düzeni.....	28
Şekil 3.2	Önerilen sistemin simülasyon modeli	29
Şekil 3.3	SunPower panelinin güç, voltaj ve akım eğrileri	30
Şekil 3.4	Yükseltici konvertör	31
Şekil 3.5	Çift yönlü konvertör uygulaması.....	33
Şekil 3.6	Batarya sistemi [59].....	34
Şekil 3.7	Batarya gücü dönüşümleri.....	34
Şekil 3.8	Önerilen droop kontrolörü [62]	36
Şekil 3.9	Park-dönüşüm dönüşümü yazılımı kullanılarak güç tahmini.....	36
Şekil 3.10	Güç-frekans düşüş ilişkileri [63]	37
Şekil 3.11	P-f droop (MATLAB yazılım devresi kullanılarak).....	38
Şekil 3.12	Q-V droop kontrolörleri	38
Şekil 3.13	Q-V droopu (MATLAB yazılım devresi)	39
Şekil 3.14	İnvertör PWM jeneratörü	40

Şekil 3.15 Üç fazlı invertör için sanal senkron jeneratör kontrolünün	40
Şekil 3.16 Filtre Tipleri	41
Şekil 4.1 Önerilen sistem.....	42
Şekil 4.2 Önerilen ısıtım ve sıcaklık.....	44
Şekil 4.3 P&O algoritması kullanılarak PV Gerilim ve akım	44
Şekil 4.4 P&O MPPT kullanılarak PV çıkışı	45
Şekil 4.5 Inc. algoritması kullanılarak PV Gerilim ve akım	46
Şekil 4.6 Inc MPPT kullanarak PV çıkışı.....	47
Şekil 4.7 PSO algoritması kullanılarak PV Gerilim ve akım	48
Şekil 4.8 PSO MPPT kullanılarak PV çıkışı	49
Şekil 4.9 MATLAB programı ile boost dönüştürücünün modellenmesi.....	50
Şekil 4.10 DC-Bus voltajı.....	51
Şekil 4.11 Rüzgar Türbini PMSG tipi (MATLAB) Modelleme	52
Şekil 4.12 MPPT ile PMSG modellemesi	52
Şekil 4.13 Önerilen rüzgar türbininin modeli	53
Şekil 4.14 Farklı kanat açılarında λ Vs. C_p	53
Şekil 4.15 Uç hız oranı MATLAB sonucu	54
Şekil 4.16 Güç katsayısı MATLAB sonucu	54
Şekil 4.17 Rüzgar türbininin giriş/çıkış özellikleri.....	55
Şekil 4.18 Önerilen yük talebi	57
Şekil 4.19 Önerilen bireysel yükler	57
Şekil 4.20 Batarya sisteminin voltajı, akımı, SOC'si ve gücü	58
Şekil 4.21 Şebeke dışı işletimli EMS	59
Şekil 4.22 Şebekeye bağlı EMS	60
Şekil 4.23 Frekans Tepkisi	60
Şekil 4.24 yük tarafındaki üç fazlı voltaj ve akım (LC filtresinden önce)	61
Şekil 4.25 Üç fazlı gerilim ve akım (LC filtresinden sonra)	62

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 önerilen üretim gücü ve yükü	43
Tablo 4.2 Her bir MPPT yönteminin gücü ve verimliliği	50
Tablo 4.3 PMSG parametreleri	56



GÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN KONTROL TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Reem Faris ABOOD

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali DURUSU

Yenilenebilir enerji kaynakları, nüfusun hızla artması ve küresel ısınma konusundaki endişelerin artması sonucunda daha fazla ilgi görmektedir. Karbon emisyonlarını azalttıkları ve ucuz elektrik ürettikleri için yenilenebilir enerji kaynakları çevre üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Diğer enerji kaynaklarına kıyasla, güneş enerjisi ve rüzgar türbini daha düşük işletme ve bakım giderlerine sahiptir ve bu nedenle en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi ve rüzgar türbini enerjisinin düzensizliği nedeniyle, PV-rüzgar türbini-batarya entegre modülü güvenli ve etkili bir şekilde çalıştırılmalıdır, bu da etkili güç akışı kontrolü gerektirir. PV-rüzgar türbini-batarya entegre modül sistemi, tüketici talebini karşılamak için bir enerji yönetim sistemi uygulamak zorundadır. Bu çalışma, sistemin çalışması sırasında meydana gelebilecek farklı olası çalışma modlarının önemini vurgulamaktadır. Şebeke gücünün yük talebini karşılamaya katkısı, yapay zeka tekniği kullanılarak üretilen bir optimizasyon faktörü ile belirlenecektir. Bu çalışma, PV-rüzgar türbini-batarya modülünün güç kalitesini ve enerji yönetimini geliştirmek açısından maksimum güç noktası takibini elde etmek için kullanılan yapay zeka yöntemine dayalı bir parçacık sürüsü optimizasyon

algoritması kullanarak PV-rüzgar türbini-batarya sisteminin verimliliğini optimize etmeyi amaçlamaktadır

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistem, Rüzgar Türbini, Batarya, Enerji Yönetim Sistemi, Enerji Depolama Sistemi, Droop Kontrol.



INVESTIGATION OF CONTROL TECHNIQUES USED IN POWER SYSTEMS

Reem Faris ABOOD

Department of Electrical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ali DSURUSU

Renewable energy sources are receiving more attention as a result of the population's rapid increase and growing worry over global warming. Because they cut carbon emissions and generate cheap electricity, renewable energy sources have a big impact on the environment. In comparison to other energy sources, solar energy and wind turbine have lower operating and maintenance expenses and is thus the most widely used renewable energy source. Due to the irregularity of solar energy and wind turbine energy the s The PV-wind turbine-battery-integrated module must be operated safely and effectively, which requires effective power flow control. The PV-wind turbine-battery-integrated module system has to implement an energy management system to meet consumer demand. This work highlights the importance of different possible operating modes that may occur during system operation. The grid power's contribution to meeting the load demand will be determined by an optimization factor produced using an artificial intelligence technique. This study aims to optimize the PV-wind turbine-battery system's efficiency by using a particle swarm optimization algorithm based on an artificial intelligent method that is used to achieve maximum power point tracking

in terms of enhancing the power quality and energy management of the PV-wind turbine-battery module.

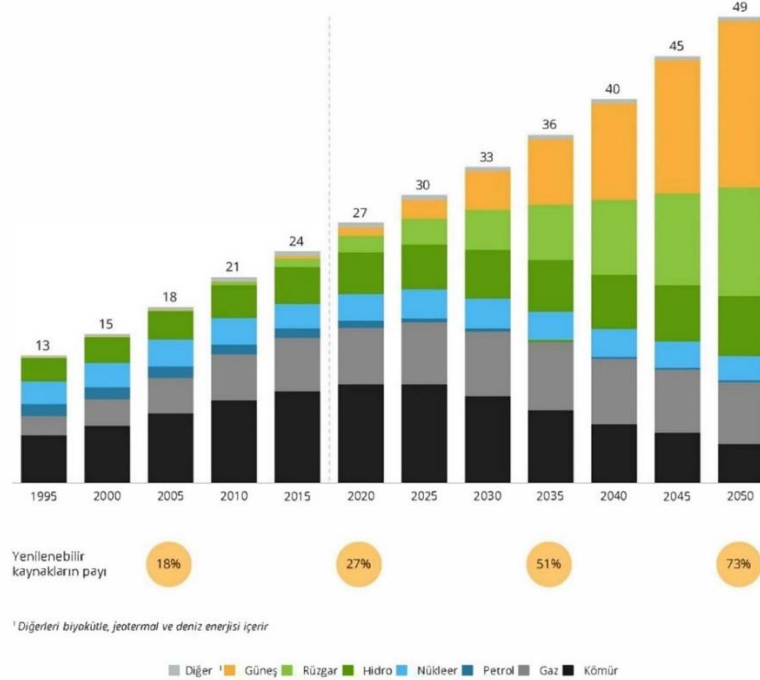
Keywords: Photovoltaic System, Wind Turbine, Battery, Energy Management System, Energy Storage System, Droop Control



1 GİRİŞ

Fosil yakıtlar ve nükleer enerji ile çalışan geleneksel üretim birimlerinin küresel ısınma, iklim değişikliği ve hava kirliliğinde önemli artışlara katkıda bulunması nedeniyle çevre konusundaki endişeler giderek artmaktadır. Birçok ülke enerji üretimi yaklaşımlarını değiştirerek fosil yakıtlar yerine Fotovoltaik (PV), rüzgar türbinleri ve biyokütle gibi Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına (RES) daha fazla güvenmektedir [1].

Dünya, özellikle (PV ve rüzgar türbini) için RES'e artan büyük bir ilgi duymaktadır. Şekil (1.1)'de gösterildiği gibi, geleneksel üniteler ve diğer kaynaklara ek olarak, 1995-2050 dönemi için dünyada RES'in yıllık üretim kapasitesi.



Şekil 1.1 2000-2020 döneminde Avrupa'daki PV üretimleri [2]

PV ve rüzgar türbinleri sistemleri daha az güvenilirdir ve düzensiz ve kesintili doğası nedeniyle şebekelere entegre edilmesi daha zordur. Bataryalar, ultrakapasitörler ve volanlar, tekrarlanan PV panel ve rüzgar türbini faaliyetlerinin

olumsuz etkilerini azaltmak için kullanılan Enerji Depolama Sistemlerine (EDS) örnektir [3]. PV ve rüzgar türbini sistemleri (RTS) ile birlikte sistemin maliyetini, etkinliğini, dayanıklılığını, ekonomisini ve güç kalitesini iyileştirir [4]. PV-rüzgar türbini-batarya entegreli modülün güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için güç akışı kontrolü çok önemlidir. PV-rüzgar türbini-batarya entegre modül sistemi, müşteri talebini karşılamak için bir Enerji Yönetim Sistemi (EYS) uygulamak zorundadır [5]. Çalışmanın her aşamasında, PV-rüzgar türbini-batarya entegre modül sistemindeki güç akışı modelleri de tanımlanmalıdır.

Elektrik dönüştürücülerindeki ve yüksek performanslı kontrolörlerdeki gelişmeler sayesinde, farklı RES türleri artık mikro şebekeye entegre edilebilmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi üretimleri gibi RES'leri entegre etmek için oluşturulmuş çeşitli dönüştürücü topolojileri ve kontrol yöntemleri vardır. Bu projede hem güneş fotovoltaik sistemleri hem de rüzgar türbinleri kullanılacaktır. Güneş fotovoltaik sistemlerinin rüzgar türbini sistemlerine göre kurulum kolaylığı, minimum bakım ve hareketli parçaların olmaması gibi çeşitli avantajları vardır. Büyük miktarlarda kurulduğunda ve sistemin çalıştırılması ve bakımı için kalifiye çalışanlar gerektirdiğinde, rüzgar türbini sistemleri PV sistemlerinden daha ucuz olabilir. İki sistemin kombinasyonu RES'de sıklıkla kullanılmaktadır ve çeşitli koşullar altında sürekli güç sağlayabilir [7].

Yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji miktarı gün boyunca değiştiği için enerji toplamayı en üst düzeye çıkarmak gereklidir. (Rüzgar türbinleri ve PV)'den üretilen elektrik, rüzgar hızı ve güneş radyasyonundan etkilenir. Bu tür sistemlerin kontrol mekanizmaları, bu parametrelerdeki değişikliklere uygun şekilde tepki vermelidir [8]. Örneğin, rüzgar türbini hızı, üretilebilecek güç miktarını optimize etmek ve sistemin "Maksimum Güç Noktası Takibi "nde (MGNT) çalışmasını sağlamak için rüzgar hızı değiştikçe ayarlanmalıdır. Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemleri sunmak için kullanılan birkaç farklı dönüştürücü vardır.

PV sistemlerde, DC-DC yükseltici dönüştürücüler, PV panellerin kararsız ve yetersiz çıkış voltajını düzenlemek için kullanılır. Şebeke bağlantısı için sistemin güç güvenilirliğini artırmak amacıyla, gerekli sabit voltajı ve sabit frekansı üretmek için bir DC-AC (üç veya üç fazlı) invertör kullanılır. Önerilen eviricinin kontrol devresi droop kontrol tekniklerine bağlıdır. Benzer şekilde, rüzgar enerjisi

dalgalandığı için önerilen rüzgar türbini için AC-DC-AC (doğrultucu-droop-invertör) dönüştürücüler gereklidir. Bu çalışmada rüzgar türbini jeneratörü olarak bir Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratör (SMSJ) kullanılmıştır. Bu çalışmada, PV sisteminin maksimum güç üretimini elde etmek için üç farklı MPPT yöntemi kullanılmıştır (Pertürbasyon ve gözlem (P&O), Artırımlı İletkenlik (INC.) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)). sonuçlar, PSO yönteminden yüksek performansla daha fazla doğruluk elde edilebileceğini göstermektedir.

1.1 Problem Tanımı

Elektrik şebekeleri sıklıkla yükteki hızlı artış veya azalışlar, ışıınımdaki ani değişiklikler veya rüzgar hızındaki değişiklikler gibi kesintilere maruz kalır. Güvenilirliği artırmak için, güneş enerjisi ve rüzgar türbini sistemlerine yönelik tasarımlar yukarıda bahsedilen tüm beklenmedik durum senaryolarını dikkate almalıdır. Bu tezde önerilen sistem, bir PV sistemi, bir rüzgar türbini sistemi, bir ESS, üç fazlı evirici ve harmonikleri ortadan kaldırmak için çıkışta bir LC filtresinden oluşmaktadır. PV sisteminin kapasitesi yaklaşık 18 kW, rüzgar türbinlerinin kapasitesi ise yaklaşık 27 kW'tır. Üretim fazlası varsa, gerekli yük gücünü karşılamak için ESS sistemini kullanmak için bir ücret alınacaktır.

Bu çalışmanın temel amacı, PV ve rüzgar türbini sistemlerinin bozulmalar altındaki başarısını ve bu bozulmalar sırasında bataryadan kompanzasyonun nasıl olacağını incelemektir. PV sistem için bu çalışmada üç farklı MPPT algoritması kullanılacaktır (P&O, Inc. ve PSO). Üç farklı kontrolün elde edilen sonuçları arasındaki karşılaştırma bu çalışmada sunulacaktır. MPPT'yi elde etmek için türbin sistemi ile P&O yöntemi kullanılacaktır. Bu çalışmada batarya sistemini şarj etmek ve boşaltmak için ESS ile PID kontrolü kullanılacaktır. Bu çalışmada önerilen EMS sistemi şu şekilde düşünülebilir: talep, üretilen güçten (PV ve rüzgar türbini) sağlanacak ve üretim tarafında bir eksiklik olması durumunda, ihtiyaç duyulan güç ESS'den ithal edilecektir; şebeke ekonomik ve çevresel açıdan beklemede olacaktır. Yük, her ikisi tarafından (PV ve rüzgar türbini) üretilen toplam güçten daha az olduğunda batarya sistemi şarj edilecektir. Tüm bozulma durumları MATLAB programı kullanılarak incelenecek, uygulanacak ve değerlendirilecektir. Ancak bunun aksine, önerilen üç fazlı evirici ile şebeke içi ve şebeke dışı çalışma

koşullarında sistem gerilimini ve frekansını sabit tutmak için droop kontrol teknolojisi kullanılmaktadır.

Şekil (1.1)'de açıklandığı gibi, PV ve rüzgar türbini sistemleri gelecekte en popüler güç üretim birimleri olacaktır, bu sistemlerin incelenmesi ve batarya ve enerji yönetim sistemleri ile kontrolleri, güç sisteminin güvenilirliğini ve kararlılığını artırmak için önemlidir, bu nedenler bu tezin seçilmesinin arkasındadır. Ayrıca, sonuçları iyileştirmek için yeni kontrol teknolojileri kullanılacaktır. Önerilen sistem, güç sisteminin güvenliğini artırmak için güç şebekesine ek olarak PV, rüzgar türbini ve ESS olmak üzere üç tür RES kullanmaktadır ve ESS, PV ve rüzgar türbinine yedek olarak çalışacaktır. Bu çalışmada karşılaştırma amacıyla üç MPPT yöntemi kullanılmış olup, eski yöntem kontrolünde verim düşükken, PSO gibi akıllı MPPT kullanıldığında sonuç iyileştirilecektir. Bu çalışmada, PV sisteminin maksimum güç üretimini elde etmek için üç farklı MPPT yöntemi kullanılmıştır (Pertürbasyon ve gözlem (P&O), Artırmalı İletkenlik (INC.) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)). sonuçlar, PSO yönteminden yüksek performansla daha fazla doğruluk elde edilebileceğini göstermektedir

Bu çalışmanın kontrol sistemleri, DC bara voltajını mümkün olduğunca sabit tutmak, tüm sistem bozuklukları sırasında çıkış voltajını ve frekansını sabit tutmak için seçilmiştir ve batarya sisteminin kontrolü, gücü şarj etmek ve boşaltmak ve EMS çalışmasını sağlamak için kullanılır.

1.2 Literatür Taraması

Şebekeye bağlı ve bağımsız sistemlerin EMS'lerini açıklayan birçok çalışma mevcuttur.

Enerji yönetim sistemi (EMS) ve PV/Rüzgar Türbini/Batarya sisteminden oluşan enerji birimleri oluşturmak için çeşitli kontrol yöntemleri ve kontrolörler [8]. Güç sisteminin güvenilirliğini artırmak için mikro şebeke ile farklı EMS kullanılabilir. Bu çalışmada [9], PV/rüzgar/batarya kombinasyonunu kullanan etkili bir EMS oluşturmak için Artırmalı İletkenlik ile Altın Kartal Optimizasyonu tekniği kullanılacaktır. Batarya ve rüzgar arasında etkili bir geçiş sağlamak için, önerilen Artan İletkenlikli Altın Kartal Optimizasyonu tekniğindeki modülasyon indeksi uygulanmıştır. Simülasyon bulgularına göre, önerilen Artırmalı İletkenlikli Altın

Kartal Optimizasyonu, mevcut Üç Fazlı Geliştirilmiş Büyüklük Faz Kilitli Döngü yöntemlerinden daha fazla güç üretmekte ve %1,98 daha düşük THD değerine sahip olmaktadır. EMS, denetleyici kontrol ve veri toplama (SCADA) ifadesi altında üst düzey bir düzenleyici sistem olarak belirtilmektedir [10]. Şebekeden enerji satın alma maliyetini azaltmak ve RES'ler tarafından üretilen enerjinin satışından elde edilen gelirleri en üst düzeye çıkarmak için, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kullanılarak şebekeye bağlı hibrit bir PV-Rüzgar-ESS mikro şebeke sistemi tasarlanmıştır. Optimizasyon yaklaşımı, [11]'de olduğu gibi mikro şebekenin dağıtık kaynakları için uygun güç referansları sağlamak için kullanılmıştır. Bu referans, önerilen EMS tekniğinin şebekeye bağlı hibrit PV-Rüzgar-ESS sistemlerinde iyi çalıştığını göstermektedir. Referans [12] belirsiz vites değiştirme senaryolarında optimum enerji yönetimini sağlamıştır. Referans [13], bir güneş enerjisi kaynağı ve bir batarya depolama sistemi ile donatılmış şebekeye bağlı bir DC mikro şebekesinin hem modelleme hem de deneysel bulgularını göstererek hibrit bir yaklaşım benimsemektedir. Bataryanın bozulması ve enerji tarifi hesabı katılırken mikro şebekenin toplam işletme maliyetinin en aza indirilmesine özellikle dikkat edilmektedir. Temel modellere dayanarak, Enerji Depolama Sistemlerini planlamak ve güç maliyetinin azaltılmasına izin vermek için optimal bir enerji yönetim sistemi sağlanmaktadır. Aynı zamanda, simülasyon ve laboratuvar performansındaki farklılıklar vurgulanmaktadır. [14]'te, hem çevrimdışı hem de çevrimiçi planlama arasındaki tutarsızlığı hesaba katan bir denetleyici düzenleyici ile şebekeye bağlı ve adalı modları incelemek için bir kontrol stratejisi ve EMS oluşturulmuştur. Yerel dağıtılmış jeneratör kontrolü, düşük seviyeli merkezi olmayan kontrol yoluyla ele alınırken, çift yönlü güç paylaşımı ve iletişim sorunlarını ele almak için yüksek seviyeli merkezi kontrol kullanılmıştır. Bir depolama sistemi ile donatılmış orta gerilim adalı bir MG için sezgisel evrimsel algoritmanın optimum sevk stratejisi uygulanabilir. [15] Bölge tabanlı çoklu MG'ler için çalışma durumlarını ele alırken, Ref [16] mikro şebekedeki hibrit PV/Rüzgar/Batarya /Yakıt hücreleri için enerji yönetim sisteminin minimum işletme maliyeti ile çalışacak şekilde optimize edilebileceğini ve hidrojen üretmek için kullanılabileceğini göstermektedir. [17] Otonom olarak çoklu üretim MG'leri için yapay zeka ve merkezi olmayan EMS'yi araştırmış, algoritmalar Bulanık bilişsel haritalar kullanarak tuzdan arındırma sistemini uygulamıştır. Fotovoltaik hücrelerden ve batarya depolamadan gelen DC akımla

alışan MG'lerde merkezi olmayan kontrol kullanılmış ve sonuçlar yalnızca sanal olarak gösterilmiştir. MLP sinir ağı, sürü optimizasyonu yaklaşımı ve sıralı ikinci dereceden optimizasyon algoritmaları dahil olmak üzere gelişmiş optimizasyon yaklaşımları, [18]'de açıklandığı gibi DER için hiyerarşık EMS modellerinin modellemede veya döngü içinde donanım (HIL) sisteminde etkinliğini göstermek için kullanılmıştır. PV - rüzgar türbini ve ESS içeren sistemler, [19]'da açıklandığı gibi yüksek güvenilirliğe sahip bağımsız bir sistem olarak çalışabilir. Hibrit bir AC/DC mikro şebekesi için [20] merkezi olmayan regülatör yöntemiyle statik senkron kompansatör kullanımını incelemiştir. Buna ek olarak, önerilen yaklaşım, otoritesini sağlamak için droop kontrol yaklaşımıyla karşılaştırılmıştır. [21]'de yazarlar, kurşun-asit ve lityum-iyon bataryalarla alışan MG'lerin göreceli maliyet etkinliğini değerlendirmek için birleşik bir yöntem sunmaktadır. EMS'de şebeke gücü, SOC ve enerji dengeleme senaryolarının maliyeti hesaba katıldığında, lityum-iyon batarya kullanımı yüzde 6-7 daha karlı görünmektedir. [22]'de, adaptif kontrollü laboratuvar ölçekli bir MG'nin fiziksel kurulumu rapor edilmiş ve MG'nin bir PV ve ESS'si için kural tabanlı bir EMS'nin etkinliği deneysel olarak test edilmiştir.

PV sisteminden yüksek verim elde etmek için PSO MPPT algoritması kullanılabilir. Sürü davranışına ve zekaya dayalı güvenilir bir stokastik optimizasyon yöntemi PSO metodolojisidir. Sosyal etkileşim teorisini problem zme ile bütünleştirir. En iyi cevabı bulmak için arama uzayında hareket eden çok sayıda aracı (parçacık) kullanır.

1.3 zet

Bu çalışmada, üretilen gücü kontrol etmek için her ikisi için de (PV ve rüzgar trbimleri) birçok farklı MPPT algoritması kullanılacaktır. Bu çalışmada önerilen yk değerikendir ve ışınımın 1000/m² ila 800 W/m² arasında olduğu varsayılmıştır. Rüzgar hızı 11 m/s'den 10 m/s'ye değerştirilecektir. PI döngüsüne sahip EMS algoritması, çift yönlü bir DC/DC dönüştürücüyü çalıştırmak için kullanılır. Önerilen EMS algoritması rüzgar türbini gücünü, yk gücünü, PV gücünü ve şebeke kapasitesini kontrol eder. İnverter bir droop kontrolör tarafından kontrol edilir ve PWM modülasyonu kullanılarak anahtarlanır. İdeal PI kontrolör parametresi, inverter çıkış dalga formlarının harmoniklerini en aza indirir ve

frekansın ve DC-bar geriliminin kararlılığını artırır. Önerilen sistemin modellenmesi için MATLAB/Simulink yazılımı kullanılmıştır

1.4 Tez Kapsamı

Bu tezde aşağıdaki hususlara odaklanacağız:

- 1- MATLAB/2021 Simulink yazılımını kullanarak, önerilen mikro şebekenin tasarlanması, simüle edilmesi ve analiz edilmesi.
- 2- En iyi MPPT'yi sağlamak için, DC/DC dönüştürücü için kontrolör modülü düzeni üzerinde araştırma yapılması.
- Üç fazlı bir DC/AC invertör için tutarlı çıkış gerilimi ve frekansı sağlayacak kontrol ünitelerinin geliştirilmesi.
- 4- Batarya çalışan DC/DC dönüştürücüler için kontrolör bileşenlerinin tasarlanması.
- 5- (PV, rüzgar türbini, batarya) sisteminin şebeke açık ve kapalı modları ile çalışmasının incelenmesi ve çalışılması.
- 6- Kullanılan üç farklı MPPT tekniğinin sonuçlarının değerlendirilmesi.
- 7- EMS'nin iki çalışma koşulunda (şebeke üzerinde ve bağımsız) sistemlerde çalışmasının sağlanması.

1.5 Tez Organizasyonu

Burada sunulan bu tez dört bölüm halinde yapılandırılmıştır.

Bölüm (1)'de, RES ve mikrogrid sisteminin kısa bir açıklamasına ek olarak çalışmanın amaçları, hedefleri, tez yapısı ve ilgili literatür gözden geçirilmiştir.

Bölüm (2)'de, evirici, dönüştürücüler ve bunların kontrollerinin tartışılmasına ek olarak, bu bölüm (PV, rüzgar türbini, batarya ve EMS) sistemlerinin teknik ve teorik genel görünümelerini sunmaktadır.

Önerilen RES tasarımı bu çalışmanın Bölüm (3)'ünde sunulmuştur ve bir PV sistemi, bir yükseltici dönüştürücü, BSS, bir çift yönlü dönüştürücü, bir üç fazlı invertör ve bunların kontrolörlerini içermektedir.

MATLAB/Simulink yazılımı kullanılarak, Bölüm (4) ESS simülasyonu ile önerilen RES tasarımını açıklamaktadır. Bu bölüm aynı zamanda çalışmanın sonuçları da dahil olmak üzere bulgularının bir özetini sunmaktadır. İlgili görseller ve performans, bahsedilen çeşitli rahatsızlık durumlarına eşlik edecektir.



2 KURAMSAL ARKA PLAN

2.1 Giriş

Mikro şebeke, ESS'den oluşan bir elektrik enerjisi altyapısı ve yüklerle birlikte şebeke üzerinde veya bağımsız konfigürasyonlarda muhafaza edilebilen dağıtılmış RES'tir. Bu bölümde mikro şebeke (MG) kavramı, unsurları, özellikleri, avantajları ve ihtiyaçları ele alınmaktadır. Dağıtım sisteminin bir bileşeni olan mikro şebeke, güç üreten kaynakları ve yükleri ile izole bir elektrik güç sistemi oluşturabilir. MG'nin ortak bağlantı noktasında (PCC) AC şebekesine bağlanabildiği tipik işletim koşullarında talepler yerel kaynaklar ve/veya AC şebekesi tarafından sağlanır. Şekil (2.1), güvenilirliği artırmak için mikro şebeke kontrolörü tarafından kontrol edilen mikro şebeke konfigürasyonunu göstermektedir.



Şekil 2.1 Mikro şebeke konfigürasyonları [25]

Yükün PV sistemi, yakıt hücreleri ve rüzgar türbinleri de dahil olmak üzere yerel kaynaklar tarafından üretilen güçten daha az olması durumunda fazla elektrik AC şebekeye iletilir. Bu tür jeneratörler, elektrik şebekesine veya yüklere bağlamak için güç-elektronik dönüştürücülerin kullanılmasını gerektiren değişken voltaj genlikleri ve frekansları ile elektrik sağlar [23], [24]. MG kullanımının en önemli

konuları elektrik faturası maliyetini düşürmek, güvenilirliği en üst düzeye çıkarmak ve çevresel yönleri en aza indirmektir.

2.2 Enerji Yönetim Sistemi

RES ile güçlü bir şekilde ilişkili olan enerji üretim sistemlerindeki en son gelişmelerle ilgili olarak, şu anda çok karmaşık bir evrim devam etmektedir [26]. Şebeke kayıplarını azaltmaya ve mikro şebekenin elektrik arzının güvenilirliğini artırmaya yönelik bu çabanın ana hedeflerinden biri, kullanıcılara daha yakın enerji kaynaklarının kullanımını yönetmektir. Raporlara göre, mikro şebekeler (MG'ler) modern akıllı şebekelerin çoğunluğunu oluşturuyor. Kontrol karmaşıklığındaki olağanüstü yüksek büyüme nedeniyle, sevkiyat birimlerinin insan operasyonları artık mümkün değildir, bu nedenle MG'ler güç sistemlerini güç kaynağı istikrarı, enerji verimliliği ve güvenilirlik açısından otomatik olarak düzenleyecektir [27].

Entegre RES'li güç şebekelerinde, güç kontrol edilebilirliği ve öngörülebilirliği önemli sorunlar teşkil etmektedir. RES jeneratörleri, bunu başarmak için geleneksel jeneratörlerin regülasyon kolaylığı ile eşleşmelidir. İzole MG'ler, özellikle güçlü dinamik ortamlarda, azalan ataletleri ve güç rezervleri nedeniyle stabilitelerini korumakta daha zorlanırlar [28]. Sonuç olarak, ESS ile MG kararlılığının iyileştirilmesine ek olarak, özellikle geçici rejimlerde RES jeneratörünün kontrol edilebilirliğinin iyileştirilmesi yeni bir konu oluşturmaktadır. Kontrol hızı ve kararlılık sorunlarını ele alma kapasitesi açısından önemli potansiyeli nedeniyle, bu çalışma enerji üretimi için bir PV sistemine odaklanmaktadır [29].

Bu alternatif, enerji çıkışını artırmanın yollarını aramak için ESS olarak bir batarya sistemi kullanır. PV güç sistemlerinin, santral içinde BESS ile birleştirilmiş bir PV evirici kullanırken güç akışını nasıl yönettiği, bu çalışmada araştırılması gereken en önemli konudur. Daha yüksek maliyet olasılığına rağmen, yüksek MG güvenliği ve istikrarı göz önüne alındığında bu strateji haklı görülebilir [30].

BESS'in yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle, PV sistemlerinde kullanılması arzu edilen bir seçenektir. BESS entegrasyonu bir fotovoltaiik sistemde birkaç farklı konfigürasyonda yapılabilir. Mevcut çalışma yaklaşımında BESS, çift yönlü bir dönüştürücü aracılığıyla PV eviricinin DC bağlantısına bağlanmaktadır. Araştırma,

aktif PV kontrol kapasitesini ve dolayısıyla MG frekans kontrolörünü gerektiği gibi optimize etme yeteneğini artırmak için PV invertör ve BESS sisteminin operasyonel planlaması ve yönetimine odaklanacaktır.

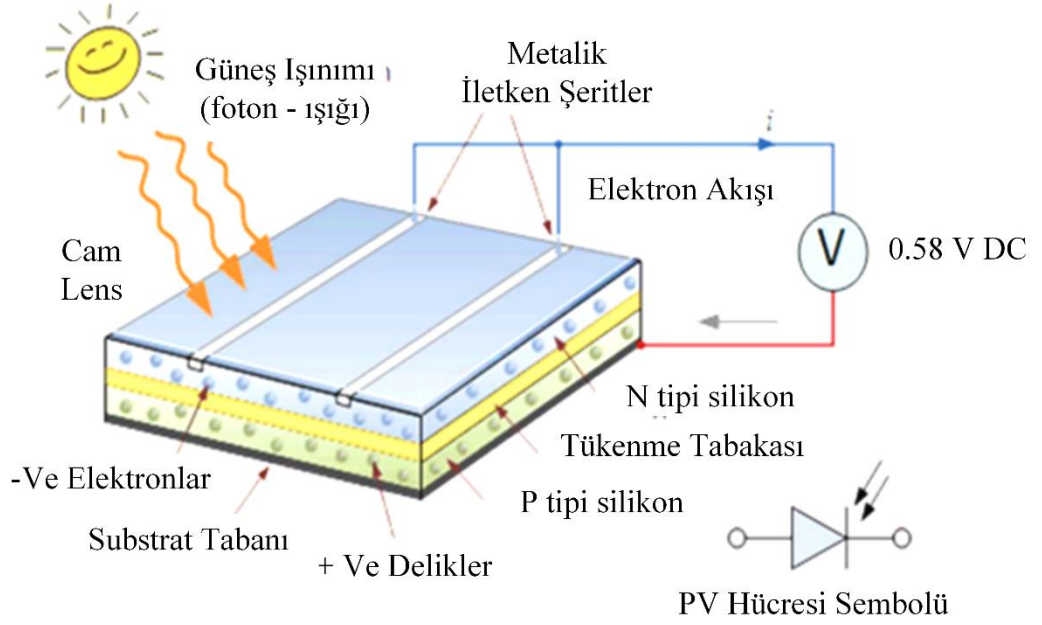
2.3 Sistem Bileşenleri

Bu bölümde, önerilen mikro şebeke bileşenleri aşağıdaki gibi güç dönüşüm devreleriyle birlikte PV, rüzgar türbini, batarya sisteminden oluşmaktadır:

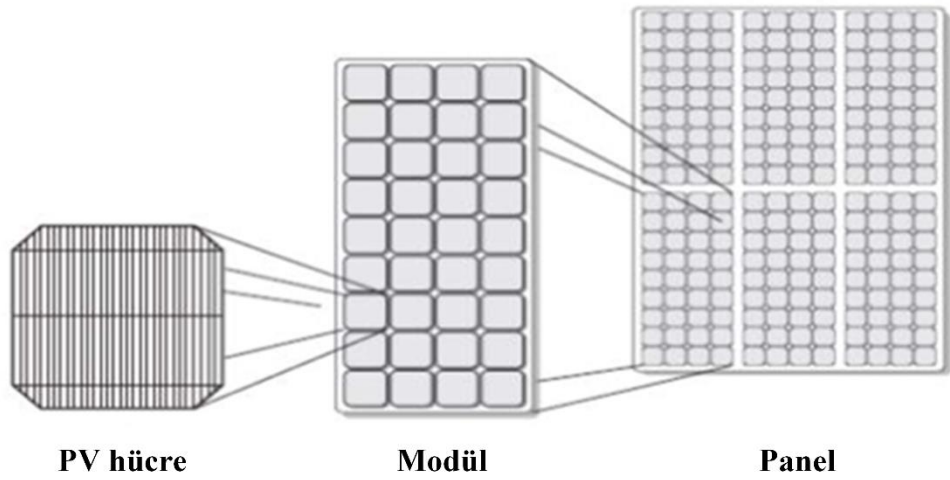
2.3.1 PV Sistem

PV hücreler n ve p tipi silikon malzemeler kullanılarak oluşturulur [31]. P-tipi içerik galyum ve borun silikon ile birleştirilmesiyle oluşturulurken, her ikisinin de en dış enerji seviyesinde yalnızca bir elektron bulunur. Bu elektron transferinin bir sonucu olarak silikonda bir elektron "deliği" veya boşluğu kalacaktır. Ayrıca, fosforda beş elektron içeren n-tipi silikon, silikonun dış seviyesine dörtten fazla elektron eklenerek oluşturulur [32]. Böylece, Şekil (2.2)'de gösterildiği gibi, bu süreç daha sonra PV hücresinin elektrik akımına neden olacak serbest bir elektronla sonuçlanacaktır.

Her bir küçük PV hücresi tarafından 0,7V'luk bir gerilim üretilmektedir. Çok sayıda hücre daha sonra sistemin çıkış voltajını artırmak ve PV modülünü üretmek için seri olarak bağlanır. Genellikle "diziler" olarak adlandırılan bu modüller, daha fazla akım üretmek ve talep tarafına gereken gücü vermek için paralel olarak bağlanacaktır. Hücre, modül ve dizinin temel düzenlemesi Şekil (2.3)'te gösterilmiştir [33].



Şekil 2.2 Fotovoltaik sistemin silikon katmanları

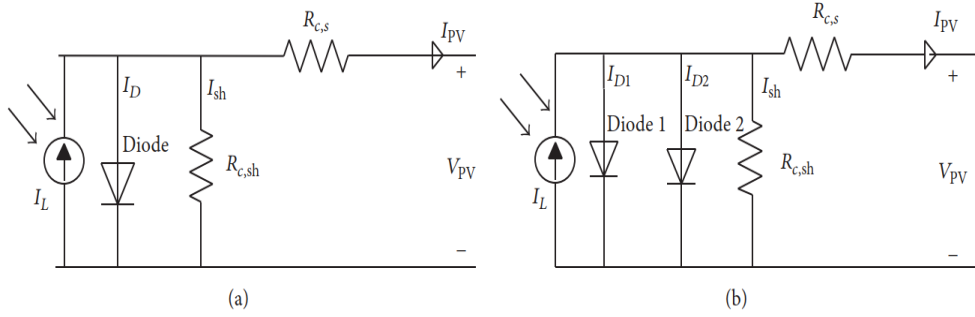


Şekil 2.3 PV hücre, modül ve dizi yapısı [33]

2.3.2 İdeal PV Hücre Modeli

Fotovoltaik (PV) sistemler, fotovoltaik fenomeni kullanarak güneş ışığını doğru akım (DC) gücüne dönüştürür. [34]. PV hücreleri yapmak için P ve N yarı iletken bileşenleri birleştirilir. Sonuç olarak, bir PV hücresi aslında bir diyot olarak görülebilir. Fotovoltaik etki, bağlantının güneş ışığını emmesi durumunda akımların oluşmasına neden olabilir. Bir PV modülü, çoğu amaç için gerekli voltajı

ve gücü üretmek için paralel veya seri olarak bağlanmış birden fazla güneş hücresi gerektirir. Bir yüke yeterli güç sağlamak için bir düzlem üzerinde seri olarak bağlanan bir grup PV modülüne dizi denir [35]. Şekil (2.4)'te akım kaynağına bağlı paralel diyot için ileri eğimli durum iki tip (tek ve çift diyot) için gösterilmiştir [36].



Şekil 2.4 (a) tek diyotlu, (b) çift diyotlu PV-hücresinin devre şeması [37]

PV-Hücre çıkışındaki yük akımı denklem (2.1)'de verilebilir:

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (2.1)$$

$$I = I_L - I_0 * \left[\exp \left(\frac{q V_D}{n k T} - 1 \right) - \frac{V_D}{R_{SH}} \right] \quad (2.2)$$

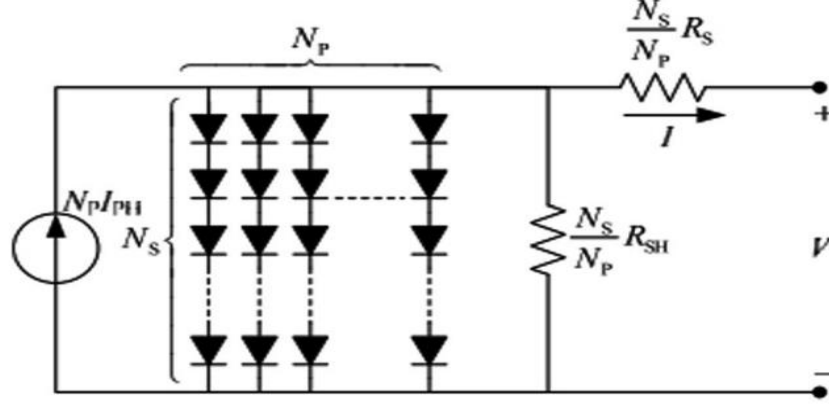
Burada "I_L" amper cinsinden fotovoltaiik akım, "I_D" amper cinsinden diyot akımı, "I_{SH}" amper cinsinden şönt direnç akımı, "V_D" volt cinsinden diyot voltajı, "I₀" amper cinsinden diyot akımının ters doygunluğu, "q" elektron yükü ve (1.6X10⁻¹⁹) (C)'ye eşit, "k" Boltzmann katsayısı için (1.38X10⁻²³) Aşağıdaki denklem güneş Bataryanın güç çıkışını sağlar:

$$P_{pv} = V * I \quad (2.3)$$

Burada "I" güneş Bataryanın amper cinsinden çıkış akımını, "V" volt cinsinden toplam voltajı ve "P_{pv}" watt cinsinden çıkış gücünü ifade eder. Dirençlerdeki kayıplar nedeniyle, güneş Bataryasındaki gerilim ve akımın özellikleri gerçeğinden sapar.

2.3.3 PV Dizi Modellemesi

Bu yöntem, bir grup güneş hücresini paralel veya seri olarak bağlanmış hücre dizilerine bağlar. Gerilim, akımdaki eşdeğer artışlarla seri olarak artar. Bu yöntem, Şekil (2.5)'te gösterildiği gibi ilgili devrenin seri ve paralel direncini yükseltir.



Şekil 2.5 Dizinin Modellenmesi

Fotoelektrik hücre için karakteristik denklem şu şekilde verilir:

$$I = I_{PV} - I_C - I_D - I_{Sh} \quad (2.5)$$

$$I_{Sh} = \frac{V_P + R_S I_P}{R_{SH}} \quad (2.6)$$

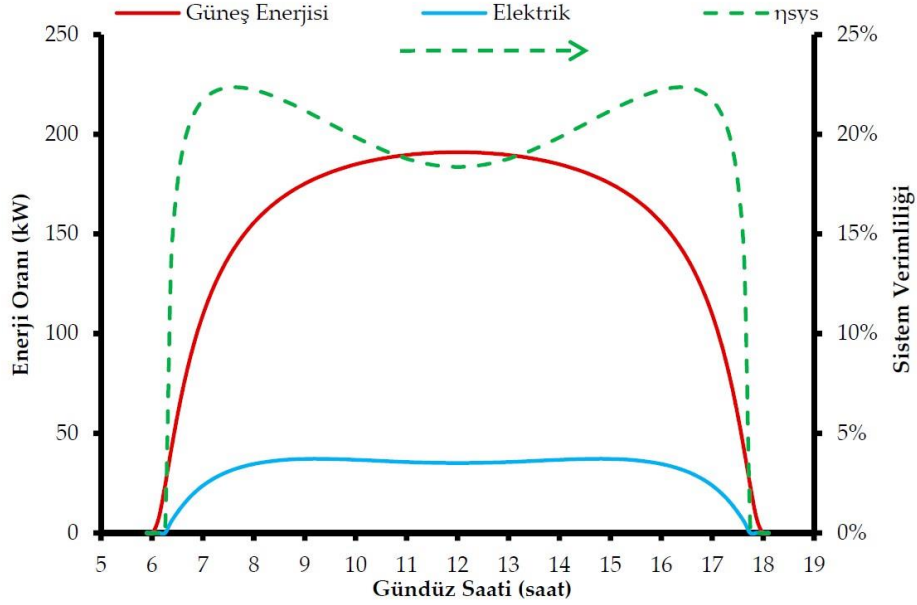
$$I_{PV} = [I_{SC} + K_O(T - T_{nom})] \frac{G}{G_{nom}} \quad (2.7)$$

Burada (I_{SC}), ideal koşullar altında 25 ila 1000 W/m² arasında olması gereken kısa devre akımıdır. T_{NOM} , hücrenin ulaşması gereken ideal sıcaklık anlamına gelir. İdeal hücre radyasyonu, G_{NOM} , 1000 w/m²'dir, T ise ortamın gerçek veya doğru sıcaklığını temsil eder. G 'ye göre, kesin veya gerçek radyasyon derecesi ve 3 mA/C⁰'de sabit olan K_O , 3 mA'lık kısa devre akımındaki artış ve çevre sıcaklığından 1 C⁰'lik bir sıcaklık artışı tanımlanır [38]. Modüle karşılık gelen paralel direnç R_{SH} , seri direnç ise R_S 'dir.

2.4 Güneş Bataryaları Verimliliği

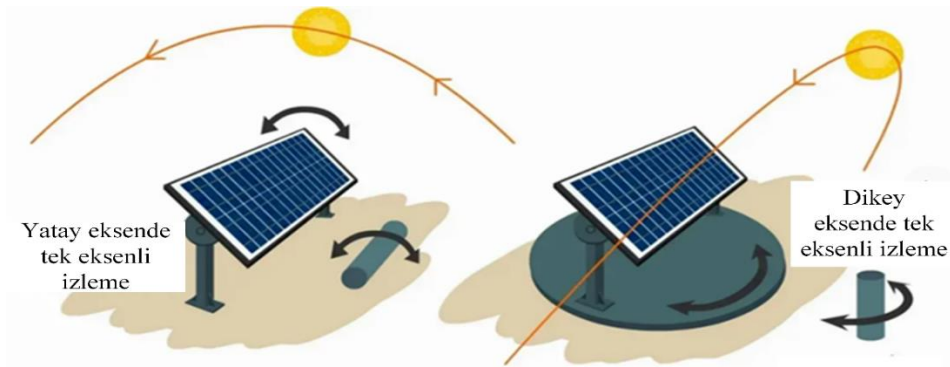
Güneş enerjisi, güneş Bataryaları tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneş panellerinin etkinliği, güneş ışınlarına dik olarak monte edildiklerinde artar.

Güç üretimini en üst düzeye çıkarmak için, PV dizilerini doğrudan güneş ışınlarına maruz kalacak şekilde döndürmek için izleyiciler kullanılır. Aşağıdakilerin faydası, üretilen gücü en üst düzeye çıkarmak için PV dizilerini yükseltmesidir. İzleme yöntemi, Şekil (2.6)'da görüldüğü gibi maksimum güç periyodunu iyileştirir.



Şekil 2.6 Sabit montaja karşı günlük güç çıkışı [39]

PV sistemleri çeşitli izleme cihazları kullanabilir, ancak en yaygın iki tür kullanılır. Şekil (2.7)'de [39] gösterildiği gibi, her ikisi de tek eksenli izleyiciler ve çift eksenli izleyicilerdir; bunlardan ilki azimut açısını, ikincisi ise dikey ve azimut eksenlerini izler.



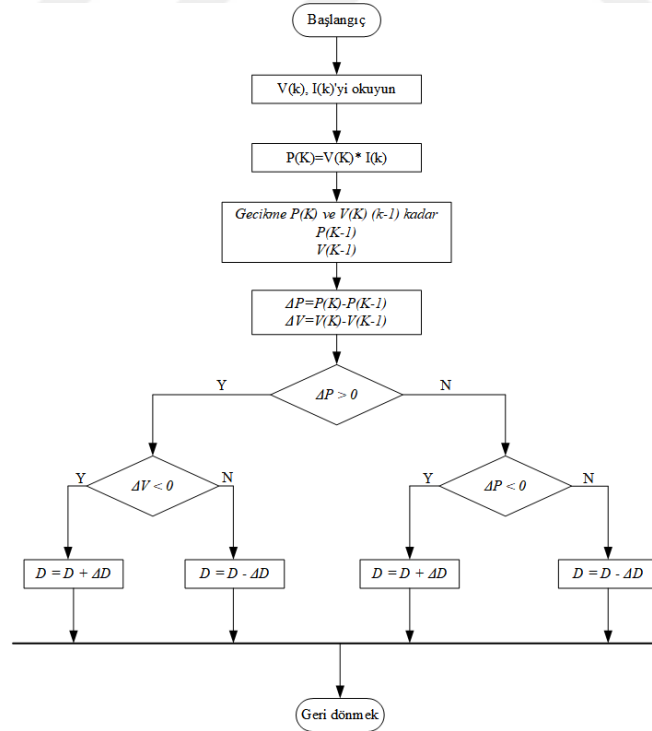
Şekil 2.7 Tek ve çift eksenli izleyiciler [39]

2.5 Gücü Maksimize Etmek için Takip Algoritması

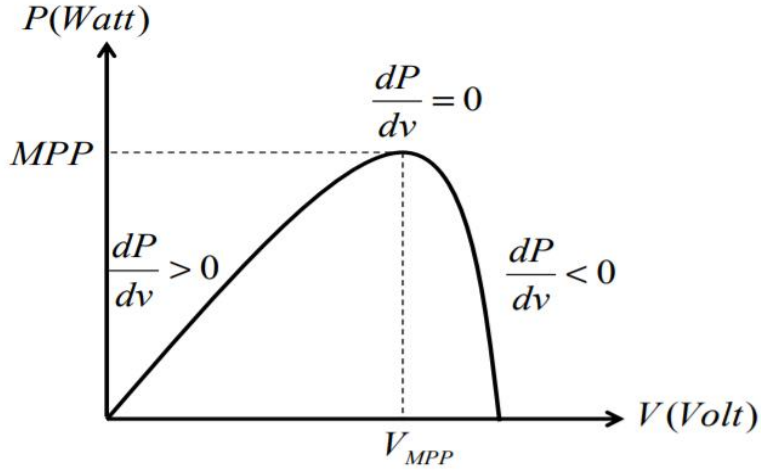
Değişken ışınım ve ortam sıcaklığı durumlarında PV panelin üretilen gücünü en üst düzeye çıkarmak için bir MPPT kontrolörü kullanılır. Son birkaç on yılda birçok MPPT tekniği kullanılmış ve oluşturulmuştur. Yakınsama hızı, dinamik yanıt verebilirlik, tasarım karmaşıklığı, sensör sayısı ve maliyet gibi diğer faktörlere göre çeşitli yaklaşımlar da özetlenebilir. Bu çalışmada, her biri aşağıda kısaca ele alınacak olan P&O, INC ve PSO MPPT metodolojileri kullanılmıştır.

2.5.1 P&O Yöntemi

Birçok bilim insanı tarafından dikkate alınan bu yaklaşım, daha basit yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu işlem sırasında, PV dizisinin hem voltajı hem de üretilen gücü değişir. İzleyici, her döngüde PV'lerin voltajını ve akımını değerlendirir ve güçteki dalgalanmaları analiz ederek gerçek PV güneş gücünü tespit eder. Bu durum MPPT'ye kadar özetlenir [40], P&O MPPT'nin akış şeması Şekil (2.8)'deki gibi verilmiştir. Gerilimdeki değişikliklere göre güçteki değişiklikler sıfır olduğunda ($dP/dV = 0$), MPPT Şekil (2.9)'da gösterildiği gibi üretilir.



Şekil 2.8 P&O MPPT akış diyagramı



Şekil 2.9 MPPT işletim koşulları [41]

P&O tekniği akış diyagramı bölüm ikideki Şekil 2.18'de gösterilmektedir. Yöntem, yukarıda belirtilen Şekilde gösterildiği gibi, P'deki gücü ve $V(k)$ ve $I(k)$ 'deki (V ve I) oranlarını belirleyerek başlar. Her MPPT döngüsünde (V_{ref}), algoritma nominal gerilime göre çalışma gerilimini (V) değiştirir. En iyi çalışma değeri gerilimi V için, MPPT'ye ulaşılan kadar çalışma gerilimi V salınır. İşte pertürbasyonların adım boyutunun getirdiği güç kayıpları. Bu yaklaşımın birincil faydası, herhangi bir PV sistemi ile kullanılabilmesi ve güneş Bataryayı özellikleri hakkında bilgi gerektirmemesidir.

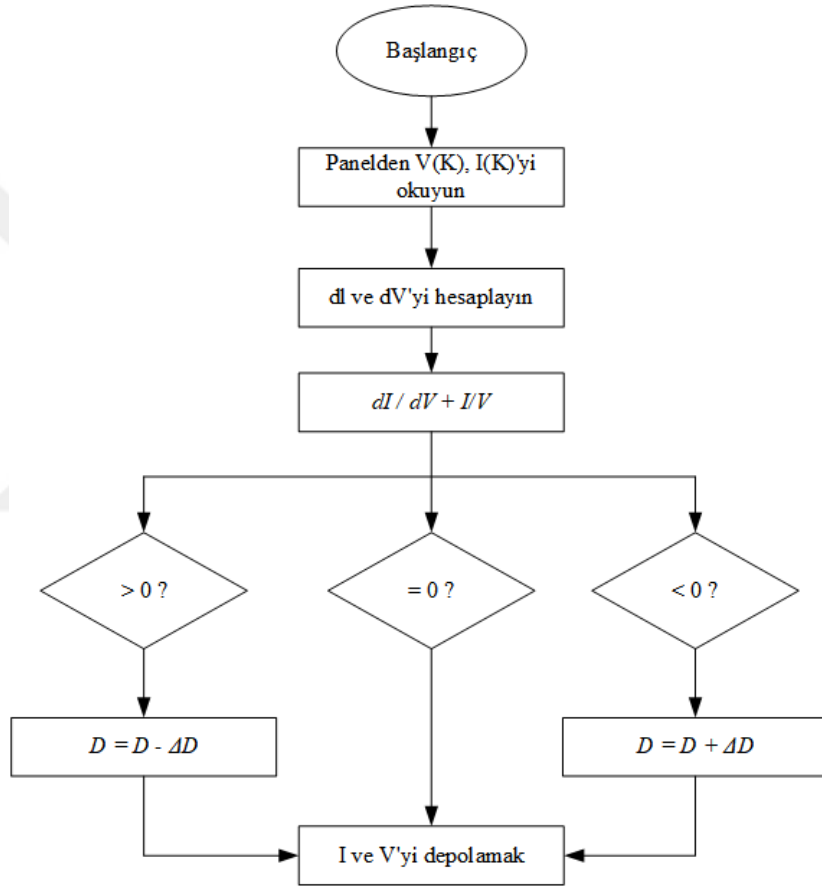
Geçmişte pertürbasyon ve gözlem algoritması, davranışsal artış yöntemi ve optimum gradyan yaklaşımı dahil olmak üzere birkaç geleneksel MPPT yöntemi kullanılmıştır. Işınım ve sıcaklık sabit olduğunda, tüm bu stratejiler etkili bir şekilde çalışır.

2.5.2 INC. Yöntemi

Artımlı İletkenlik (INC) yaklaşımı, hızla değişen hava koşulları altında P&O yöntemleriyle ilgili sorunu çözmektedir. MPPT'nin MPP'sine ulaşıldı ve artan iletkenlik yaklaşımına göre operasyonel noktanın tedirgin edilmesi sona erdi. Bu gereksinimin karşılanmaması durumunda, dI/dV ve $-I/V$ arasındaki bağlantıyı kullanarak MPPT çalışma noktasının bozulması gereken yönü tahmin etmek mümkündür. Bu bağlantı, MPPT MPP'nin sağ tarafındaki eğriye geldiğinde

dP/dV 'nin negatif, MPP'nin sol tarafındaki eğriye geldiğinde ise pozitif olduğu gözleminden elde edilir [42] [43].

P&O'nun MPP etrafında salınım yapmasının aksine, bu yöntem MPPT'nin MPP'ye ne zaman ulaştığına karar verir. P&O'nun yararı budur. Bir PV dizisinin artan iletkenliğini ve anlık iletkenliğini karşılaştırarak, artan iletkenlik tekniği en yüksek güç noktasını tam olarak takip eder. INC. yöntemi, P&O'dan daha doğru bir şekilde, hızla artan ve azalan ışıınım koşullarını takip edebilir [45]. Şekil (2.10) Inc. yönteminin akış diyagramını göstermektedir. MPPT yöntemi.



Şekil 2.10 Inc. akış diyagramı [45]

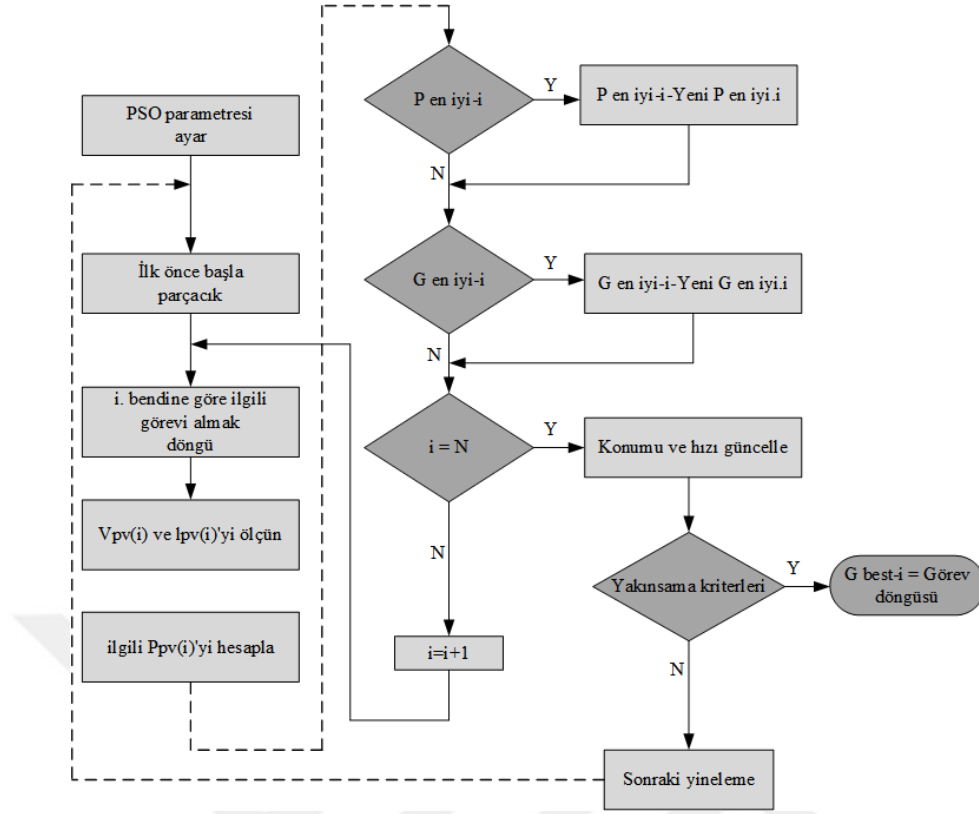
Bu algoritmanın P&O'ya göre karmaşıklığı, uygulanmasını zorlaştırdığı için bir dezavantajdır.

2.5.3 PSO Yöntemi

P&O ve INC Yöntemleri, son zamanlarda akademisyenler tarafından önerilen geleneksel MPPT yaklaşımlarından bazılarıdır. Sıcaklık sabit olduğunda ve ışıınım eşit şekilde değiştiğinde, bu tekniklerin tümü etkili bir şekilde çalışır. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [45] ve Genetik Algoritmalar (GA) şu anda karmaşık

ışınım koşulları için küresel olarak kullanılan birincil MPPT yaklaşımlarıdır. En popüler optimizasyon türü, hızlı ve çözümü kolay olduğu için parçacık sürüsü olarak adlandırılır. Geleneksel PSO ise arama süreci boyunca erken yakınsamaya neden olabilir. PSO yaklaşımı, kullanımı basit, hesaplama hızı yüksek ve MPP'yi dış koşullardan bağımsız olarak belirleyebildiği için büyük bir potansiyele sahiptir [46]. Ayrıca, Genetik Algoritma gibi diğer evrimsel algoritmalara göre daha gelişigüzel bir arama yapma yeteneğine sahiptir. Parçacık hızına göre görev döngüsünün değiştirilmesi, görev döngüsünü sabit bir miktarda bozan diğer yaklaşımların aksine PSO yaklaşımıyla değişkendir. PSO algoritmasının geleneksel süreçlerden farklılaştığı nokta burasıdır.

Diğer global optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında PSO, hızlı yakınsama ve basit uygulama özellikleriyle öne çıkmıştır. Bilim insanları artık PSO'nun PV sistemlerinde MPPT ile uygulanmasına giderek daha fazla odaklanmaktadır. Önceki sürü benzetmesine uygun olarak, PSO, işbirliği yapan birkaç "kuşun" veya bu örnekte, toplu olarak çalışan parçacıkların oluşturduğu ve sürü olarak da adlandırılan bir "sürüyü" temsil etmektedir. Sürüdeki her parçacığın bireysel bir hızı ve ne kadar uzağa gideceğini belirlemek için kullandığı bir uygunluk değeri vardır. Her bir parçacık, arama faaliyetleri sırasında keşfettiği bilgileri paylaşır. Bir parçacığın konumu, hem sürü için en iyi konum olarak kaydedilen yakındaki en iyi parçacık (Gbest) hem de parçacık tarafından bireysel olarak bulunan en iyi çözümden (Pbest) etkilenir ve bunlar ayrı en iyi konumlar olarak istihdam edilmek üzere saklanır. Bu yöntemi kullanarak, her parçacık gerektiğinde yönünü ve hızını sürekli değiştirerek sonunda referans noktası yönünde veya küresel bir optimuma çok yakın hareket eder. Bu strateji, parçacık sürüsü tarafından ideal konuma doğru hareket etmek için kullanılır. Şekil (3.11) PSO MPPT algoritmasının akış şemasını göstermektedir. Aşağıda PSO MPPT yönteminin bazı temel özellikleri yer almaktadır: PSO MPPT algoritması, tekdüze olmayan ışınım koşullarında iyi performans gösterir. PSO MPPT yöntemi, yüksek kararlılığa sahip geleneksel algoritmalarından daha hızlı ulaşır ve erken yakınsamayı daha iyi önleyebilir.



Şekil 2.11 PSO MPPT tekniğinin akış diyagramı [45]

PSO yönteminin en önemli özellikleri basitliği, sağlamlığı ve diğer optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında doğru sonuçlar vermesidir. Bu PSO parametrelerinin uygun değerleri, farklı çalışma modları arasındaki gezinmeler sırasında aşım ve kararlı durum hatasını azaltarak çıkış yanıtını iyileştirir; ayrıca yerleşme süresi de iyileşir. PSO yönteminin diğer ana avantajı, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında MPPT'nin optimum değerlerini bulma süresinin kısa olmasıdır. Bu yöntemin algoritması, tüm sürüdeki uygunluğu ve optimum değerleri değerlendirmek için başlangıçta rastgele seçilen parçacık değerlerini kullanmaktır. PSO yöntemi MATLAB Simulink programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

PSO tekniği aşağıdaki ifadeleri içerir: *ith* parçacık sürüsü

$X_i = (xi1, xi2, xi3, \dots, xin)$, *ith* parçacık sürüsünün önceki en iyi çözümü

$Pbest = (pbest1, pbest2, pbest3, \dots, pbestn)$, parçacık sürüsü hızına dayalı konum değiştirme oranı $V_i = (vi1, vi2, vi3, \dots, vin)$ ve toplam sürü tarafından sağlanan en iyi çözüm $Gbest = (gbest1, gbest2, gbest3, \dots, gbestn)$.

Ana PSO algoritmaları hız ve konum olmak üzere iki faktöre bağlıdır. Bu faktörler Denklem (2.8) ve (2.9) uygulanarak güncellenir:

$$v_i^{n+1} = wv_i^n + c_1r_1(P_{best}^n - X_i^n) + c_2r_2(P_{best}^n - X_i^n) \quad (2.8)$$

$$X_i^{n+1} = X_i^n + v_i^{n+1} \quad (2.9)$$

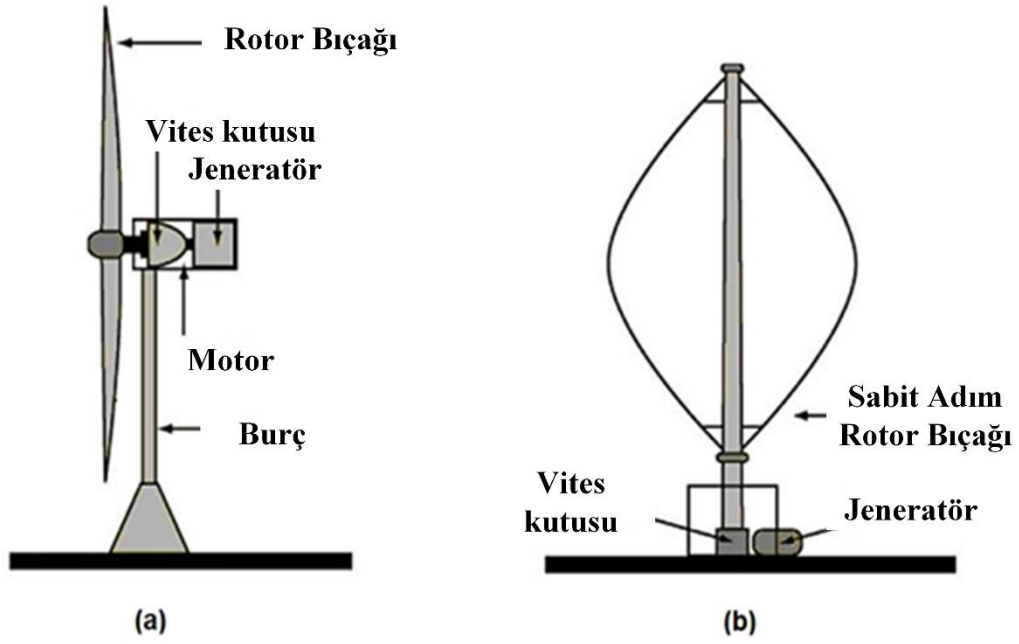
Burada ($i = 1, 2, 3, 4 \dots, m$), n iterasyon sayısı, ω ağırlık katsayısı, $C1$ ve $C2$ sırasıyla sosyal ve bilişsel oran ve $r1$ ve $r2$ rastgele aralıklardır (0, 1).

Aşağıda PSO algoritmasının bu çalışmada nasıl uygulandığı açıklanmaktadır:

- i) PSO sabitleri w , $c1$ ve $c2$ 'nin yanı sıra sürü boyutu, arama uzayı boyutu, maksimum iterasyon sayısı ve sürü boyutunu başlatın. İki rastgele tamsayı olan $r1$ ve $r2$ 'yi tanımlayın.
- ii) Her bir parçacığın popülasyon içindeki mevcut uygunluğunu belirleyin.
- iii) Parçacıklara rastgele başlangıç hızları ve konumları atayın.
- iv) Her bir parçacığın uygunluk değerini hesaplayın.
- v) Yerel en iyi uygunluk ile çarparak mevcut küresel en iyi uygunluk değerini belirleyin.
- vi) Bir sonraki iterasyon için parçacık konumunu ve hızını ayarlayın. Her bir parçacığın mevcut uygunluk seviyesini bulun: Mevcut uygunluk yerel en iyi uygunluktan büyükse yerel en iyi uygunluğu mevcut uygunluğa ayarlayın.
- vii) Şu anda global en iyi uygunluğu bulun (global en iyi uygunluk = yerel en iyi uygunluk eksi mevcut global en iyi uygunluk): Mevcut küresel en iyi uygunluk, küresel en iyi uygunluktan büyükse, küresel en iyi uygunluk mevcut küresel en iyi uygunluğa eşittir. Gbest'e dünyanın en iyi uygunluğuna eşdeğer bir konum verilmiştir.
- viii) Maksimum tekrar sayısına ulaşılan veya global en iyi uygunluk değeri iyileşmeye kadar Adım 6 ve 7 ile devam edin.
- ix) Koşul karşılandığında, iteratif yöntemi durdurun.

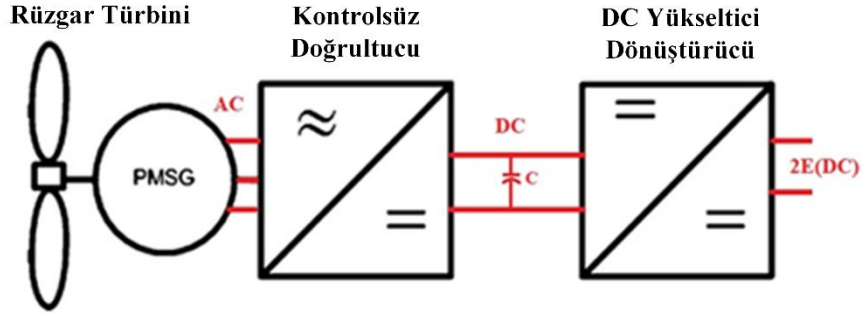
2.6 Rüzgar Türbini

Rüzgar türbini sistemleri, şaftın yönüne göre iki ana sınıfa ayrılır. Bu türler, rotor kanatlarının düzenine veya kanat sayısına ve türbin sisteminin şebekeye nasıl bağlandığına göre ayrılabilir. Rüzgar türbinleri yatay ve dikey şaft konfigürasyonları olmak üzere iki tip olarak sınıflandırılır. Yatay şaft düzenlemesi, adından da anlaşılacağı gibi, Şekil (2.12-a)'da gösterildiği gibi, şaftın bir ucuna bağlı kanatlarla yatay bir şekilde şafta sahiptir. Dikey şaftlı rüzgar türbini için dikey olarak yönlendirilmiş oldukça uzun bir şaft vardır ve kanatlar rotora birçok noktadan bağlanır. Şekil (2.12)'de gösterildiği gibi. (b) [47].



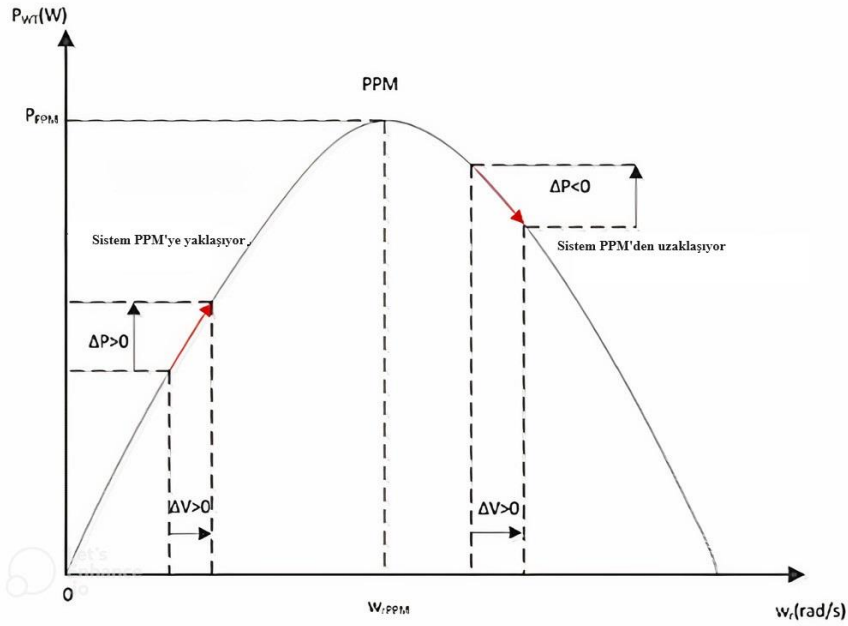
Şekil 2.12 (a & b) Yatay ve dikey rüzgar türbini

Kontrol edilebilir rüzgar adımına dayalı üç fazlı PMSG, yüksek verimlilik ve güvenilirlik ile karakterize edilen rüzgar enerjisinde kullanılabilecek ana önemli jeneratörler olarak temsil edilebilir. Three-phase uncontrollable rectifier is utilized to transform the generated AC power into DC power. Gerilimi artırmak ve gerekli DC barayı karşılamak için yükseltici dönüştürücüye de ihtiyaç vardır; Şekil (2.13) WECS'in ana bileşenlerini göstermektedir [48].



Şekil 2.13 Önerilen rüzgar türbini sistemi

Bu araştırmada MPPT'yi elde etmek için, çalışma prensibi Şekil (2.14)'te verilen (P&O) algoritmasını kullanıyoruz [49].



Şekil 2.14 P&O algoritma tekniklerinin rüzgar türbinleri ile çalışması

Mekanik enerji, rüzgar enerjisinden dönüştürüldükten sonra rüzgar türbinlerinden üretilir ve kinetik enerjileri aşağıdaki denklem (2.8) kullanılarak tahmin edilebilir [50]:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.8)$$

Burada " ρ " hava yoğunluğunu (kg/metre), " A " türbinin kanatlarının dönerken oluşturduğu toplam alanı (metre) ve " V " rüzgar hızını (metre/saniye) temsil etmektedir. Bir rüzgar türbininin enerji dönüşüm verimliliğinin, uç hız oranının bir uygulaması olduğu gösterilmiştir, bu aynı zamanda uç hız oranı λ 'nın rüzgar

türbini fonksiyonunu temsil eden "Cp" olarak da tanımlanabilir ve bir sonraki ifadede verilebilir:

$$\lambda = w r / V \quad (2.9)$$

Burada "w" türbin kanatlarının (rad/sn) cinsinden dönme hızını ve "r" türbin kanatlarının dönmesi nedeniyle oluşan alanın yarıçapını temsil etmektedir. Rüzgar türbininin şaftına aktarılabilecek gerçek gücü hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır:

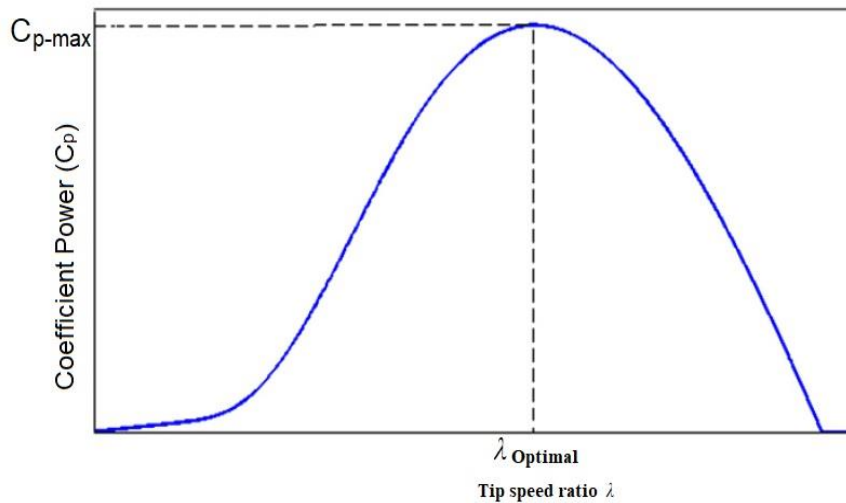
$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho C_p A V^3 \quad (2.10)$$

Burada, "CP" güç katsayısını temsil eder ve bir rüzgar türbini tarafından alınan elektrik enerjisine aktarılan mekanik enerjinin yüzdesi olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır [51]:

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5 \left[\frac{116}{\lambda} - 0.4\beta - 5 \right] e^{\left[\frac{21}{\lambda} \right]} \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (2.12)$$

Burada "β" hatve açısı "λ" uç hız oranıdır, MPPT algoritması sırasında, Şekil (2.15)'te gösterildiği gibi rüzgar türbini jeneratörünün maksimum güçte olmasını sağlamak için "Cp" ve "λoptimal" arasındaki eğri elde edilmelidir.



Şekil 2.15 MPPT sırasında C_{pmax} ve $\lambda_{optimal}$

Şekil (2.16)'da gösterildiği gibi PMSG rüzgar türbininin d-q eksenini açıısından dinamik emülasyonu aşağıdaki denklemlerde verilebilir [52]:

$$d\psi_{sd}/dt = -V_{sd} - R_s I_{sd} - \omega_e \psi_{sq} \quad (2.13)$$

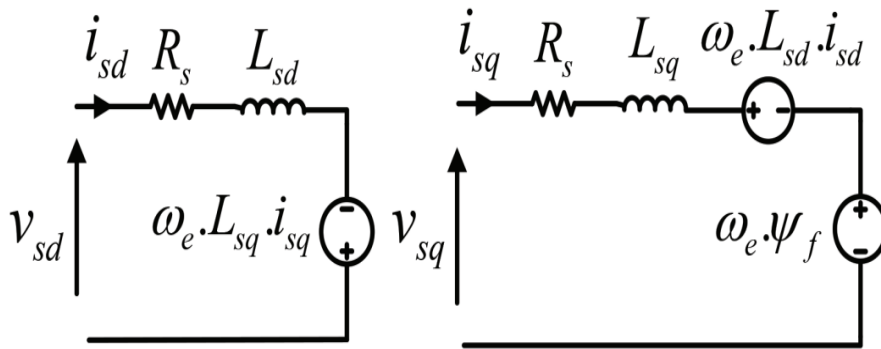
$$d\psi_{sq}/dt = -V_{sq} - R_s I_{sq} - \omega_e \psi_{sd} \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.13 ve 2.14 göz önüne alındığında,

$$\psi_{sd} = (L_{sd} + L_{md}) I_{sd} + \psi_m \quad (2.15)$$

$$\psi_{sq} = (L_{sq} + L_{mq}) I_{sq} \quad (2.16)$$

Burada "Vsd" ve "Vsqr" stator gerilimleri, "Rs" stator direnci, "Isd" ve "Isq" d ve q stator akımları, "ωe" rüzgar jeneratörünün dönüş hızı, "ψsd" ve "ψsq" stator devresi flux bağlantılarıdır, "Lsd" ve "Lsq" kaçak endüktans stator rüzgarını, "Lmd" ve "Lmq" mıknatıslanma endüktansını ve "ψm" makinenin sabit mıknatıs bağlantı flux'unu temsil eder.



Şekil 2.16 PMSG'nin d- ve q-eksenlerindeki eşdeğer devreleri

Eşitlik 2.13 ve 2.14 yerine Eşitlik 2.15 ve 2.16 kullanılırsa, PMSG'nin diferansiyel denklemleri şu şekilde bulunabilir [53]:

$$L_d dI_{sd}/dt = -V_{sd} - R_s I_{sd} - \omega_e L_q I_{sq} \quad (2.17)$$

$$L_q dI_{sq}/dt = -V_{sq} - R_s I_{sq} + \omega_e L_d I_{sd} + \omega_e \psi_m \quad (2.18)$$

$$L_d = L_{sd} + L_{md} \quad (2.19)$$

$$L_q = L_{sq} + L_{mq} \quad (2.20)$$

PMSG aktif ve reaktif güçleri şu şekilde verilir:

$$P_s = V_{sd} I_{sd} + V_{sq} I_{sq} \quad (2.22)$$

$$Q_s = V_{sq}I_{sd} - V_{sd}I_{sq} \quad (2.23)$$

Rüzgar türbini jeneratörünün elektrikle çalışan torku aşağıdaki gibi kutup çifti sayısı ile sağlanır:

$$T_e = 0.5p(\psi_m I_{sq} + (L_d - L_q) I_{sd} I_{sq}) \quad (2.24)$$

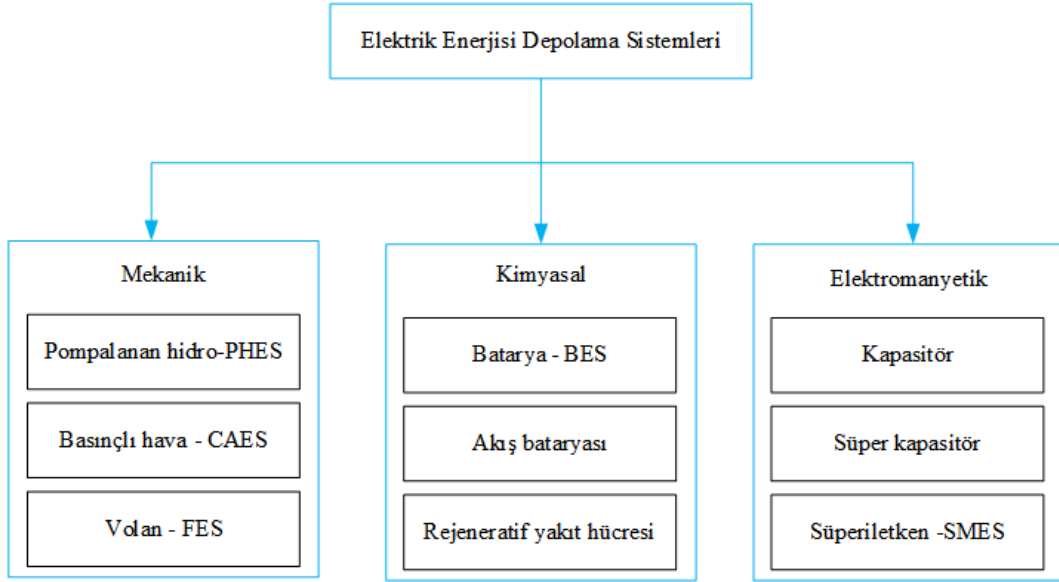
2.7 Enerji Depolama Sistemi

Enerji üretim süreçleri, artan talebi karşılayabilmek için güvenilir ve yüksek kaliteli bir güç dağıtımı sağlamalıdır. Fosil yakıtlar uzun yıllardır bu talebi karşılamak için kullanılan birincil enerji kaynağı olmuştur, çünkü istenilen miktarda enerji sağlamak için kolayca ayarlanabilmekte ve konsantre enerjileri boru hatları, demiryolu veya karayolu aracılığıyla tüketim yerine gidebilmekte ve orada gerektiği kadar uzun süre depolanabilmektedir. Ancak günümüzde enerji kaynakları, azalan fosil yakıt kaynaklarından bağımsızlık taleplerini ve iklim değişikliği düzenlemelerinin getirdiği sınırlamaları karşılayabilmek için emisyonuz ve yenilenebilir olma gibi yeni standartları yerine getirmelidir.

Kesintili ve değişken RES gücü arzı nedeniyle, birçok RES enerji üretiminde sorunlara neden olmaktadır. Enerji talebindeki mevsimsel ve günlük değişimler nedeniyle RES miktarını artırmak ve nihayetinde konvansiyonel kaynakları devre dışı bırakmak son derece zordur. Geleneksel kömür veya nükleer enerji tesisleri bile enerji üretimlerini hızlı bir şekilde değiştiremezler [54]. Böylesine acil bir sorunu ele almak için güç sistemlerinin esnekliğini artıran alternatif kaynaklara odaklanılmalıdır.

Elektrik enerjisi depolama (EES) sistemleri, elektriğin en esnek enerji kaynağı olması ve çok uzun mesafeler boyunca inanılmaz derecede düşük kayıplarla tüketicilere taşınabilmesi nedeniyle büyük ilgi görmektedir. EES sistemleri, depolanan birçok enerji biçimine, depolama için en uygun süreye (kısa, orta veya uzun vadeli), tepki süresine (hızlı veya yavaş), boyuta (küçük, orta veya büyük ölçekler) ve tepki süresine göre kategorize edilebilir. Şekil (2.17), EES teknolojisini en yeni yöntemi kullanarak kategorize etmektedir. EES sistemleri, elektrik enerjisinin nasıl depolanabileceğine bağlı olarak kimyasal, elektriksel, manyetik veya mekanik olarak sınıflandırılabilir [55].

Bataryalar ve hidrojen depolama yakıt hücreleri kimyasal sistemlere, süper kapasitörler ve süper iletkenler ise elektromanyetik sistemlere örnektir [56].



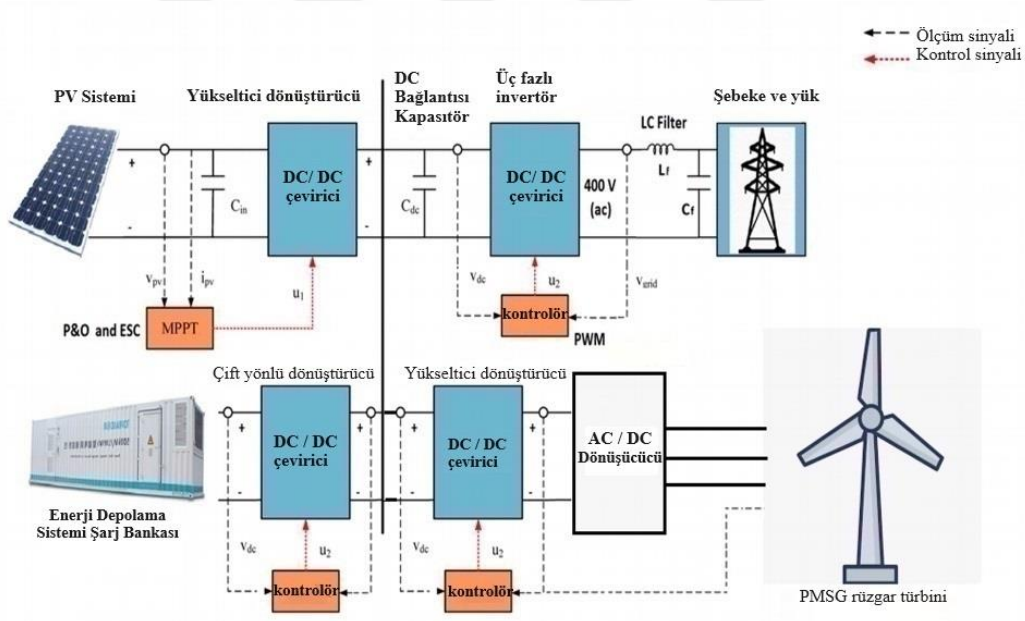
Şekil 2.17 ESS sınıflandırmaları

3

TASARM VE SİMULİNK MODELİ

3.1 Alt Başlık Önerilen Mikro Şebeke Sistemi.

Şekil (3.1) bu çalışmada önerilen mikro şebeke sistemini göstermektedir. PV güneş sistemi, mikro şebekenin birincil güç kaynağı olarak hizmet vermektedir. Bir DC-DC yükseltici dönüştürücü, kayıpları azaltmak için akımı düşürürken PV güneş sisteminin DC çıkış voltajını yükseltmek için uygulanır. PV güneş sistemi ile P&O, Inc ve PSO MPPT yöntemleri kullanılmıştır. Rüzgar türbini devresi ile kullanılan P&O MPPT. ESS, elektrik kesintisi veya bir kesinti durumunda temel gücü sağlamak için kullanılır. BSS, şarj ve deşarj için çift yönlü bir DC-DC (buck-boost) dönüştürücü kullanır.



Şekil 3.1 Önerilen Mikro Şebeke düzeni

Bu çalışmada, şebeke açık ve kapalı modlarında gerilim ve frekansı sabit tutacak şekilde yönetmek için droop kontrol invertörüne dayalı üç fazlı bir VSG kullanılmıştır. Harmonikleri mümkün olduğunca en aza indirmek için bir LC filtresi kullanılır. Önerilen EMS yaklaşımı, mikro şebekenin farklı durumlarda öngörülen tüm operasyonel koşullarını dikkate alır.

paralel paneller N_p 'nin (5)'e eşit olduğunu varsayarsak, seri paneller N_s

$$N_s = \frac{45}{5} = 9 \text{ dizeleri}$$

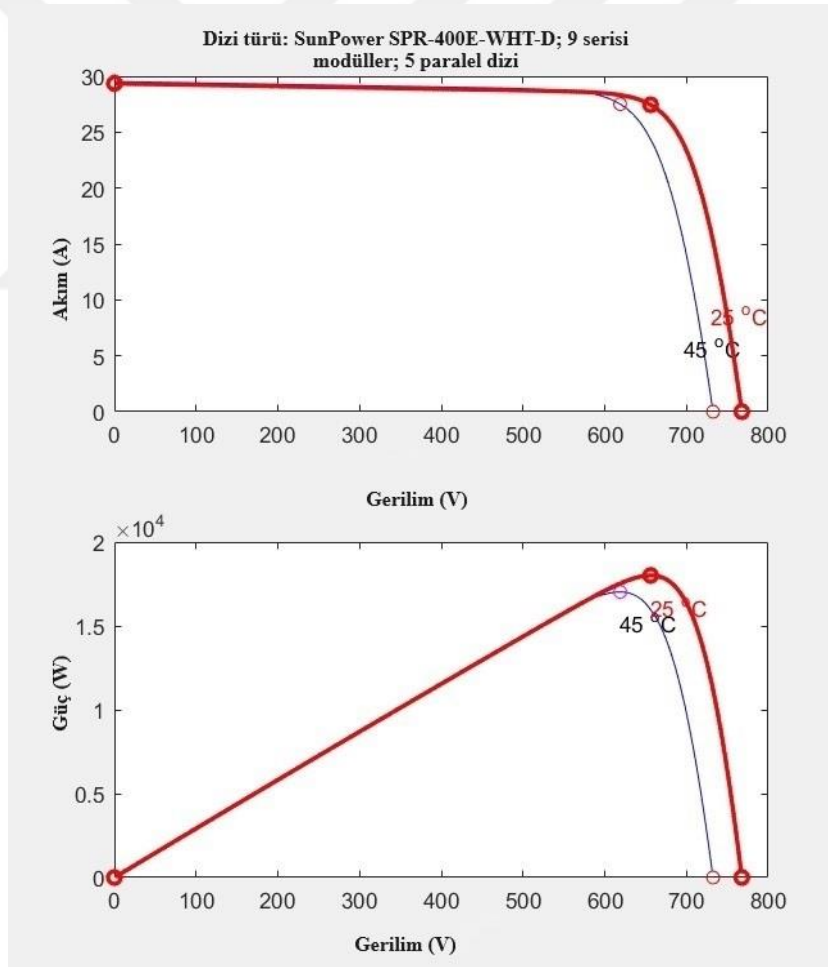
PV parametreleri şu şekilde tahmin edilebilir:

$$V_{PV} = N_s \times V_{mppt} = 9 \times 72.9 = 656.1 \text{ V}$$

$$I_{PV} = N_p \times I_{mppt} = 5 \times 5.49 = 27.45 \text{ A}$$

$$P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} = 656.1 \times 27.45 = 18.009 \text{ KW}$$

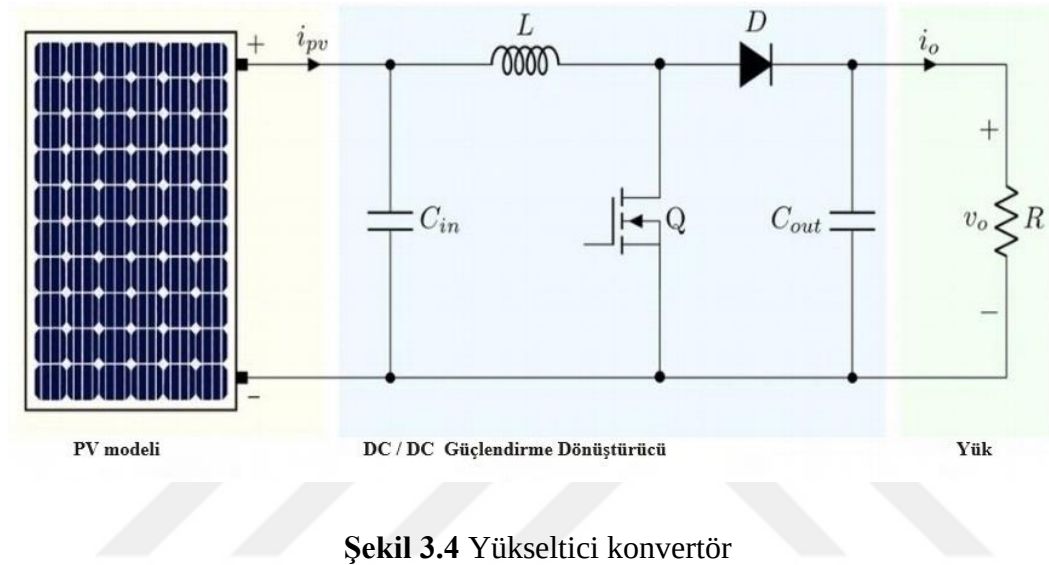
Şekil (3.3), 25°C sıcaklık ve 1000 (W/m²) ve 800 (W/m²) değişken ışınlım seviyelerinde önerilen PV sisteminin gerilim-akım ve güç-gerilim eğrisi özelliğini göstermektedir.



Şekil 3.3 SunPower panelinin güç, voltaj ve akım eğrileri

3.3 Yükseltici DC-DC Dönüştürücü Tasarımı

Bu tür bir dönüştürücü, bu çalışmada PV çıkış voltajından ve rüzgar türbini sisteminin doğrultucusundan DC-bus voltaj sistemine voltajı artırmak için PV ve rüzgar türbini ile birlikte kullanılmaktadır. Bu tür dönüştürücüler, görev döngüsünü (D) değiştirerek PV ve rüzgar türbininin gücünü yükseltmek için MPPT yöntemini kullanır. İlgili yükseltici konvertör devresi Şekil (3.4)'te gösterilmiştir.



Devredeki büyük akımla ilişkili kayıpları sınırlamak için, çıkış voltajının yaklaşık 800V olacağı tahmin edilmektedir ve D [57] tarafından sağlanmaktadır:

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_o} \quad (3.3)$$

V_{in} ve V_o sırasıyla boost dönüştürücünün giriş ve çıkış tarafındaki gerilimleridir.

Dolayısıyla görev döngüsü 0,1 veya %10'dur. Boost dönüştürücünün indüktörü ve çıkış kapasitörü formül (3.6) ve (3.7)'de verilmiştir[58].

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2 f_{sw}} \quad (3.4)$$

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f_{sw}} \quad (3.5)$$

Çıkış tarafındaki dalgalanma gerilimi olduğundan (%1 olduğu varsayılır), R yük direncidir ve $V/18 = 35,55 \Omega$ ile tahmin edilebilir ve 4 KHz olan anahtarlama

frekansdır. $\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) 800^2 kW f_{sw}$ Giriş kondansatörünün miktarı ve indüktör direnci varsayılmıştır.

Bu çalışmada, bir güneş fotovoltaik sisteminin DC boost dönüştürücüsü, dalgalanan fiziksel koşullar altında PSO kullanan bir maksimum güç noktası izleme denetleyicisine tabi tutulmaktadır. PSO tabanlı MPPT kontrolörü, DC-DC boost dönüştürücünün görev döngüsünü düzenleyerek güneş fotovoltaik sisteminin en yüksek miktarda elektrik üretmesini sağlar. Bu, solar PV sisteminin maksimum güce karşılık gelen ideal akım ve gerilim değerlerinin seçilmesiyle sağlanır. Kontrolörler (PSO, P&O ve INC) ve genel sistem MATLAB'da uygulanmıştır. Bulgular, P&O ve INC tabanlı MPPT kontrolörlerinin aksine, kontrolörün dalgalı meteorolojik koşullar altında bile maksimum gücü izleyebildiğini göstermektedir.

3.4 DC Bağlantı Kapasitörü

DC güç dönüştürücüleri arasındaki DC bağlantı barasındaki gerilim değişimini azaltmak için paralel bir DC bağlantı kondansatörüne ihtiyaç vardır. Ayrıca inverterin güç kaynağı sürekliliğini de koruyabilir. DC-link kondansatörü C_{dc} 'nin değerini hesaplamak için bir sonraki formül kullanılır [48]:

$$C_{dc} = \frac{P_{in}}{2 w_{gid} V_{dc} V_{ripple}} \quad (3.6)$$

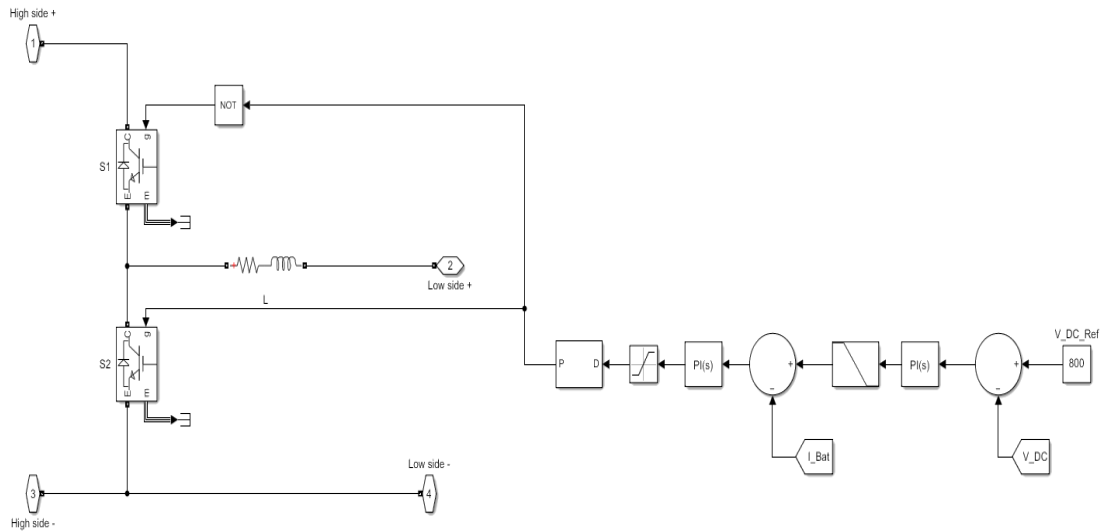
Burada inverterin toplam gücü (18+27)kW, açısal frekans (100π) ve DC-bara gerilimidir ve dalgalanma geriliminin tepe değeridir (varsayılan 5%).

$$C_{dc} = \frac{45 kW}{2 * (2 * 50 * \pi) * 800 * 20} = 24.8 mF$$

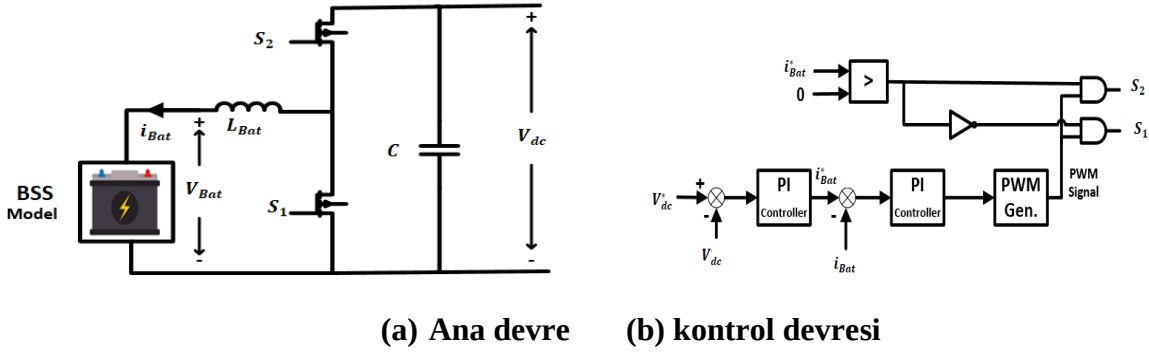
3.5 DC-DC Akü Güç Konvertörü

Bu tip dönüştürücü gücü dönüştürür ve her iki yönde de sağlar. Bir akım kaynaklı invertörde akan elektriğin yolu ayarlandığında giriş geriliminin yönünün değişebileceği iyi bilinmektedir. Buna karşılık, DC akımı sürekli olarak aynı

yönde akar. Önerilen invertörün güç için bir aküye dayanması nedeniyle, akü sisteminin normal çalışması, akü polarite voltajının yönündeki bir değişiklikla ciddi şekilde bozulacaktır. Sonuç olarak, akü terminallerinde gerekli polariteyi ve invertör ucunda gerekli DC akım yönelimini korurken her iki yönde güç akışını kontrol etmek için bir DC/DC dönüştürücü kurulmalıdır. MATLAB programı ile önerilen çift yönlü dönüştürücü uygulaması ve bunların kontrolü Şekil (3.5)'teki gibi gösterilmiştir. Çift yönlü dönüştürücünün ana güç devresi Şekil (3.6).a'da gösterilmiştir. Bu bölümde, sadece çift yönlü dönüştürücü yapısı ele alınacaktır; kullanılacak bir çift anahtar vardır: enerjinin batarya sisteminde tutulacağını belirten düşürücü dönüştürücü için anahtar (S1) ve enerjinin şebekeye verilmesi gerektiğinde anahtar (S2). DC/DC dönüştürücü regülatör sistemindeki S1 ve S2 anahtarlarının her ikisi de kontrol edilir. Dahili akım döngüsü, verilen i_{Bat}^* komutunu takip edebilmek için batarya akımını kontrol eder. Şekil (3.6).b'ye bakınız. Dahili döngü (i_{bat}^*) için bir başlangıç girişi sağlayan harici voltaj döngüsü, DC-link voltajını düzenler. Anahtarlara bir dizi darbe uygulamak için bir PWM yaklaşımı kullanılır; bu anahtarlar dönüşümlü olarak çalışır [60]. Çift yönlü DC/DC dönüştürücü yapısı, bataryanın şarjını veya boşalmasını düzenler.



Şekil 3.5 Çift yönlü konvertör uygulaması



Şekil 3.6 Batarya sistemi [59]

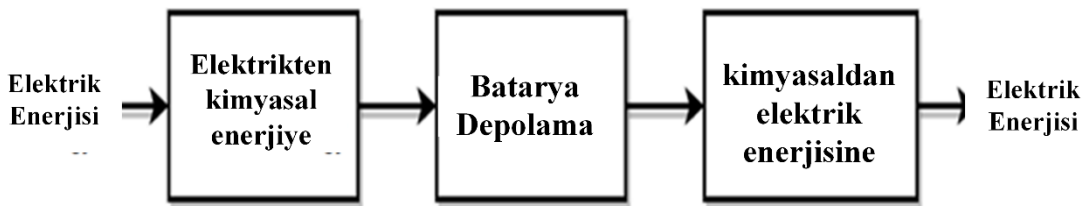
Çift yönlü bir DC/DC konvertördeki indüktör, devrenin çalışma moduna (devam akımı modu (CCM) veya kesilme akımı modu (DCM)) ve akım dalgalanması ihtiyacına göre oluşturulur. Çift yönlü dc-dc konvertörler için indüktör değerini (L) tahmin etmek için bir sonraki formül kullanılır:

$$L = \frac{V_{bat}}{0.6 \frac{P_{bat}}{V_{bat}} f_s} \left(1 - \frac{V_{bat}}{V_{Dc bus}} \right) \quad (3.7)$$

Batarya sisteminin voltajını (düşük voltaj tarafı) temsil ettiğinden, invertörden önceki DC-bara voltajını temsil eder, batarya gücüdür ve anahtarlama frekansı olarak 5000 Hz'dir. $V_{bat} V_{Dc bus} P_{bat} f_s$ Bu durumda indüktör değeri 0.3 mH.

3.6 Batarya Sistemi

Şekil (3.7)'de gösterildiği gibi BSS, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine ve elektrik enerjisini kimyasal enerjiye oksidasyon-redüksiyon süreçleri yoluyla aktaran elektrokimyasal bir cihazdır.



Şekil 3.7 Batarya gücü dönüşümleri

Aşağıda elektrik kullanımında kullanılabilecek Batarya kategorileri verilmiştir: Kurşun asitten yapılmış Bataryalar. Nikel-kadmiyumdan (Ni - Cd) yapılmış Bataryalar. NiMH (nikel metal hidrit) Bataryalar. Lityum-iyondan yapılmış Bataryalar. Lityum polimerden yapılmış Bataryalar.

Her türün voltaj, şarj derinliği, kapasite, yaşam döngüsü gibi farklı teknik özellikleri vardır. Batarya, genel olarak, düzenlenmiş bir gerilim kaynağı V_{BSS} ve bir terminal direnci R 'den oluşan doğrusal olmayan bir denklem modeli kullanır:

$$V_{BSS} = V_0 - V_p \left(\frac{Q}{Q - \int I_{bat} dt} \right) + A \exp(-B \int I_{bat} dt) \quad (3.8)$$

Burada, Batarya sisteminin çıkış voltajı, Batarya sisteminin polarizasyon voltajı, Q Bataryanın toplam MWh değerini, şarj ve deşarj akımını, A ve B sabitleri temsil eder. $V_0 V_p \int I_{bat} dt$

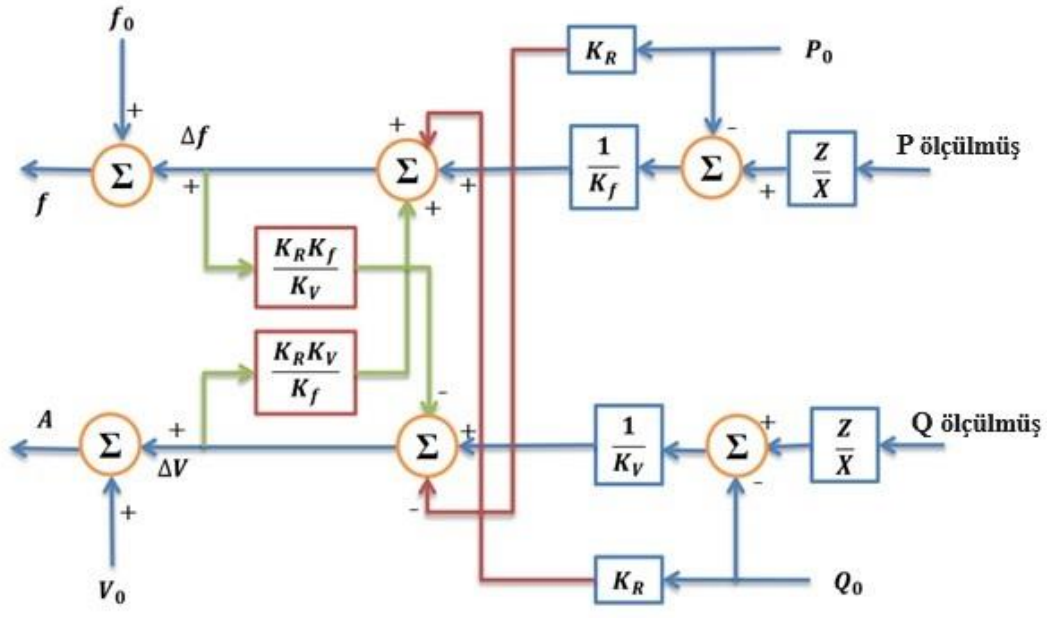
BSS'nin güç, gerilim ve akım parametreleri şu şekilde verilmiştir:

Akü akımı (Ah) = MWh cinsinden çıkış gücü / Akü voltajı (V) (3.9)

Batarya Voltajı = 400 V, Batarya akımı 1000Ah, o zaman toplam güç (400 Kwh)

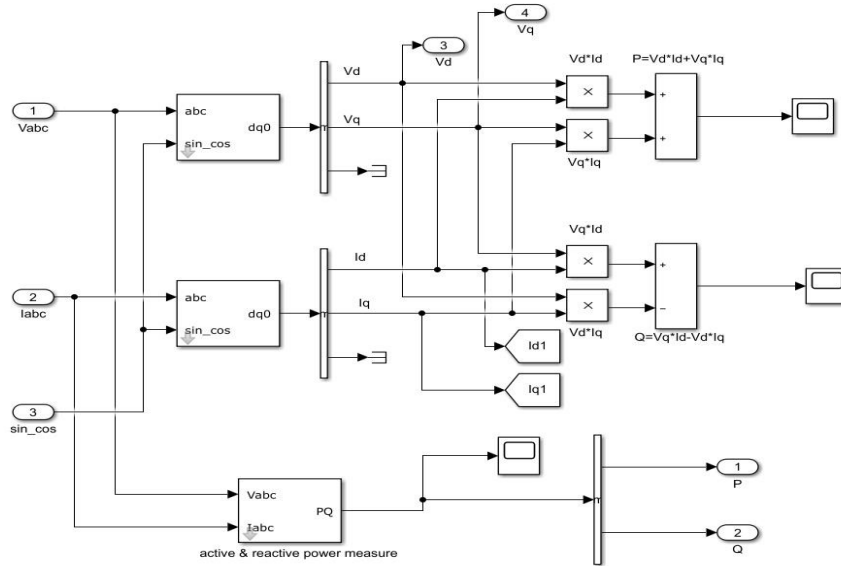
3.7 İnvörtör Kontrolü (Sarkma Kontrolleri)

Sanal Senkron Jeneratörlerde (VSG) güç ve frekans arasındaki ilişki ile gerilim ve reaktif güç arasındaki ilişki olmak üzere iki ana ilişki veya bağlantı, bu çalışmada önerilen invertör regülatörünün temelini oluşturmaktadır. Şekil (3.8) Droop kontrol tekniğini göstermektedir. VSG için gerilim, uyarma sistemi tarafından üretilen reaktif güç tarafından düzenlenirken, frekans ana taşıyıcıya güç girişi tarafından düzenlenir. Eviricinin gerilimini ve frekansını düzenlemek için, aktif ve reaktif güç referans değerler kullanılarak değiştirilmelidir [62]. Senkron jeneratörler ve invertörler, sonraki alt bölümlerde gösterileceği gibi farklı mimarilere sahiptir, ancak her ikisi de aynı temel ilkelere göre çalışır.



Şekil 3.8 Önerilen droop kontrolörü [62]

Şekil (3.9), MATLAB yazılımı kullanılarak uygulanan ön aşamayı göstermektedir.

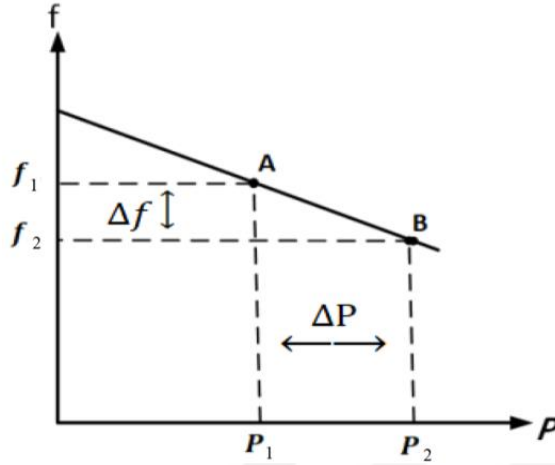


Şekil 3.9 Park-dönüşüm dönüşümü yazılımı kullanılarak güç tahmini

3.7.1 Güç-Frekans Droop Kontrolörü

Senkron jeneratörler tarafından üretilen güç, frekans ile tam olarak ilişkilidir; yük arttıkça türbinin hızı azalır ve frekans yükselir [63]. Hız ve frekansı sabit tutmak amacıyla buhar akışını artırmak için regülatörün vanaları açılır ve ardından artan

talebi karşılamak için üretilen güç bir kez daha artar. Şekil (3.10) P ve f düşüşü arasındaki bağlantıyı göstermektedir.



Şekil 3.10 Güç-frekans düşüş ilişkileri [63]

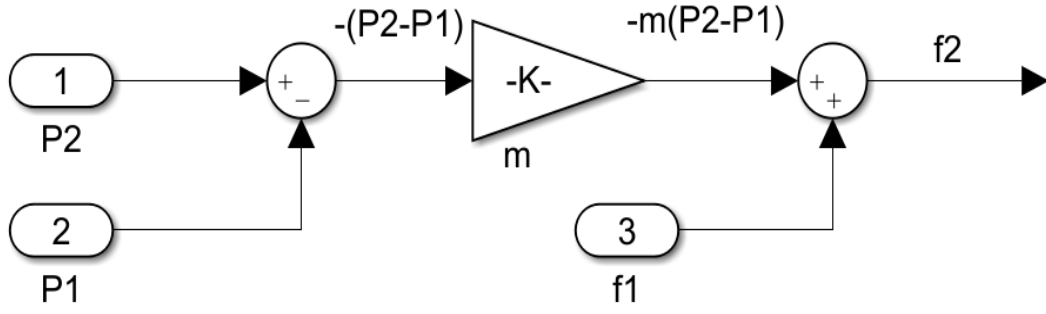
Aşağıda listelenen denklem, P (P1,P2) ve F (F1,F2) çift büyüklükleri için P-F özelliklerinin (m) gradyanını elde etmek için kullanılabilir:

$$m = -\frac{f_2 - f_1}{P_2 - P_1} = -\frac{\Delta f}{\Delta P} \quad (3.10)$$

Burada 1 ve 2 ilk ve son düşen frekansları temsil eder. f Diğer yandan, P_1 ve P_2 ilk ve son güçlerdir. A'dan B'ye başlayan teğet sarkma eğrisi Şekil (3.10)'da gösterilmiştir. Güçteki değişim, yukarıda belirtilen formüldeki (3.6) negatif işarete bağlı olarak frekanstaki değişimle ters orantılıdır. Ayarlama katsayısı, frekans-güç düşüşünün eğiminin tersini temsil eder, dolayısıyla $= 1/$ it ve aynı zamanda statik karakteristik katsayısı olarak da adlandırılabilir [63]:

$$P_2 - P_1 = \Delta P = kf (f_2 - f_1) \quad (3.11)$$

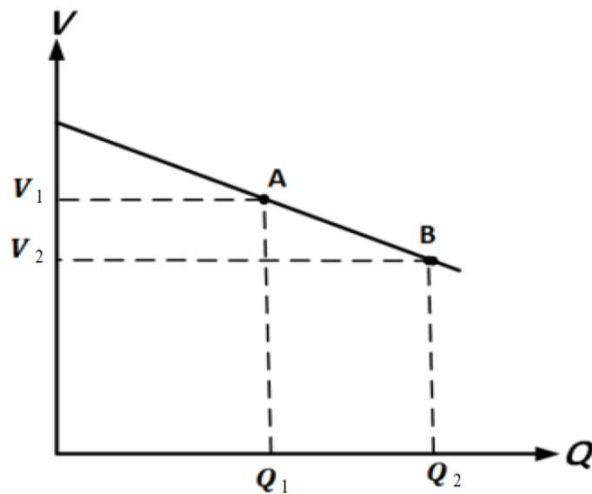
Formül (3.10)'a göre VSG inverterin güç-frekans droop regülatörünün MATLAB yazılımının düzeni Şekil (3.11)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 P-f droop (MATLAB yazılım devresi kullanılarak)

3.7.2 VSG gerilim regülatörü

Elektrik şebekesindeki potansiyel gerilimin mümkün olduğunca sabit olması amaçlanmaktadır; bununla birlikte, gerilimleri güvenli çalışma aralıklarında tutmak için reaktif yük değişiminin yönetilmesi gerekir. Güç sistemindeki gerilim kararlılığı, Q-V droop hassas yönetimi ile iyileştirilecektir. Senkron jeneratörler güç sistemindeki birincil reaktif güç kaynağıdır; jeneratörün uyarılması, ölçülen gerilim ile referans nominal değer arasında denge sağlamak için sistemde ölçülen gerilime bağlı olarak reaktif güç beslemesini artıracak veya azaltacaktır [64]. Şekil (3.12) Q ve V droopu arasındaki bağlantıyı göstermektedir.



Şekil 3.12 Q-V droop kontrolörleri

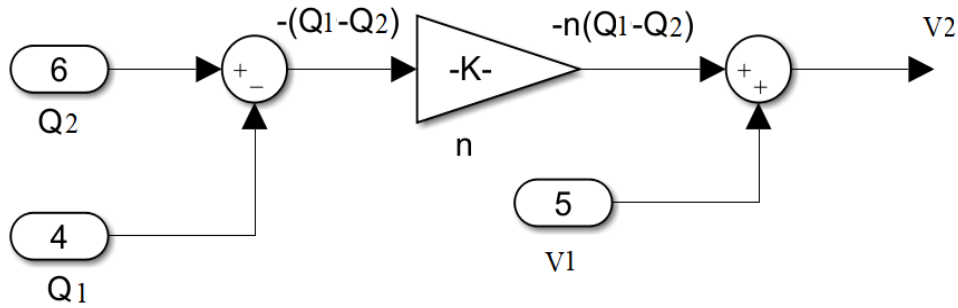
Q-V eğrisinin teğeti (n), yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi reaktif Q (Q1, Q2) ve V (V1,V2) çift noktaları için şu şekilde gösterilebilir:

$$n = -\frac{V_2 - V_1}{Q_2 - Q_1} = -\frac{\Delta V}{\Delta Q} \quad (3.12)$$

Reaktif güçteki fark, yukarıda belirtilen formüldeki negatif işarete ve tersine bağlı olarak gerilimdeki farkla ters orantılıdır. Ayarlama katsayısı v'dir ve gerilim-reaktif güç droop eğiminin tersini temsil eder, dolayısıyla $v = 1/n$ 'dir ve statik karakteristik katsayı olarak da adlandırılabilir:

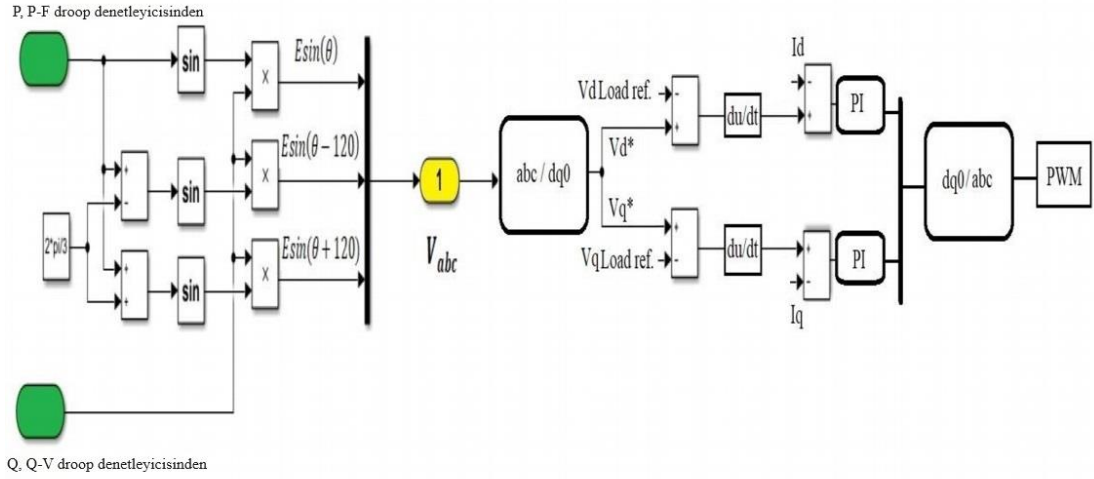
$$V_2 = V_1 + kv (Q_1 - Q_2) \quad (3.13)$$

Formül (3.10)'a göre önerilen eviricinin reaktif-gerilim droop regülatörünün MATLAB modelinin yerleşimi Şekil (3.13)'teki gibi gösterilmiştir.

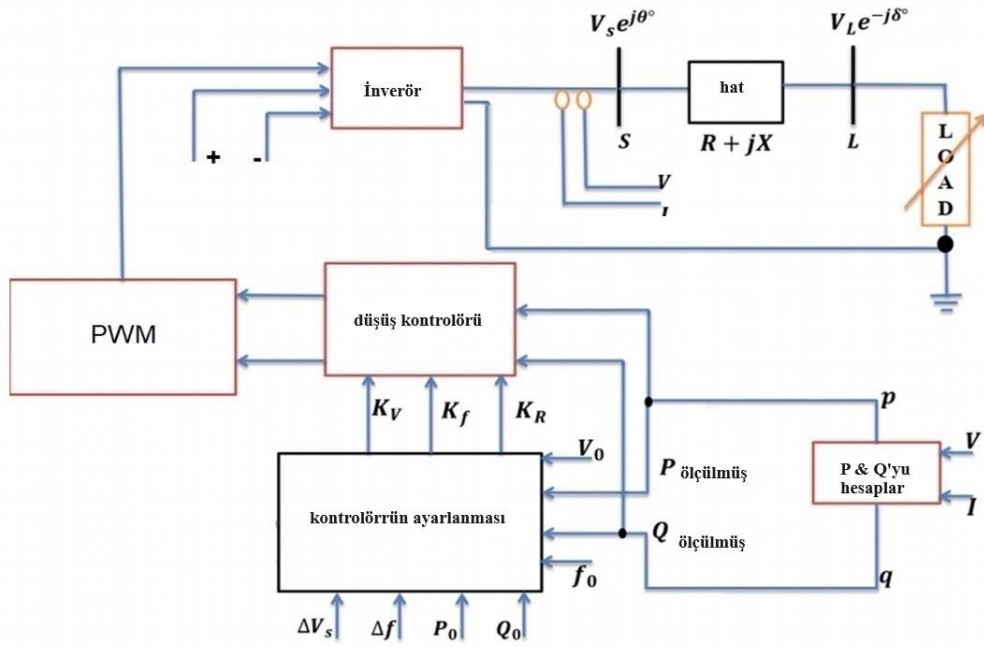


Şekil 3.13 Q-V droopu (MATLAB yazılım devresi)

Drop regülatörü kullanılarak V out ve F out hesaplandıktan sonra, kontrolörün son adımı veya bloğu Şekil (3.14)'te görülen üç fazlı gerilimle sonuçlanacaktır. Yük gerilimi (dq0) daha sonra karşılaştırma için (abc) geriliminden (dq0) gerilim bileşenine dönüştürülür. Gerilimler (dq0) akım bölümleri içinde ayrışır ve karşılaştırılır ve PID kontrol devresi ve PWM yaklaşımları kullanılarak invertör için gerekli darbeler üretilebilir. Droop kontrol yöntemi sanal senkron jeneratörün genel şeması Şekil (3.15)'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 İnvörtör PWM jeneratörü



Şekil 3.15 Üç fazlı invörtör için sanal senkron jeneratör kontrolünün

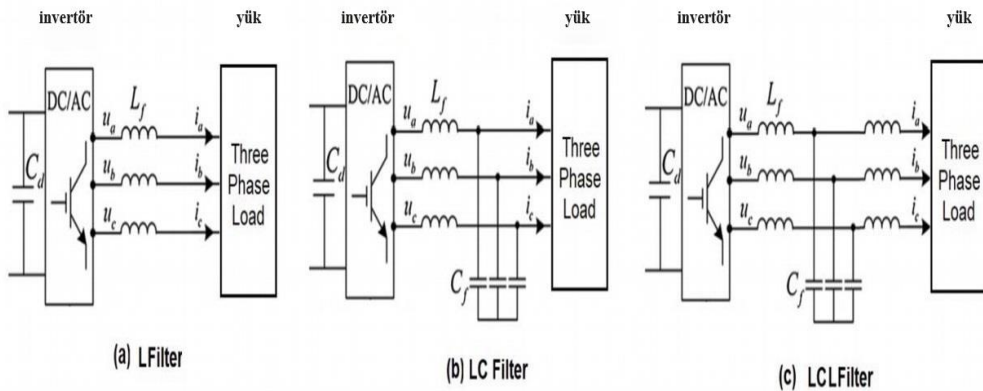
3.8 L-C Filtresinin Tasarımı

Bir LC filtresi kullanmak öncelikle çıkış modellerindeki harmonikleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kayıplar ve bozulma bu harmonik tarafından meydana getirilir. Genel olarak filtreler üç kategoriye ayrılır: L-Filtreler, LC-Filtreler ve LCL-Filtreler, bunların her biri belirli özelliklere sahiptir. Bu niteliklere uygun olarak filtre türünü seçebiliriz. Şekil (3.15)'te üç farklı filtre türü gösterilmektedir. LC ve LCL filtreleri aşırı güç için yaratılmıştır, ancak L-filtresi sadece bir seri indüktöre sahiptir ve düşük güç için uygundur. LC filtresi, kullanım kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle sıklıkla kullanılır. Bu çalışmada, LCL filtresi yerine LC filtresi kullanılarak, iki indüktör kullanımı nedeniyle LCL için gerekli olan pahalı fiyat ve artan alanla ilgili zorlukların en aza indirilmesi amaçlanmıştır. LC filtresi, daha önce de söylendiği gibi, LCL filtresinden daha az maliyetli, daha etkili ve daha küçüktür. LC filtre tipi için L_f ve C_f aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanabilir:

$$L_f = \frac{V_{dc}}{16 * f_s * \Delta I_{ph(max)}} \quad (3.14)$$

$$C_f = \frac{0.05}{2\pi f_n * Z_b} \quad (3.15)$$

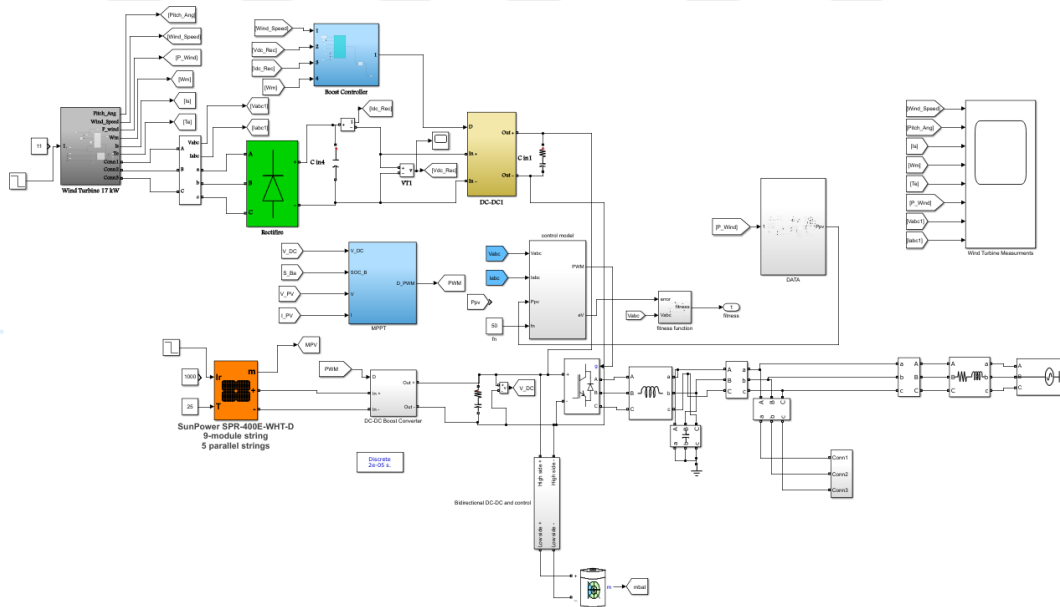
Tarafından verilebildiği için: / , burada nominal sistem frekansının 10 katıdır, akım indüktör akımıyla aynıdır. $Z_b V^2 (\frac{P_{out}}{3}) f_s f_n \Delta I_{ph(max)}$ O zaman indüktör 1,6 mH ve kondansatör sırasıyla $L_f C_f 73.5 \mu F$



Şekil 3.16 Filtre Tipleri

4.1 Giriş

MATLAB/Simulink programı kullanılarak önerilen sistemin yapısı Şekil (4.1)'de gösterilmektedir. Bir PMSG rüzgar türbini 11 m/s rüzgar hızında 27 Kw üretirken, 5*9 "SunPowerSPR-400E-eWTH-D" panelli bir PV-üretim sistemi 1000 A/m2'de yaklaşık 18 kW üretmektedir. PV Sistemi DC bara gerilimini 800'e çıkarmak için bir DC-DC yükseltici dönüştürücü aracılığıyla DC baraya bağlanır ve rüzgar türbini bir doğrultucu ve DC-DC yükseltici dönüştürücü ile bağlanır. Yük, PV sistemi tarafından üretilen güçten daha az olduğunda veya yükün talebi PV tarafından üretilen güçten daha fazla olduğunda, batarya enerji sistemi acil durumlarda enerji depolamak için kullanılır. Hem şarj hem de deşarj için kullanılabilen çift yönlü bir dc-dc dönüştürücü, batarya enerji sistemini DC barasına bağlar.



Şekil 4.1 Önerilen sistem

Bu çalışmada kullanılan VSG'ye bağlı olan üç fazlı invertörler, DC barasındaki DC gücünü AC gücüne dönüştürmek için kullanılır. Frekans duyarlılığını ve gerilim kararlılığını artırmak için P-f ve Q-V droop yöntemleri kullanılır. Tüm

bozulma durumları MATLAB Simulink yazılımı kullanılarak araştırılacak, uygulamaya konulacak ve değerlendirilecektir.

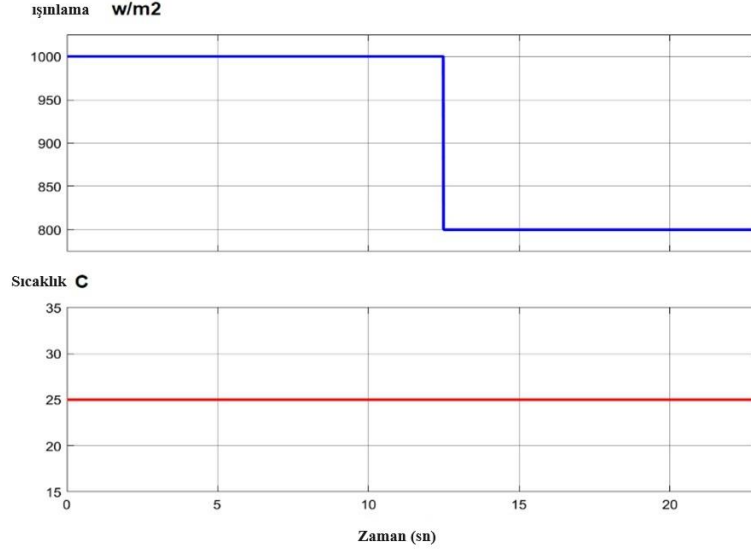
Tablo (4.1), 1000 w/m²'de PV, 11 m/s rüzgar hızında rüzgar türbini ve batarya depolama sistemi için önerilen güçleri göstermektedir.

Tablo 4.1 önerilen üretim gücü ve yükü

Tip	Güç
PV sistem gücü	18 kW
Rüzgar türbini gücü	27 kW
Batarya gücü	400 kWh
Yük gücü	(38 ila 58 kW) arasında değişken

4.2 PV Sistem Sonuçları

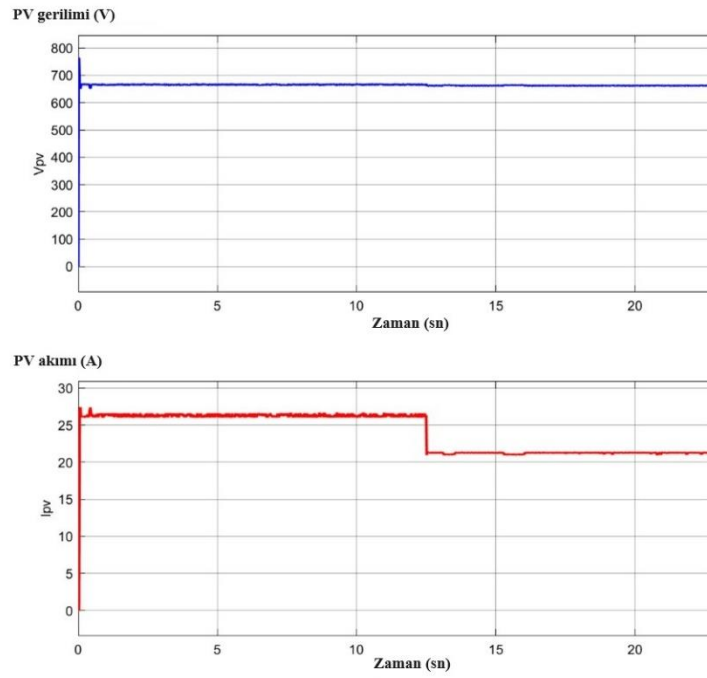
Fotovoltaik olgu, güneş enerjisini doğru akım (DC) gücüne dönüştürmek için bir PV sisteminde kullanılır. İhtiyaç duyulan nominal voltaj ve gücü üretmek için modül, paralel ve/veya seri bağlı çok sayıda güneş hücresine ihtiyaç duyuyordu. Gerekli DC bara voltajını elde etmek için bir DC-DC yükseltici dönüştürücü gerekir. MPPT algoritması yaklaşımı, PV sistemin maksimum kapasitesinde üretim yapmasını sağlar. Güneş enerjisi sistemlerinden en fazla çıkış gücünü elde etmek için çeşitli kontrol teknikleri veya taktikleri uygulanabilir. P&O, Inc. ve PSO, bu çalışmada kullanılan üç MPPT yaklaşımından ikisidir. Şekil (4.2)'de görüldüğü gibi, planlanan giriş ışıınımı 1000'den 800 W/m²'ye değiştirilirken, sıcaklığın 25 Co'de sabit kalacağı varsayılmıştır.



Şekil 4.2 Önerilen ışınlam ve sıcaklık

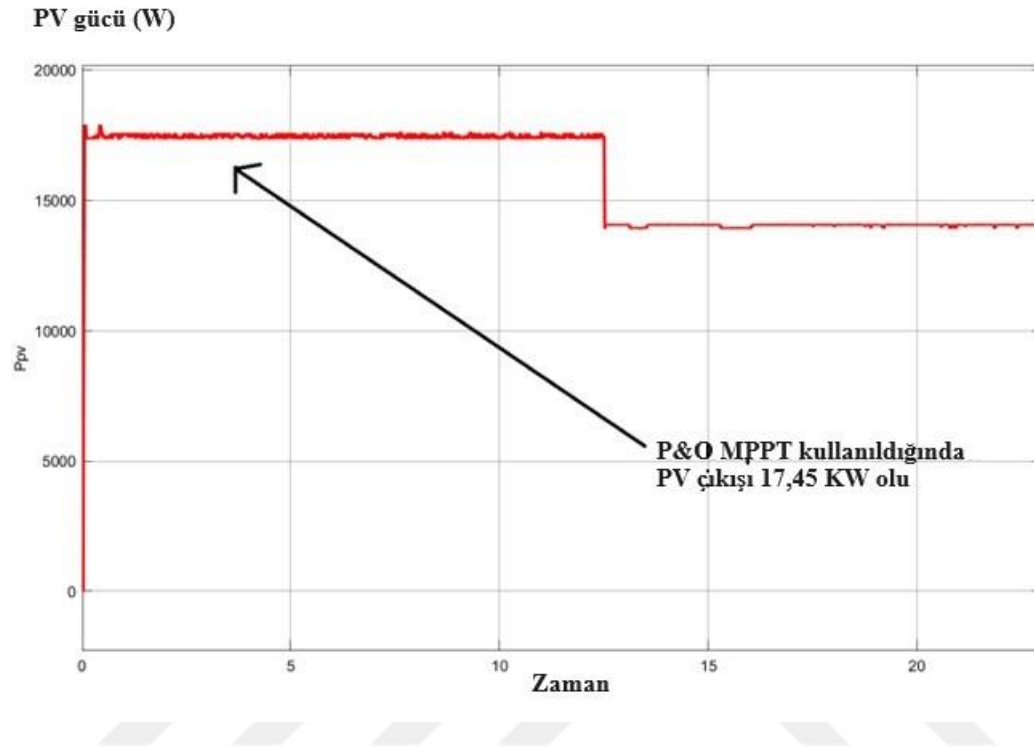
4.2.1 P&O Algoritması ile PV Çıkışları

Bölüm 3.2'de önerilen PV sisteminin gerilim, akım ve güç hesaplamalarına atıfta bulunarak, PV gerilimi ve akımı Şekil (4.3)'teki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 P&O algoritması kullanılarak PV Gerilim ve akım

Akım, ışınlama ile doğru orantılıdır, ışınlama arttığında çıkış akımı artar ve bunun tersi de geçerlidir. Çıkış PV gücü, çıkış PV gerilimi ve akımının çarpımıdır ve P&O MPPT algoritmasının kullanılması durumunda Şekil (4.4)'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 P&O MPPT kullanılarak PV çıkışı

Şekil (4.4), P&O yaklaşımı kullanıldığında PV çıkış gücünü göstermektedir; bu örnekte, 1000 W/m² ışınlımda tahmin edilen çıkış gücü kabaca (18 kW), ancak gerçek çıkış gücü yaklaşık (17,45 kW)'dır. PV sisteminin verimliliğini belirlemek için P&O algoritması aşağıdaki şekilde kullanılabilir:

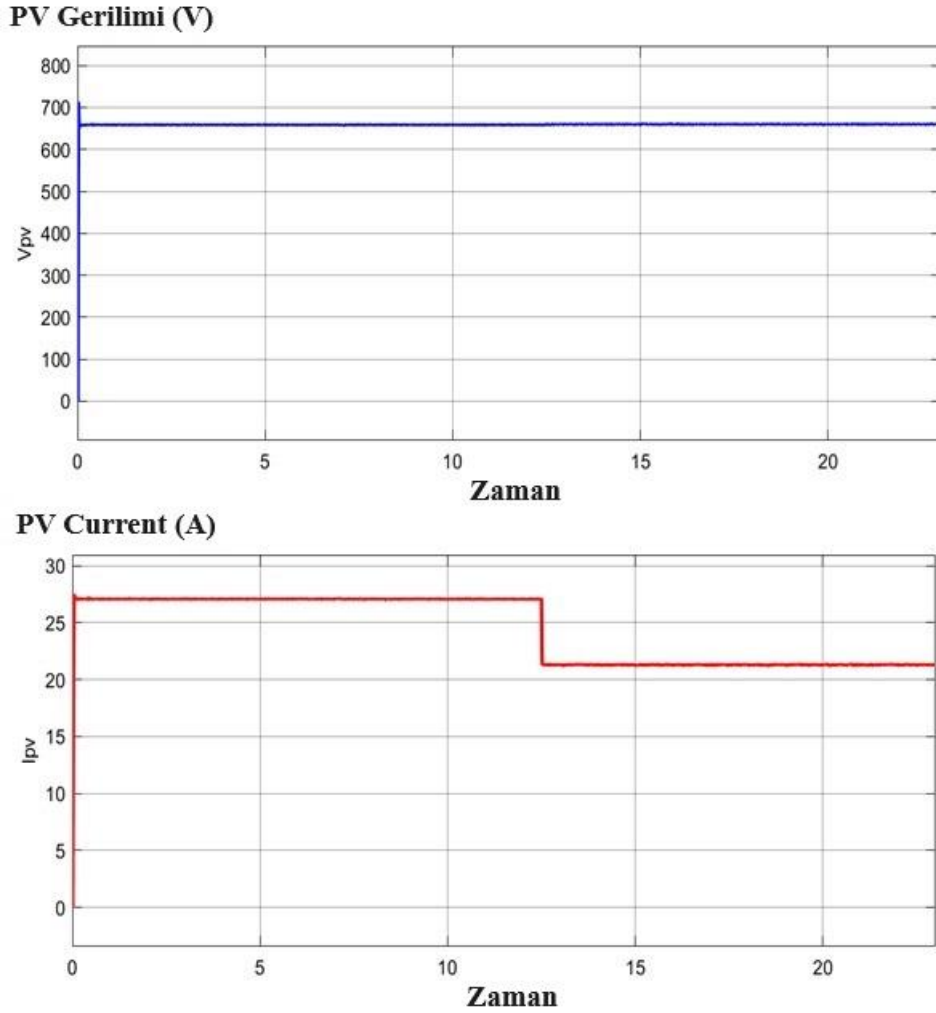
$$\eta_{P\&O} = \frac{\text{Gerçek Maksimum Çıkış Gücü}}{\text{Maksimum nominal güç}} * 100\% \quad (4.1)$$

$$\eta_{P\&O} = \frac{17.45 \text{ kW}}{18 \text{ Kw}} * 100\%$$

$$\eta_{P\&O} = 96.94\%$$

4.2.2 Inc. ile PV Çıkışları Algoritması

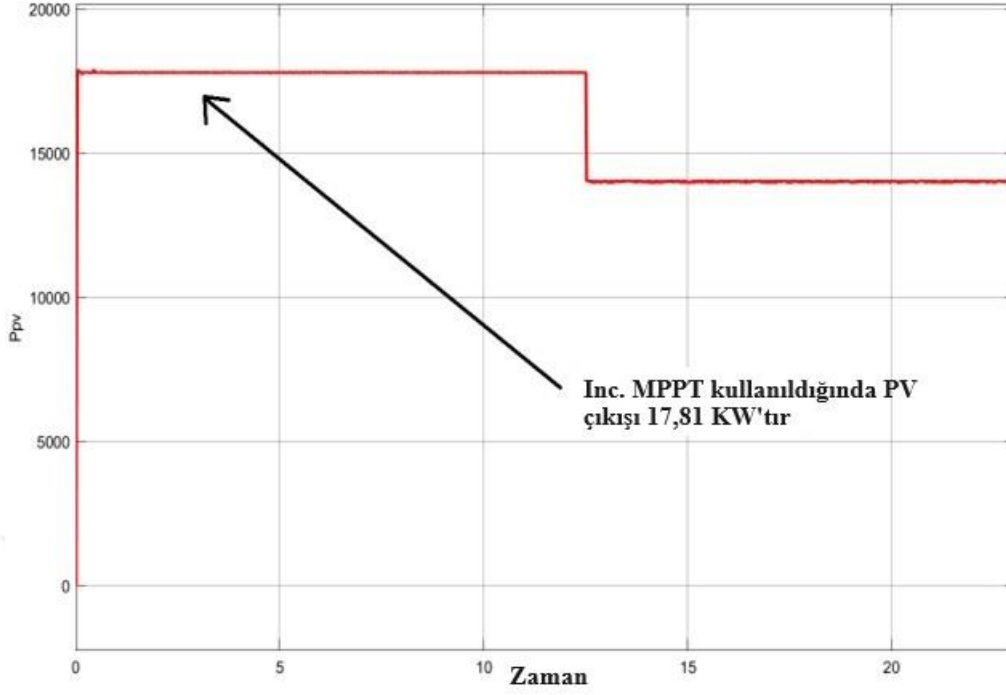
Inc. MPPT algoritması kullanılarak önerilen sistemin PV sistem gerilimi ve akımı Şekil (4.5)'teki gibi gösterilmiştir. MPPT algoritması Şekil (4.5)'teki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Inc. algoritması kullanılarak PV Gerilim ve akım

Çıkış PV gücü, çıkış PV gerilimi ve akımının çarpımıdır ve Inc MPPT algoritmasının kullanılması durumunda Şekil (4.6)'da gösterilmiştir.

PV Çıkış Gücü (W)



Şekil 4.6 Inc MPPT kullanarak PV çıkışı

Şekil (4.6), Inc. yaklaşımı kullanıldığında PV çıkış gücünü göstermektedir; bu örnekte, 1000 W/m² ışınyımda tahmini çıkış gücü kabaca (18 kW), ancak gerçek çıkış gücü yaklaşık (17,81 kW)'dır. Inc. algoritması, PV sisteminin verimliliğini belirlemek için aşağıdaki şekilde kullanılabilir:

$$\eta_{Inc.} = \frac{\text{Gerçek Maksimum Çıkış Gücü}}{\text{Maksimum nominal güç}} * 100\% \quad (4.2)$$

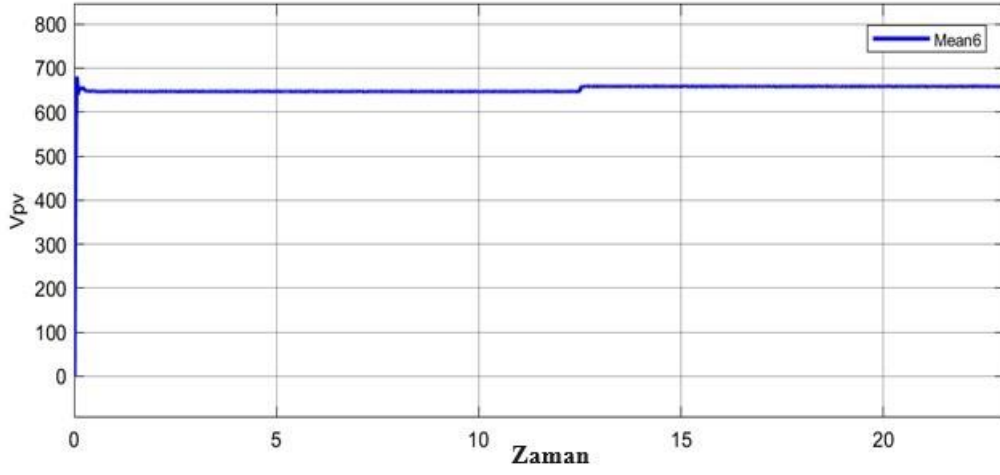
$$\eta_{Inc.} = \frac{17.81 \text{ kW}}{18 \text{ Kw}} * 100\%$$

$$\eta_{Inc.} = 98.94\%$$

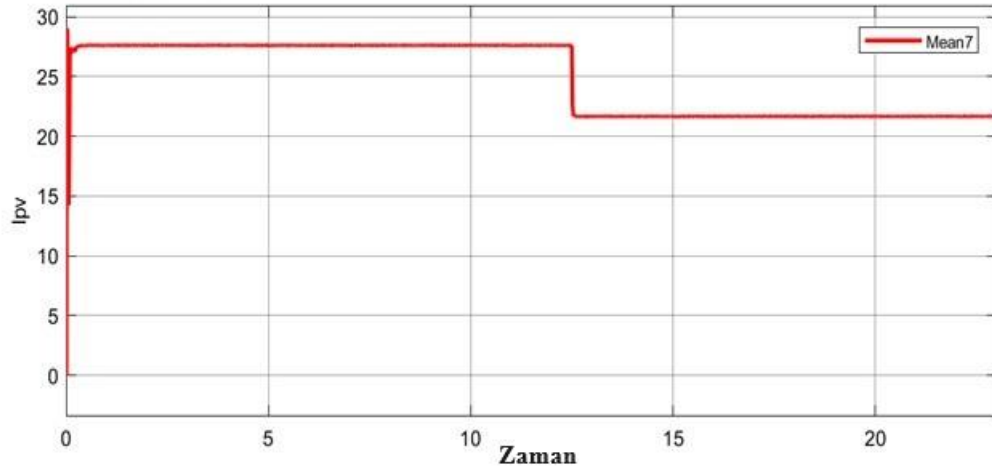
4.2.3 PSO Algoritması ile PV Çıkışları

PSO MPPT yöntemi kullanılarak önerilen sistemin PV sistem gerilimi ve akımı Şekil (4.7)'deki gibi gösterilmiştir.

PV Gerilimi (V)

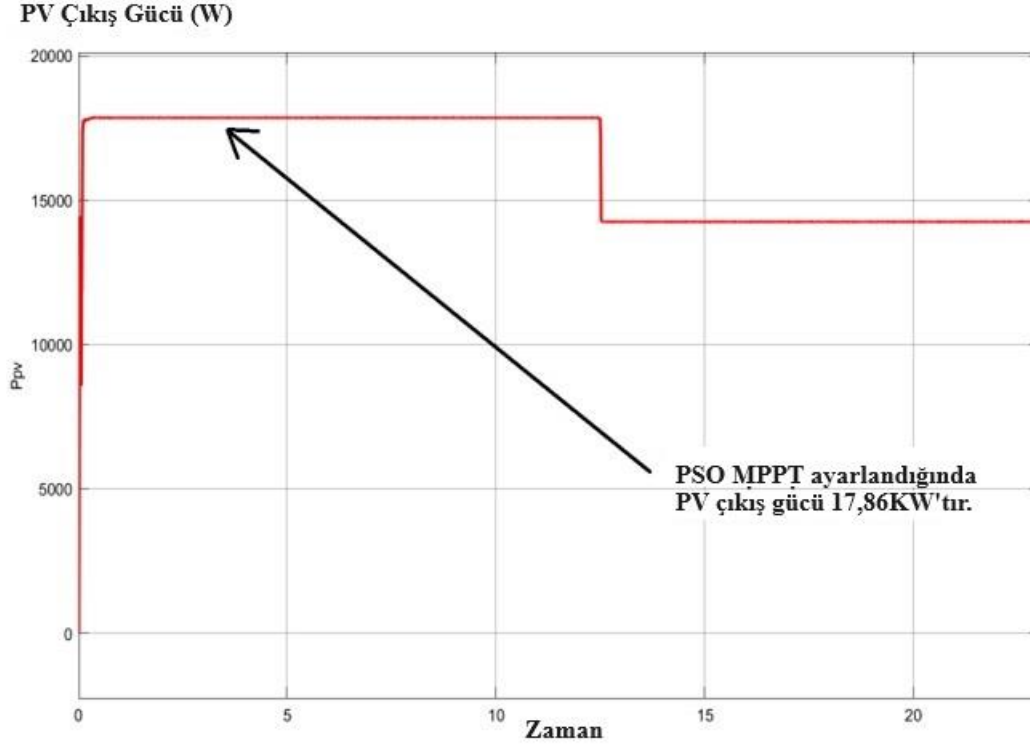


PV Akımı (A)



Şekil 4.7 PSO algoritması kullanılarak PV Gerilim ve akım

Çıkış PV gücü, çıkış PV gerilimi ve akımının çarpımıdır ve PSO MPPT algoritmasının kullanılması durumunda Şekil (4.8)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 PSO MPPT kullanılarak PV çıkışı

Şekil (4.8), PSO yaklaşımı kullanıldığında PV çıkış gücünü göstermektedir; bu örnekte, 1000 W/m² ışınyımda tahmin edilen çıkış gücü kabaca (18 kW), ancak gerçek çıkış gücü yaklaşık (17,86 kW)'dır. PSO algoritması, PV sisteminin verimliliğini belirlemek için aşağıdaki şekilde kullanılabilir:

$$\eta_{Inc.} = \frac{\text{Gerçek Maksimum Çıkış Gücü}}{\text{Maksimum nominal güç}} * 100\% \quad (4.3)$$

$$\eta_{Inc.} = \frac{17.86 \text{ kW}}{18 \text{ Kw}} * 100\%$$

$$\eta_{Inc.} = 99.22\%$$

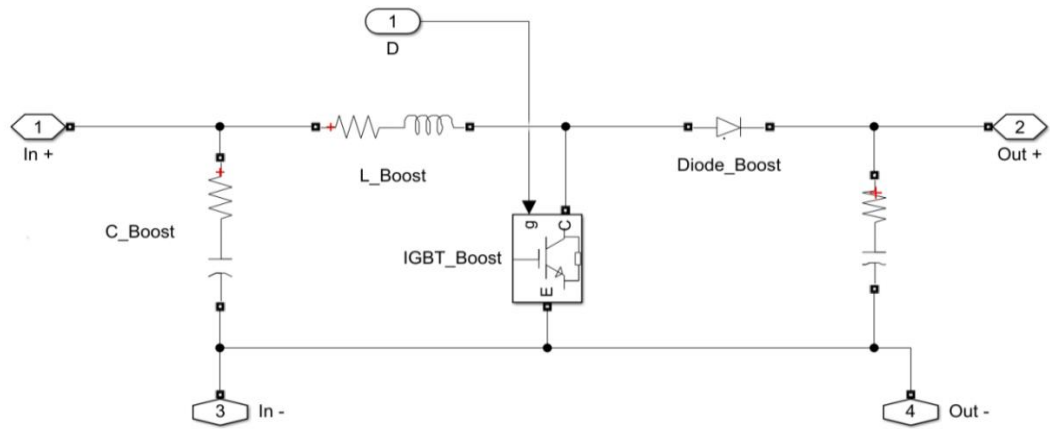
PSO yönteminin Inc. ve P&O yöntemine göre yüksek verimliliğine ek olarak, çıkışlar daha az bozulmaya sahiptir ve çıkış dalga şekilleri (voltaj, akım ve güç) düzgündür, P&O yöntemi en yüksek bozulmaya sahipken, Inc. yöntemi P&O yöntemine kıyasla daha az bozulmaya sahiptir. Tablo (4.2) her bir MPPT tipi için çıkış güçlerini özetlemektedir.

Tablo 4.2 Her bir MPPT yönteminin gücü ve verimliliği

MPPT türü	Tasarlanmış çıkış gücü (KW)	Gerçek çıkış gücü (KW)	Verimlilik (% 100)
P&O	18	17.45	96.94
Inc.		17.81	98.94
PSO		17.86	99.22

4.3 Boost Dönüştürücü Çıkışı

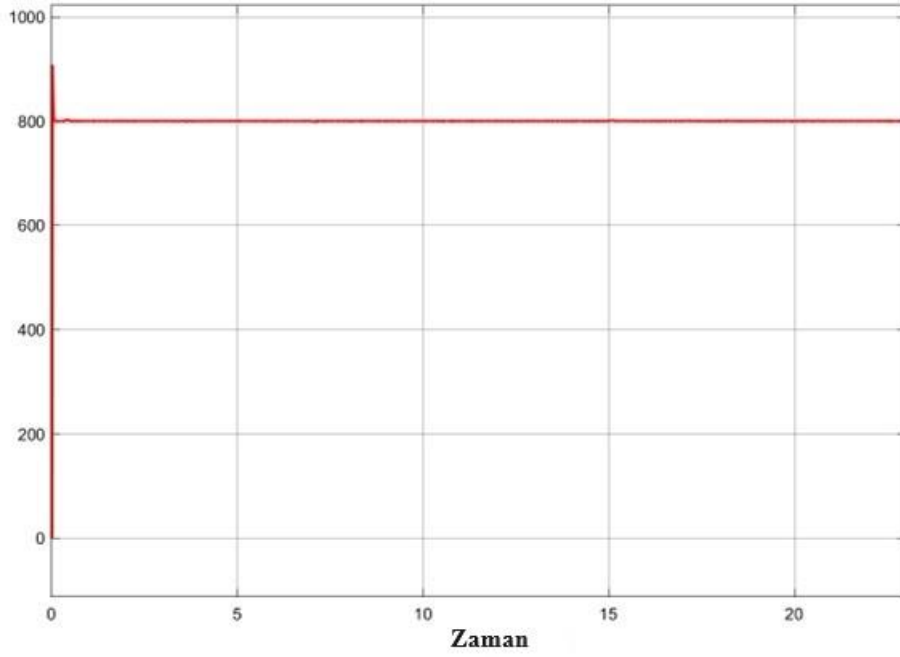
Bir DC-DC boost dönüştürücünün temel amacı, sistem kayıplarını ve sistem kısa devre akımını düşürmek amacıyla sistem çıkış akımını azaltırken çıkış voltajını artırmaktır. Şekil (4.9), MATLAB Simulink uygulaması kullanılarak bu çalışmada kullanılan DC-DC boost dönüştürücüyü göstermektedir.



Şekil 4.9 MATLAB programı ile boost dönüştürücünün modellenmesi

PSO kullanan boost dönüştürücünün çıkış gerilimi Şekil (4.10)'da gösterilmiştir ve simülasyon süresi boyunca 800 V'ta sabit kalmıştır.

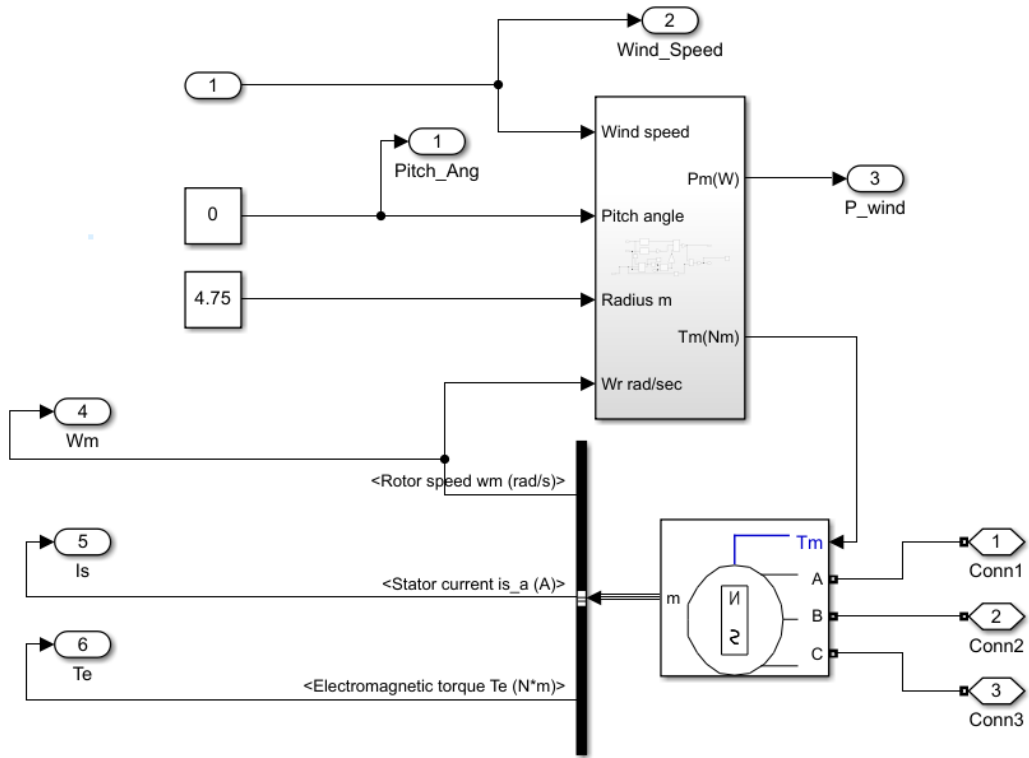
DC Gerilim (V)



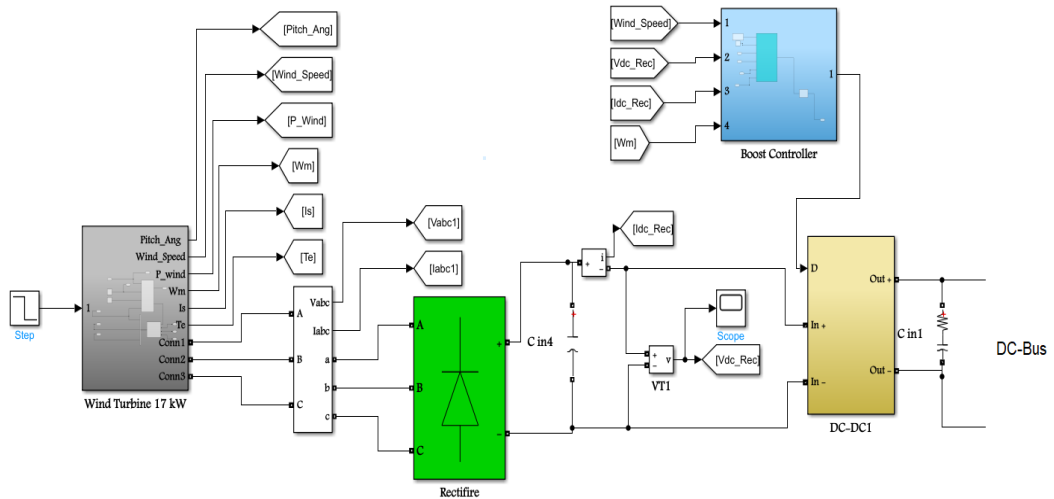
Şekil 4.10 DC-Bus voltajı

4.4 Rüzgar Türbini Çıkışları

En önemli rüzgâr enerjisi üreticileri, mükemmel verimlilik ve güvenilirlik sergileyen kontrollü eğimli rüzgâra dayalı üç fazlı PMSG'lerdir. Üretilen AC elektrik, üç fazlı kontrolsüz bir doğrultucu kullanılarak DC güce dönüştürülür. P&O yöntemi, rüzgar enerjisinden MPPT elde etmek için Şekil (2.14)'te gösterildiği gibi çalışma prensibi ile uygulanır. Rüzgar enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren rüzgar türbinlerinin kinetik enerjisi, gerekli elektriği sağlamak için yaklaşık olarak kullanılabilir. Şekil (4.11)'de rüzgar türbini sisteminin modelleme devresi, Şekil (4.12)'de ise MPPT algoritması ile PMSG'ye bağlı rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi gösterilmektedir.

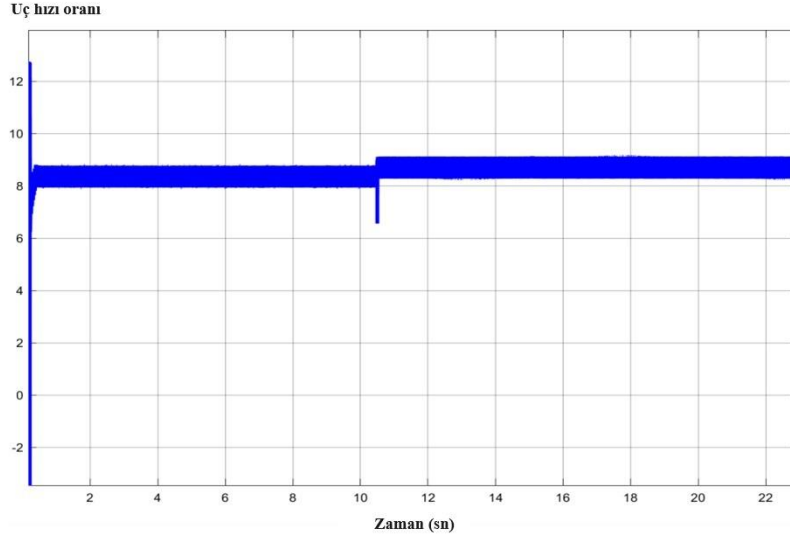


Şekil 4.11 Rüzgar Türbini PMSG tipi (MATLAB) Modelleme

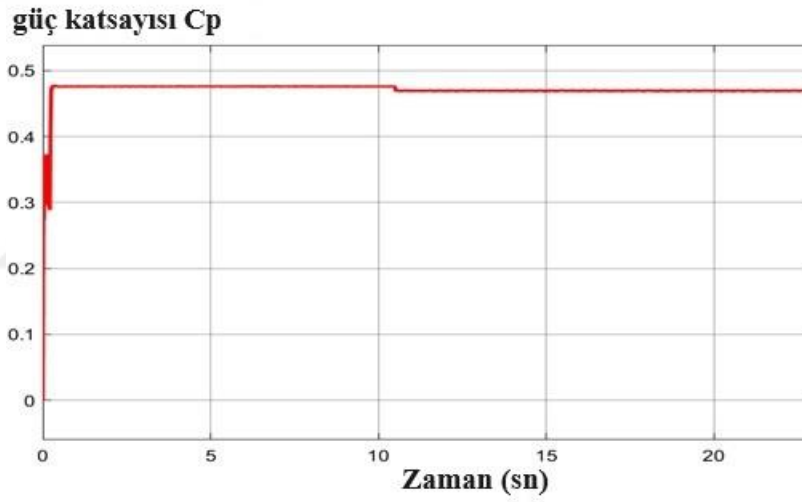


Şekil 4.12 MPPT ile PMSG modellemesi

Önerilen PMSG rüzgar türbininin karakteristik denklemlerine (2.11) ve (2.12) göre, bu türbinin modellenmesi Şekil (4.13)'deki gibi verilebilir.

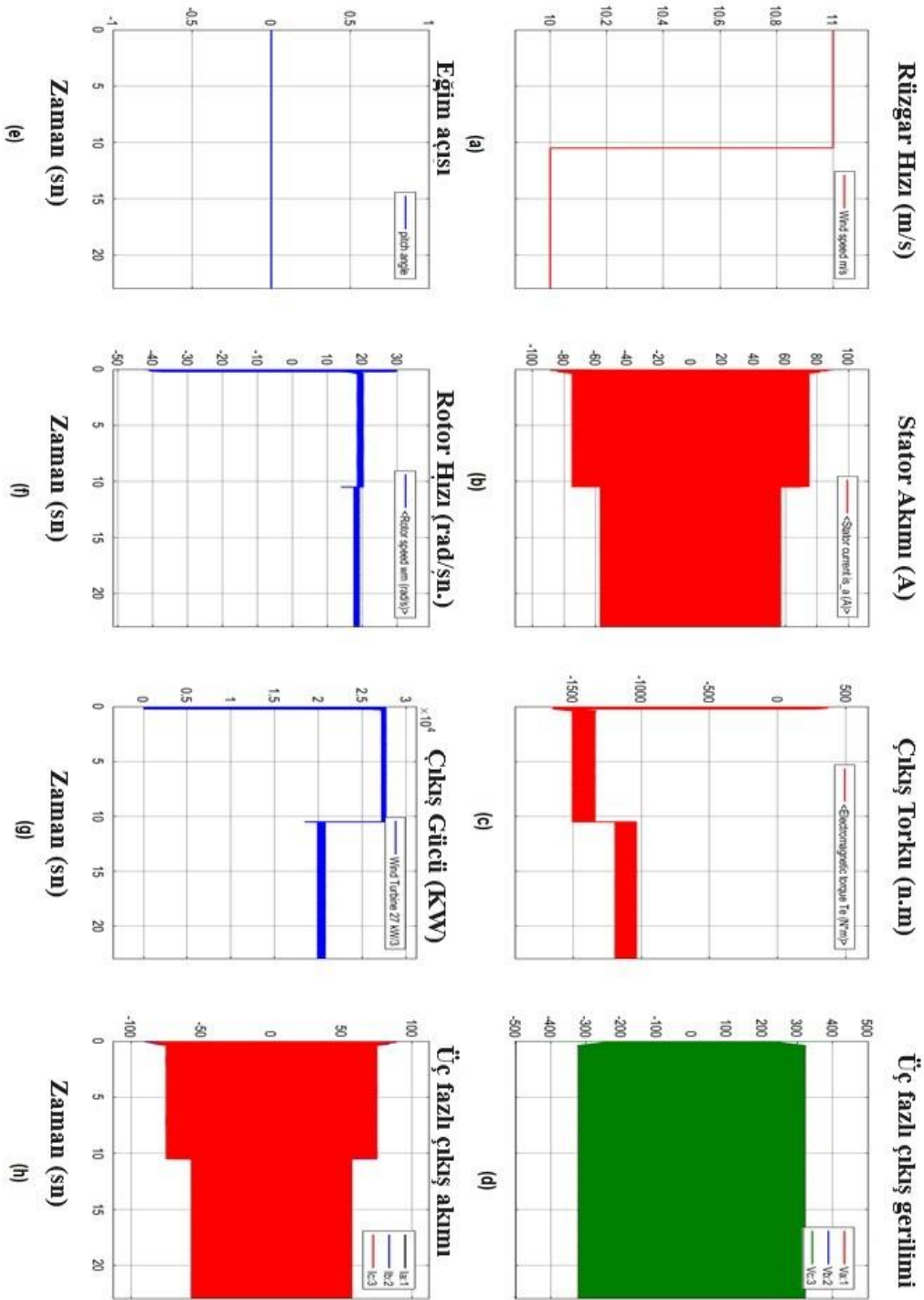


Şekil 4.15 Uç hız oranı MATLAB sonucu



Şekil 4.16 Güç katsayısı MATLAB sonucu

Rüzgar türbininin giriş/çıkış karakteristikleri olan rüzgar hızı, elektrik torku, hatve açısı, çıkış gücü, rad/sn cinsinden türbin hızı ve üç faz gerilimi Şekil (4.17)'de verilmiştir. Tablo (4.3) PMSG'nin parametrelerini göstermektedir.



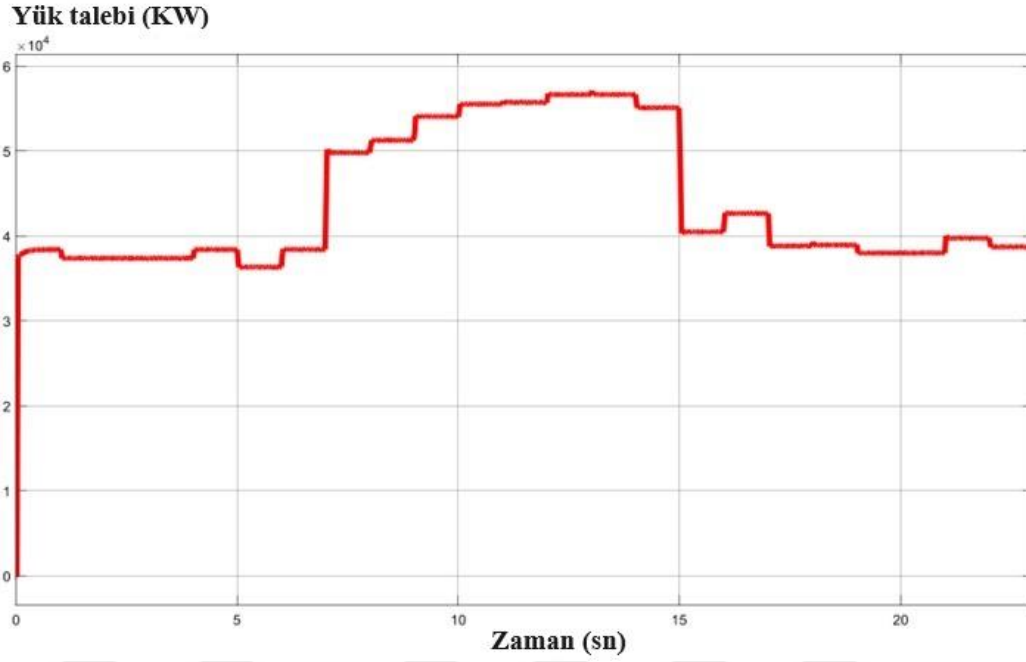
Şekil 4.17 Rüzgar türbininin giriş/çıkış özellikleri

Tablo 4.3 PMSG parametreleri

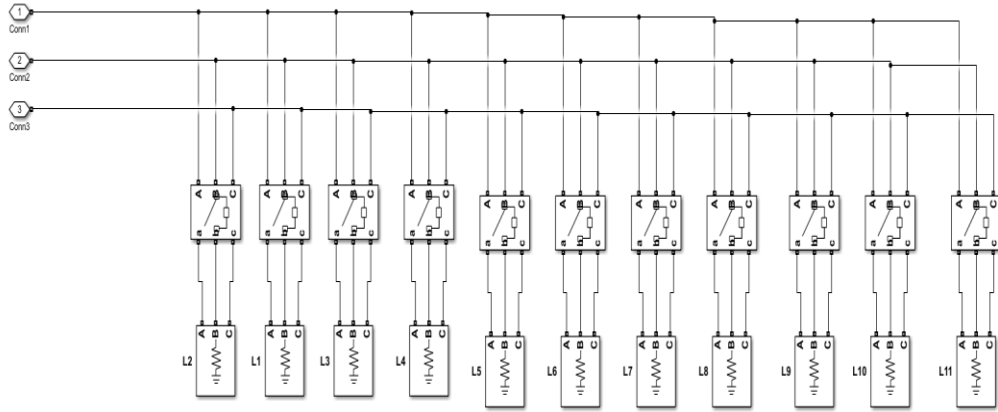
Parametreler	Değer
Nominal güç (kW)	27
Nominal rüzgar hızı (m/s)	11
Rüzgar türbini yarıçapı (m)	4,75
Çift kutup sayısı	8
Stator direnci (Ω)	0,525
Stator endüktansı (H)	0,0072
PMSG voltajı (V)	310V
Sabit mıknatıs akısı (Φ)	2,2

4.5 Öngörülen Yük Talebi

Planlanan yük Şekil (4.18)'de gösterilmiştir ve bazı bireysel yüklerden oluşmaktadır. Devre kesicinin çalışma zamanı toplam talep yükünü karşılayacak şekilde planlanır. Şekil (4.18), Şekil (4.19)'da görülebilen bireysel yüklerin toplamı olan toplam yükü göstermektedir.



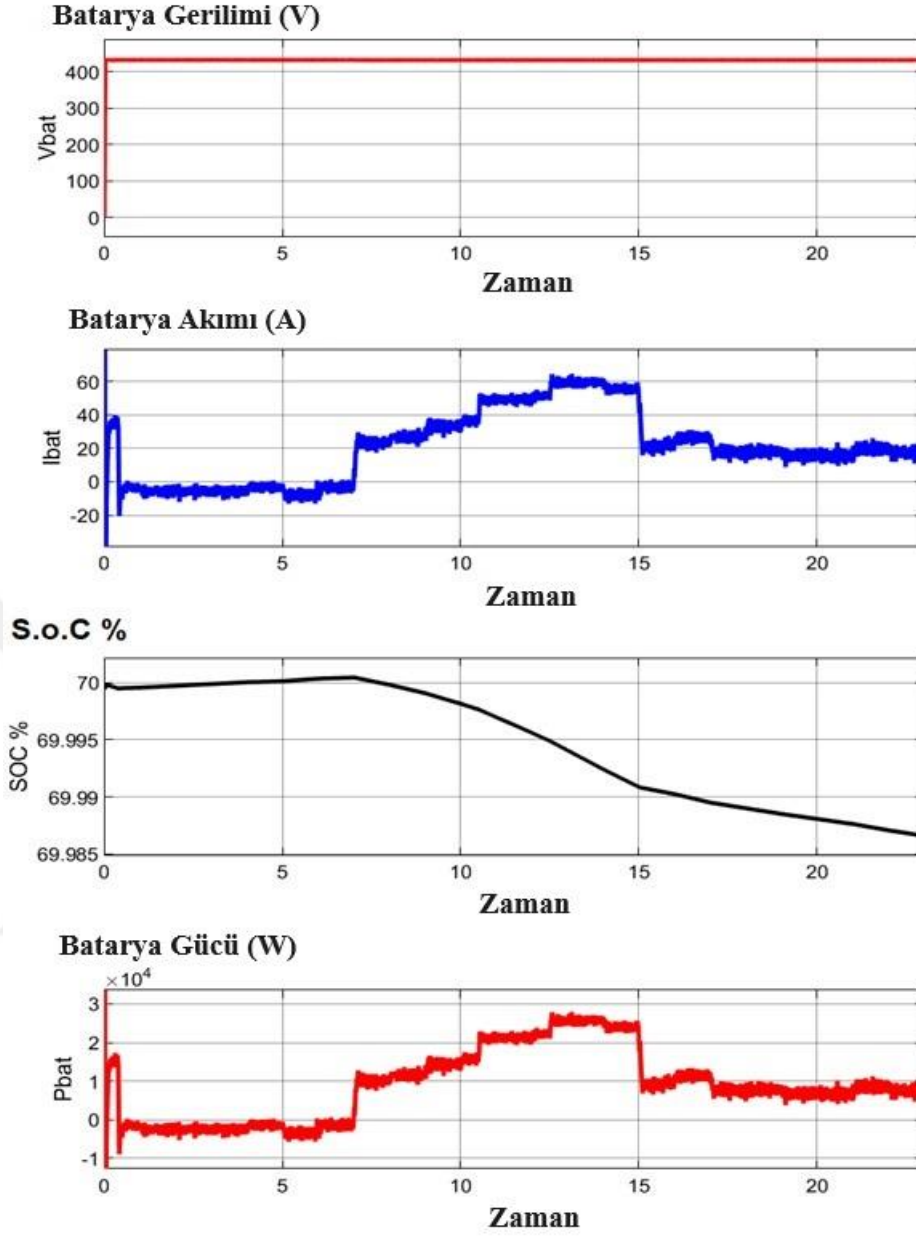
Şekil 4.18 Önerilen yük talebi



Şekil 4.19 Önerilen bireysel yükler

4.6 Batarya Sistemi

Şarj ve deşarj sırasında sıklıkla kullanılabilen dc-dc dönüştürücülere bağlı olan batarya sistemleri, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Akü akımı ve DC bara voltajı sapmaları, akünün nasıl şarj ve deşarj edileceğini belirledi. Önerilen yük ve RES üretimi için giriş/çıkış parametreleri (gerilim, akım, güç ve şarj durumu (SOC)) Şekil (4.20)'de mevcuttur.



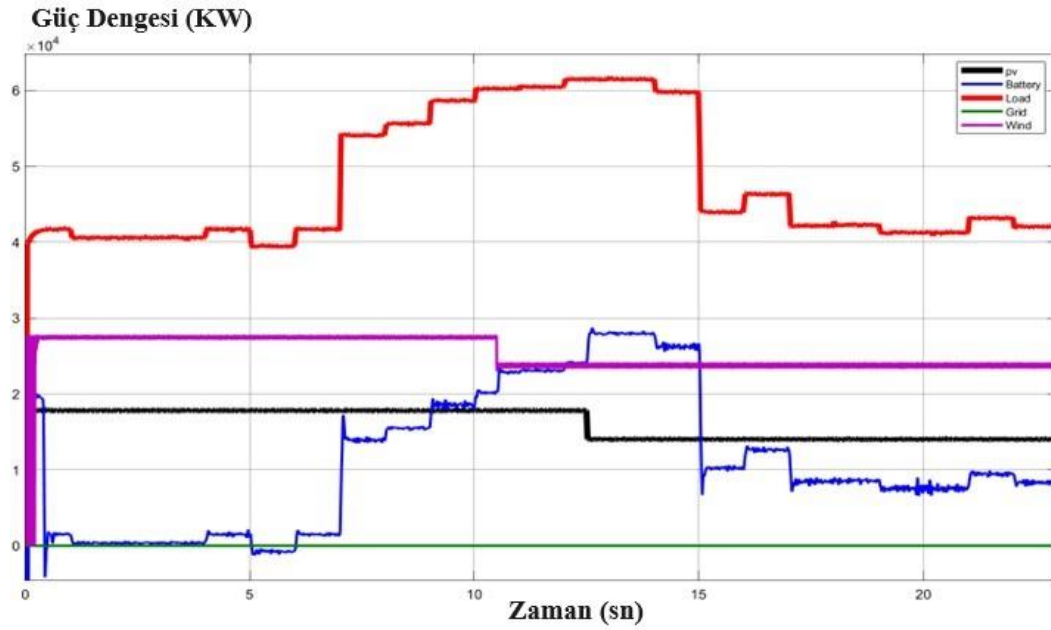
Şekil 4.20 Batarya sisteminin voltajı, akımı, SOC'si ve gücü

4.7 Şebeke içi ve Şebeke dışı EMS Çalışması

Bu çalışmada kullanılan önerilen enerji yönetim sistemi şu şekilde düşünülebilir: şebeke ekonomik ve çevresel nedenlerle beklemede olacak; talep (PV ve rüzgar türbinleri) tarafından üretilen güçle karşılanacak ve üretim tarafında eksiklik olması durumunda, gerekli güç ESS'den ithal edilecektir. Talep, hem PV hem de rüzgar türbinleri tarafından sağlanan toplam enerji miktarından daha düşük olduğunda, Batarya sistemi şarj edilecektir. Bu çalışmada, EMS'nin çalışmasını

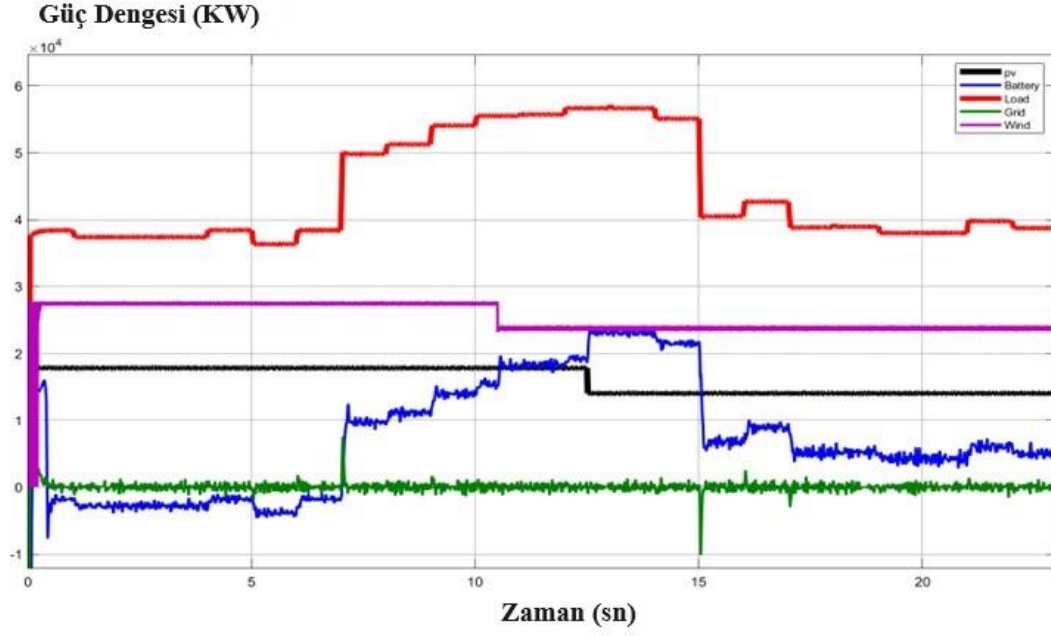
sağlamak için şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olmak üzere iki durum mevcuttur.

Şekil (4.21) şebeke kapalıyken PV, rüzgar türbini, batarya ve yük arasındaki güç dengesini göstermektedir. Aşağıdaki Şekilden, gerekli güç Batarya depolama sistemi tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 4.21 Şebeke dışı işletimli EMS

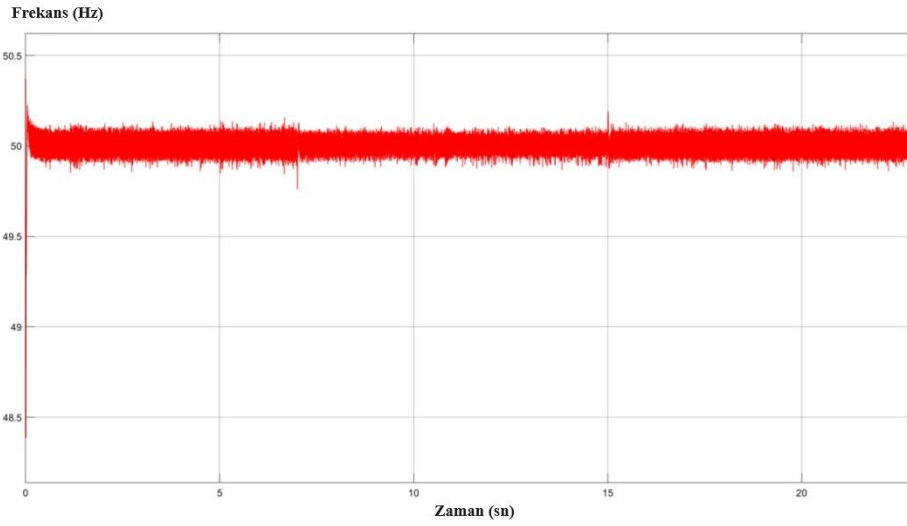
Sistemin şebekeye bağlı olduğu ikinci durumda EMS Şekil (4.22)'de gösterilmiştir, şebeke ekonomik işlemler için beklemede olacaktır.



Şekil 4.22 Şebekeye bağlı EMS

4.8 Frekans Tepkisi

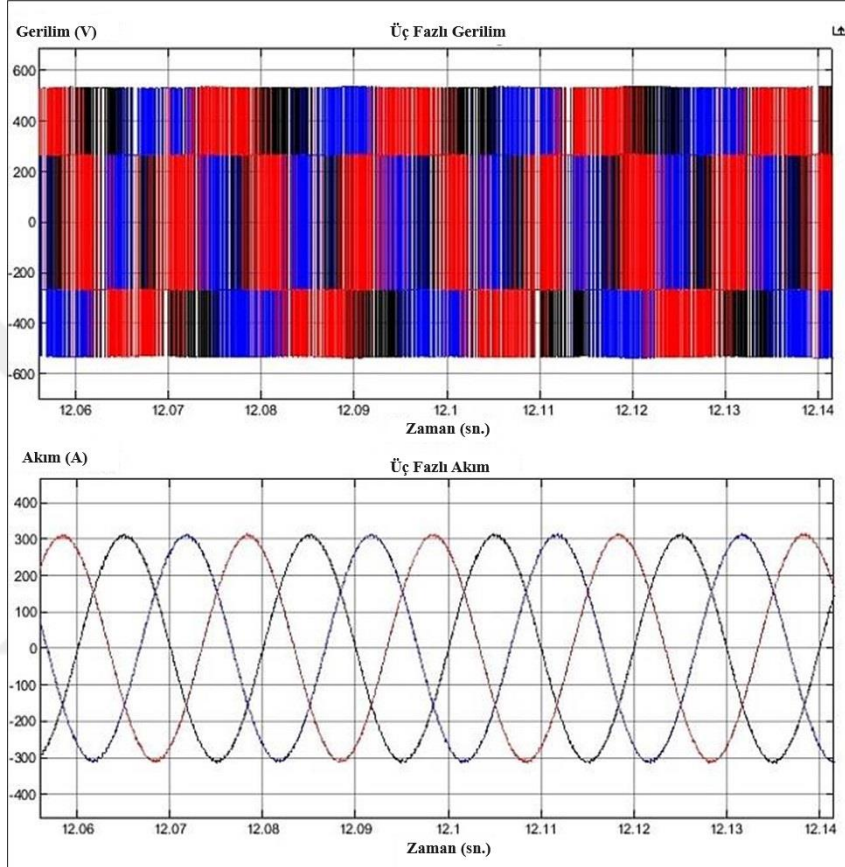
Şekil (4.23) normal çalışma durumu için frekans tepkisini göstermektedir.



Şekil 4.23 Frekans Tepkisi

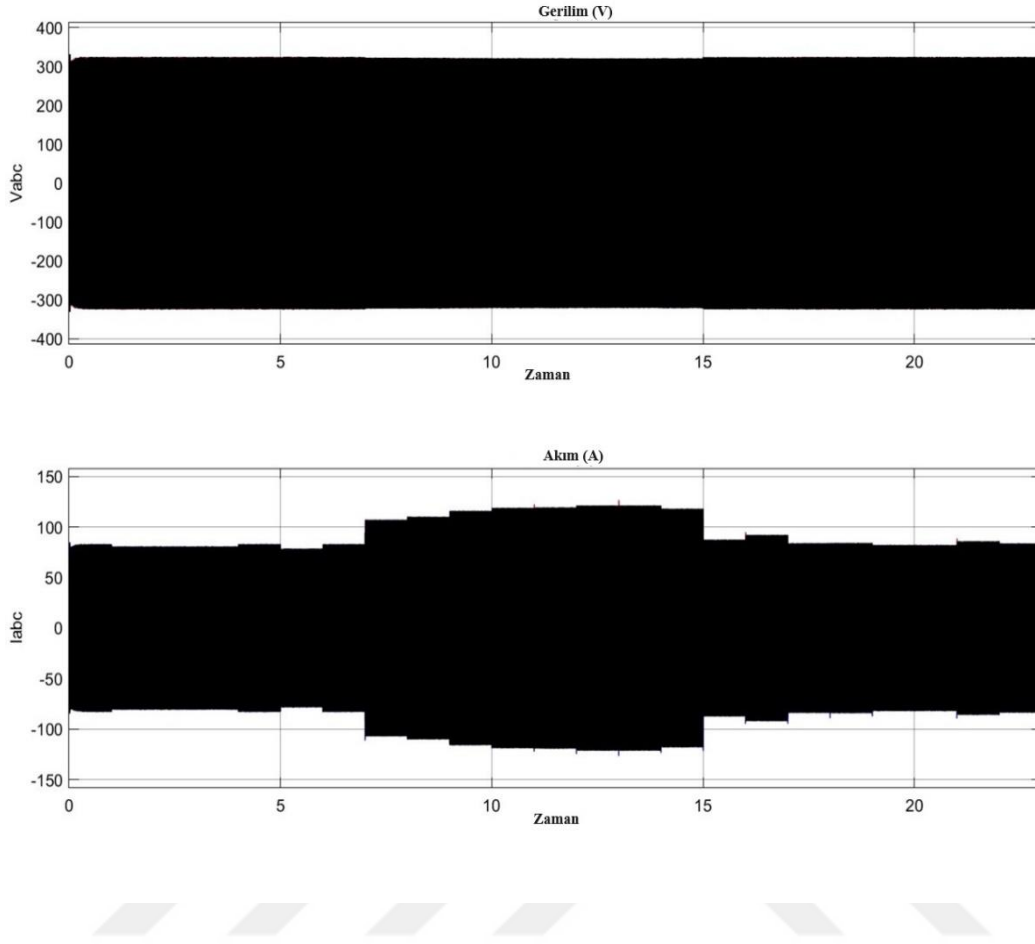
4.9 Üç Fazlı Voltaj ve Akım Çıkışları

Harmonikleri en aza indirmek ve çıkış gerilimini ve akım dalga biçimlerini geliştirmek için mümkün olduğunca saf sinüzoidal bir çıkış sağlamak için bir LC filtresi kullanılabilir. Şekil (4.24) VSG evirici üzerindeki çıkış üç fazlı gerilim ve akımı göstermektedir (LC filtresinden önce).



Şekil 4.24 yük tarafındaki üç fazlı voltaj ve akım (LC filtresinden önce)

Şekil (4.25), 2014 yılı için IEEE standardı 519'a uygun olan ve toplam harmonik distorsiyonu (THD) %5'ten az olan yük talebinin (LC filtresinden sonra) çıkış voltajını ve akımını göstermektedir (THD, 1 kV'tan daha düşük voltajlı bir sistem için %5'ten az olmalıdır).



Şekil 4.25 Üç fazlı gerilim ve akım (LC filtresinden sonra)

4.10 Sonuç

Bu tez, mikro şebeke DC-bus voltaj sistemini düzenlemek (PV-boost çıkışını düzenlemek, PMSG-boost çıkışını düzenlemek, Batarya dönüştürücü çıkışını düzenlemek) ve PV ve rüzgar türbini sistem çıkışlarını maksimize etmek için üç dönüştürücü kullanılmasını önermektedir. Bu çalışmada önerilen EMS algoritması, RES gücünün kullanılabilirliğine göre Bataryayı şarj etmek ve boşaltmaktır. Güç sistemi operasyonlarında optimizasyon yöntemleri kullanılarak, verimliliği ve enerji güvenilirliğini artırmaya yol açan invertör kontrol sistemi için kullanılabilecek uygun bir regülatör üretilmiştir. Hedeflerimize ulaşmak için çeşitli taktikler kullanabilir ve elimizdeki görev için en iyisini seçebiliriz.

1. DC/DC dönüştürücü tarafından üç MPPT algoritması (P&O, Inc. ve PSO) kullanılmaktadır. Bu yöntem, fotovoltaik sistem için tek yönlü yükseltici

dönüştürücü denetleyicisine PV voltaj referansını ekleyecektir. P&O MPPT yöntemi rüzgar türbini sistemi ile kullanılır.

2. İnverter, DC bara üzerindeki voltaj zaten regüle edildiğinden, ister şebeke içi ister şebeke dışı sistem olarak çalışsın, sistemin voltajını ve frekansını düzenlemek için sürekli modülasyona ayarlanan droop kontrolörü tarafından yönetilir.

3. Batarya ve DC veri yolu arasında çift yönlü bir dönüştürücü kullanılır ve bir MATLAB işlevi ve çok döngülü bir PI kontrol tekniği kullanan uygun bir EMS tarafından kontrol edilir. DC veri yolu sistemin güç akışı dengesini gösterdiğinden dönüştürücü değiştirilebilir. Çift yönlü bir buck-boost dönüştürücü, şarj sırasında DC bara voltajını düşürürken deşarj sırasında Batarya voltajını artırmak için kullanılır.

4. Sistem, yoğun saatlerde veya talep aniden arttığında, şebekeden daha az güce ihtiyaç duyarak Bataryade depolanan enerjinin tamamını kullanır. Düşük BSS SOC ile ve yoğun olmayan saatlerde, PV sistemi Bataryayı şarj etmeye, yükü beslemeye ve ardından gücü şebekeye satmaya odaklanır.

5. Enerji üretimi ve BSS yük talebini karşılamakta yetersiz kalırsa ve şebeke çökerse sistem yedek yükleri kapatır. EMS algoritması tarafından (şebeke içi ve şebeke dışı operasyonlar) olmak üzere iki güç dengeleme modu sağlanmaktadır.

6. PI kontrolörünün kullanımı, uyarlanabilirliği ve dayanıklılığı nedeniyle yaygındır. Regülatörün gerilim hatasını düşürerek, PI denetleyicisi için en iyi parametre değerlerini belirlemek için senkron referans çerçevelerinde optimizasyon tekniği kullanılır. Bu yöntemler, hatayı mümkün olduğunca en aza indirerek ideal PI kontrolör ayarlarını keşfetmeye çalışır.

7. PV sistemi için PSO MPPT yönteminin sonuçları yüksek verimliliğe ve daha az çıkış bozulmasına sahiptir.

8- PSO yöntemi, kullanımı basit olduğu, hızlı hesaplama hızlarına sahip olduğu ve bir PV sisteminin tekdüze olmayan ışıyım seviyesinin ne kadar hızlı değiştiğine bakılmaksızın MPPT'yi hesaplayabildiği için çok umut vaat ediyor.

Bu tezin gelecekteki çalışmaları şu şekilde özetlenebilir:

1. Yerel kontrolörün nasıl çalıştığını denetlemek için bir denetleyici kontrolör kurulması.

2- Süper kapasitör reaksiyonu Batarya reaksiyonundan daha hızlı olduğu için, DC-bus üzerindeki bir süper kapasitör, BSS tepkisine kadar sistemi korumak için Bataryae paralel olarak tasarlanması.

3. Optimizasyon algoritmaları veya makine öğrenimi gibi yapay zeka yöntemlerinin kullanılması. Enerji yönetim sistemi, yük hazırlığı için güneş ışınlımı ve yük talebi tahmin algoritmaları entegre edilerek ve enerji fiyatlandırması ve gaz salınımlarına bağlı bir maliyet fonksiyonu azaltılarak geliştirilebilir.



- [1] H. Deng, W. Zhang, L. Liu, S. Liu and Y. Wang, "Impact of large-scale photovoltaic integration on the power system stability: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 163, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110027.
- [2] "Renewable Energy Statistics 2022" International Energy Agency, 2022. [Online]. Available: <https://ae-solar.com/central-europe-solar-market/>.
- [3] T. Abderrahim and B. Said, "Control and management of grid connected PV-Battery hybrid system based on three-level DCI" 2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC), Batna, Algeria, 2017, pp. 439-444, doi: 10.1109/ICoSC.2017.7958709
- [4] Zhou Wu, Henerica Tazvinga, Xiaohua Xia, "Demand side management of photovoltaic-battery hybrid system" *Applied Energy*, Volume 148, 2015, Pages 294-304, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.109>.
- [5] Lanre Olatomiwa, Saad Mekhilef, M.S. Ismail, M. Moghavvemi, "Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*", Volume 62, 2016, Pages 821-835, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.040>.
- [6] A.M. Hemeida, M.H. El-Ahmar, A.M. El-Sayed, Hany M. Hasanien, Salem Alkhalaf, M.F.C. Esmail, T. Senjyu, "Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area", *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 11, Issue 1, 2020, Pages 11-23, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.005>. [7] R. G. Wandhare and V. Agarwal, "Novel Integration of a PV-Wind Energy System With Enhanced Efficiency," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 7, pp. 3638-3649, July 2015, doi: 10.1109/TPEL.2014.2345766.
- [8] Z. Yi , W. Dong and A. H. Etemadi , "A Unified Control and Power Management Scheme for PV-Battery-Based Hybrid Microgrids for Both Grid-Connected and Islanded Modes," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 6, pp. 5975-5985, Nov. 2018, doi: 10.1109/TSG.2017.2700332
- [9] Mostafa Kermani, Behin Adelmanesh, Erfan Shirdare, Catalina Alexandra Sima, Domenico Luca Carnì, Luigi Martirano, Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications, *Renewable Energy*, Volume 171, 2021, Pages 1115-1127, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.008>.
- [10] Esmat Samadi, Ali Badri, Reza Ebrahimpour, Decentralized multi-agent based energy management of microgrid using reinforcement learning, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 122, 2020, 106211, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106211>.
- [11] A. T. Eseye, D. Zheng, J. Zhang and D. Wei, "Optimal energy management strategy for an isolated industrial microgrid using a Modified Particle Swarm Optimization," 2016 IEEE International Conference on Power and Renewable

- Energy (ICPRE), Shanghai, China, 2016, pp. 494-498, doi: 10.1109/ICPRE.2016.7871126.
- [12] Henerica Tazvinga, Bing Zhu, Xiaohua Xia, Optimal power flow management for distributed energy resources with batteries, *Energy Conversion and Management*, Volume 102, 2015, Pages 104-110, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.015>.
- [13] Christos-Spyridon Karavas, Konstantinos G. Arvanitis, George Kyriakarakos, Dimitrios D. Piromalis, George Papadakis, A novel autonomous PV powered desalination system based on a DC microgrid concept incorporating short-term energy storage, *Solar Energy*, Volume 159, 2018, Pages 947-961, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.057>.
- [14] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou and A. Dimeas, "Microgrids management," in *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 6, no. 3, pp. 54-65, May-June 2008, doi: 10.1109/MPE.2008.918702.
- [15] A. A. Hamad, M. E. Nassar, E. F. El-Saadany and M. M. A. Salama, "Optimal Configuration of Isolated Hybrid AC/DC Microgrids," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 3, pp. 2789-2798, May 2019, doi: 10.1109/TSG.2018.2810310.
- [16] Karavas, Christos-Spyridon, Konstantinos Arvanitis, and George Papadakis. 2017. "A Game Theory Approach to Multi-Agent Decentralized Energy Management of Autonomous Poly-generation Microgrids" *Energies* 10, no. 11: 1756. <https://doi.org/10.3390/en10111756>.
- [17] F. Yang, X. Feng and Z. Li, "Advanced Microgrid Energy Management System for Future Sustainable and Resilient Power Grid," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 6, pp. 7251-7260, Nov.-Dec. 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2912133.
- [18] F. Luo, G. Ranzi, S. Wang and Z. Y. Dong, "Hierarchical Energy Management System for Home Microgrids," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 5, pp. 5536-5546, Sept. 2019, doi: 10.1109/TSG.2018.2884323.
- [19] J. Liu, L. Zhang and M. Cao, "Power management and synchronization control of renewable energy microgrid based on STATCOM," 2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Beijing, China, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ITEC-AP.2014.6941242.
- [20] Y. Yang, Q. Ye, L. J. Tung, M. Greenleaf and H. Li, "Integrated Size and Energy Management Design of Battery Storage to Enhance Grid Integration of Large-Scale PV Power Plants," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 1, pp. 394-402, Jan. 2018, doi: 10.1109/TIE.2017.2721878.
- [21] P. Raviteja, A. Yadagiri and P. Jithendar, "Power Management Scheme For Wind-PV-Battery-Based Hybrid Micro Grids For Power Control," 2021 5th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Coimbatore, India, 2021, pp. 245-251, doi: 10.1109/ICECA52323.2021.9675923.
- [22] Rona George Allwyn, Amer Al-Hinai, Vijaya Margaret, A comprehensive review on energy management strategy of microgrids, *Energy Reports*, Volume

- [23] S. Kabir, M. Nadarajah and R. Bansal, "Impact of large scale photovoltaic system on static voltage stability in sub-transmission network," 2013 IEEE ECCE Asia Downunder, Melbourne, VIC, Australia, 2013, pp. 468-473, doi: 10.1109/ECCE-Asia.2013.6579138.
- [24] M. Upasani and S. Patil, "Grid connected solar photovoltaic system with battery storage for energy management," 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, India, 2018, pp. 438-443, doi: 10.1109/ICISC.2018.8399111.
- [25] Ramesh Gugulothu, Bhookya Nagu, Deepak Pullaguram, Energy management strategy for standalone DC microgrid system with photovoltaic/fuel cell/battery storage, *Journal of Energy Storage*, Volume 57, 2023, 106274, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106274>.
- [26]- M. Upasani and S. Patil, "Grid connected solar photovoltaic system with battery storage for energy management," 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, India, 2018, pp. 438-443, doi: 10.1109/ICISC.2018.8399111.
- [27]-Hongbin Wu, Shuzhao Wang, Bo Zhao and Chengzhi Zhu," Energy-management and control strategy of a grid connected PV/battery system"- *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2014, <https://doi.org/10.1002/etep.1926>
- [28] Adam Hirsch, Yael Parag, Josep Guerrero, Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 90, 2018, Pages 402-411, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>.
- [29] García Vera, Y.E.; Dufo López, R.; Bernal Agustín, J.L. "Energy management in microgrids with RES: A literature review" *Appl.eSci.*2019,e9,e3854.
- [30]- D. E. Olivares, C. A. Cañizares and M. Kazerani, "A Centralized Energy Management System for Isolated Microgrids," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1864-1875, July 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2294187.
- [31] Xuan Hieu Nguyen and Minh Phuong Nguyen, "Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays with tags in Matlab/Simulink", *Environ Syst Res* (2015) 4:24, DOI 10.1186/s40068-015-0047-9
- [32] Chem Matters "How a Solar Cell Works" ACS, Chemistry for life, 2014, <https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/pasteissues/archivee2013e2014/howaesolarecelleworks.html>.
- [33] Raja Azad Kumar Mishra, Prof. Ashok Kumar Mahapatra, Amit Goshwami, "Energy Management in Grid Connected Photovoltaic System" *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 9 Issue 02, February-2020.
- [34] A.J. Mahdi, W.H. Tang and Q.H. Wu," Improvement of an MPPT Algorithm for PV Systems and Its Experimental Validation" *European-Association for the Development of RES, Environment-and-Power Quality (EA4EPQ)*,2010

- [35]- S. K. Zahariev, K. S. Kirilov and M. I. Alexandrova, "Energy performance modeling of a stand-alone PV system using real meteorological data," 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2017.8124330.
- [36] J. Hui, A. Bakhshai and P. K. Jain, "A hybrid wind-solar energy system: A new rectifier stage topology," 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Palm Springs, CA, USA, 2010, pp. 155-161, doi: 10.1109/APEC.2010.5433678.
- [37]- M. Sabbaghpur Arani and Maryam Akhavanhejazi, "The Comprehensive Study of Electrical Faults in PV Arrays" Hidawi, 2016 Journal of Electrical and Computer Engineering 2016:1-10 DOI:10.1155/2016/8712960
- [38] A. Sangwongwanich, Y. Yang and F. Blaabjerg, "High-Performance Constant Power Generation in Grid-Connected PV Systems," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no. 3, pp. 1822-1825, March 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2465151.
- [39] Racharla, Suneetha and K. Rajan. "Solar tracking system – a review." International Journal of Sustainable Engineering 10 (2017): 72 - 81.
- [40] AAmit Kumer Podder, Naruttam Kumar Roy, Hemanshu Roy Pota "MPPT methods for solar PV systems a critical review based on tracking nature" IET Renewable Power Generation, 2019.
- [41] Milad Samady Shadlu, "Comparison of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Algorithms to Control DC-DC Converters in Photovoltaic Systems" Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering, 2019.
- [42] Abul Kalam Ajad, Md. Masud Rana, and Md. Moznuzzaman ,” Analysis of P&O and INC MPPT Techniques for PV Array Using MATLAB” IOSR Journal f Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) -ISSN: 2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 11, Issue 4 (Jul.–Aug. 2016), PP 80-86.
- [43] K.H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, M. Osakada “Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmospheric conditions”, Proc. IEEE Generation, Transmission, Distribution, DOI: 10.1049/ip-gtd:19951577 , Print ISSN 1350-2360, Online ISSN 1359-7051
- [44] Hairul Nissah Zainudin, and Saad Mekhilef, "Comparison Study of Maximum Power Point Tracker Techniques for PV System", Proc. 14th International Middle East Power System Conference (MMEPCON10), Cairo University, Egypt, 2010, 750-755.
- [45] Kariem H, Touti E, Fetouh T. "The efficiency of PSO-based MPPT technique of an electric vehicle within the city". Measurement and Control. 2020;53(3-4):461-473. doi:10.1177/0020294019882973
- [46] R. B. A. Koad, A. F. Zobaa and A. El-Shahat, "A Novel MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems," in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 8, no. 2, pp. 468-476, April 2017, doi: 10.1109/TSTE.2016.2606421.
- [47] S. Matthew. Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics. Berlin: Book, Springer, 2006.

- [48] Abdullah, M.A. & Yatim, A.H.M. & Tan, C.W. & Saidur, R., 2012. "A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 16(5), pages 3220-3227. DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.016
- [49] Cuong Hung Tran, Frédéric Nollet, Najib Essounbouli and Abdelaziz Hamzaoui, "Maximum power point tracking techniques for wind energy systems using three levels boost converter" *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Sci. 154 012016, DOI 10.1088/1755-1315/154/1/012016
- [50] D. Zammit, C. S. Staines, A. Micallef and M. Apap, "Optimal Power Control for a PMSG Small Wind Turbine in a Grid-Connected DC Microgrid," 2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Thessaloniki, Greece, 2018, pp. 32-37, doi: 10.1109/CoDIT.2018.8394779.
- [51] Umesh Baboo and Jayaram Nakka," A Multilevel Cascaded H-Bridge Inverter based online grid connected Hybrid PV – Wind Energy System and addressing the Problem of Power Mismatch" IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, 2018.
- [52] Krismadinata, Nasrudin Abd. Rahim, Hew Wooi Ping, Jeyraj Selvaraj, "Photovoltaic Module Modeling using Simulink/Matlab", *Procedia Environmental Sciences*, Volume 17, 2013, Pages 537-546, ISSN 1878-0296, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.069>.
- [53] Kenneth E. Okedu and Hind Barghash," Enhancing the Transient State Performance of Permanent Magnet Synchronous Generator Based Variable Speed Wind Turbines Using Power Converters Excitation Parameters" *Frontiers in Energy Research*, April 2021 | Volume 9 | Article 655051.
- [54] Behabtu HA, Messagie M, Coosemans T, Berecibar M, Anlay Fante K, Kebede AA, Mierlo JV. A Review of Energy Storage Technologies' Application Potentials in Renewable Energy Sources Grid Integration. *Sustainability*. 2020; 12(24):10511. <https://doi.org/10.3390/su122410511>
- [55] L. Yao, B. Yang, H. Cui, J. Zhuang, J. Ye and J. Xue, "Challenges and progresses of energy storage technology and its application in power systems," in *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 4, no. 4, pp. 519-528, October 2016, doi: 10.1007/s40565-016-0248-x.
- [56] Xing Luo, Jihong Wang, Mark Dooner, Jonathan Clarke, Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation, *Applied Energy*, Volume 137, 2015, Pages 511-536, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>.
- [57] M.A. Hannan, M.S. Hossain Lipu, Pin Jern Ker, R.A. Begum, Vasilios G. Agelidis, F. Blaabjerg, Power electronics contribution to renewable energy conversion addressing emission reduction: Applications, issues, and recommendations, *Applied Energy*, Volume 251, 2019, 113404, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113404>.
- [58] Al-Shetwi, Ali Q., Muhamad Zahim Sujod, Mohammed Abdul Hannan, Majid A. Abdullah, Ali Saadon Al-Ogaili and Ker Pin Jern. "Impact of Inverter Controller-Based Grid-Connected PV System in the Power Quality." (2020).

- [59] Om Prakash Jaga, Ritesh Gupta, Balaram Jena & Sumit GhatakChoudhuri, "Bi-directional DC/DC Converters Used in Interfacing ESSs for RESs and EVs: A Review", IETE Technical Review, 40:3, 334-370, 2023, DOI: 10.1080/02564602.2022.2116362
- [60] I. Montero, MT. Miranda, F. Barrena, F.J. Sepúlveda, J.I. Arranz, Analysis of photovoltaic self-consumption systems for hospitals in southwestern Europe, *Energy and Buildings*, Volume 269, 2022, 112254, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112254>.
- [61] X. Liu, T. Zhao, H. Deng, P. Wang, J. Liu and F. Blaabjerg, "Microgrid Energy Management with Energy Storage Systems: A Review," in *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 483-504, March 2023, doi: 10.17775/CSEEJPES.2022.04290.
- [62] D. Cardoso da S. J. S. Dohler, P. M. d. Almeida and J. G. d. Oliveira, "Droop Control for Power Sharing and Voltage and Frequency Regulation in Parallel Distributed Generations on AC Microgrid," 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), Sao Paulo, Brazil, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/INDUSCON.2018.8627328.
- [63] U. Tamrakar, "Optimization-based fast-frequency support in low inertia power systems", PhD Thesis, South Dakota State University, 2020.
- [64] Y. Kim, H. Cha, B. -M. Song and K. Y. Lee, "Design and control of a grid-connected three-phase 3-level NPC inverter for Building Integrated Photovoltaic systems," 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Washington, DC, USA, 2012, pp. 1-7, doi: 10.1109/ISGT.2012.6175663.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

R. F. Abood And A. Durusu, "1-MW Microgrid Design and Control with PV-Battery-Diesel Generator," 1st International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (ICENSOS2022) , Konya, Turkey, pp.535-540, 2022

