

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR İŞLETMENİN ENERJİ İHTİYACININ RÜZGAR
TÜRBİNİ, PV PANEL, JENERATÖR VE BATARYA
KULLANILARAK KARŞILANMASI İÇİN OPTİMİZE
EDİLMESİ

Ahmet AY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Tesisleri Programı

Danışman
Doç. Dr. Ercan İZGİ

Haziran, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR İŞLETMENİN ENERJİ İHTİYACININ RÜZGAR
TÜRBİNİ, PV PANEL, JENERATÖR VE BATARYA
KULLANILARAK KARŞILANMASI İÇİN OPTİMİZE
EDİLMESİ**

Ahmet AY tarafından hazırlanan tez çalışması 06.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ercan İZGİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ercan İZGİ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Altuğ BOZKURT, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Ercan İZGİ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bir İşletmenin Enerji İhtiyacının Rüzgar Türbini, PV Panel, Jeneratör ve Batarya Kullanılarak Karşılanması İçin Optimize Edilmesi 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.

Ahmet AY

İmza

X X X X

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda desteklerini esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Ercan İZGİ, kıymetli meslektaşım Esra CANLI, değerli abim Erkut KÜÇÜKASLAN'a ve her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
2 MİKRO ŞEBEKE MİMARİSİ	4
2.1. Mikro şebeke Çalışma Modları.....	6
3 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ	9
4 MİKRO ŞEBEKEDE ENERJİ KAYNAKLARI	10
4.1. Güneş Enerji (PV) Sistemi.....	12
4.2. Rüzgar Enerjisi Santrali (RES)	18
4.3. Yakıt Hücresi Sistemi	23
4.4. İçten Yanmalı Motorlar.....	26
4.5. Mikrotürbinler	26
4.6. Enerji Depolama Sistemi	27
5 GÜÇ SİSTEMİNDE OPTİMİZASYON SORUNLARI	30
6 GENEL CEBİRSEL MODELLEME SİSTEMİ (GAMS)	31
7 METARYAL VE METODOLOJİ	34
7.1. Kullanılan Veriler ve Elde Edilmesi	34
7.2. Problemin Matematik Modellenmesi.....	36
8 ANALİZ	39
8.1. Model 1 Analizi.....	39
8.2. Model 2 Analizi.....	41
8.3. Model 3 Analizi.....	44
9 SONUÇLAR	47
KAYNAKÇA	48
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	52

SİMGE LİSTESİ

A	Amper
\$/kWh	Dolar/Kilowatt Saat
N^{pv}	GES'deki Güneş Panelleri Sayısını
$P_{s,t}^{pvpp}$	GES'nin T. Zaman Ve S. Senaryodaki Çıkış Gücünü (MW)
V_{ocv}	Güneş Panelinin Açık Devre Gerilimini (V)
K_{ctc}	Güneş Panelinin Akım Sıcaklık Katsayısını (A/ °C)
FL	Güneş Panelinin Doldurma Faktörünü (Fill Factor)
K_{vtc}	Güneş Panelinin Gerilim Sıcaklık Katsayısını (V/ °C)
I_{scc}	Güneş Panelinin Kısa Devre Akımını (A)
V_{max}	Güneş Panelinin Maksimum Güç Noktasındaki Akımını
V_{max}	Güneş Panelinin Maksimum Güç Noktasındaki Gerilimini(
$NOT_{hücre}$	Güneş Panelinin Nominal İşletim Sıcaklığını (°C)
$T_{s,t}^{hücre}$	Güneş Panelinin T. Zaman Ve S. Senaryodaki Sıcaklığını
m/s	Hız (metre/saniye)
kW/m ²	Işınım (Kilowatt/meterkare)
W/m ²	Işınım (Watt/meterkare)
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
MW	Megawatt
m	Metre
°C	Santigrat Derece
SOC	Şarj Durumu
$SR_{s,t}$	t. Zaman ve s. Senaryodaki Güneş Radyasyonunu (W/m ²)
T_t^{ort}	t. Zamandaki Bölgenin Sıcaklığını
V	Volt
V/ °C	Volt/Derece

KISALTMA LİSTESİ

DÜ	Dağıtık Üretim
EDS	Enerji Depolama Sistemi
EYS	Enerji Yönetim Sistemi
GES	Güneş Enerji Santrali
Kvar	Kilovolt-Amper Reaktif
Kw	Kilowatt
MVA	Megavolt-Amper
MW	Megawatt
PV	Fotovoltaik Panel
RES	Rüzgar Enerji Santrali
YES	Yenilenebilir Enerji Sistemi
YH	Yakıt Hücresi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Mikro Şebeke Yapısı	4
Şekil 4.1 Türkiye Işınım Haritası	12
Şekil 4.2 I-V Karakteristiği	14
Şekil 4.3 Işınım Miktarının Etkileri.....	15
Şekil 4.4 Güç-Gerilim Karakteristiği a)Işınıma göre b)Sıcaklığa Göre	16
Şekil 4.5 Merkezi Konfigürasyon.....	16
Şekil 4.6 Dizi Konfigürasyonu	17
Şekil 4.7 Çok Dizili Konfigürasyonu	17
Şekil 4.8 Modüler Konfigürasyonu	18
Şekil 4.9 RES Genel Yapısı.....	19
Şekil 4.10 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri	20
Şekil 4.11 Asenkron Jeneratörlü RES Yapısı.....	21
Şekil 4.12 Elektrik Uyarımlı Senkron Jeneratörlü RES Yapısı.....	21
Şekil 4.13 Çok Kutuplu Elektrik Uyarımlı Senkron Jeneratörlü RES Yapısı.....	22
Şekil 4.14 Çok Kutuplu Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörlü RES Yapısı.....	22
Şekil 4.15 Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörlü RES Yapısı.....	22
Şekil 4.16 Yakıt Hücresi Çalışma Prensibi	24
Şekil 4.17 Mikrotürbin Yapısı.....	27
Şekil5.1 Güç Sisteminde Bazı Optimizasyon Problemleri.....	30
Şekil 6.1 GAMS Genel Şema	32
Şekil 6.2 GAMS Programında Kullanılan Verilen.....	32
Şekil 6.3 GAMS Maliyet Çıktısı	33
Şekil 7.1 Çalışılan Bölgenin Rüzgar Hız Verisi.....	35
Şekil 7.2 Rüzgar Hızının Saatlik Değişim İndeksi	35
Şekil 7.3 Kullanılan Rüzgar Türbini Verileri	35

Şekil 8.1	Model 1 Saatlere Göre Enerji Üretim/Tüketim Durumu.....	40
Şekil 8.2	Model 1 Saatlere Göre Batarya Şarj/Deşarj Durumu.....	41
Şekil 8.3	Model 2 Saatlere Göre Enerji Üretim/Tüketim Durumu.....	43
Şekil 8.4	Model 2 Saatlere Göre Batarya Şarj/Deşarj Durumu.....	43
Şekil 8.5	Model 3 Saatlere Göre Enerji Üretim/Tüketim Durumu.....	45
Şekil 8.6	Model 3 Saatlere Göre Batarya Şarj/Deşarj Durumu.....	46



TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Dağıtık Üretim Tip Ve Teknolojileri	10
Tablo 4.2 DÜ İçin Kullanılan Kaynaklar	11
Tablo 4.3 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması.....	20
Tablo 4.4 Yakıt Hücresi Çeşit Ve Özellikleri	24
Tablo 7.1 Işınım Ve Rüzgar Hızı Değerleri	34
Tablo 7.2 Jeneratör Verim Değerleri	36
Tablo 7.3 Saatlik Enerji İhtiyacı	36
Tablo 8.1 Model 1 Analiz Sonuçları	39
Tablo 8.2 Model 2 Analiz Sonuçları	42
Tablo 8.3 Model 3 Analiz Sonuçları	44

Bir İşletmenin Enerji İhtiyacının Rüzgar Türbini, PV Panel, Jeneratör Ve Batarya Kullanılarak Karşılanması İçin Optimize Edilmesi

Ahmet AY

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ercan İZGİ

Son yıllara kadar elektrik sistemleri merkezi sisteme dayanıyordu. 1990’larda bu sistem ile artan güç ihtiyacını karşılamak zorlaşmaya başladığı için enerjinin tüketildiği yerde ya da daha yakın mesafede üretilip dağıtım sistemine entegre edilmesi temeline dayanan dağıtık üretim terimi ortaya çıktı. Bununla beraber bazı tüketicilere ulaşmak coğrafi koşullar ve iklim şartları sebebiyle mümkün olmadığı için bu tüketiciler kendi enerji ihtiyaçlarını uygun enerji kaynaklarının birlikte operasyonu için uygun planlamalar yaparak kendileri üretmeye başladılar. Bunun dışında devletin bireyleri ve firmaları enerji üretimine teşvik etmesi sonucunda bu tarz üretimler daha da yaygınlaşmaya başlayıp mikro şebeke adını aldılar. Mikro şebekeler merkezi sisteme bağlı çalışabildiği gibi merkezi sistemden bağımsız yani ada olarak da çalışabilmektedir. Yaptığımız bu çalışmada küçük bir işletmenin ada modunda çalışması durumunda enerji ihtiyacını karşılaması için jeneratör, güneş panelleri, rüzgar türbini ve enerji depolama sistemi kullanılarak bir mikro şebeke oluşturulmuştur. Oluşturulan bu mikro şebekenin saatlik ortalama yükü 8kW ($\pm\%12$) olup işletme açısından minimum maliyetli olacak şekilde enerji ihtiyacının karşılanması için GAMS programı kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada güçleri ve özellikleri birbirinden farklı elektrik enerjisi kaynakları kullanılmıştır. Model 1 enerji ihtiyacının %7.9’luk kısmını RES’ten(rüzgar enerji sistemi), %27,56’lık kısmını GES’ten(güneş enerji sistemi), %64,47’lik kısmını jeneratörden kalan kısmını ise bataryadan sağlar. Model 2 enerji ihtiyacının %17.73’lük kısmını RES’ten, %27,56’lık kısmını GES’ten, %54,1’lik kısmını

jeneratörden kalan kısmını ise bataryadan sağlar. Model 3 enerji ihtiyacının %17.73'lük kısmını RES'ten, %13,98'lik kısmını GES'ten, %68.79'luk kısmını jeneratörden kalan kısmını ise bataryadan sağlar. Ayrıca toplam işletme maliyetlerine bakıldığı zaman Model 1 için \$1,536/kWh, Model 2 için \$1,296/kWh ve Model 3 için \$1,632/kWh şeklinde olduğu görülmektedir. Bu değerler ışığında uzun vadede işletme maliyetleri, işletme için önemli olduğundan işletmeye Model 2'de yer alan sistemin kurulumunun en uygunu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, ada modu çalışma, mikro şebeke, GAMS, Optimizasyon



ABSTRACT

OPTIMIZING A BUSINESS'S ENERGY NEEDS USING WIND TURBINE, PV PANEL, GENERATOR AND BATTERY

Ahmet AY

Department of Electrical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ercan İZGİ

Until recent years, electrical systems were based on the central system. Since it became difficult to meet the increasing power demand with this system in the 1990s, the term distributed generation emerged, which is based on the production of energy at the place where it is consumed or at a closer distance and integrating it into the distribution system. However, since it was not possible to reach some consumers due to geographical and climatic conditions, these consumers started to produce their own energy needs by making appropriate plans for the joint operation of suitable energy sources. Apart from this, as a result of the government's encouragement of individuals and companies to energy production, this type of production started to become more widespread and took the name of micro-grid. Microgrids can work connected to the central system as well as independent from the central system, that is, they can work as an island. In this study, a micro-grid was created by using a generator, solar panels, wind turbine and energy storage system to meet the energy needs of a small business in case it operates in island mode. The hourly average load of this micro-grid is 8kW ($\pm 12\%$), and optimization has been made using the GAMS program to meet the energy need with minimum cost in terms of operation. In this study, electrical energy sources with different powers and properties were used. Model 1 provides 7.9% of its energy need from WES(wind energy system), 27.56% from SES(solar energy system), 64.47% from generator and the rest from batteries. Model 2 provides 17.73% of its energy need from WES, 27.56% from SES, 54.1% from generator and the rest from batteries. Model 3 provides 17.73% of its energy need from WES, 13.98% from SES, 68.79% from generator and the rest from batteries. In addition, when the total operating costs are considered, it is seen that it is \$1.536/kWh for Model 1, \$1,296/kWh for

Model 2 and \$1.632/kWh for Model 3. In the light of these values, it has been concluded that the installation of the system in Model 2 is the most appropriate for the enterprise, since operating costs are important for the enterprise in the long run.

Keywords: Renewable energy, island mode operation, microgrid, GAMS, Optimization



1

GİRİŞ

Mevcut elektrik enerjisi şebeke sistemlerinde enerji, üretim noktasından tüketicilere (yüklere) iletilmektedir. Bir elektrik şebekesi, enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemi olmak üzere üç alt başlıkta incelenebilir. Enerji üretim sistemi, yüksek üretim kapasitesine sahip elektrik enerjisi üretim tesislerinden oluşmaktadır. Bu santraller tarafından üretilen elektrik enerjisi, enerji iletim sistemi aracılığıyla dağıtım istasyonlarına iletilmektedir. Öte yandan dağıtım sistemi, dağıtım istasyonlarından tüketicilere (yüklere) güç sağlar. Mevcut merkezi elektrik enerjisi şebekesi sistemi iyi kurulmuş olmasına rağmen, gelecekte ele alınması gereken bazı dezavantajları vardır. Her şeyden önce, neslin çoğu fosil yakıtla dayalı tesislerden geliyor. Bu yakıtların yenilenemez bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra, yakıtların enerji içeriğinin en az %50-70'inin atmosferde atık ısı olarak kaybolduğunu da eklemek gerekir. Nükleer santraller üretim düzeyinde gerçekten daha verimlidir, ancak yenilenemez bir yapıya sahiptirler ve çevresel etkileri felaket olabilir. Mevcut elektrik enerjisi sisteminin diğer bir dezavantajı, merkezi doğasından kaynaklanmaktadır; genellikle yük merkezlerinin üretim tesislerinden nispeten uzakta olması söz konusudur. Bu gerçek, güç sistemi operatörlerinin yük merkezlerinde meydana gelen arızaları izlemesini ve bunlara müdahale etmesini zorlaştırır. Bu dezavantaj, diğer yüklerden daha yüksek kalitede güç alması gereken kritik yükler için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca mevcut sistemde iletim hatlarının uzun olması nedeniyle iletim kayıpları da yüksektir. Kombine iletim ve dağıtım kayıpları, üretilen gücün %6-8'i arasında değişmektedir. Bahsetmeye değer bir diğer dezavantaj, sistemin eskiyen ekipmana ve karmaşık altyapıya sahip olması, bu sistemi sık sık elektrik kesintilerine eğilimli hale getiriyor. Son olarak, bir coğrafi bölgeye elektrik enerjisi sağlamak için yeni nesil istasyonların, iletim sisteminin ve dağıtım sisteminin inşası, güçlü ekonomik gerekçelere ihtiyaç duyan bir süreçtir. Başka bir deyişle, kırsal ve uzak alanlar, kamu hizmeti sağlayıcıları için karlı olmadığı için genellikle enerjilendirilmez.

Tüm bu dezavantajlar, mevcut sistemi düzeltecek ve iyileştirecek çözümler aramak için motivasyon olmuştur. Bu dezavantajların belirli bir kısmı, dağıtık üretim (DÜ) birimlerinin tanıtılmasıyla ele alınmıştır. DÜ'lerin boyutu küçüktür ve merkezi

Üretim tesislerine kıyasla düşük elektrik üretim kapasitesine sahiptir. Dler modülerdir ve sahada, yk merkezinin yakınında bulunabilir. Yükler için kesintisiz veya kısa srelerde güç sağlamak, uzak alanlara “enerji vermek”, hassas yükler için güç kalitesini artırmak ve elektrik enerjisinin genel verimliliğini artırmak için şebeke hattına paralel olarak veya otonom jeneratörler olarak kullanılırlar. Popülerlik kazanan D birimleri, rüzgar, güneş, jeotermal, gelgit, biyokütle ve hidrojen gibi yenilenebilir kaynaklardan enerji retenlerdir. Gelecekteki enerji talebi ve arz tahmin çalışmalarından gelen ilginç bir gerçek, D birimlerinin kurulumunun yakın gelecekte artmasının beklendiğini söylüyor [1, 2]. D'lerin artan kurulumu, sahipliklerinin çeşitliliği ve bağımsız çalışması, elektrik şebekesi içinde ters g akışı, aşırı voltaj artıı, artan arıza seviyeleri, harmonik bozulma ve kararlılık sorunu gibi farklı çalışma koşulları yaratabilir. D'nin yüksek derecede nüfuz etmesi, bunların coğrafı dağılımı ve boyutları, mevcut elektrik şebekesinin iletimi, kontrolü, korunması ve güvenilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olacaktır [3]. Diğer bir deyişle, elektrik dağıtım ebekelerinde D birimlerinin artan dağıtımı, bu şebekelerin doğasını pasiften aktive değiştirmektedir. Asıl mesele, dağıtım ağlarının başlangıçta bu tür bir operasyon için tasarlanmamasıdır ve bu tür sistemlerde yukarıda belirtilen problemler vurgulanmaktadır.

Yukarıdaki akıl yürütmeden, D birimlerinin elektrik dağıtım şebekesine dahil edilmesinin belirli sorunları çözdüğü, bu tür birimlerin daha fazla konulandırılmasıyla birlikte bazı başka sorunların ortaya çıktığı sonucuna varılabilir. Bu sorunla uğraşırken, gerçek çözüm iki olası seçeneğe indirgenebilir; ilki, aę mimarisini tamamen yeniden tasarlamak ve ikincisi, mevcut ağın bir parçası olarak çalışabilecek ve bahsedilen dezavantajlar olmadan D birimlerinin konulandırılmasına izin verecek bir tür elektrik sistemi mimarisini tanıtmak. İlk seçeneğin gerçekleştirilmesi elbette pahalıdır. İkinci zm, mikro şebeke kavramı aracılığıyla tanıtılmaktadır. Mikro ebekeler, D birimlerini, enerji depolama sistemlerini (EDS'ler) ve yükleri, gücün yerel ölçekte iletildiği, tüketildiği, izlendiği ve yönetildiği elektrik dağıtım sisteminin bağımsız bölümüne dahil eden modern bir elektrik mimarisidir. Mikro ebekeler, iki yönlü g alıveriinin mümkün olduğu yerlerde şebekeye paralel olarak çalışabilir ve yerel yükleri veya uzak alanları beslemek için şebekeden bağımsız g adaları olarak çalışabilirler. Mikro ebekeler temel olarak şebekeye sağladıkları g veya ek hizmetler (rn. frekans ve

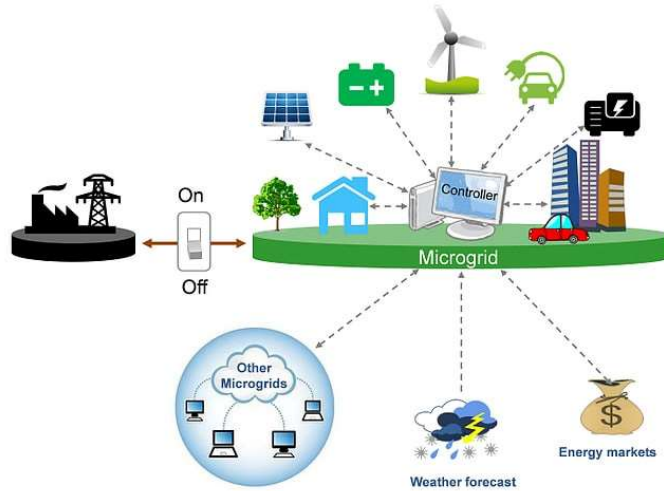
gerilim desteği) ve müşteriye sağladıkları güvenilir ve yüksek kaliteli güç sebebiyle hem şebekeye hem de müşterilere fayda sağlar.

Mikro şebekelerin inşası, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin optimize edilmiş kullanımı için fırsat sunar. Mikro şebeke belirli bir coğrafi konuma yerleştirildiğinden, çalışması o bölge için en uygun olan yenilenebilir enerji kaynakları DÜ birimleri olarak seçilebilir. Ayrıca, yük özelliklerine ve güç özelliklerine göre mikro şebeke sistemine EDS'ler dahil edilebilir. Elektrik üretiminin yanında, ısı üretimi de genellikle mikro şebekelerle ilişkilendirilen bir kavramdır. Mikro şebekenin gelecekte hem elektrik hem de ısı yüklerini ve jeneratörleri içermesi beklenmektedir. Bu senaryo, birleşik ısı enerjisi üretimi (CHP) olarak bilinir [4,5]. CHP'nin mikro şebekelerdeki potansiyel uygulamaları, evsel su ve alan ısıtma, endüstriyel prosesler için ısı üretimi ve su ve alan soğutma ve soğutmadır. CHP'yi içeren mikro şebekelerin, genel enerji kullanım verimliliğini artırması bekleniyor. Basit bir örnek olarak, güneş enerjisi kullanılarak ısı üretimi veya geleneksel yakıtın elektrik enerjisi prosesine dönüştürülmesinden ısı üretimi, konut ısıtması, hastanelerdeki sterilizasyon odaları veya endüstriyel proses için ısıtma gibi çok çeşitli uygulamalar için yerel olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak, YES'leri ve EDS'leri içeren mikro şebeke, gelecekte fosil yakıt kıtlığı, çevre dostu elektrik üretimi, uzak bölgelere elektrik tedariki ve kesintisiz güç kaynağına ihtiyaç duyan kritik yüklere güç kaynağı sorunlarına uygulanabilir çözüm sunabilecek modern bir konsepttir.

MİKRO ŞEBEKE MİMARİSİ

Mikro şebeke, şebeke güç sisteminin dağıtım seviyesinde bulunan bir güç mimarisidir. Açıkça söylemek gerekirse mikro şebeke, yapısında çeşitli dağıtılmış üretim kaynakları, enerji depolama sistemleri ve yükler içerir. Bu üçünün yanında mikro şebekeler, güç elektroniği ara yüzleri, kontrol sistemi ve iletişim sistemini içerir. Üretim ve depolama ünitelerinden yüklere/şebekeye ve şebekeden yüklere/depolama cihazlarına yüksek kaliteli, güvenilir ve verimli güç aktarımı sağlamak için güç elektroniği ara yüzüne ihtiyaç vardır. Güç elektroniği ekipmanı ayrıca acil/arızalı durumlarla başa çıkmak için koruma işlevine sahiptir. Kontrol sistemi, mikro şebekede güç transferini kontrol etmek ve tüm sistemi yönetmek için kullanılır. Mikro şebekenin parçaları genellikle bağımsız birimler olarak çalıştığından, sistemde varsa bu birimler veya merkezi kontrolör arasında bilgi aktarımı için araçlar sağlamak için iletişim sistemi dahil edilir. Mikro şebeke, mimarisinde ortak bağlantı noktası (PCC: Point of Common Coupling) olan bir önemli bileşen daha içerir. PCC, şebeke şebekesi ile mikro şebeke arasına yerleştirilmiş ve mikro şebekenin çalışma koşullarına göre elektrik şebekesiyle bağlantısının kesilmesine veya yeniden bağlanmasına izin veren kontrollü bir anahtardır. Mikro şebekenin tipik yapısı aşağıdaki Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Copyright Berkeley Lab

Şekil 2.1: Mikro Şebeke Yapısı [6]

Dağıtılmış üretim kaynakları, uygun enerji kaynaklarından enerji üretmek için mikro şebekelerde kullanılır. DÜ kaynakları, kullandıkları kaynakların niteliğine göre yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemez enerji kaynakları olarak sınıflandırılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar türbinleri, fotovoltaik hücreler, yakıt hücreleri, mini hidro türbinler, dalga/gelgit türbinleri, jeotermal türbinler ve biyokütle türbinleri gibi üretim teknolojilerini içeren sürdürülebilir ve çevre dostu kaynaklardır. Yenilenemez enerji kaynakları, doğal gaz, propan veya fuel oil kullanarak çalışan içten yanmalı motorlar tarafından tahrik edilen asenkron ve senkron jeneratörler gibi üretim teknolojilerini içerir. Bu teknolojilerin bazıları bir sonraki alt bölümde tartışılmaktadır, daha fazla bilgi literatürde bulunabilir [7, 8].

Enerji depolama sistemleri, yük talebinin jeneratörlerin anlık kapasitesinden daha düşük olduğu durumlarda mikro şebekede fazla enerjiyi depolamak için kullanılır ve aynı zamanda bu sistemler, jeneratörlerin anlık kapasitesi yük talebinden daha düşük olduğunda enerji eksikliğini telafi etmekten sorumludur. Depolama sistemleri, yük dalgalanmalarına ve geçişlere rağmen güç dengesini sağlayan mikro şebekenin kritik bileşenleridir, diğer bir deyişle EDS'ler, arz ve talep arasındaki enerjiyi dengeleyen enerji tamponları olarak düşünülebilir. En yaygın olarak kullanılan EDS'ler; piller, volanlar, süper kapasitörler ve süper iletken manyetik enerji depolama sistemleridir (SMES).

Mikro şebekeler birçok farklı türde yük içerebilir. Bu yükler genel olarak hassas ve hassas olmayan olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Hassas yüklerin yüksek kaliteli güçle beslenmesi ve daha da önemlisi sürekli beslenmesi gerekir (kesintisiz güç kaynağı). Hassas olmayan yükler daha esnek güç kalitesi özelliklerine sahiptir ve gerektiğinde gölgelenebilir (kapatılabilir). [9,10]'daki yazarlara göre mikro şebekedeki yüklerin sınıflandırılması; şebekeye bağlı modda net ithalat/ihracat gücünü karşılayabilmek, ada modunda voltaj ve frekansı stabilize etmek, DÜ kaynaklarının çalışmasını optimize etmek için tepe yükünü azaltmak ve hassas yüklerin güç kalitesini ve güvenilirliğini artırmak için önemlidir. Bir mikro şebekedeki yükler AC ya da DC yük olabildiği gibi aynı anda hem AC hem de DC yük olabilir.

Güç elektroniği teknolojisi, mikro şebekede jeneratörlerin, depolama elemanlarının ve yüklerin birbirine bağlanmasına izin verir. Bu ara yüzler, verimli ve esnek enerji alışverişi sağlarken mikro şebekedeki farklı elemanların uyumluluğunu garanti eder. Güç elektroniği ara yüzleri, mikro şebeke sistemlerinin adalı veya şebeke bağlantılı modda çalışmasına izin verir. Genel anlamda güç elektroniği ara yüzlerinden sabit güç ve yerel voltaj üretimi sağlamak, DÜ biriminin enerji depolama sistemlerini kullanarak yük talebini karşılamasını kolaylaştırmak, DÜ birimleri arasında yük paylaşımı için kontrol yöntemlerini dahil etmek ve gelecekteki güç sistemleri için çeşitli anahtar teknolojileri entegre etmek beklenmektedir. [11-13]

Güç elektroniği ile yakından ilgili olan bir diğer mikro şebeke elemanı kontrol sistemidir. Kontrol sisteminin ana görevleri şu şekilde tanımlanabilir;

- Şebekeye satılan ve şebekeden alınan enerjinin kontrolü,
- Sistemdeki aktif ve reaktif güç akışının kontrolü,
- DÜ kaynaklarının ve karakteristiklerinin kontrolü,
- Sistem frekansı ve voltajının belirlenen limitler dahilinde kontrolü.

İletişim sistemi, mikro şebekenin farklı bölümleri arasında önemli bilgi alışverişini gerçekleştiren mikro şebekenin bileşenidir. Mikro şebeke içindeki enerji talebi ve arzı arasında daha iyi bir uyum için, DÜ birimlerinin, EDS'lerin, yüklerin ve şebekenin kontrolörleri arasındaki koordinasyon, iletişim sistemi kullanılarak yapılır. Genel olarak bu sistem, mikro şebeke operatörü için artan enerji kullanım verimliliği ve artan ekonomik fayda sağlar. Henüz mikro şebekede kullanılan standart bir iletişim protokolü yoktur.

2.1. Mikro şebeke Çalışma Modları

Mikro şebekeler, verilen koşullara bağlı olarak jeneratör veya yük olarak çalışan kontrol edilebilir birimler olarak görülebilir. Mikro şebekeler, enerji şebekesine bağlanabilir veya ondan izole olarak çalışabilir. Yani mikro şebekelerin, şebeke bağlantılı ve ada olarak iki farklı çalışma modu vardır. Bu modların her birinde mikro şebekeler, tüm sistemin kontrol, iletişim ve koruma fonksiyonlarını tanımlayan belirli teknik koşullar ile çalışır. Mikro şebeke, kasıtlı olarak veya şebeke hatası veya arızası durumunda şebekeden izole edilebilen bir elektrik

yapısıdır. Şebeke ile bağlantı kesme ve yeniden bağlanma eylemi, mikro şebeke kontrol sistemi tarafından kontrol edilir ve ana şalter, ortak kuplaj noktasında konumlandırılır.

2.1.1. Şebeke Bağlantılı Çalışma Modu

Bu modda mikro şebeke elektriksel olarak elektrik şebekesine bağlıdır. Dağıtım şebekesindeki konumuna ve üretim kapasitesine göre orta gerilim (örn. 11-65 kV) veya alçak gerilim (örn. 110-690 V) şebekelerine bağlanabilir [14]. Bu modda mikro şebeke, mevcut ekonomik veya teknik çalışma koşullarına bağlı olarak ya şebekeden güç alır ya da şebekeye güç enjekte eder. Teknik çalışma koşulları, mikro şebekedeki güç talebinin mevcut üretim kapasitesinden daha yüksek olduğu anlamına gelebilir, bu nedenle şebekeden eksik güç alınması gerekir veya güç talebi mevcut üretim kapasitesinden daha düşük olduğundan fazla güç şebekeye enjekte edilir. Öte yandan ekonomik koşullar, elektrik şebekesinden elektrik ithalatının ve şebekeye ihracatın mevcut maliyetini dikkate alacaktır.

Şebeke bağlantılı modda, mikro şebeke invertörü, şebekenin mevcut voltaj referansına göre çalışır. Şebeke geriliminden gerilim genliği, frekans ve faz açısı referansları alınır ve evirici gerilimi buna senkronize edilir. Senkronizasyon sağlandıktan sonra, inverterlerin aktif ve reaktif güçleri, mikro şebeke işletme yöneticisi tarafından komut verilen referanslara göre kontrol edilir [15,16]. Bu modda inverter kontrollü akım kaynağı olarak çalışır.

2.1.2. Ada Çalışma Modu

Ada veya bağımsız modda mikro şebeke, elektrik şebekesinden ayrılır ve elektrik adası olarak çalışır. Tüm yükler, DÜ birimleri tarafından üretilen veya EDS'lerde depolanan mevcut güçten sağlanır. Üretilen güç talep gücünden yüksekse, fazla güç EDS'ye depolanır ve talep gücü üretilen güçten yüksekse yükler EDS'den beslenir. Ek olarak, mikro şebekenin güç kapasitesi tüm yüklerini desteklemek için yetersizse, hassas olmayan yükler mikro şebekeden çıkarılabilir. [17,18]

Ada modunda, mikro şebeke invertörü, kontrollü voltaj kaynağı olarak çalışır. Referans voltaj genliği, frekansı ve faz açısı dahili olarak mikro şebeke işletme yöneticisi tarafından üretilir ve şebeke voltajı ile senkronizasyon gerekmez. Sistem voltajı, üretim gücü ve yük talepleri dengelenerek düzenlenir. [9]

Şebeke bağlantılı moddan ada moduna geçiş ve bunun tersi, sistem kararlılığı açısından dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Mikro şebekede uygulanan kontrol yöntemi, bu iki mod arasında sorunsuz geçişi önemli gereksinimlerden biri olarak kabul etmelidir.



ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

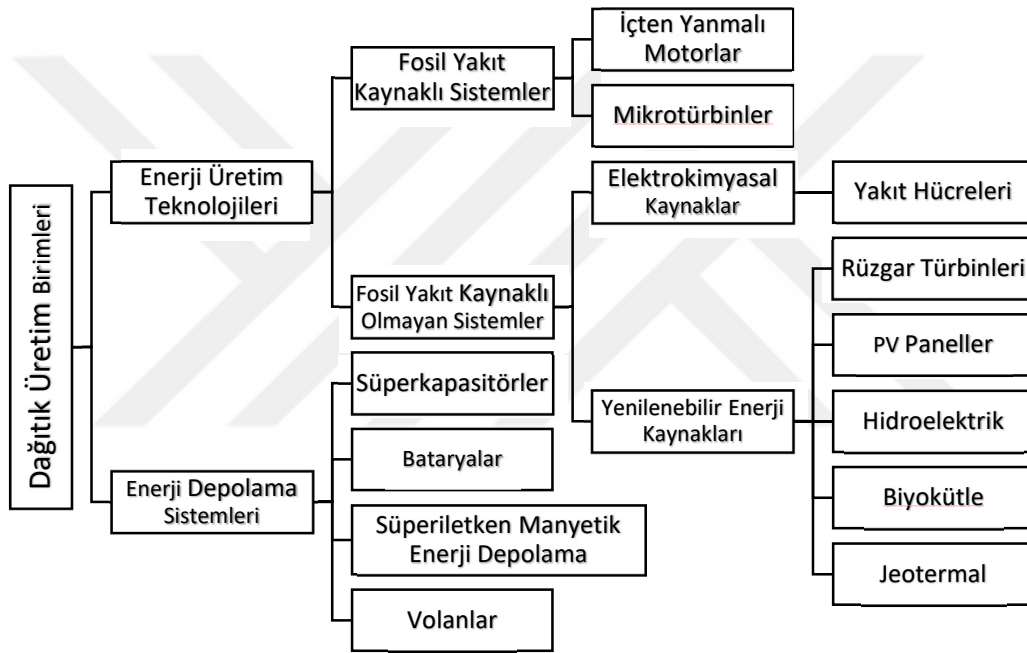
Enerji Yönetim Sistemi (EYS), DÜ birimleri arasında optimum güç tahsisinden, yükleri ekonomik olarak beslemekten, mikro şebekenin elektrik şebekesine senkronizasyonu ve yeniden senkronizasyonundan ve sistem durumunu yönetmekten sorumlu bir mikro şebeke kontrol katmanıdır. Mikro şebeke EYS, verilen mikro şebekenin güvenilir, sürdürülebilir, çevre dostu ve uygun maliyetli bir şekilde yüksek kaliteli güç sağlamasını sağlamalıdır. EYS, çeşitli DÜ birimlerini, depolama birimlerini ve yükleri koordine etmelidir. Mikro şebeke EYS, güç akışı, şebeke gücü alımları, yük dağıtımı ve DÜ/depolama birimi planlaması üzerinde mevcut en iyi kontrolleri belirlemek için yük ve enerji kaynağı tahmin verileri, müşteri bilgileri/tercihleri, politika ve elektrik piyasası bilgilerini alarak çalışır. [19]

Mikro şebekelerdeki enerji yönetimi sorunu, DÜ ve depolama birimlerinin (güç sistemi literatüründe birim taahhüdü olarak da adlandırılır) optimal dağıtımını bularak çözülür. Şebeke bağlantılı modda EYS hedefi karı maksimize etmektir [20] ve ada modunda EYS hedefi yerel yükü ekonomik olarak beslemektir [21]. Genellikle, çok amaçlı optimizasyon teknikleri kullanılarak sera gazı emisyonunun en aza indirilmesi [21,22] gibi ek hedefler düşünülebilir.

MİKRO ŞEBEKEDKİ ENERJİ KAYNAKLARI

Mikro şebekedeki enerji kaynakları esas olarak dağıtılmış enerji kaynaklarıdır ve literatürde dağıtılmış üretim (DÜ) birimleri veya mikro kaynaklar olarak da adlandırılır. Dağıtık güç üretimi, dağıtım ve iletim hattıyla tüketiciler tarafından işlenebilen ve merkezi olmayan güç üretimi olarak tanımlanmaktadır. Tablo 4.1’de dağıtık üretim tip ve teknolojileri gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Dağıtık Üretim Tip Ve Teknolojileri [23]



Mikro şebekeler için özel ilgi gören DÜ üniteleri, güç elektroniği arayüzlü küçük (<100 kW) enerji kaynaklarıdır. Mikro şebeke için geçerli olan DÜ teknolojileri, rüzgar türbini, güneş PV, mikro hidroelektrik türbini, dizelle çalışan jeneratörler, hidrojen yakıt hücreleri, küçük gaz türbinleri gibi gelişmekte olan teknolojileri ve tek fazlı ve üç fazlı asenkron jeneratörler ve IC motorları tarafından tahrik edilen senkron jeneratörler [24]. Ek olarak kombine ısı gücü (CHP) sistemleri de mikro şebekelerde çok sık kullanılmaktadır. Doğal gaz, hidrojen veya biyogaz tarafından tahrik edilen mikrotürbinler, Stirling motorları ve IC motorları gibi CHP sistemlerinde farklı türde kaynaklar kullanılmaktadır [25]. Mikro şebekeler, bu DÜ

birimlerinden iki veya daha fazlasını içerebilir. DÜ birimi tipinin seçimi, bölgenin iklimi ve topolojisi, yakıt mevcudiyeti ve ekonomik hususlar gibi birçok faktöre bağlıdır. Tablo 4.2’de DÜ için kullanılan kaynaklara yer verilmiştir.

Tablo 4.2: DÜ İçin Kullanılan Kaynaklar [26]

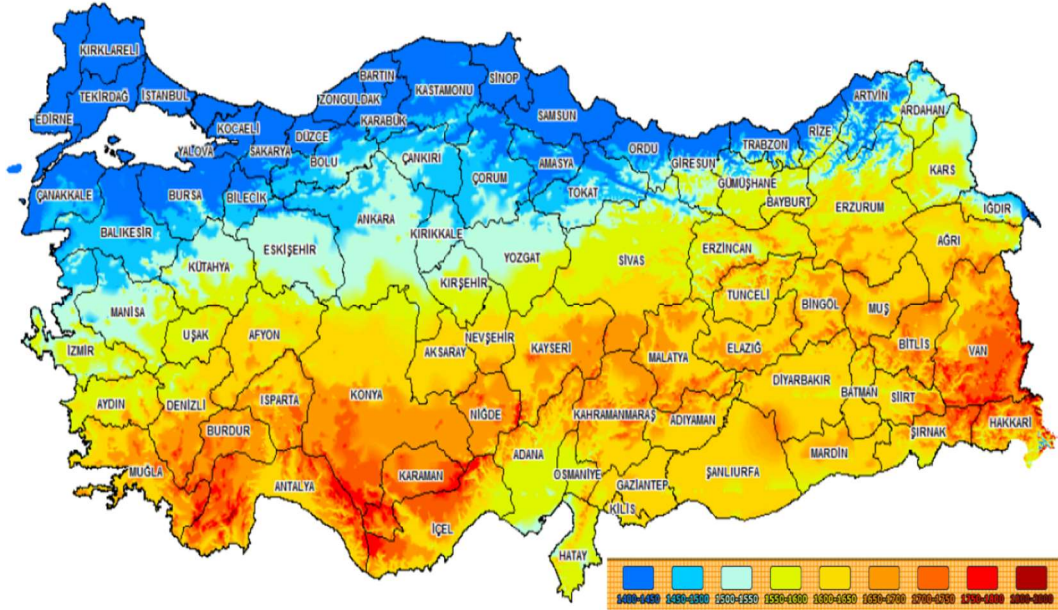
Genel Bilgiler	Uygulama Aralığı	Verim	Uygulama	Yakıt
	Dizel: 20kW _e - 10 +MW _e (IEA)	Dizel: % 36 -% 43 (IEA)	Acil veya yedek hizmetler	Dizel, ayrıca ağır fuel-oil ve bio-dizel
	Gaz: 5kW _e – 5MW _e (IEA)	Gaz: % 28 -% 42 (IEA)	CHP	Başta doğal gaz olmak üzere gazlar. Gaz, gazyağı
	1 - 20MW _e (IEA)	21%-40% (IEA)	CHP	
	30kW _e - 200kW _e (IEA) 35kW _e - 1MW _e (IEA)	25%-30% (IEA)	Güç üretimi, CHP eklenerek mümkün	Genellikle doğal gaz kullanır, ancak alev, çöplük ve biyogaz da kullanılabilir.
	1.1MW _e - 1.1MW _e (IEA) 50kW _e - 1MW _e (IEA)	% 35 -% 60 (IEA)	PEMFC: nakliye ve sabit kullanımda düşük sıcaklık uygulamaları	Metanol
	PAFC: 200kW _e - 2MW	MCFC: ±% 50-55 (IEA)		
	MCFC: 250kW _e - 2MW	PAFC: ±% 35 (IEA)	MCFC: yüksek sıcaklık	Hidrojen veya doğal gaz. CH ₄ ’ün H ₂ ’ye dönüştürülmesi, verimliliğin azalmasına neden olur.
	PEMFC: 1kW _e - 250 W _e (A)	PEMFC: ±% 35 (IEA)	Taşımacılık sektörü büyük potansiyel Pazar	
	SOFC: 1kW _e - 5MW	SOFC: ±% 50-55 (IEA)	SOFC: yüksek sıcaklıklar	
Isı üretmez.	1 kW (IEA)		Ev ve küçük ticari uygulamalar	Güneş
	20 kW (A);		Şebeke dışı uygulamalar	
Kıyı ya da karaya kurulur.	200W – 3MW (A)		Gelişmekte olan ülkeler	Rüzgar
Termal güneş enerjisi, küçük hidro, jeotermal, okyanus ...				

Tablo 4.2: DÜ İçin Kullanılan Kaynaklar [26] (devamı)

Kaynaklar	İçten yanmalı motor	Gaz türbini	Mikrotürbin	Yakıt pili	Fotovoltaik panel	Rüzgar türbini	Diğer yenilenebilir enerji çeşitleri
-----------	---------------------	-------------	-------------	------------	-------------------	----------------	--------------------------------------

4.1. Güneş Enerji (PV) Sistemi

Güneş enerjisi, fotovoltaik (PV) hücre veya basitçe güneş pili adı verilen katı hal elektrikli cihaz vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. PV hücre, ışığı doğru akım elektriğine dönüştürür ve ışık kaynağının, yapı malzemesinin ve cihaz tasarımının özelliklerinin fonksiyonu olan akım-gerilim özelliklerine sahiptir. PV hücreleri silikon, kadmiyum sülfür, kadmiyum tellür ve galyum arsenit dahil olmak üzere çeşitli yarı iletken malzemelerden yapılır. Bu yarı iletkenler genellikle tek kristalli, çoklu kristalli veya amorf formlarda PV hücresinin inşası için kullanılır. Türkiye ışınlam haritası Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Türkiye Işınlam Haritası [27]

En az ışınlam alan bölgemiz Karadeniz Bölgesidir. Marmara ile Ege Bölgesi, Karadeniz Bölgesine nazaran daha iyi ışınlam alırlar. İç Anadolu orta ışınlam bölgesi, Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerimiz ise iyi miktarda ışınlam alan

bölgelerimizdir. PV hücreler genellikle 1W ile 4W arasında güç aralığına sahip düşük güçlü cihazlardır. Tek bir PV hücresinin voltaj ve akım özellikleri göz önüne alındığında, bu cihazların genellikle düşük çıkış voltajına ve yüksek akım çıkışına sahip olduğu görülebilir. Bu nedenlerle, PV hücreleri, akım özellikleri değişmeden kalırken daha yüksek voltaj çıkışları elde etmek için genellikle PV modülleri (güneş panelleri) halinde birleştirilir. PV modülleri, çeşitli güç seviyelerinde çıktılar üretmek için oluşturulabilir.

4.1.1. PV Modelleme

Işık PV hücresine düştüğünde, hücre terminalleri yüklendiğinde veya kısa devre yapıldığında elektrik akımının akmasına neden olan şarj üretilir. Yük üretimi, gelen fotonun enerjisi yarı iletkenin kovalent elektronlarını ayırmak için yeterli olduğunda gerçekleşir. PV hücre tarafından elektrik üretiminin en temel açıklaması, güneş radyasyonunun absorpsiyonu, p-n bağlantısında serbest taşıyıcıların üretimi ve taşınması ve bu elektrik yüklerinin PV hücresinin terminallerinde toplanması olarak tanımlanabilir. Akım miktarı, gelen ışığın ışıması, PV hücre sıcaklığı ve diğer bazı faktörler tarafından belirlenir.

$$T_{s,t}^{hücre} = T_t^{ort} + SR_{s,t} \chi \left(\frac{NOT_{hücre} - 20}{0,8} \right) \quad (4.1)$$

$$I_{s,t} = SR_{s,t} \chi [I_{sc} + K_{ctc} \chi (T_{s,t}^{hücre} - 25)] \quad (4.2)$$

$$V_{s,t} = V_{ocv} - K_{vtc} \chi T_{s,t}^{hücre} \quad (4.3)$$

$$FL = \frac{V_{max} \chi I_{max}}{V_{ocv} \chi I_{sc}} \quad (4.4)$$

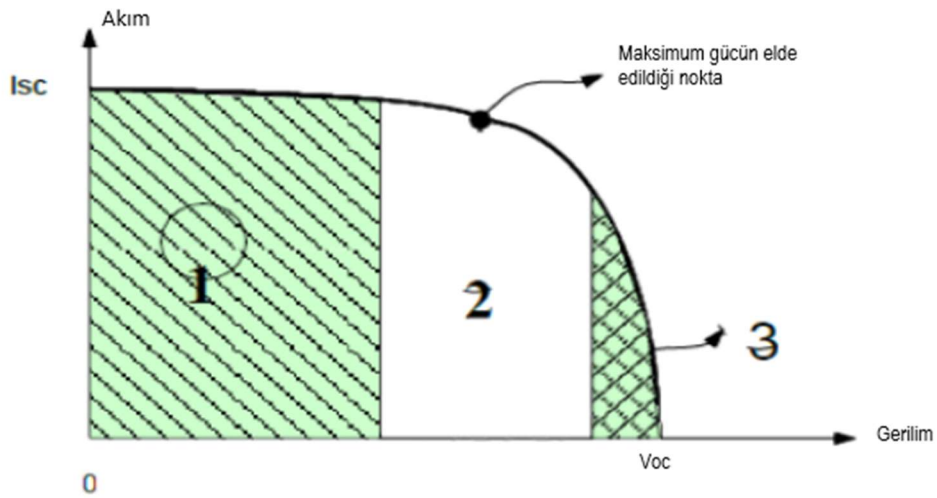
$$P_{s,t}^{pvpp}(SR_{s,t}) = N^{pv} \chi FL \chi V_{s,t} \chi I_{s,t} \quad (4.5)$$

Yukarıdaki eşitliklerdeki, $T_{s,t}^{hücre}$, güneş panelinin t. zaman ve s. senaryodaki sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T_t^{ort} , t. zamandaki bölgenin sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), $SR_{s,t}$, t. zaman ve s. senaryodaki güneş radyasyonunu (kW/m^2), $NOT_{hücre}$, güneş panelinin nominal işletim sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), I_{sc} , güneş panelinin kısa devre akımını (A), K_{ctc} , güneş panelinin akım sıcaklık katsayısını ($\text{A}/^{\circ}\text{C}$), V_{ocv} , güneş panelinin açık devre gerilimini (V), K_{vtc} , güneş panelinin gerilim sıcaklık katsayısını ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$), FL , güneş

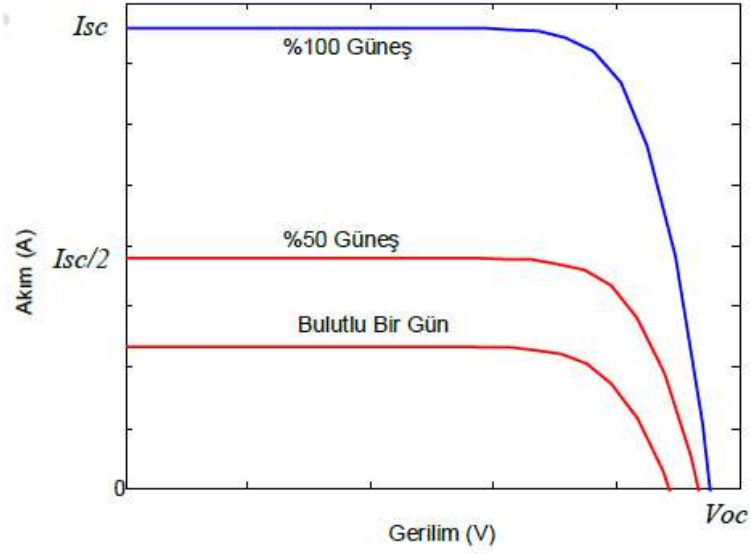
panelinin doldurma faktörünü (fill factor), V_{max} , güneş panelinin maksimum güç noktasındaki gerilimini (V), I_{max} , güneş panelinin maksimum güç noktasındaki akımını (A), N^{pv} , GES'deki güneş panelleri sayısını, $P_{s,t}^{pvpp}$, GES'nin t. zaman ve s. senaryodaki çıkış gücünü (MW) göstermektedir. Nominal işletim sıcaklığı, güneş panellerinin, 800 W/m^2 ışınlım, 1 m/s rüzgâr hızı ve $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam koşullarındaki sıcaklığıdır.

4.1.2. Akım-Gerilim Karakteristiği

Bir fotovoltaik hücrenin elektriksel karakteristiği I-V karakteristiği ile temsil edilir. Ayrıca panellere ait I-V eğrileri ışınlım miktarına göre farklılık gösterir. Işınlım miktarının değişmesinin açık devre geriliminin değişimine etkisi çok azken akım değişimine etkisi gözle görülür derecede fazladır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te I-V karakteristiği ve ışınlım miktarının etkileri görülmektedir.



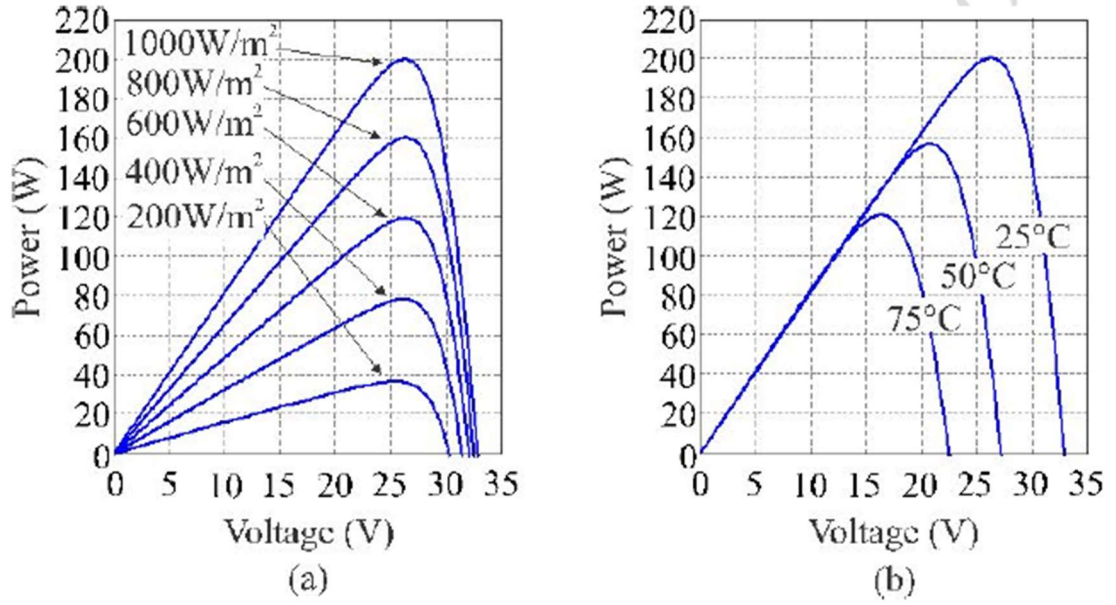
Şekil 4.2: I-V Karakteristiği [28]



Şekil 4.3: Işınım Miktarının Etkileri [28]

4.1.3. Güç – Gerilim Karakteristiği

Fotovoltaik panel çıkış gücü gerilime, ışıınıma ve hücre sıcaklığına göre değişkenlik gösterir. Fotovoltaik panellerin çıkış gücü eğrileri incelendiğinde en yüksek güç değerini aldıkları gerilim noktaları vardır. Ayrıca elektrik üreticileri ışıınım ve hücre sıcaklığı ne olursa olsun panel çıkış uçlarındaki gerilim bu aralıktaymış gibi çalıştırmak ister. Çünkü maksimum güç, o aralıkta elde etmeleri mümkündür. Buna da MPPT (Maksimum Power Point Tracking) denir. Şekil 4.4'te güç gerilim karakteristiği gösterilmiştir.

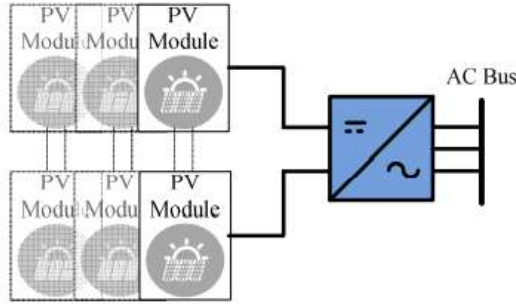


Şekil 4.4: Güç-Gerilim Karakteristiği a)Işınımına göre b)Sıcaklığa Göre[28]

4.1.4. Ortak PV Sistem Konfigürasyonları

Mevcut PV sistemleri, birkaç olası sistem konfigürasyonunu ortaya çıkarır. Bu konfigürasyonlar aşağıdaki gibidir;

4.1.4.1. Merkezi Konfigürasyon

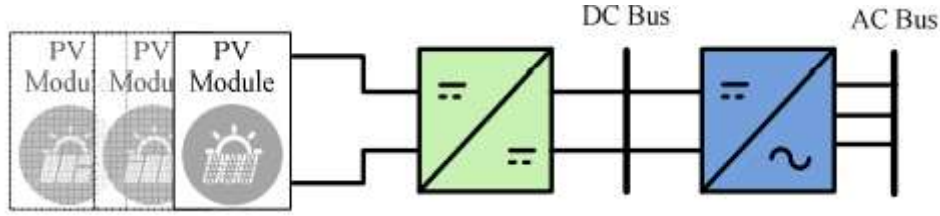


Şekil 4.5: Merkezi Konfigürasyon [45]

Merkezi konfigürasyonda güneş panelleri, daha fazla voltaj amplifikasyonunu önlemek için DC voltajının yüksek değerine ulaşmak için seri bağlanmış PV panellerinden oluşan bir diziye bağlanır. Daha sonra, yüksek güç seviyelerine ulaşmak için birden fazla dizi, sting diyotlar aracılığıyla paralel olarak bağlanır. Şebekeye bağlı merkezi PV sistemlerinde, PV panelleri, merkezi invertör aracılığıyla AC baraya bağlanır. Merkezileştirilmiş bir konfigürasyon, merkezileştirilmiş MPP takibinden kaynaklanan güç kayıpları, PV paneli uyumsuzluğu ve dizi diyotlarındaki kayıplar nedeniyle esnek değildir ve

verimsizdir. PV sisteminin bu konfigürasyonu, mikro şebeke entegrasyonu için tercih edilmez.

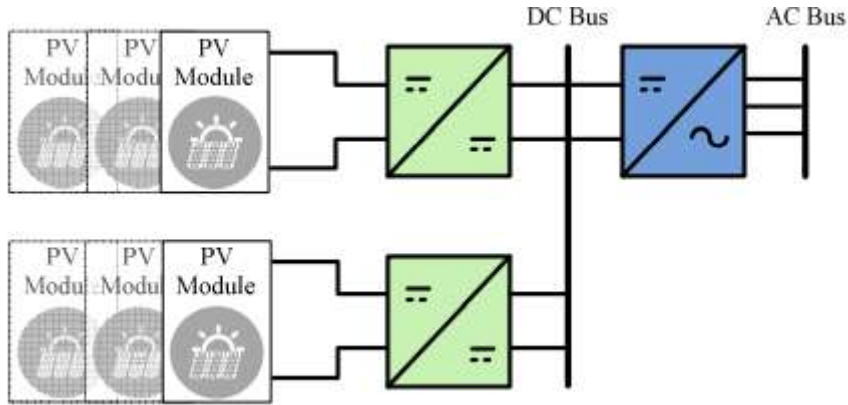
4.1.4.2. Dizi Konfigürasyonu



Şekil 4.6: Dizi Konfigürasyonu [45]

Bir PV sisteminin dizi konfigürasyonu, AC baraya entegrasyonu için her bir PV paneli dizisinin ayrı bir invertöre bağlı olduğu merkezi konfigürasyonun modifikasyonudur. Bu konfigürasyon hala yüksek giriş voltajı sağlar, bu nedenle voltaj amplifikasyonundan kaçınılabilir. Voltaj amplifikasyonu gerekliyse, inverterden önce ek DC-DC dönüştürücü eklenebilir. Dizi diyotlarının olmaması ve bir dizi için geliştirilmiş MPP izleme performansı nedeniyle genel verimlilik iyileştirmeleri açıktır.

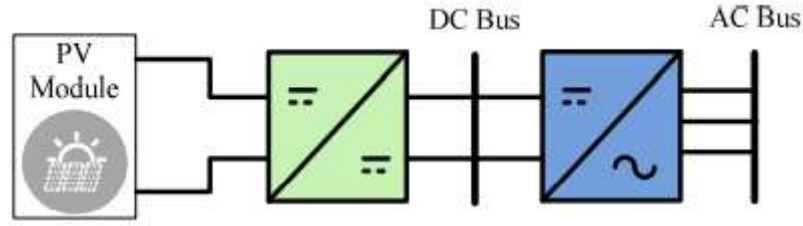
4.1.4.3. Çok Dizili Konfigürasyon



Şekil 4.7: Çok Dizili Konfigürasyonu [45]

Çok dizili bir konfigürasyon, dizi konfigürasyonunun değiştirilmiş versiyonudur. Çok dizili bir konfigürasyonda, birkaç dizi ayrı DC-DC dönüştürücü ile ortak bir invertöre bağlanır. Her dizi ayrı ayrı kontrol edilebilir ve diziler ile AC bara arasında güç ayrıştırması sağlanır. PV sisteminin bu konfigürasyonu, merkezi konfigürasyona kıyasla esnek, kolayca genişletilebilir ve verimlidir. Bu yapılandırma, mikro şebeke uygulaması için uygundur.

4.1.4.4. Modüler Konfigürasyon

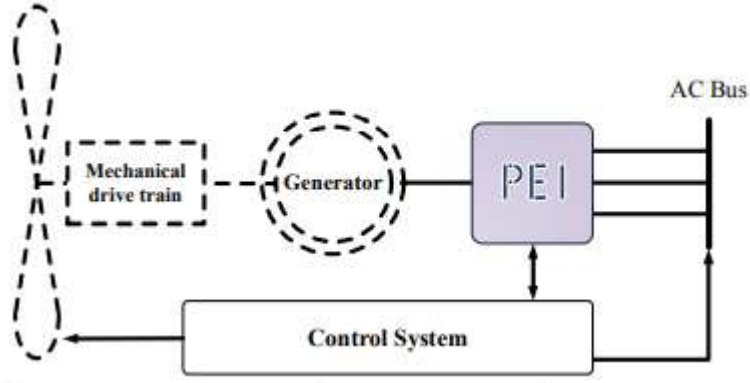


Şekil 4.8: Modüler Konfigürasyonu [45]

Bir PV sisteminin modüler konfigürasyonunda, her PV paneli bir invertör ile bağlanmıştır. Bu konfigürasyon, her panel için ayrı ayrı MPP takibi tasarlama fırsatı verir ve bu da sistemin verimliliğini artırır. Bu tür bir sistem kolayca genişletilebilir ve tak-çalıştır özelliğine sahiptir. Ana dezavantaj, yüksek voltaj amplifikasyonu gerekliliği nedeniyle tasarım karmaşıklığıdır. Bu yapılandırma, mikro şebeke uygulaması için idealdir.

4.2. Rüzgar Enerjisi Santrali (RES)

RES sisteminin genel yapısı aşağıda Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri, rüzgar türbini kullanarak rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. Rüzgar türbini birçok farklı konfigürasyonda gelir, en yaygın olarak kullanılan üç kanatlı yatay rüzgar türbini. Farklı mekanik konfigürasyonlara rağmen, elektrik üretimi amacıyla kullanılan rüzgar türbini her zaman bir elektrik jeneratörüne bağlıdır. Jeneratör tipi, verimlilik, entegrasyon karmaşıklığı ve maliyet açısından genellikle tasarımcının tercihidir. Mekanik aktarma organları, türbin ve jeneratör arasına yerleştirilir ve hareketin iletilmesi amacına hizmet eder. Kullanılan jeneratör tipine bağlı olarak, mekanik aktarma organları karmaşıklığı değişir. Değişken hızlı türbinler, aktarılacak güç miktarını kontrol etmek için bir kanat eğim açısı kontrolü içerir. Bu sistemlerdeki güç elektroniği arayüzü, jeneratörün çıkışından AC baraya güç iletme veya sistemde depolama elemanlarının uygulanması yoluyla depolama işlevine sahiptir. Kontrol sistemi, kanat hatve sistemini kontrol etme, güç elektroniği arayüzüne gerekli kontrol sinyallerini sağlama, ilgilenilen değişkenleri ölçme ve gerektiğinde üst ve alt seviye kararlar verme işlevine sahiptir.



Şekil 4.9: RES Genel Yapısı

Halihazır kullanımda olan rüzgar türbinlerinin kapasiteleri birkaç kW ile 2 MW arasında değişmektedir ve hatta daha büyükleri inşa edilmektedir. Yeni rüzgar türbinlerinde önemli bir değişiklik, jeneratörün rüzgar gücü girdisini kontrol etmenin mümkün olduğu, hatve kontrollü kanatların tanıtılmasıdır. Bu sistemler genel sınıflandırmada değişken hızlı rüzgar türbini sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Sabit hızlı rüzgar türbini sistemleri de mevcuttur; ancak bu sistemler, düşük verimlilikleri ve kontrol esnek olmamaları nedeniyle daha az popülerdir. Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması [29]

RÜZGAR TÜRBİNLERİ	EKSENLERİNE GÖRE	YATAY EKSENLİ
		DİKEY EKSENLİ
	DEVİR DURUMUNA GÖRE	DÜŞÜK DEVİRLİ
		YÜKSEK DEVİRLİ
	ÇIKIŞ GÜCÜNE GÖRE	KÜÇÜK
		ORTA
		BÜYÜK
		ÇOK BÜYÜK
	KANAT SAYISINA GÖRE	TEK KOLLU
		ÇİFT KOLLU
		ÜÇ KOLLU
		ÇOK KOLLU
	RÜZGAR ETKİSİNE GÖRE	ÖNDEN RÜZGAR ALAN
		ARKADAN RÜZGAR ALAN
	DİŞLİ ÖZELLİKLERİNE GÖRE	DİŞLİ KUTULU
		DİŞLİ KUTUSUZ
	KURULUM YERİNE GÖRE	ON-SHORE
		OFF-SHORE

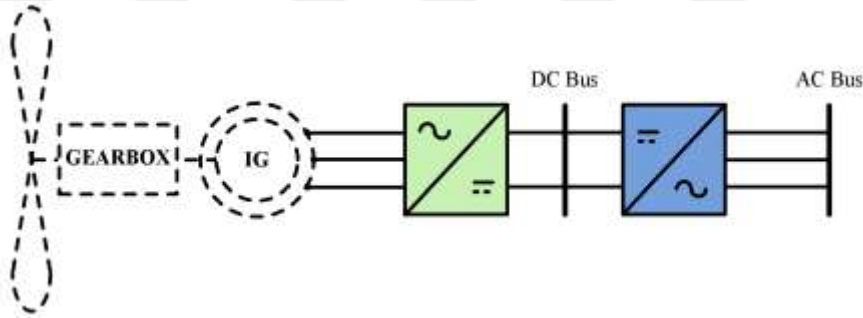
Şekil 4.10’da Dikey eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir.



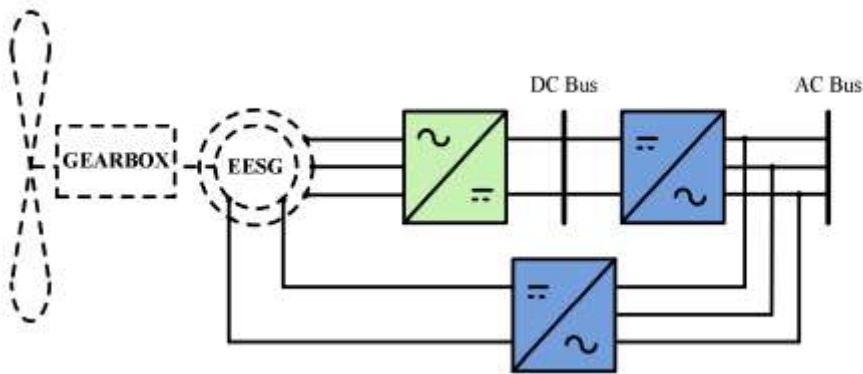
Şekil 4.10: Dikey Eksenli Rüzgar Türbini [29]

4.2.1. RES Sistem Konfigürasyonları

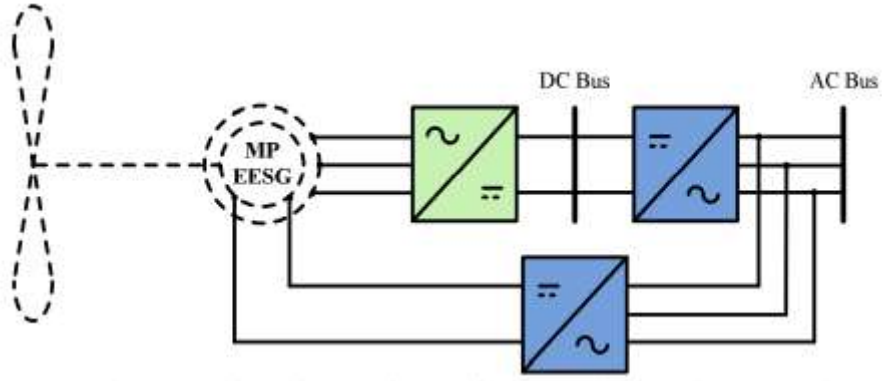
Modern RES sistemlerinin çoğu, değişken hızlı rüzgar türbinleri kullanılarak inşa edilmiştir. Değişken hızlı rüzgar türbinlerinin sabit hızlı rüzgar türbinlerine göre artan güç üretimi, daha az dalgalanma ile güç iletimi ve rüzgar hızı veya torku değişirse hızlarını artırma veya azaltma gibi birçok avantajı vardır, bu da şaft, şanzıman ve aktarma organlarındaki diğer bileşenlerde daha az aşınma ve yıpranma sağlar.[30] Değişken hızlı rüzgar türbinleri, yapılarında sabit mıknatıslı senkron jeneratörler (PMSG), elektrikle uyarılan senkron jeneratörler (EESG), asenkron jeneratörler (IG) ve çift beslemeli asenkron jeneratörler (DFIG) olmak üzere birkaç farklı türde jeneratörü bünyesinde barındırabilir. Güç elektroniği dönüştürücüleri aracılığıyla mikro şebekeye elektronik olarak bağlanır. Çeşitli rüzgar türbini yapıları Şekil 4.11-4.15 de' gösterilmiştir.



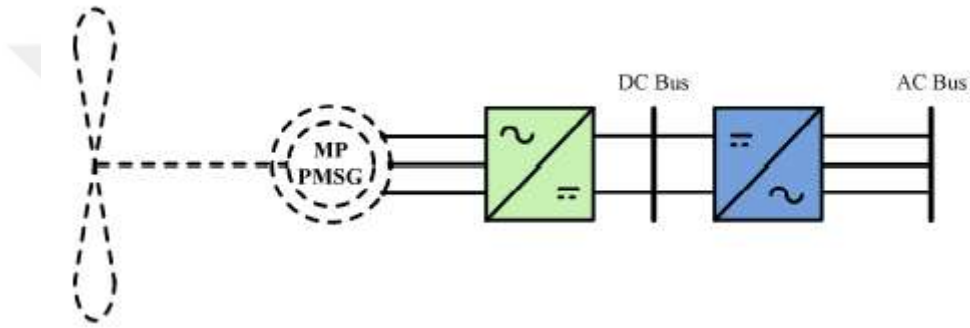
Şekil 4.11: Asenkron Jeneratörlü RES Yapısı



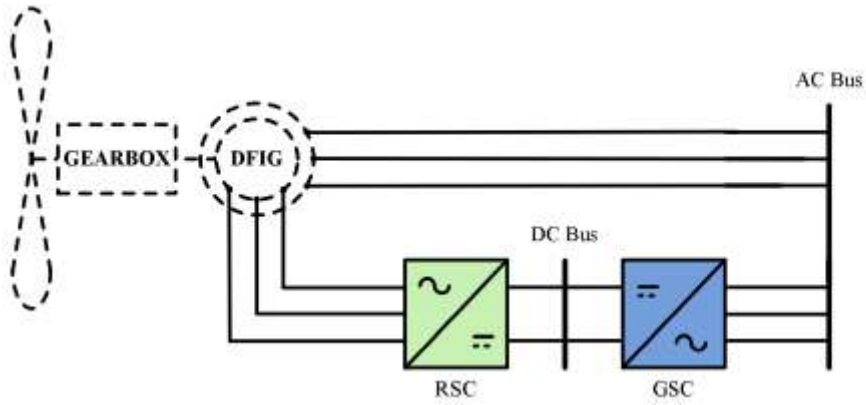
Şekil 4.12: Elektrik Uyarımlı Senkron Jeneratörlü RES Yapısı



Şekil 4.13: Çok Kutuplu Elektrik Uyarımlı Senkron Jeneratörlü RES Yapısı



Şekil 4.14: Çok Kutuplu Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörlü RES Yapısı



Şekil 4.15: Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörlü RES Yapısı

4.2.2. Rüzgar Türbini Güç Üretimi

Rüzgar türbininin aerodinamik modeli normalde hem türbülans hem de kararlı durum davranışını dikkate alır. Bununla birlikte, güç elektroniği ve kontrol sistemi

tasarımı amaçları için güç çıkışı karakteristiklerini elde etmek için sadece kararlı durum davranışı dikkate alınır, yani ortalama güç çıkışı, ortalama rüzgar hızı tarafından belirlenir. Rüzgar türbininin mekanik güç çıkışı aşağıdaki bağıntı ile açıklanabilir;

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 C_p(\lambda, \beta) v_R^3 \quad (4.6)$$

Burada ρ hava yoğunluğu, r rotor kanat yarıçapı ve v_R ortalama rüzgar hızıdır. (4.6)'da $C_p(\lambda, \beta)$ parametresi güç katsayısını temsil etmektedir. Bu katsayı, uç hız oranı, λ ve kontrol edilebilir adım açısı β 'nin fonksiyonudur. Bu katsayı, belirli koşullar altında çıkarılabilecek maksimum gücü belirler. İdeal durumda bu katsayı 0,5926, yani rüzgardaki mevcut gücün %59,26'sı çıkarılabilir. Bu limit Betz limiti olarak bilinir. Güç katsayısı C_p belirli bir türbin tasarımı ve ortam koşulları için hesaplanabilir, ancak bu parametrenin hesaplanmasında en yaygın olarak kullanılan formül 3 kanatlı değişken hızlı türbin içindir [45]

$$C_p(\lambda\beta) = 0,73 \left[\frac{151}{\lambda_i} - 0,58\beta - 0,002\beta^{2,14} - 13,2 \right] e^{\frac{-18,4}{\lambda_i}} \quad (4.7)$$

$$\lambda_i = \frac{1}{\frac{1}{\lambda + 0,02\beta} - \frac{0,03}{\beta^3 + 1}} \quad (4.8)$$

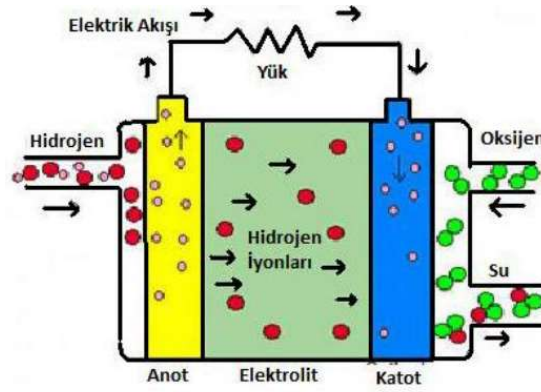
$$\lambda = \frac{w_r r}{v_R} \quad (4.9)$$

w_r : Rotor hızı

4.3. Yakıt Hücresi Sistemi

Yakıt pili, kimyasal enerjiyi bir yakıttan kimyasal reaksiyon yoluyla elektriğe dönüştüren bir cihazdır. Yakıt hücresi, matris şeklinde düzenlenmiş iki elektrot -bir anot ve bir katot- ve bir elektrolitten oluşur. Yakıt pilinin çalışması, çalışma piline benzer, ancak pil reaktanlarında ve ürünler depolanırken yakıt hücresinde sürekli olarak hücreye beslenirler. Çalışma sırasında anoda hidrojen, katoda hava beslenir, elektrik üretmek için elektrotlarda elektrokimyasal oksidasyon ve indirgeme gerçekleşir. Üretilen güç DC doğasına sahiptir. Isı ve su, üretim sürecinin yan ürünleridir.

Hidrojen kullanan yakıt hücrelerinin geleneksel jeneratörlerle karşılaştırıldığında birçok avantajı vardır; kW başına daha az CO₂ ve NO_x yayarlar, çevre dostudurlar, yakıt hücreleri gürültüsüz ve titreşimsizdir, çünkü hareketli parçaları yoktur, sağlam bir yapıya sahiptirler ve az bakım gerektirirler. Doğal gaz, propan, çöp gazı, anaerobik çürütücü gaz, dizel, metanol ve hidrojen gibi çeşitli yakıtları kullanan birçok farklı yakıt hücresi türü vardır. Ancak hidrojen en yaygın yakıttır çünkü kolayca depolanabilir ve taşınabilir, verimli ve çok yönlüdür. Şekil 4.16'da yakıt hücresi çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Yakıt Hücresi Çalışma Prensibi [31]

Tablo 4.4'te yakıt hücresi tipleri, uygulama alanları ve genel özellikleri ile ilgili bilgileri içermektedir.

Tablo 4.4: Yakıt Hücresi Çeşit Ve Özellikleri [32]

TİP	UYGULAMA ALANLARI	ELEKTROKİMYASAL ORTAM VE SICAKLIK	KARAKTERİSTİK
PEMFC	Binalar, şarj edilebilir piller ve içten yanmalı otomobil motorları için yedek parçalar	İki yüksek oranda dağılmış metal alaşımlı parçacık (çoğunlukla platin) elektrotlar arasında bulunan ince katı proton iletken bir membrandır. Polimer membran kullanılır. H + iyonu anottan suyun salındığı katoda taşınır. Diğer FC'lere göre nispeten düşük çalışma sıcaklığı olarak kabul edilen 80 °C civarında çalışır.	Metalik olmayan yapı donanımına sahip olduğu için düşük ağırlıklı kompakt boyuttadır. Katı elektrolit kullanımı korozyonu azaltır. Çok yüksek güç yoğunluğu sağlar ve verimliliği% 50'ye ulaşır. Esnektir; çıktı, güç talebindeki değişiklikleri karşılamak için hızlı bir şekilde değişebilir.

Tablo 4.4: Yakıt Hücresi Çeşit Ve Özellikleri [32] (devamı)

TİP	UYGULAMA ALANLARI	ELEKTROKİMYASAL ORTAM VE SICAKLIK	KARAKTERİSTİK
AFC	NASA uzay uylamaları için kullanır. Ticari uygulamalar için pahalıdır.	Elektrolit olarak alkali potasyum hidroksit kullanır. 120 °C'nin altında çalışır. Negatif yüklü iyon, suyun salındığı katottan anoda taşınır	Verimliliği% 70'lere ulaşır.
MCFC	Halen ticari öncesi durumdadır. Elektrik hizmetlerinin kullanıldığı FC'lerin örnekleri Santa Clara, CA, ABD'de 1,8 MW ve Kawagoe, Japonya'da 1MW'dir.	Alkali karbonat elektrolit ve nikel ve nikel oksit elektrotlarının sıvı bir karışımını kullanır. Negatif yüklü iyon, katottan suyun salındığı anoda taşınır. 650 C'de çalışır ve dolayısıyla reformer işlemini FC'nin içine dahil edebilir.	Testler yüksek verimlilik değerleri vaat ediyor. Ucuz katalizörler kullanıldı.
SOFC	Halen ticari öncesi durumdadır ve elektrik hizmetleri tarafından şu amaçlarla kullanılmaktadır: Endüstriyel ve büyük merkezi elektrik üretim tesisleri dahil yüksek güç uygulamaları. Otomobil endüstrisi.	Oksijen iyonu ileten katı gözeneksiz seramik kullanır. Negatif yüklü iyonlar, katottan suyun salındığı anoda taşınır. Sıvı elektrolit yerine sert bir seramik malzeme kullanarak sıcaklığı 1000 °C'ye kadar ulaşır, bu nedenle FC içindeki reformer işlemini birleştirebilir.	Verimliliği% 58'e kadar ulaşabilir. Ucuz katalizörler ve katı elektrolitler kullanıldı.
DMFC	Taşıyabilir güç uygulamalarında pilleri değiştirmek için kullanılır.	PEMFC'ye benzer bir polimer membran elektroliti kullanır. Bununla birlikte, katalizör anot, H ₂ 'yi sıvı metanolden çekerek bir yakıt dönüştürücü ihtiyacını ortadan kaldırır.	Verimliliği 60 °C'de yaklaşık% 40'tır ve daha yüksek sıcaklıklarda daha yüksek olabilir.

4.4. İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motor, pistonlu motor olarak da bilinir. İçten yanmalı bir motorlar doğal gaz, dizel, biyodizel, biyoyakıtlar vb. dahil olmak üzere çeşitli yakıtları yakabilir. Pistonlu motor, kompakt boyutu, geniş güç çıkış aralığı ve yakıt tercihleriyle, uzak yerlerde birincil gücü sağlamak için ideal bir ana taşıyıcı veya daha genel olarak mobil ve acil durum veya yedek elektrik gücü sağlamak için kullanılan motorlardır. Pistonlu motorların güç üretim ölçekleri, 1 kVA'dan birkaç on MVA'ya kadar farklıdır [33].

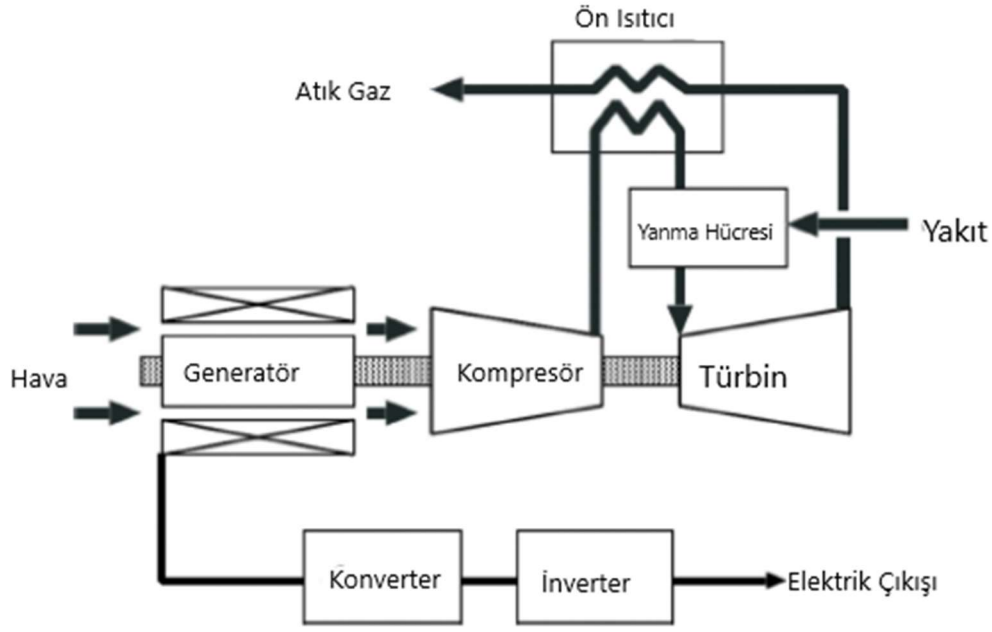
DÜ uygulaması durumunda, pistonlu motor tüm birleşik ısı ve güç sistemleri arasında en düşük maliyeti, yüksek verimliliği, tam yüklere 10–15 s gibi kısa başlatma sürelerini ve yüksek güvenilirliği sağlarken çevreye zararlı olabilecek emisyon kirleticileri (örn. NOX, CO, SOX, vb.) üretir.

4.5. Mikrotürbinler

Mikrotürbinler, DÜ'nin en iyi sistemlerinden biridir. Mikrotürbinler, düşük (ilk) maliyet, çok yakıtlı, güvenilir ve hafif olma avantajlarına sahiptir. Ayrıca mikrotürbinler, elektrik enerjisinin yanı sıra ısı enerjisi de üreten kojenerasyon sistemi sunar. Bu özellik otellerin, hastanelerin, süpermarketlerin vb. enerji sistemleri için uygundur. Mikrotürbinler, elektrik enerjisini doğal gaz kullanarak üretmesine rağmen, çevresel bir faydaya, yani düşük nitrojen dioksit emisyonuna sahiptir. Ancak mikrotürbinlerin enerji verimliliği pistonlu motorlardan daha düşüktür [34].

4.5.1. Çalışma Şekli

- Kompresör dış havayı sıkıştırır.
- Basınçlı hava, reküperatördeki egzoz gazı tarafından ısıtılır.
- Isınan hava doğal gazla birleştirilir. Daha sonra karıştırılan gaz yakıcıya yanar.
- Yanma gazı, kinetik enerjiyi üreten türbine akar. Türbin çıkış gücü hem jeneratör hem de kompresör için kullanılır.
- Jeneratörün çıkış gerilimi yüksek frekansa kapatıldığı için dönüştürücü tarafından DC gerilime çevrilir. DC voltajı daha sonra inverter aracılığıyla AC voltajına dönüştürülür ve çıkış gücü tüketicilere gönderilir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: Mikrotürbin Yapısı [23]

4.6. Enerji Depolama Sistemi

Mikro şebekede kullanılan dağıtık üretim kaynakları, nispeten düşük üretim kapasitesine sahiptir ve belirtilen güç gereksinimlerine göre uygun formda güç üretmek için çıkışlarında elektronik dönüştürücüler kullanır. Büyük dönen kütleye ve sönümlemeye sahip dönen elektrikli makinelerin hakim olduğu geleneksel üretim sistemleriyle karşılaştırıldığında, DÜ ünitelerinin dönen kütlesi ve sönümü küçüktür veya hiç yoktur. Diğer bir deyişle, DÜ kaynakları ataletsiz üretim sistemleri olarak düşünülebilir. DÜ kaynaklarının bu özelliği, aşırı gerilim veya güç uyumsuzluğuna etkin bir şekilde yanıt vermelerini engeller. Enerji depolama sistemleri, mikro şebekede bu sorunlara etkili bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji depolama sistemleri, güç güvenilirliğini ve genel mikro şebeke sistem kararlılığını artırmak amacıyla, geleneksel üretim sisteminde doğal olarak bulunan atalet etkisini simüle etmek için kontrol edilebilir.

Enerji depolama sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre eden mikro şebekelerde özellikle önemli bir rol oynamaktadır, çünkü bu kaynaklar çevresel koşullardan büyük ölçüde etkilenir ve güç çıktılarının tahmin edilmesi zordur. Yenilenebilir enerji sistemlerinin aralıklı güç dağıtımı, mikro şebeke sisteminin genel güç güvenilirliği ve kararlılığı üzerinde zayıf bir etkiye sahiptir. Mikro

şebekelerde gücün kesintili ve kararsız olmasıyla ilgili sorunları azaltmak için uygun şekilde tasarlanmış enerji depolama sistemleri kullanılır.

Mikro şebekelerde en çok kullanılan enerji depolama sistemleri türleri; süper kapasitörler, piller, süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri, volanlarda kinetik enerji depolama ve hidrojen bazlı enerji depolamadır.

Piller, enerjiyi elektrokimyasal biçimde depolayan cihazlardır. Bunlar, sızdırmaz kap içinde bir araya getirilmiş ve dış yüke bağlanmış iletken elektrotlar ve elektrolit içeren seri ve paralel bağlanmış hücrelerden oluşur. Piller, piyasada bulunan en yaygın kullanılan enerji depolama sistemleridir. Boyutları ve kapasiteleri 100W ile birkaç MW arasında değişmektedir. Piller, şarj ve deşarj işlemlerine hızlı yanıt verir. Bununla birlikte, deşarj hızı kimyasal reaksiyonlar ve pil tipi ile sınırlıdır. Mikro şebekelerde kullanılan pil türleri kurşun-asit, nikel-demir, nikel-kadmiyum, nikel metal hidrit ve lityum iyondur. Ortalama verimleri %60-80 arasındadır.[35]

Süper kapasitörler aynı zamanda ultra kapasitörler veya çift katmanlı kapasitörler olarak da bilinir, enerjiyi doğrudan kimyasal reaksiyon olmadan depolayan ve kısa tepki süresine sahip depolama cihazlarıdır. Bu cihazlar, normal elektrolitik kapasitörlere kıyasla çok daha yüksek enerji yoğunluğuna ve kapasitansa sahiptir. Süper kapasitör oluşturan hücreler, 5F ile 2700F arasında kapasitans değerlerine ve 2V-4V arasında anma gerilimine sahiptir. Düşük çıkış voltajı nedeniyle hücreler paralel ve seri bağlanarak istenilen voltajda bir modül oluşturulur. Bu cihazlar nispeten pahalıdır, ancak diğer depolama sistemlerine kıyasla çok kısa sürede büyük miktarda enerjiyi emip salma konusunda rakipsiz bir özelliğe sahiptirler. Bu teknolojiye yeni trendler, geçici yüksek tepe güç talepleri için süper kapasitörlerin kullanımı, diğer depolama teknolojileriyle entegrasyon ve yüksek voltaj uygulamalarının geliştirilmesidir.[36]

Volan, enerjiyi kinetik enerji şeklinde depolayan elektromekanik bir cihazdır. Dönen kütle elektrik makinesine bağlanmıştır. Elektrik makinesi motor olarak kullanılır ve sistemde fazla enerji bulunduğunda kinetik enerjiyi depolamak için volanı döndürür. Güç kesintilerinde volandan aynı mekanizma ile enerji çekilir, bu sefer jeneratör olarak sadece dönen makine kullanılır. Volanlar, düşük hız-büyük atalet ve yüksek hız-küçük atalet olarak sınıflandırılır. Bu depolama sistemleri nispeten yüksek verimliliğe (yaklaşık %80), düşük çevrim ömrüne, geniş çalışma

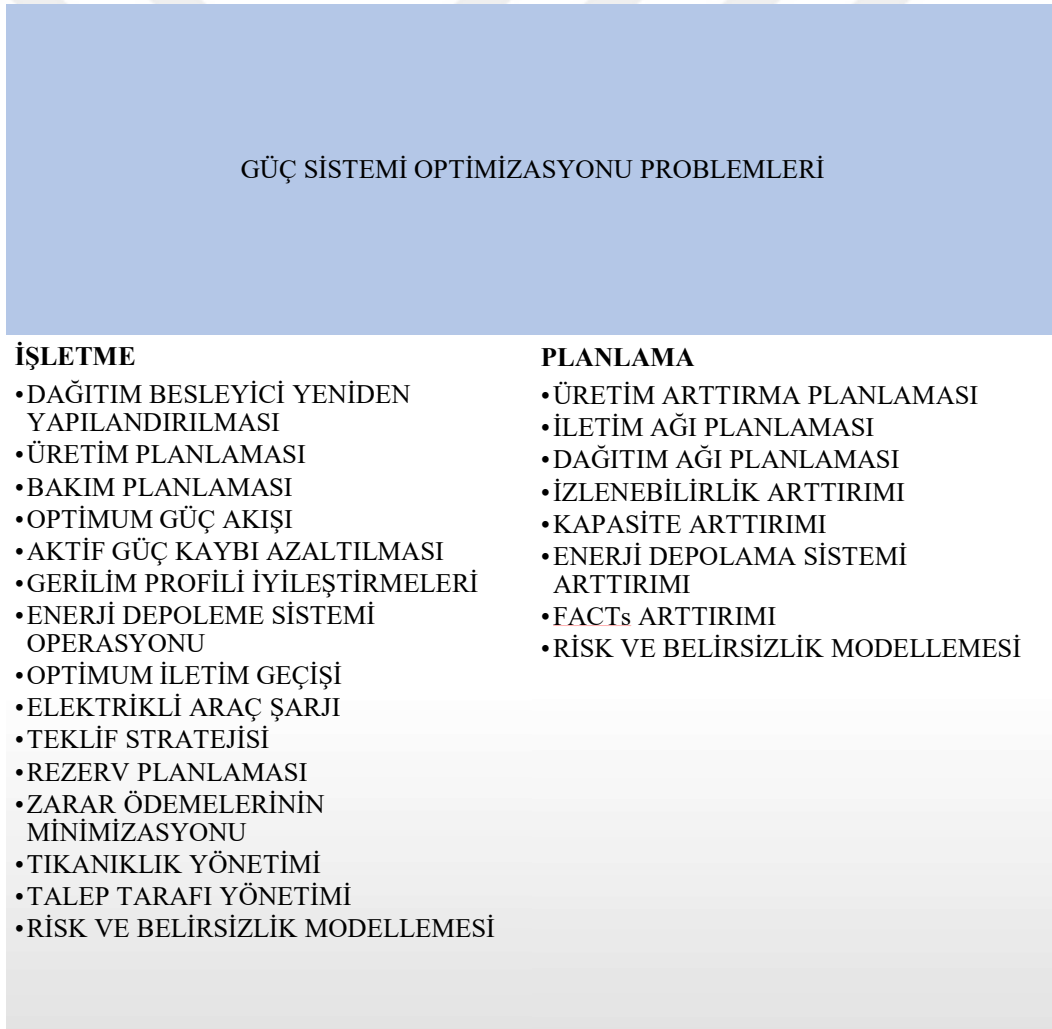
sıcaklığı aralığına ve yüksek güç/enerji yoğunluğuna sahiptir. [37-40] Volan sistemlerinin dezavantajları büyük boyutlar, yüksek bekleme kaybı ve gürültü kirliliğidir.

Süperiletken manyetik depolama sistemleri, düşük sıcaklıkta süperiletken bobinde DC akımın enjekte edilmesiyle oluşturulan manyetik alanda enerji depolar. Bu sistemin direnç kayıpları küçüktür ve verimleri yüksektir (%95 civarında).[35] Bu sistemlerde enerjinin şarj veya deşarjı sırasında çok kısa zaman gecikmesi vardır. Çıkış gücü neredeyse anında ve büyük miktarlarda mevcuttur. Bu sistemlerin ana dezavantajı, soğutma ve pahalı bobin telleri nedeniyle maliyetleridir.

Hidrojen bazlı enerji depolama sistemlerinde fazla enerji, sudan hidrojen üretmek ve depolamak için kullanılır. Bu sistem su elektrolizör sistemi, güç dönüşüm sistemi, hidrojen depolama sistemi ve yakıt hücresinden oluşmaktadır. Yakıt pili daha önce DÜ kaynağı olarak açıklanmıştır ve enerjinin kimyasal reaksiyondan elektrik enerjisine dönüştürülmesi çok önemlidir. Elektrolizör ve yakıt hücresi, sırasıyla %60 ve %70 gibi nispeten düşük verimliliğe sahiptir [41], bu nedenle bu tür depolama sisteminin toplam verimliliği %40-45 arasında bir yeredir.

GÜÇ SİSTEMİNDE OPTİMİZASYON SORUNLARI

Güç sistemi optimizasyon problemleri genel olarak işletme ve planlama problemleri olarak kategorize edilir. İşletme sorunları genellikle mevcut cihazlardan/elektrik santrallerinden nasıl yararlanılacağı ile ilgilidir. Örneğin, optimum güç akışı bir çalışma problemidir. Planlama sorunları genellikle bazı varlıklara yatırım yapılıp yapılmayacağını araştıran sorunları ifade eder. Örneğin iletim şebekesinin genişletilmesine ilişkin kararlar planlama kategorisine aittir. Bu sorunlardan bazıları Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Güç Sisteminde Bazı Optimizasyon Problemleri [42]

GENEL CEBİRSEL MODELLEME SİSTEMİ (GAMS)

GAMS (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi) matematiksel programlama ve optimizasyon için tasarlanan yüksek seviyeli bir dildir. Doğrusal, doğrusal olmayan, karma tam sayılı optimizasyon problemleri modellenebilir. Büyük, karmaşık problemler modellenebilir.

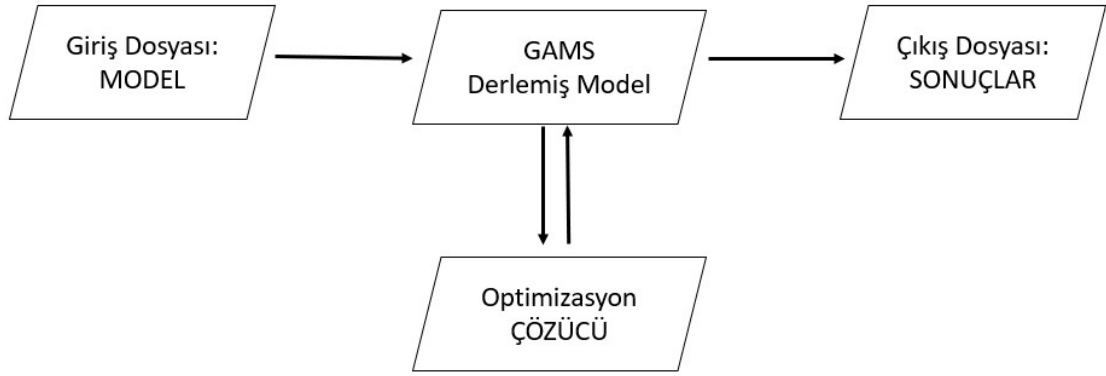
GAMS programının çalışması genel olarak Şekil 6.1'deki gibi gösterilebilir. Güç sistemlerinde optimizasyon problemlerinin çözümünde genellikle klasik ve sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Klasik yöntemlerin çoğu gradyan temelli tekniklerdir.

Klasik Optimizasyon Metotlarının bilinen bazı üstünlükleri;

- (i)Algoritma başarılı olarak sonuca ulaştığında bulunan çözümün optimum olması,
- (ii)Çözüm aralığının alt ve üst sınırlarındaki optimum çözüme götüren bilgilerin elde edilebilmesi,
- (iii)Optimum çözümün olmadığı bölgeleri elemine edebilmesidir.

Klasik Optimizasyon Metotlarının belirlenen bazı yetersizlikleri;

- (i)Genelde küçük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılması,
 - (ii)Fazla hafıza kullanımının programın erken sonlandırılmasına neden olması,
 - (iii) Formülasyondaki değişime uyarlanmasının oldukça zor olması,
 - (iv)Bir problem için çok iyi sonuç veren klasik yöntemlerin bir başka probleme uygulanmasının oldukça zor olması,
 - (v) Çalışmasının ve ulaştığı çözümün genel olarak lokal optimumda kalmasıdır.
- [46]



Şekil 6.1: GAMS Genel Şema [43]

```

1 |
2 |
3 | Set
4 |   t 'hours' / t1*t24 /
5 |   g 'thermal units' / p1 /;
6 |
7 | Table gendata(g,*) 'generator cost characteristics and limits'
8 |   a      b      c      Pmin  Pmax  RU0  RD0
9 | p1      0.12  14.80  68      0      8      2      2;
10 |
11 |
12 | Table data(t,*)
13 |   load  wind  solar
14 | t1      7      0.694  0
15 | t2      7.05    0.694  0
16 | t3      7.2     0.674  0
17 | t4      7.5     0.636  0
18 | t5      7      0.563  0
19 | t6      7.6     0.512  0.43
20 | t7      8      0.496  1.53
21 | t8      8.2     0.496  3.60
22 | t9      8.4     0.496  4.66
23 | t10     8.5     0.512  5.61
24 | t11     9      0.546  6.26
25 | t12     8.8     0.563  6.85
26 | t13     8      0.600  6.21
27 | t14     8.1     0.617  5.45
28 | t15     8.3     0.636  5.13
29 | t16     8.4     0.635  3.35
30 | t17     9      0.694  1.93
31 | t18     8.6     0.714  0.85
32 | t19     8.6     0.694  0.03
33 | t20     7      0.694  0
34 | t21     7.3     0.694  0
35 | t22     7.25    0.694  0
36 | t23     7      0.694  0
37 | t24     6.95    0.674  0;
  
```

Şekil 6.2: GAMS Programında Kullanılan Verilen

pl.t10	-INF	1.0660	2.0000	.
pl.t11	-INF	-0.0160	2.0000	.
pl.t12	-INF	0.8070	2.0000	.
pl.t13	-INF	0.1970	2.0000	.
pl.t14	-INF	-0.8430	2.0000	.
pl.t15	-INF	-0.5010	2.0000	.
pl.t16	-INF	-1.8610	2.0000	.
pl.t17	-INF	-1.9810	2.0000	.
pl.t18	-INF	-0.6600	2.0000	.
pl.t19	-INF	-0.8400	2.0000	.
pl.t20	-INF	1.5700	2.0000	.
pl.t21	-INF	-0.3000	2.0000	.
pl.t22	-INF	0.0500	2.0000	.
pl.t23	-INF	0.2500	2.0000	.
pl.t24	-INF	0.5700	2.0000	.
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU costTherm~	1632.0000	1632.0000	1632.0000	1.0000
---- EQU constESS				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
t1	1.0000	1.0000	1.0000	-17.3316
t2	.	.	.	-15.0212
t3	.	.	.	-15.0212
t4	.	.	.	-15.0212
t5	.	.	.	-15.0212
t6	.	.	.	-15.0212
t7	.	.	.	-15.0212
t8	.	.	.	-15.0212
t9	.	.	.	-15.0212
t10	.	.	.	-15.0212
t11	.	.	.	-15.0212
t12	.	.	.	-15.0212

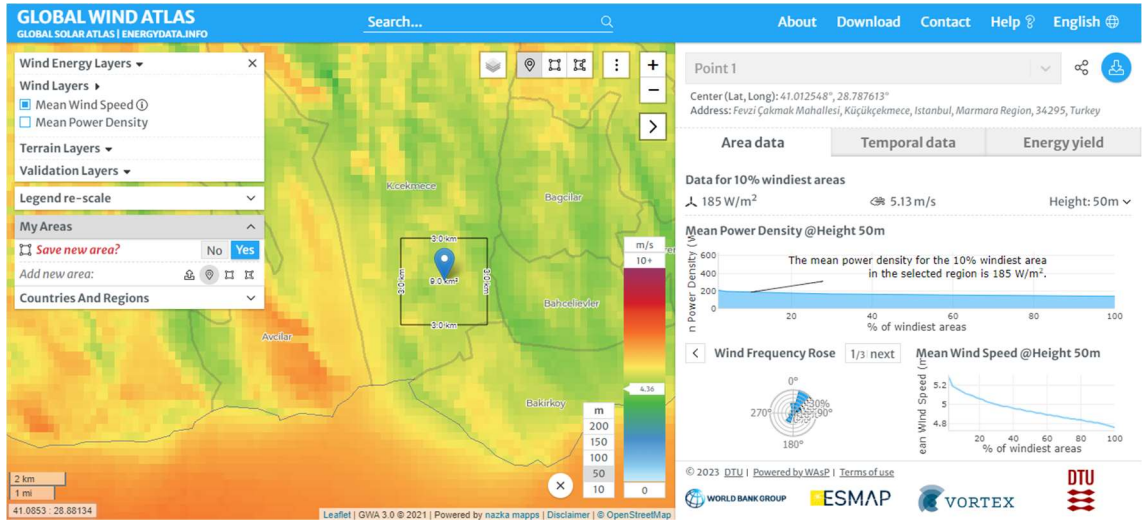
Şekil 6.3:GAMS Maliyet Çıktısı

7.1. Kullanılan Veriler ve Elde Edilmesi

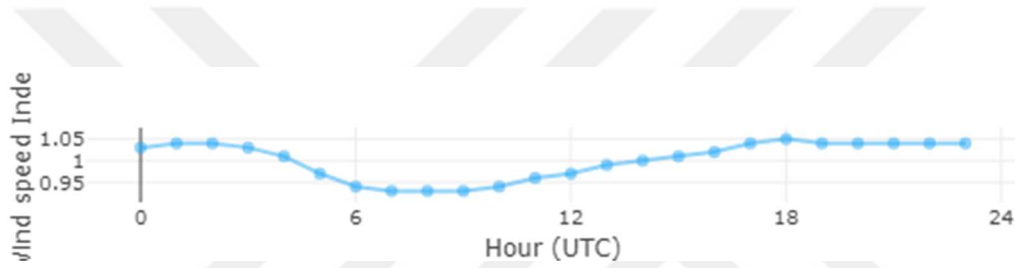
Bu tez çalışmasında küçük bir işletmenin elektrik ihtiyacı ada çalışma modu kapsamında jeneretör, RES, GES ve EDS yardımıyla karşılanmaya çalışılmıştır. İşletmenin elektrik ihtiyacı ortalama 8 kW'tır. Fakat elektrik tüketimin saatlere göre değişiklik göstereceği göz önüne alınarak elektrik ihtiyacı 8 kW $\pm$ %12,5 şeklinde dizayn edilmiştir. Enerji üretim birimleri de buna uygun olarak seçilerek sistem modellenmiştir. Fevzi Çakmak Mahallesi, Küçükçekmece, İstanbul, Marmara Region, 34295, Turkey ,(41.012548°, 28.787613°) için gerekli veriler RES için rüzgar hızları Global WindAtlas programı yardımıyla ve GES için ışıınım değerleri PVsyst programları kullanılarak bulunmuştur. Bu değerler Tablo 7.1' deki gibidir.

Tablo 7.1: Işıınım Ve Rüzgar Hızı Değerleri

Saat	Rüzgar Hızı (m/s)	Işıma Değeri (W/m ²)
00:00	5.28	0
01:00	5.33	0
02:00	5.33	0
03:00	5.28	0
04:00	5.18	0
05:00	4.97	0,5
06:00	4.82	62
07:00	4.77	206,8
08:00	4.77	466,8
09:00	4.77	597,4
10:00	4.82	737
11:00	4.92	791,7
12:00	4.97	862,2
13:00	5.07	785,8
14:00	5.13	693
15:00	5.18	654,9
16:00	5.23	436,8
17:00	5.33	258,6
18:00	5.38	116,3
19:00	5.33	5,8
20:00	5.33	0
21:00	5.33	0
22:00	5.33	0
23:00	5.33	0



Şekil 7.1: Çalışılan Bölgenin Rüzgar Hız Verisi[48]



Şekil 7.2 : Rüzgar Hızının Saatlik Değişim İndeksi[48]

General			
Type:	Horizontal axis, downwind, 3 blades		
Rated power:	2KW @ 14m/s	4.5KW @ 15m/s	8KW @ 15m/s
Rated speed:	175 rpm	150 rpm	125 rpm
Weight:	185 kg	400 kg	700 kg
Orientation:	Self oriented / no rudder		
Cut-in wind speed:	2.5m/s		3m/s
Cut-out wind speed:	30m/s		35m/s
Survival wind speed:		50m/s	
Noise level:	<35dB @ 12m/s (at tower bottom)		
Operating conditions:	-40~60		
Brake:	mechanical and electric		
Warranty:	5 years(warranty extension possible)		
Design life:	30 years		
Rotor			
Rotor diameter:	2.8m	4m	6m
Swept area:	6.2m2	12.6m2	28.3m2
Blade length:	1.8m	2.7m	4m
Blade material:	Composite fiberglass (15 layers+ stuffed)		

Şekil 7.3: Kullanılan Rüzgar Türbini Verileri

Modelde kullanılan jeneratör a ve b katsayıları A.SORUDİ'nin kitabından referans alınmıştır.C katsayısı ise jeneratörün yüklenme yüzdesidir ve Tablo 7.2'deki gibidir.

Tablo 7.2: Jeneratör Yüklenme Değerleri(%)

	a	b	c
Jeneratör1	0.12	14.80	64
Jeneratör2	0.17	16.57	54
Jeneratör3	0.15	15.55	69

Modelde baz alınan günlük yük dağılımı Tablo 7.3'deki gibidir.

Tablo 7.3: Saatlik Enerji İhtiyacı

Saat	Yük (kWh)
01:00	7
02:00	7,05
03:00	7,2
04:00	7,5
05:00	7
06:00	7,6
07:00	8
08:00	8,2
09:00	8,4
10:00	8,5
11:00	9
12:00	8,8
13:00	8
14:00	8,1
15:00	8,3
16:00	8,4
17:00	9
18:00	8,6
19:00	8,6
20:00	7
21:00	7,3
22:00	7,25
23:00	7
00:00	7,15

7.2. Problemin Matematik Modellenmesi

Bu çalışmada saatlik talepleri ve diğer teknik kısıtlamaları karşılarken toplam işletme maliyetlerini en aza indirmek amaçlanmıştır. Bunu yaparken sistemin

işletim ve planlama esnekliğini arttırmak için sisteme enerji üretim birimlerinin yanı sıra EDS eklenmiştir. Enerji depolama sistemleri (EDS), düşük elektrik fiyatı veya aşırı üretim durumunda enerjiyi emebilir ve yüksek fiyat/düşük üretim dönemlerinde geri verebilir. Bu sistemin matematik modellemesi termal model baz alınarak yapılmıştır. Sistemin matematik modellemesi Eşitlik 7.1-7.12'deki gibidir.

$$\min_{DV} TC = \quad (7.1)$$

$$\sum_{g,t} (a_g P_{g,t}^2 + b_g P_{g,t} + c_g) + \sum_t (VWCx P_t^{WC}) + \sum_t (VWCx P_t^{PVC})$$

$$DV = \{P_{g,t}, SOC_t, P_t^d, P_t^c, P_t^w, P_t^{WC}, P_t^{PV}, P_t^{PVC}\} \quad (7.2)$$

$$P_g^{min} \leq P_g \leq P_g^{max} \quad (7.3)$$

$$P_{g,t-1} - P_{g,t} \leq RU_g \quad (7.4)$$

$$P_{g,t-1} - P_{g,t} \leq RD_g \quad (7.5)$$

$$SOC_t = SOC_{t-1} + (P_t^c \eta_c - P_t^d / \eta_d) \Delta_t \quad (7.6)$$

$$P_{min}^c \leq P_t^c \leq P_{max}^c \quad (7.7)$$

$$P_{min}^d \leq P_t^d \leq P_{max}^d \quad (7.8)$$

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (7.9)$$

$$P_t^w + P_t^{PV} + \sum_g P_{g,t} + P_t^d \geq L_t - P_t^c \quad (7.10)$$

$$P_t^w + P_t^{WC} \leq \Lambda_t^w \quad (7.11)$$

$$P_t^{PV} + P_t^{PVC} \leq \Lambda_t^{PV} \quad (7.12)$$

Eşitlik 7.1-7.12'de matematik modellemesi verilen modelin çözümü QCP çözücüsü yardımıyla GAMS programında gerçekleştirilecektir.

Bu çalışmada işletmenin elektrik ihtiyacını karşılamak için 3 farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller aşağıdaki gibidir.

Model 1: Jeneratör1, RES, GES ve batarya kullanılarak işletmenin elektrik ihtiyacının karşılanması

Model 2: Jeneratör2, RES, GES ve batarya kullanılarak işletmenin elektrik ihtiyacının karşılanması

Model 3: Jeneratör3, RES, GES ve batarya kullanılarak işletmenin elektrik ihtiyacının karşılanması



8.1. Model 1 Analizi

Bu modelde Jeneratör 1 ile birlikte RES, GES ve EDS kullanılarak işletmenin elektrik ihtiyacı karşılanması için çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmada kullanılan jeneratörün verimleri ile ilgili bilgi Tablo 7.2'deki Jeneratör 1'in bilgileri olup 4 kW gücünde RES ve 8 kW gücünde GES sistemi kullanılmıştır.

Bu modelde RES için elektrik gücü hesaplaması (4.6)'ya göre yapılmıştır. GES için hesaplamalar ise ETAP programında 8 kW'lık bir GES sistemi tasarlanıp ışınlım değerleri girilerek GES'in ürettiği güçler bulunmuştur. Daha sonra bunlar GAMS üzerinde termal model baz alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 8.1'deki gibidir. Tablo 8.1'i daha iyi anlayabilmek için analiz sonuçları Şekil 8.1 ve Şekil 8.2'de grafikler halinde gösterilmiştir.

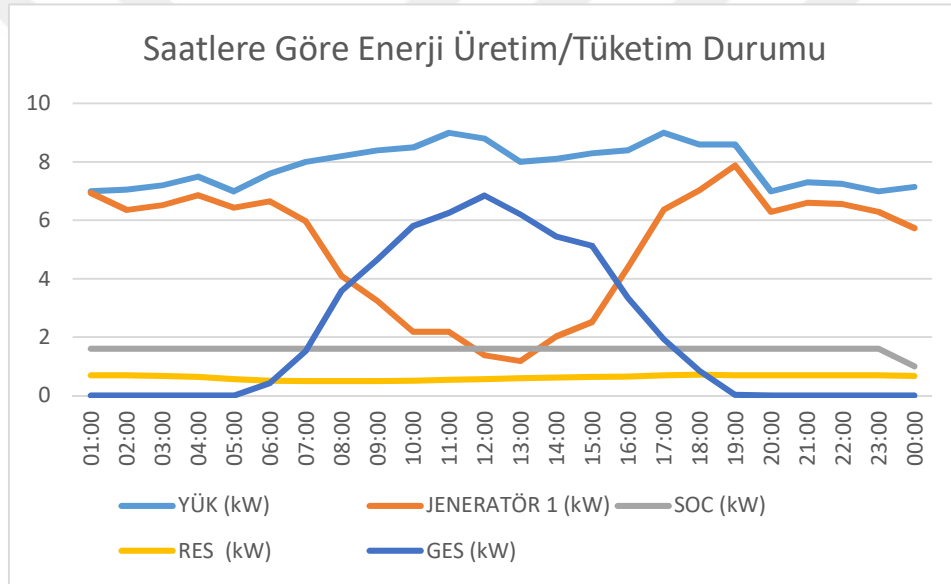
Tablo 8.1: Model 1 Analiz Sonuçları

SAATLER	YÜK (kW)	JENERATÖR 1 (kW)	SOC (kW)	DEŞARJ (kW)	ŞARJ (kW)	RES (kW)	GES (kW)
01:00	7	6,94	1,6	0	0,631579	0,694	0
02:00	7,05	6,36	1,6	0	0	0,694	0
03:00	7,2	6,53	1,6	0	0	0,674	0
04:00	7,5	6,86	1,6	0	0	0,636	0
05:00	7	6,44	1,6	0	0	0,563	0
06:00	7,6	6,66	1,6	0	0	0,512	0,43
07:00	8	5,98	1,6	0	0	0,496	1,53
08:00	8,2	4,1	1,6	0	0	0,496	3,59
09:00	8,4	3,25	1,6	0	0	0,496	4,66
10:00	8,5	2,18	1,6	0	0	0,512	5,81
11:00	9	2,19	1,6	0	0	0,546	6,26
12:00	8,8	1,39	1,6	0	0	0,563	6,85
13:00	8	1,19	1,6	0	0	0,6	6,21
14:00	8,1	2,03	1,6	0	0	0,617	5,45
15:00	8,3	2,53	1,6	0	0	0,636	5,13
16:00	8,4	4,4	1,6	0	0	0,655	3,35
17:00	9	6,37	1,6	0	0	0,694	1,93
18:00	8,6	7,04	1,6	0	0	0,714	0,85
19:00	8,6	7,88	1,6	0	0	0,694	0,03

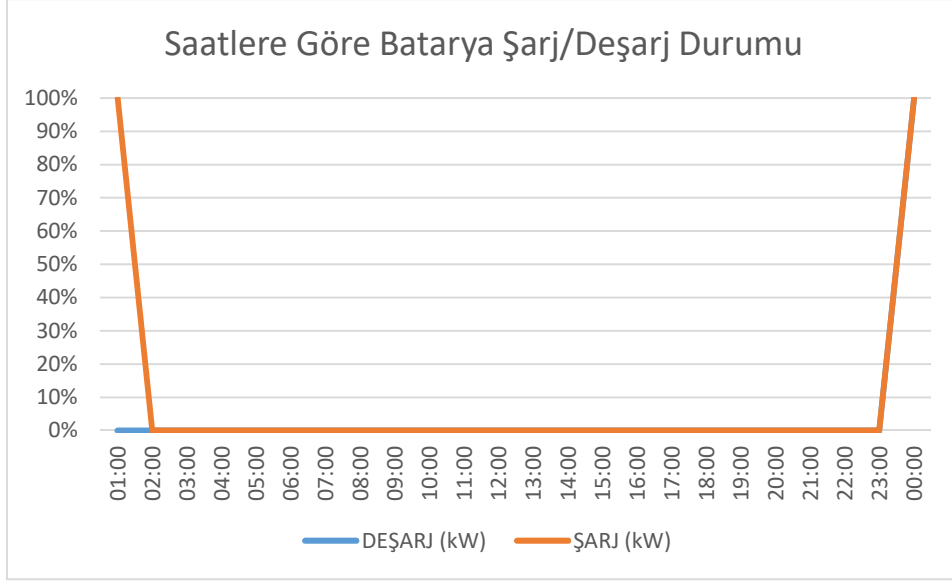
Tablo 8.1: Model 1 Analiz Sonuçları (devamı)

SAATLER	YÜK (kW)	JENERATÖR 1 (kW)	SOC (kW)	DEŞARJ (kW)	ŞARJ (kW)	RES (kW)	GES (kW)
20:00	7	6,3	1,6	0	0	0,694	0
21:00	7,3	6,6	1,6	0	0	0,694	0
22:00	7,25	6,56	1,6	0	0	0,694	0
23:00	7	6,3	1,6	0	0	0,694	0
00:00	7,15	5,74	1	0,54	0	0,674	0

Tablo 8.1’de de görüldüğü gibi Model 1’deki mikro şebeke Eşitlik 7.10’nun doğruluğunu ispatlıyor. Yani ürettiğimiz ve tükettiğimiz enerji sürekli olarak bir denge içerisinde.

**Şekil 8.1:** Model 1 Saatlere Göre Enerji Üretim/Tüketim Durumu

Şekil 8.1’deki grafik incelendiğinde RES sistemi sürekli olarak enerji üretirken GES sistemi ısımaya bağlı olarak saat 06:00 ile 19:00 arasında enerji üretiyor. Sistemdeki jeneratör ise RES ve GES, sistemin enerji ihtiyacını karşılayamadığı zaman devreye girerek enerji üretiyor. Ayrıca sistemdeki EDS ise Şekil 8.2’de de görüldüğü gibi sistemin enerji ihtiyacı yüksek olduğu durumlarda ya da diğer enerji kaynaklarından bir tanesi devreden çıktığı zaman (saat 23:00-00:00 arasında) sisteme enerji sağlıyor (deşarj oluyor). Sistemdeki enerji kaynakları yükün ihtiyacından fazla enerji ürettiğinde (saat 01:00) şarj olmaktadır. Yük ve enerji kaynakları arasında bir denge söz konusu ise EDS ne şarj ne dedeşarj olur.



Şekil 8.2: Model 1 Saatlere Göre Batarya Şarj/Deşarj Durumu

Yapılan bu analiz sonucunda toplam operasyon maiyeti $TC = \$1,536/kW$ şeklinde bulunmuştur.

8.2. Model 2 Analizi

Bu modelde Jeneratör 2 ile birlikte RES, GES ve EDS kullanılarak işletmenin elektrik ihtiyacı karşılanması için çalışma yapılmıştır.

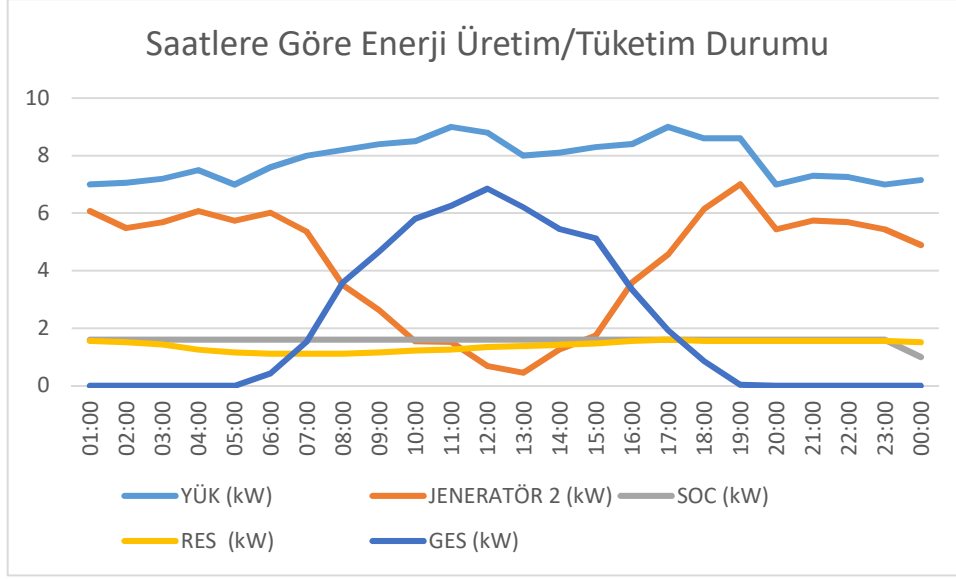
Yapılan çalışmada kullanılan jeneratörün verimleri ile ilgili bilgi Tablo 7.2'deki Jeneratör 2'in bilgileri olup RES ve GES güçleri için 8 kW gücünde sistemler kullanılmıştır.

Bu modelde RES için elektrik gücü hesaplaması (4.6)'ya göre yapılmıştır. GES için hesaplamalar ise ETAP programında 8 kW'lık bir GES sistemi tasarlanıp ısıtım değerleri girilerek GES'in ürettiği güçler bulunmuştur. Daha sonra bunlar GAMS üzerinde termal model baz alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 8.2'deki gibidir. Tablo 8.2'yi daha iyi anlayabilmek için analiz sonuçları Şekil 8.3 ve Şekil 8.4'de grafikler halinde gösterilmiştir.

Tablo 8.2: Model 2 Analiz Sonuçları

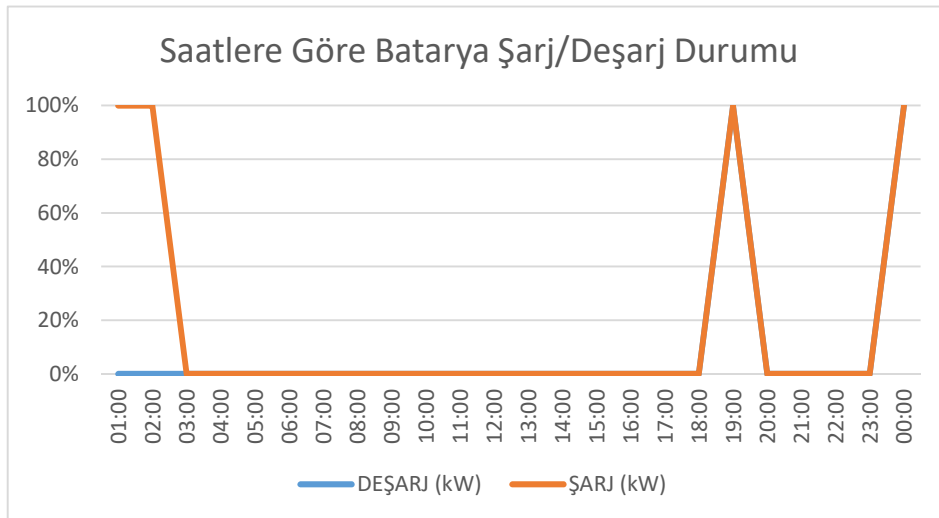
SAATLER	YÜK (kW)	JENERATÖR 2 (kW)	SOC (kW)	DEŞARJ (kW)	ŞARJ (kW)	RES (kW)	GES (kW)
01:00	7	6,072	1,6	0	0,631579	1.56	0
02:00	7,05	5,49	1,6	0	3,33E-11	1.56	0
03:00	7,2	5,69	1,6	0	0	1.51	0
04:00	7,5	6,07	1,6	0	0	1.42	0
05:00	7	5,74	1,6	0	0	1.26	0
06:00	7,6	6,02	1,6	0	0	1.15	0,43
07:00	8	5,36	1,6	0	0	1.11	1,53
08:00	8,2	3,5	1,6	0	0	1.11	3,59
09:00	8,4	2,63	1,6	0	0	1.11	4,66
10:00	8,5	1,54	1,6	0	0	1.15	5,81
11:00	9	1,52	1,6	0	0	1.22	6,26
12:00	8,8	0,69	1,6	0	0	1.26	6,85
13:00	8	0,45	1,6	0	0	1.34	6,21
14:00	8,1	1,27	1,6	0	0	1.38	5,45
15:00	8,3	1,75	1,6	0	0	1.43	5,13
16:00	8,4	3,58	1,6	0	0	1.47	3,35
17:00	9	4,56	1,6	0	0	1.56	1,93
18:00	8,6	6,15	1,6	0	0	1.60	0,85
19:00	8,6	7,01	1,6	2,78E-11	0	1.56	0,03
20:00	7	5,44	1,6	0	0	1.56	0
21:00	7,3	5,74	1,6	0	0	1.56	0
22:00	7,25	5,69	1,6	0	0	1.56	0
23:00	7	5,44	1,6	0	0	1.56	0
00:00	7,15	4,9	1	0,54	0	1.51	0

Tablo 8.2’de de görüldüğü gibi Model 2’deki mikro şebeke Eşitlik 7.10’nun doğruluğunu ispatlıyor. Yani ürettiğimiz ve tükettiğimiz enerji sürekli olarak bir denge içerisinde.



Şekil 8.3: Model 2 Saatlere Göre Enerji Üretim/Tüketim Durumu

Şekil 8.3'deki grafik incelendiğinde RES sistemi sürekli olarak enerji üretirken GES sistemi ışımaya bağlı olarak saat 06:00 ile 19:00 arasında enerji üretiyor. Sistemdeki jeneratör ise RES ve GES, sistemin enerji ihtiyacını karşılayamadığı zaman devreye girerek enerji üretiyor. Ayrıca sistemdeki EDS ise Şekil 8.4'de de görüldüğü gibi sistemin enerji ihtiyacı yüksek olduğu durumlarda (saat 19:00 arasında) ya da diğer enerji kaynaklarından bir tanesi devreden çıktığı zaman (saat 00:00 arasında) sisteme enerji sağlıyor (deşarj oluyor). Sistemdeki enerji kaynakları yükün ihtiyacından fazla enerji ürettiğinde (saat 01:00 ve 02.00 arasında) şarj olmaktadır. Yük ve enerji kaynakları arasında bir denge söz konusu ise EDS ne şarj ne dedeşarj olur



Şekil 8.4: Model 2 Saatlere Göre Batarya Şarj/Deşarj Durumu

Yapılan bu analiz sonucunda toplam operasyon maiyeti TC= \$1,296/kW şeklinde bulunmuştur.

8.3. Model 3 Analizi

Bu modelde Jeneratör 3 ile birlikte RES, GES ve EDS kullanılarak işletmenin elektrik ihtiyacı karşılanması için çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmada kullanılan jeneratörün verimleri ile ilgili bilgi Tablo 7.2'deki Jeneratör 3'in bilgileri olup 8 kW gücünde RES ve 4 kW gücünde GES sistemi kullanılmıştır.

Bu modelde RES için elektrik gücü hesaplaması (4.6)'ya göre yapılmıştır. GES için hesaplamalar ise ETAP programında 4 kW'lık bir GES sistemi tasarlanıp ısıtım değerleri girilerek GES'in ürettiği güçler bulunmuştur. Daha sonra bunlar GAMS üzerinde termal model baz alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 8.3'deki gibidir. Tablo 8.3'ü daha iyi anlayabilmek için analiz sonuçları Şekil 8.5 ve Şekil 8.6'da grafikler halinde gösterilmiştir.

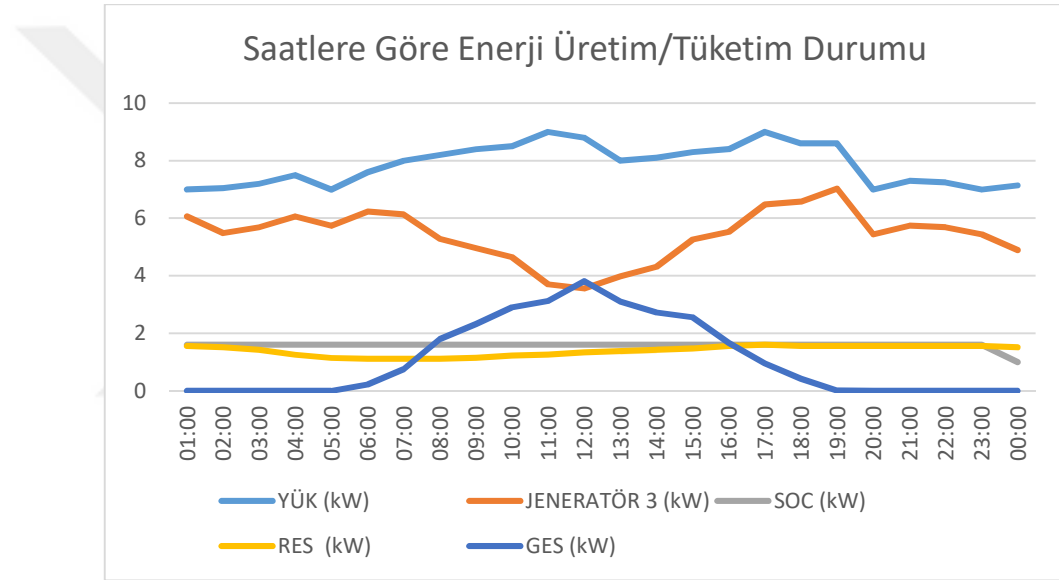
Tablo 8.3: Model 3 Analiz Sonuçları

SAATLER	YÜK (kW)	JENERATÖR 3 (kW)	SOC (kW)	DEŞARJ (kW)	ŞARJ (kW)	RES (kW)	GES (kW)
01:00	7	6,07	1,6	0	0,631579	1.56	0
02:00	7,05	5,49	1,6	0	0	1.56	0
03:00	7,2	5,69	1,6	0	0	1.51	0
04:00	7,5	6,07	1,6	0	0	1.42	0
05:00	7	5,74	1,6	0	0	1.26	0
06:00	7,6	6,23	1,6	0	0	1.15	0,21
07:00	8	6,13	1,6	0	0	1.11	0,76
08:00	8,2	5,29	1,6	0	0	1.11	1,8
09:00	8,4	4,96	1,6	0	0	1.11	2,33
10:00	8,5	4,65	1,6	0	0	1.15	2,91
11:00	9	3,71	1,6	0	0	1.22	3,13
12:00	8,8	3,56	1,6	0	0	1.26	3,82
13:00	8	3,99	1,6	0	0	1.34	3,1
14:00	8,1	4,32	1,6	0	0	1.38	2,73
15:00	8,3	5,26	1,6	0	0	1.43	2,56
16:00	8,4	5,53	1,6	0	0	1.47	1,67
17:00	9	6,48	1,6	0	0	1.56	0,96
18:00	8,6	6,58	1,6	0	0	1.60	0,42
19:00	8,6	7,03	1,6	0,0001	0	1.56	0,01
20:00	7	5,44	1,6	0	0	1.56	0

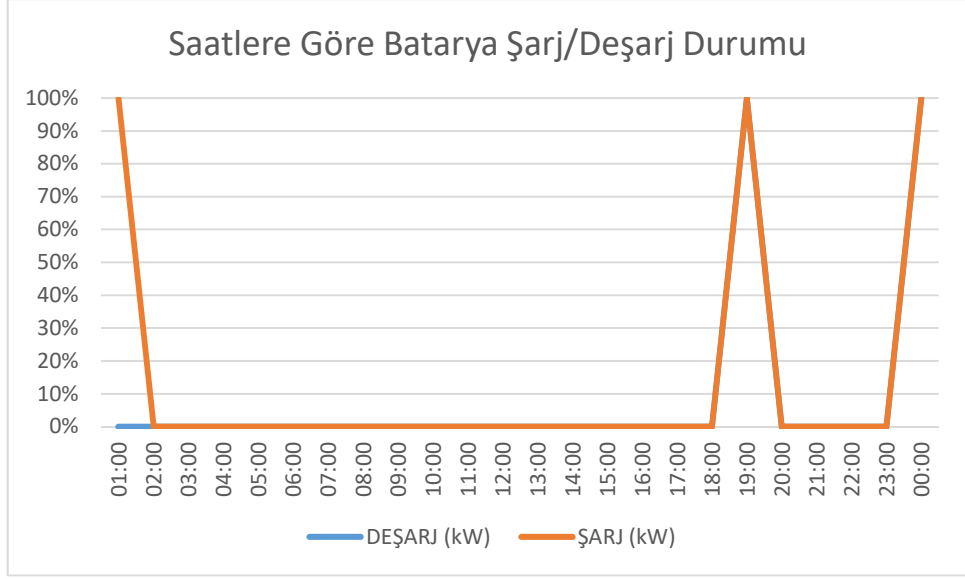
Tablo 8.3: Model 3 Analiz Sonuçları (devamı)

SAATLER	YÜK (kW)	JENERATÖR 3 (kW)	SOC (kW)	DEŞARJ (kW)	ŞARJ (kW)	RES (kW)	GES (kW)
21:00	7,3	5,74	1,6	0	0	1.56	0
22:00	7,25	5,69	1,6	0	0	1.56	0
23:00	7	5,44	1,6	0	0	1.56	0
00:00	7,15	4,9	1	0,54	0	1.51	0

Tablo 8.3’de de görüldüğü gibi Model 3’teki mikro şebeke Eşitlik 7.10’nun doğruluğunu ispatlıyor. Yani ürettiğimiz ve tükettiğimiz enerji sürekli olarak bir denge içerisinde.

**Şekil 8.5:** Model 3 Saatlere Göre Enerji Üretim/Tüketim Durumu

Şekil 8.5’deki grafik incelendiğinde RES sistemi sürekli olarak enerji üretirken GES sistemi ısımaya bağlı olarak saat 06:00 ile 19:00 arasında enerji üretiyor. Sistemdeki jeneratör ise RES ve GES, sistemin enerji ihtiyacını karşılayamadığı zaman devreye girerek enerji üretiyor. Ayrıca sistemdeki EDS ise Şekil 8.6’da da görüldüğü gibi sistemin enerji ihtiyacı yüksek olduğu durumlarda (saat 19:00 arasında) ya da diğer enerji kaynaklarından bir tanesi devreden çıktığı zaman (saat 00:00) sisteme enerji veriyor (deşarj oluyor). Sistemdeki enerji kaynakları yükün ihtiyacından fazla enerji ürettiğinde şarj (saat 01:00) olmaktadır. Yük ve enerji kaynakları arasında bir denge söz konusu ise EDS ne şarj ne dedeşarj olur.



Şekil 8.6: Model 3 Saatlere Göre Batarya Şarj/Deşarj Durumu

Yapılan bu analiz sonucunda toplam operasyon maiyeti $TC = \$1,632/kW$ şeklinde bulunmuştur.

Bu çalışmada çıkış gücü birbiriyle aynı güçteki bir mikro şebeke için birbirinden farklı 3 model incelenerek mikro şebekelerin işletilmesine yönelik olarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İncelenen bu modellerde jeneratör ve enerji depolama sistemleri(EDS), RES ve GES'lerin kapasitelerine göre değişkenlik göstermektedir.

Model 1, enerji ihtiyacının %7.9'luk kısmını RES'ten(rüzgar enerji sistemi), %27,56'luk kısmını GES'ten(güneş enerji sistemi), %64,47'lik kısmını jeneratörden, kalan kısmını ise bataryadan sağladığı,

Model 2, enerji ihtiyacının %17.73'lik kısmını RES'ten, %27,56'lik kısmını GES'ten, %54,1'luk kısmını jeneratörden, kalan kısmını ise bataryadan sağladığı,

Model 3'te ise, enerji ihtiyacının %17,73'lik kısmını RES'ten, %13,98'lik kısmını GES'ten, %68,79'luk kısmını jeneratörden, kalan kısmını ise bataryadan sağladığı görülmüştür.

Ayrıca işletme maliyetlerine(enerji birim maliyeti) bakıldığı zaman, Model 1 için \$1,536/kWh, Model 2 için \$1,296/kWh ve Model 3 için \$1,632/kWh şeklinde elde edilmiştir. Bu değerler ışığında uzun vadede, işletme maliyetleri bakımından en uygun tasarımın Model 2'deki kombinasyonun olduğu tespit edilmiştir. Model 2'de yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısı diğer modellere göre(model 1 ve model 3) daha fazla olduğu için, jeneratörün yüklenme katsayısı düşerek maliyetin azalmasına önemli katkı sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak şebeken bağımsız (ada modu çalışma) olarak tasarlanacak enerji sistemlerinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının(rüzgar ve güneş gibi) payı arttıkça işletme maliyetinin benzer oranda azaldığı; ayrıca seçilen jeneratörün veriminin de yüksek olması maliyetin azalması açısından çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Lasseter, Robert H. "Microgrids and distributed generation." *Journal of Energy Engineering* 133.3 (2007): 144-149.
2. Ackermann, Thomas, Göran Andersson, and Lennart Söder. "Distributed generation: a definition." *Electric power systems research* 57.3 (2001): 195-204.
3. Basu, Ashoke Kumar, et al. "Microgrids: Energy management by strategic deployment of DERs—A comprehensive survey." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.9 (2011): 4348-4356
4. Hatziargyriou, Nikos, et al. "Microgrids." *Power and Energy Magazine, IEEE* 5.4 (2007): 78-94.
5. Farhangi, Hassan. "The path of the smart grid." *Power and Energy Magazine, IEEE* 8.1 (2010): 18-28.
6. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.energy-pool.com.tr%2Fpost%2Fmikro-sebekelere-dogru&psig=AOvVaw2GieQabHAB4L175tXphL0k&ust=1641579031740000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCJDz78vgnfUCFQAAAAdAAAAABAI>, 07.03.2023.
7. Jenkins, Nicholas. "Embedded generation. Part 1." *Power engineering journal* 9.3 (1995): 145-150.
8. Chowdhury, Sunetra, and Peter Crossley. *Microgrids and active distribution networks*. The Institution of Engineering and Technology, 2009.
9. Katiraei, Farid, et al. "Microgrids management." *Power and Energy Magazine, IEEE* 6.3 (2008): 54-65.
10. Driesen, Johan, and Farid Katiraei. "Design for distributed energy resources." *Power and Energy Magazine, IEEE* 6.3 (2008): 30-40.
11. Lund, Henrik, et al. "From electricity smart grids to smart energy systems—a market operation based approach and understanding." *Energy* 42.1 (2012): 96-102.
12. Kurohane, Kyohei, et al. "A hybrid smart AC/DC power system." *Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2010 the 5th IEEE Conference on. IEEE, 2010.

13. Molderink, Albert, et al. "Management and control of domestic smart grid technology." *Smart Grid, IEEE Transactions on* 1.2 (2010): 109-119.
14. Hatti, M., A. Meharrar, and M. Tioursi. "Power management strategy in the alternative energy photovoltaic/PEM Fuel Cell hybrid system." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.9 (2011): 5104-5110.
15. Peas Lopes, J. A., C. L. Moreira, and A. G. Madureira. "Defining control strategies for microgrids islanded operation." *Power Systems, IEEE Transactions on* 21.2 (2006): 916-924.
16. Serban, Emanuel, and Helmine Serban. "A control strategy for a distributed power generation microgrid application with voltage-and current-controlled source converter." *Power Electronics, IEEE Transactions on* 25.12 (2010): 2981-2992.
17. Shahabi, M., et al. "Microgrid dynamic performance improvement using a doubly fed induction wind generator." *Energy Conversion, IEEE Transactions on* 24.1 (2009): 137-145.
18. Kasem Alaboudy, A. H., H. H. Zeineldin, and James L. Kirtley. "Microgrid stability characterization subsequent to fault-triggered islanding incidents." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 27.2 (2012): 658-669.
19. Su, Wencong, and Jianhui Wang. "Energy management systems in microgrid operations." *The Electricity Journal* 25, no. 8 (2012): 45-60.
20. Nguyen, Minh Y., Yong T. Yoon, and Nack H. Choi. "Dynamic programming formulation of micro-grid operation with heat and electricity constraints." *In Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009*, pp. 1- 4. IEEE, 2009.
21. Alvarez, Eduardo, Antonio Campos Lopez, J. Gómez-Aleixandre, and N. de Abajo. "On-line minimization of running costs, greenhouse gas emissions and the impact of distributed generation using microgrids on the electrical system." *In Sustainable Alternative Energy (SAE), 2009 IEEE PES/IAS Conference on*, pp. 1-10. IEEE, 2009.
22. Colson, C. M., M. H. Nehrir, and S. A. Pourmousavi. "Towards real-time microgrid power management using computational intelligence methods." *In Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, pp. 1-8. IEEE, 2010.
23. FUNABASHI T, "Integration of Distributed Energy Resources in Power Systems Implementation, Operation, and Control", Elsevier Inc., 2016.

24. Lidula, N. W. A., and A. D. Rajapakse. "Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.1 (2011): 186-202.
25. Karki, Shankar, et al. "Efficiency improvements through combined heat and power for on-site distributed generation technologies." *Cogeneration and Distributed Generation Journal* 22.3 (2007): 19-34.
26. G. PEPERMANS, J. DRIESEN, D. HAESELDONCKX, W. D'HAESELEER, R. BELMANS, "Distributed Generation: Definition, Benefits And Issues, University Of Leuven Energy Institute", 2003.
27. <https://www.enerjiatlası.com/> ,07.03.2023.
28. Yıldız Teknik Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri Laboratuvarı Deney Föyleri
29. ELİBÜYÜK, U. VE ÜÇGÜL, İ., "Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri", *Yekarum e-Dergi*, 2014
30. Chen, Zhe, Josep M. Guerrero, and Frede Blaabjerg. "A review of the state of the art of power electronics for wind turbines." *Power Electronics, IEEE Transactions on* 24, no. 8 (2009): 1859-1875.
31. http://deneysan.com/Content/images/documents/yakit-pilleri_8708591.pdf [06.04.2023]
32. W. EL-KHATTAM, M.M.A. SALAMA, "Distributed Generation Technologies, Definitions And Benefits", 2004
33. korede MF, Hizam H, Pouresmaeil E, et al. Distributed energy resources and benefits to the environment. *Renew Sust Energ Rev* 2010;14(2):724–34.
34. Urasaki N, Howlader AM, Senjyu T, Funabashi T, Saber AY, et al. High efficiency drive for micro-turbine generator based on current phase and revolving speed optimizations. *Int J Emerg Elec Power Syst* 2011;12(5).
35. Tan, Xingguo, Qingmin Li, and Hui Wang. "Advances and trends of energy storage technology in Microgrid." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 44, no. 1 (2013): 179-191.
36. Carrasco, Juan Manuel, Leopoldo Garcia Franquelo, Jan T. Bialasiewicz, Eduardo Galván, RC Portillo Guisado, Ma AM Prats, José Ignacio León, and Narciso MorenoAlfonso. "Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 53, no. 4 (2006): 1002-1016.

37. Ribeiro, Paulo F., Brian K. Johnson, Mariesa L. Crow, Aysen Arsoy, and Yilu Liu. "Energy storage systems for advanced power applications." *Proceedings of the IEEE* 89, no. 12 (2001): 1744-1756.
38. Goswami, D. Yogi, and Frank Kreith, eds. *Energy conversion*. CRC press, 200
39. Bolund, Björn, Hans Bernhoff, and Mats Leijon. "Flywheel energy and power storage systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, no. 2 (2007): 235- 258.
40. Jiancheng, Zhang, Lipei Huang, Chen Zhiye, and Wu Su. "Research on flywheel energy storage system for power quality." In *Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on*, vol. 1, pp. 496-499. IEEE, 2002.
41. Li, Peiwen. "Energy storage is the core of renewable technologies." *Nanotechnology Magazine, IEEE* 2, no. 4 (2008): 13-18.
- Olivares, Daniel E., Claudio A. Cañizares, and Mehrdad Kazerani. "A centralized optimal energy management system for microgrids." In *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*, pp. 1-6. IEEE, 2011.
42. A. Soroudi, *Power System Optimization Modeling in GAMS*. Springer, 2017
<http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM4208/GAMSKurulumuVeKullanimi.pdf>
43. GAMS - Cutting Edge Modeling.” <https://www.gams.com/>, 15.04.2023.
44. GAMS - Optimization Solvers.” <https://www.gams.com/optimization-solvers/>, [15.04.2023]
45. Muyeen, S. M., Junji Tamura, and Toshiaki Murata. *Stability augmentation of a grid-connected wind farm*. Berlin: Springer, 2009.
46. A. Doğan, M. Alçı. “Verimi Artırmak İçin Güç Sistemlerinde Kullanılan Optimizasyon Metotları Ve Uygulama Alanları”
47. <https://www.udemy.com/> “Mastering Energy and Power System Optimization in GAMS” Kursu, 15.04.2023.
48. <https://globalwindatlas.info/en>, 01.05.2023.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Optimizing A Business's Energy Needs Using Wind Turbine, PV Panel, Generator And Battery, doi:

https://www.cappadociacongress.org/_files/ugd/d0a9b7_9430bccba807458d82ffc5c4a94ed95c.pdf , (Page 1035-1036)

