



**MİKROŞEBEKELERDE DİNAMİK
GÜÇ AKIŞ ANALİZİ**

Melikşah Türk SALMAN

Yüksek Lisans Tezi

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik Tesisleri

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Mahmut Temel ÖZDEMİR

Ekim-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROŞEBEKELERDE DİNAMİK GÜÇ AKIŞ ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Melikşah Türk SALMAN
(152113106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 30 Ekim 2019

Tez Danışman:

Dr.Öğr. Üyesi Mahmut Temel ÖZDEMİR (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri:

Prof.Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU (F.Ü.)

Dr. Öğr. Üyesi Dursun ÖZTÜRK (B.Ü.)

EKİM-2019

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen, yardımını esirgemeyen ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Temel ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli zamanlarını, bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Elektrik-Elektronik Yük. Müh. Ümüt ÇETİNKAYA'ya, Elektrik-Elektronik Yük. Müh. Merden YEŞİL'e, Elektrik-Elektronik Yük. Müh. Ahmet OVA'ya, Elektrik-Elektronik Müh. Büşra FİRİK'e ve Dr. Murat ÖZDEMİR'e değerli katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın hazırlanmasında emeği geçen değerli arkadaşlarım Elektrik Elektronik Mühendisi Mustafa Çağrı FANUSCU'ya ve Öğr. Görevlisi M. Veysel ÇİÇEK'e teşekkür ederim.

Son olarak, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Melikşah Türk SALMAN

Elazığ-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması ve Değerlendirmesi	4
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	11
1.3. Tezin Yapısı.....	12
2.MİKRO ŞEBEKELERDE KULLANILAN ENERJİ ÜRETİM VE DEPOLAMA SİSTEMLERİ	13
2.1. Enerji Üretim Sistemleri.....	13
2.1.1. Dinamik Üretim Sistemleri.....	14
2.1.1.1. Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemi.....	14
2.1.1.2. Mikro Hidroelektrik Santraller	17
2.1.1.3. Kojenerasyon Sistemler.....	19
2.1.1.4. Dizel Jeneratörler.....	22
2.1.2. Statik Üretim Sistemleri	23
2.1.2.1. Güneş Enerjisi Üretim Sistemleri	23
2.1.2.2. Yakıt Pilleri	26
2.2. Enerji Depolama Sistemleri.....	28
2.2.1. Dinamik Depolama Sistemleri	29
2.2.1.1. Volanlar	30
2.2.1.2. Basınçlı Su Depolama	31
2.2.1.3. Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama	33
2.2.2. Statik Depolama Sistemleri	33
2.2.2.1. Ultra Kapasitörler	33
2.2.2.2. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemleri	36
2.2.2.3. Elektroniz ve Hidrojen Depolama	37
3.MİKROŞEBEKE ANALİZ PROGRAMI	38
3.1. DIgSILENT/Power Factory Analiz Programı	38
3.2. DIgSILENT ile Elektriksel Analiz	40
3.3. Örnek Proje Oluşturulması	42
4.MİKRO ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ	60
4.1. Mikroşebeke Modeli.....	61

4.1.1. Rüzgar Modeli	62
4.1.2. PV Modeli	64
4.1.3. Batarya Modeli	66
4.1.4. Dizel Generatör.....	67
4.2. Mikroşebeke Dinamik Güç Analizi.....	68
4.2.1. Yarı Dinamik Güç Analizi.....	69
4.2.1.1. Senaryo-1.....	69
4.2.1.2. Senaryo-2.....	71
4.2.1.3. Senaryo-3.....	73
4.2.1.4. Senaryo-4.....	75
4.2.1.5. Sonuçlar	77
4.2.2. Dinamik Güç Analizi.....	78
4.2.2.1. Senaryo-1.....	78
4.2.2.2. Senaryo-2.....	80
4.2.2.3. Senaryo-3.....	81
4.2.2.4. Senaryo-4.....	83
4.2.2.5. Senaryo-5.....	84
4.2.2.6. Sonuçlar	85
5.SONUÇ	86
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ÖZET

Mikroşebeke, genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer geleneksel üretim kaynaklarının hibrit kullanıldığı bir yapıdır. Bu şebekelerin birçok amacı vardır. Bunlardan en önemlisi enerjinin sürekliliğinin sağlanmasıdır. Yani kritik yüklerin ulusal şebekenin gitmesi durumunda bile etkilenmeden çalışmasını sağlamaktır.

Bu çalışmada Muğla bölgesinde doğal olarak oluşmuş bir mikroşebeke yapısı ele alınmış ve farklı yüklenme durumları için sistemin davranışları incelenmiştir. Ele alınan sistemin incelenmesinde DIgSILENT Power Factory programı kullanılmıştır. Program saha bilgilerinin oldukça gerçekçi bir şekilde modelleyebilmesi nedeni ile tercih edilmiştir. Mikroşebekenin uzun süreli ve kısa süreli benzetimleri yapılmıştır. Sistemin ilerde ortaya çıkabilecek muhtemel bir problemi ortaya konulmuştur. Çözüm olarak depolamalı sistemle bu problemin giderileceği dinamik analiz ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroşebeke, DIgSILENT Power Factory, Yük Akış Analizi

SUMMARY

DYNAMIC POWER FLOW ANALYSIS IN MICRO GRIDS

In Micro grid structure, usually renewable energy sources and other traditional production resources are used as hybrid. These grids have many purposes. The most important of them is the continuity of energy. So the main purpose is to ensure that the critical loads work unaffected even if the national network goes down. In this study, a naturally occurring micro grid structure in the Mugla region is discussed and the behavior of the system for different loading conditions is examined. In this study DlgSILENT Power Factory program was used. The program was chosen because it can model the field information in a very realistic way. With the aid of this program, Long-term and short-term analogies of the Micro Network were performed. A possible problem of the system is revealed. As a solution, this problem will be solved with storage system that is shown by dynamic analysis.

Key words: Micro Grid, DlgSILENT Power Factory, Load Flow Analysis.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Tipik bir mikroşebeke yapısı.....	2
Şekil 1.2. Mikroşebeke blok diyagramı.....	3
Şekil 2.1. Dağıtık üretim teknolojileri.....	14
Şekil 2.2. Tipik bir rüzgar enerjisi üretim sistemi.....	16
Şekil 2.3. Klasik bir mikro hidroelektrik santral şeması	18
Şekil 2.4. Türkiye’de kojenerasyon sisteminin kullanıldığı sektörler[63]	20
Şekil 2.5. Kojenerasyon sistem modeli	21
Şekil 2.6. Dizel jeneratör.....	22
Şekil 2.7. Foltovoltaik hücrenin katmanları[68]	25
Şekil 2.8. Güneş pilinin basite indirgenmiş eşdeğer devresi	25
Şekil 2.9. Tek bir yakıt pilinin genel yapısı	27
Şekil 2.10. Volan enerji depolama sisteminin şematik görünüşü.....	31
Şekil 2.11. Tipik bir pompalanmış su tabanlı enerji depolama ünitesinin şematiği.....	32
Şekil 2.12. Ultra kapasitör şeması	35
Şekil 2.13. Tipik bir SMES sistemi.....	36
Şekil 3.1. DIgSILENT programı ile örnek şebeke	42
Şekil 3.2. Yeni bir proje oluşturmak ekranı	43
Şekil 3.3.Yeni bir proje oluşturmak ekranı	43
Şekil 3.4. Study case tanımlaması	44
Şekil 3.5. Study case tanımla sayfası arayüzü.....	44
Şekil 3.6. Program arayüzü	45
Şekil 3.7. Baraların çizilmesi	46
Şekil 3.8. Proje ait elamanların döndürülmesi	46
Şekil 3.9. Generatörlerin oluşturulması.....	47
Şekil 3.10. Trafoların oluşturulması.....	48
Şekil 3.11. Hatların oluşturulması.....	48
Şekil 3.12. Yüklerin oluşturulması.....	49
Şekil 3.13. Bara bilgilerinin tanımlanması.....	50
Şekil 3.14. Trafo tanımlamaları-1	50
Şekil 3.15. Trafo Tanımlamaları-2	51
Şekil 3.16. Trafo Tanımlamaları-3	52

Şekil 3.17. Generatör bilgilerinin tanımlanması-1	52
Şekil 3.18. Generatör bilgilerinin tanımlanması-2	53
Şekil 3.19. Generatör bilgilerinin tanımlanması-3	54
Şekil 3.20. Hat bilgilerinin tanımlanması-1	54
Şekil 3.21. Hat bilgilerinin tanımlanması-2	55
Şekil 3.22. Hat bilgilerinin tanımlanması-3	56
Şekil 3.23. Hat bilgilerinin tanımlanması-4	56
Şekil 3.24. Hat bilgilerinin tanımlanması-5	57
Şekil 3.25. Hat bilgilerinin tanımlanması-6	58
Şekil 3.26. Yük bilgilerinin tanımlamalarının yapılması	58
Şekil 3.27. İşletme durumu için generatör yüklenme bilgilerinin tanımlanması	59
Şekil 4.1. Mikroşebeke yapısı	60
Şekil 4.2. Mikroşebekeli sistemin blok diyagramı	61
Şekil 4.3. Rüzgar türbini çalışma diyagramı	62
Şekil 4.4. Mikroşebekede kullanılan rüzgar türbini PQ kontrol parametreleri	63
Şekil 4.5. DIgSILENT rüzgar santrali blok diyagramı	64
Şekil 4.6. Mikroşebekede kullanılan PV panel parametreleri	64
Şekil 4.7. DIgSILENT PV generatör şebeke blok diyagramı	65
Şekil 4.8. PV sistemin güç kontrol şeması	65
Şekil 4.9. DIgSILENT PV parametre bloğu	66
Şekil 4.10. DIgSILENT batarya depolama sistemi blok diyagramı	67
Şekil 4.11. Mikroşebekede kullanılan batarya parametreleri	67
Şekil 4.12. Dizel generatör çalışma diyagramı	68
Şekil 4.13. PLL yapısı	68
Şekil 4.14. Sonbahar mevsimini karakterize eden profiller	71
Şekil 4.15. Kış mevsimini karakterize eden profiller	73
Şekil 4.16. İlkbahar mevsimini karakterize eden profiller	75
Şekil 4.17. Yaz mevsimini karakterize eden profiller	77
Şekil 4.18. Senaryo 1'a ait sonuçlar	79
Şekil 4.19. Senaryo 1'in 15.sn'ne ait sonuçlar	80
Şekil 4.20. Senaryo 2'a ait sonuçlar	81
Şekil 4.21. Senaryo 3'a ait sonuçlar	82
Şekil 4.22. Senaryo 3'ün 15.sn'ne ait sonuçlar	83
Şekil 4.23. Senaryo 4'a ait sonuçlar	84

Şekil 4.24.Senaryo 5'e ait sonuçlar	85
---	----



TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Enerji depolama teknolojileri	29
Tablo 4.1. Sonbahar dönemi verileri	70
Tablo 4.2. Kış dönemi verileri	72
Tablo 4.3. İlkbahar dönemi verileri	74
Tablo 4.4 Yaz dönemi verileri	76
Tablo 4.5 Dinamik güç akış senaryoları	78



SEMBOLLER LİSTESİ

AKH	: Alan kontrol hatası
β_i	: Frekans bias faktörü
ΔP_{ara}	: Ara bağlantı hattı güç değişimi
Δf	: Frekans değişimi
K	: Yansıyan ışığın odaktan sapma ölçüsü
$\Delta \omega_r$	: Türbin rotor mili mekanik hız değişimi
ΔY_E	: Governorün çıkış gücü değişimi
R	: Hız regülasyon sabiti
T_G	: Governor zaman sabiti
T_t	: Türbin zaman sabiti
ΔP_m	: Türbin çıkışı güç değişimi
T_m	: Mekanik moment
T_e	: Yük momenti
J	: Atalet momenti
H	: Atalet sabiti
D	: Yük sönümleme katsayısı
ΔP_L	: Yük değişimi
Δf	: Frekans değişimi
$\Delta \omega$	: Açısal hız değişimi
K_p	: Jeneratör- yük sisteminin kazancı
T_p	: Jeneratör- yük sisteminin zaman sabiti
P_{line_aa}	: Alternatif akım bağlantı hattı güç değişimi
P_{line_da}	: Doğru akım bağlantı hattı güç değişimi
K_j	: Kontrol alanı kazancı

P_{tie} : AA bağlantı hattı ile DA bağlantı hattı toplam güç değişimi

$\Delta\delta$: Faz açısı değişimi

π : Pi sayısı

T_{ij} : Hattın eşzamanlılık moment katsayısı

α_{ki} :Jeneratör ünitesinin yük frekans kontrolüne katılma oranı

K_f, K_{AC} : DA bağlantı hattı güç kontrolörünün kazançları

T_{DC} : DA bağlantı hattının zaman sabiti



KISALTMALAR LİSTESİ

AA	: Alternatif Akım
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
DEK	: Dağıtık Enerji Kaynakları
FV	: Fotovoltaik
PV	: Fotovoltaik Güneş Panelleri
DA	: Doğru Akım
GT	: Gaz Türbini
KÇGS	: Kombne Çevrim Gaz Türbini
DM	: İçten Yanmalı Motorlar
MT	: Mikro Türbinler
YP	: Yakıt Hücreleri
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

1. GİRİŞ

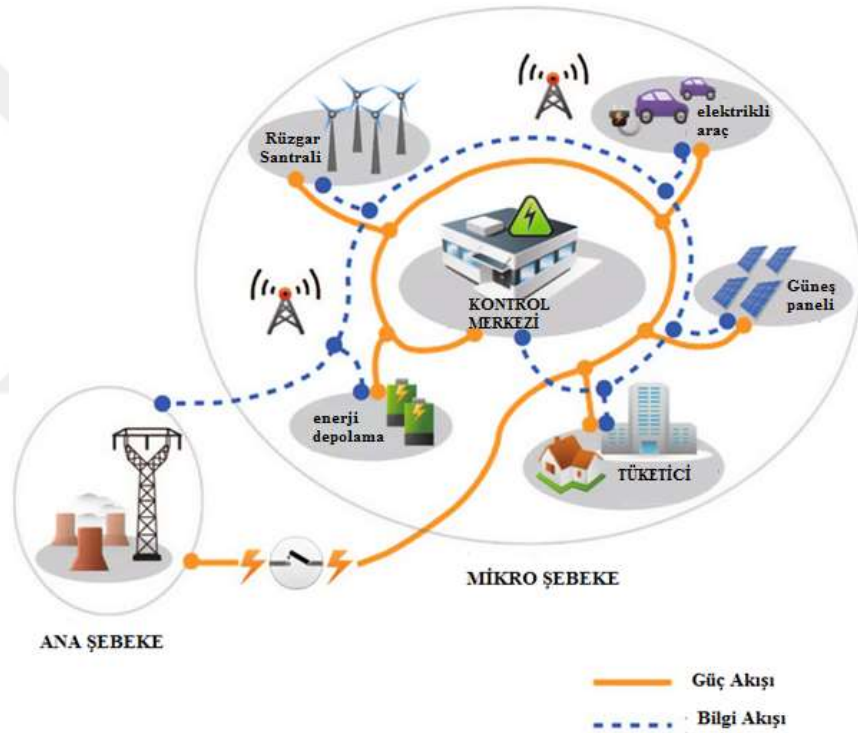
Elektrik enerjisi günümüzde ve icadından bu yana hayatımızı kolaylaştıran modern hayata geçişimizde en büyük etken olmuştur. Diğer enerji türlerine dönüşebilen bir enerji kaynağı olması itibariyle ayrıca önem arz etmektedir. Sanayi İnkılabı sonrası önemi daha fazla anlaşılan bu enerji insan hayatının kalitesi, ülkelerin gelişmişlik seviyeleri ve sosyoekonomik anlamda gelişmişliğin en büyük etkeni olmuştur. Bu kadar önemli bir konuma gelen elektrik enerjisi, nüfusun artması, yaşam standartları ve kalitesinin yükselmesi, sanayi ve teknolojik gelişmeler, ülkeler arası rekabet ve çıkarlarına paralel olarak fiyatları artmış ve değer kazanmıştır. Artan enerji fiyatları ülkeleri dış bağımlılıktan kurtarmak ve arz güvenliğini sağlayabilmek adına ulusları farklı enerji kaynaklarına yönelmelerine sebep olmuştur.

Geleneksel yöntemlerle yapılan fosil yakıt tabanlı enerji üretimi dünyamıza geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir. İnsanların, ortam yaşam alanı olan yeryüzümüzdeki bitkilerin korunması, tüketim ve üretim yaparken çevreye yapılan tahribatların azaltılması ve iklim değişikliği gibi konularda sorumlu olması ve bunu kendine görev edinmesi gerekmektedir. Fosil yakıtların rezerv sıkıntıları ve yenilenememesi, çevreye zararı gibi faktörler; teknolojinin ve uygarlıkların gelişmesiyle yenilebilir çevre dostu enerji kaynaklarına yönelimleri arttırmıştır. Rüzgar ve Fotovoltaik (FV) sistemlerin de bulunduğu yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) bu etkenlerden dolayı önem kazanmıştır[1].

YEK ülkemizin yer aldığı coğrafyada çeşitlilik göstermektedir bu bakımdan şanslı bir konumda yer almaktayız. YEK'ları milli sermaye kullanıldığı için maliyetleri az üretim şekilleri itibariyle çevre ve insan sağlığına en az seviyede zararlıdırlar. Bu sebeple YEK'lerin (Fotovoltaik paneller, Rüzgar türbinleri, Dalgadan enerji üretimi, biyokütle vb.) kullanımı geleceğe yönelik talepleri karşılamak noktasında tükenme kaygısı olmadan ihtiyacın karşılanmasını sağlayacaktır. Türkiye, iklimi açısından YEK'lerin kullanımına çok uygun bir ülkedir. YEK'ler Maliyet açısından kurulumu için harcanan maliyeti amorti etme süresi kısa olmakta ve tükenme sorunu bulunmamaktadır. Önceki YEK'lerin talep eden merkezlere yakın olmaması rüzgar, güneş gibi değişkenlere bağımlı olması çok iyi seviyede üretimin tahmin edilememesi ve anlık değişim durumları olması tercih edilme durumlarını sınırlamaktadır. Depolama sistemleri bu sorunu önlemek adına geliştirilmiş iyi bir yöntemdir. Üretimin olduğu saatlerde ihtiyaç fazlasını depolama yaparak üretimin

yetersiz kaldığı zaman aralıklarında ihtiyaç noktalarına iletilmesini sağlamaktadır. Böylece enerjinin sürekliliği sağlanmış ve kaliteli bir şebeke alt yapısı oluşmuş olacaktır.

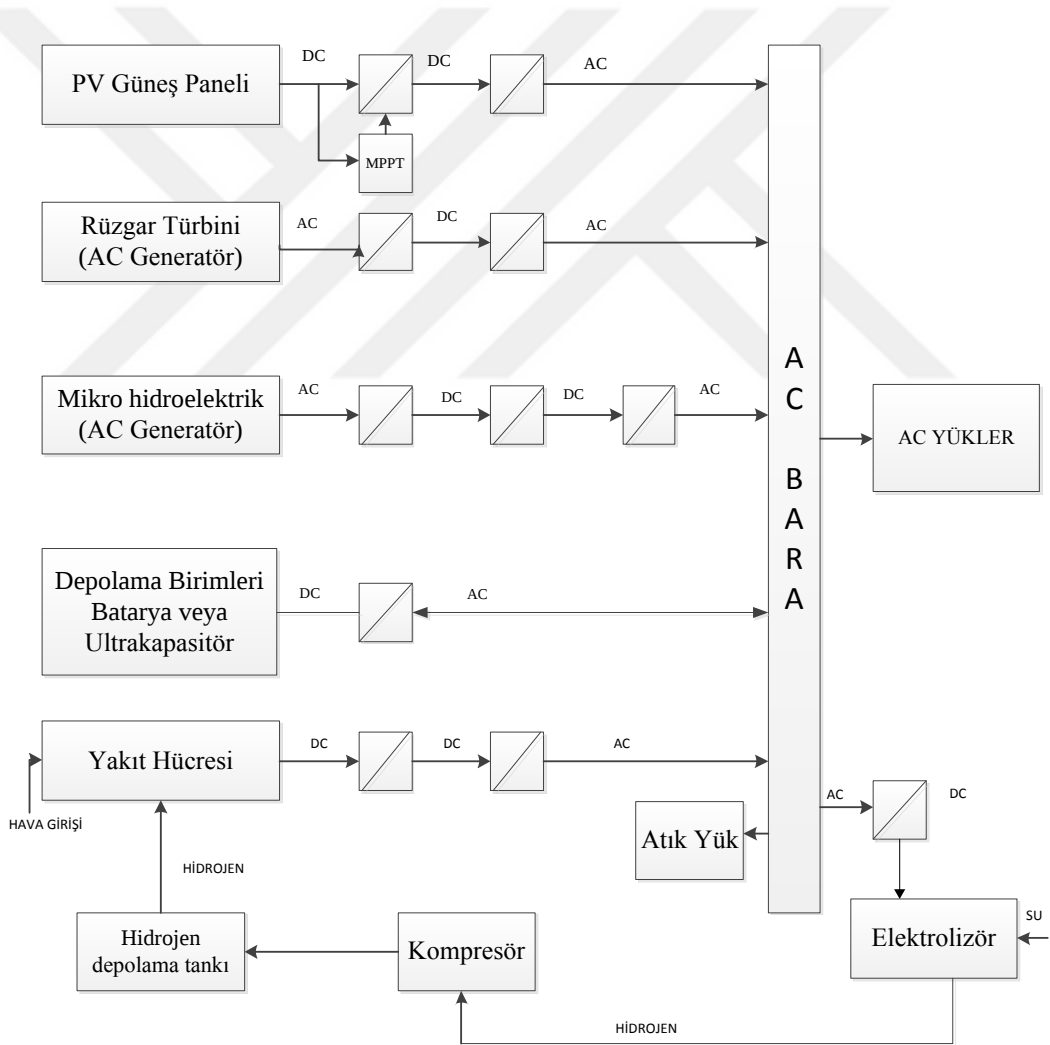
Geleneksel güç sistemlerinde yerleşim yerlerinden uzakta bulunan elektrik enerjisi üretim kaynakları, iletilen kayıplarını azaltmak amacı ile üretim yerinde yüksek gerilime çevrililerek iletilir. Dağıtım şebekelerine kadar taşınan elektrik enerjisi alçak gerilime indirilerek dağıtım yapılmaktadır[2]. Bu geleneksel yapı son yıllarda değişim arz etmektedir. Enerji üretim kaynaklarının alçak gerilim seviyesinden şebekeye bağlanmaları bunun bir sonucudur. Yapıdaki değişim mikroşebeke olarak kendini göstermiştir. Mikroşebekeler yerel üretim ve tüketimin olduğu ve aynı zamanda ulusal şebekeye bağlı yapılardır.



Şekil 1.1. Tipik bir mikroşebeke yapısı

Mikroşebekeler kendi içerisinde enerji ihtiyacının karşılandığı ve şebekeye bağlı olarak bağımsız bir şekilde üretim tüketim dengesinin anlık olarak kontrollü ve en asgari hata oranında sağlandığı sistemlerdir. Artan enerji talepleri yenilik ihtiyaçlarını da beraberinde getirmektedir. Böylelikle enerjinin ihtiyaç noktalarına en verimli şekilde ihtiyaç seviyesinde taşınması önemli bir yere sahiptir. Mikroşebekeler içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması da çevre ve canlılar açısından önemli bir yere sahiptir.

YEK'in güç çıkışlarının önceden tahmin edilmediği için dağıtım şebekesine bağlanmaları durumunda mevcut elektrik güç sistemi üzerinde etki yapması beklenir. Elektrik şebekesi enterkonnekte yapıda olduğu için sistem üzerinde yer alan üretim birimlerinin 2 herhangi birisinde küçük bir güç değişimi diğerleri üzerinde frekans ve gerilim kararsızlığı gibi ciddi sıkıntılara yol açabilir. YEK'den kaynaklanan sıkıntılara çözüm olması için tüketicilerin birer aktif üretici olabileceği bir sistem düşünülmüştür. Sonuç olarak dağıtım şebekesi içerisinde belirli standartlar altında yerel bir bölgeyi kesintisiz şekilde beslemesi için AŞ konsepti altında mikroşebeke (microgrid) sistemi ortaya çıkmıştır. Mikroşebeke yapısı içerisinde; dağıtık enerji kaynakları (DEK), inverter sistemleri, depolama birimleri ve yüklerden oluşan küçük bir güç sistemidir [3].



Şekil 1.2. Mikroşebeke blok diyagramı

1.1. Literatür Taraması ve Değerlendirmesi

Yapılan literatür incelemesi sonucunda mikroşebekeler üzerine yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Lasseter R. CERTS bünyesinde mikroşebekeler üzerine araştırmalar yapmaktadır. (CERTS, 1999 yılında ABD elektrik güç sistemini koruma, sistemin güvenilirliğini artırılması gibi birçok konu üzerinde araştırma ve geliştirme yapmak amacıyla kurulmuş bir kurumdur.) 2001 yılında yaptığı çalışmada mikroşebekenin güvenilirliğini artırma adına bazı kriterler ortaya koymuştur. Gerekli elektriksel gücü ve ısıyı mikroşebekeler vasıtasıyla temin etmek, sistem kayıplarını en alt seviyeler çekmek ve verimliliği en üst seviyelere getirmek bu kriterlerden birkaçıdır[4].

Barnes M. ve arkadaşları, mikroşebeke uygulamalar adına 2005 yılında deneysel sistem üzerinde Mikroşebekelere ilişkin simülasyonlar yapmışlardır. Bu simülasyonlarda depolama teknikleri üzerine testler geliştirmişlerdir[5,6].

Pes Lopes JA ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada mikroşebekenin izoleli çalışmasına ilişkin iki yaklaşım geliştirmişlerdir. İlk yaklaşımda odaklandıkları konu inverter kontrol modlarıdır. İkinci yaklaşımda ise konvensiyonel senkron makine kontrolü üzerine yaklaşımlar geliştirmişlerdir[7].

Celli G. ve arkadaşları, Yeni Enerji Yönetim Sistemleri (EYS)'nin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır.(EYS, yapay sinir ağı uygulamasına dayanan ve otonom bir şekilde karar alıp uygulayabilen bir sistemdir.) İtalyan enerji ve yakıt fiyatları baz alınarak 2005 yılında hazırladıkları çalışmada EYS'nin küresel enerji faturasında tasarruf sağladığına ilişkin sonuçlara ulaşmışlardır[8].

Ghiani E. ve arkadaşları, mikroşebekenin optimum kombinasyonuna ulaşmak için dağıtım sisteminin yeniden düzenlenmesine yönelik algoritmalar geliştirmişlerdir. 2005 yılında geliştirdikleri Sequential Monte Carlo simülasyon tekniğiyle mikroşebekenin en ideal kombinasyonuna ulaşma adına önemli bir adım attıklarını savunmuşlardır[9].

Patra Shashi B. ve arkadaşları, mikroşebekelerin işletim maliyetini optimize etmeye yönelik rasyonel yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Geliştirdikleri metod dinamik bir programa dayanmıştır. Mikro kaynaklar ve bağlantı noktaları arasındaki bağlantıların ideal lokasyonunu belirlemeyi hedeflemişlerdir[10].

Alibhai Zafeer ve arkadaşları, hazırladıkları çalışmada mikroşebekede kullanılan dört temel fiyat belirleme tipini tanıtmışlardır. Bunlar; ilk fiyat- kapalı teklif, Vickrey, İngiliz ve Hollanda tipleridir. 2004 yılında hazırladıkları makalede sundukları teknikler ve

simulasyon sonuçları ışığında Hollanda tipinin daha tercih edilebilir olduğunu ileri sürmüşlerdir[11].

Dimeas A. ve Hatziargyriou N. 2004 yılında yaptıkları çalışmada dört tip yazılım tanımlamışlardır: üretim yazılımı, tüketim yazılımı, güç sistemi yazılımı ve MGCC (Mikroşebeke Merkezi Kontrolörü) yazılımı. Çalışmaya göre; MGCC yazılımı sadece koordinasyon görevine sahip ve daha özel bir yazılımken diğer üç yazılım tipi piyasada daha çok rağbet görmüştür[12].

Sakis Meliopoulos AP. ve arkadaşları, mikroşebekeli bir güç sistemi için küçük-sinyal kararlılık analizi metodunu geliştirmişlerdir. Buna göre, sistemin küçük-sinyal kararlılığı, sistemin kararlı hal durum noktası etrafındaki öz değerlerinin hesaplanması yoluyla ölçülebileceğini ileri sürmüşlerdir[13].

Jayawarna N. ve arkadaşları, tipik bir mikroşebeke için topraklamalı bir sistem tasarlamışlardır. Buna göre; karşılaşılan herhangi bir arızada çalışılacak elektriksel güvenlik kriterlerini belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada temas gerilimi ve adım gerilimi kriterlerini kabul etmişlerdir[14].

AI-Nasseri H. ve arkadaşları, arızalara karşı korumas sağlayacak yeni bir koruma planı üzerine çalışmışlardır. Bu koruma abc-dq dönüşümlerine dayanmıştır ve kısa devre arızalarını tanımlayabilmiştir[15].

Li Yun Wei ve arkadaşları, iki inverterli şebeke-arayüzgüç kalite düzelticisini tanımlamıştır. Buna göre; hem mikroşebekedeki iç kablo gerilimlerini hem de mikroşebeke ve ana şebeke arasında akan hat akımlarını kontrol etmeyi amaçlamışlardır[16].

Nichols David K. ve arkadaşlarının 2006'da yaptıkları çalışmada bir yandan mikroşebekenin faydaları sıralanırken diğer yandan Dağıtık Enerji Kaynakları (DEK)'nın sisteme dahil olmalarının beklenentileri karşılayamadığı ifade edilmiştir. Çalışmada ifade edilen başlıca dezavantajlar; yüksek maliyet, hızlı kurulum için entegrasyon modellerinin eksikliği ve başarıya ulaşmış uygulamaların yeteri miktarda olmamasıdır[17].

Ito Youichi ve arkadaşları, dağıtık üretim sistemlerinesahip dc şebeke sistemi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Tasarladıkları deneysel sistemde 10 kW PV panel generatör ünitesi, rüzgar türbin generatörü ünitesi, elektriksel güç depolama ünitesi, volan ve volan ara birimi ünitesi ve ac şebeke bağlantılı inverter ünitesi yer almıştır. Çalışmada, üniteler arasında akan bir dolaşım akımının olmadığı da vurgulanmıştır[18].

UW mikroşebeke (ABD),Wisconsin- Madison Üniversitesi'nde uygulamaya konmuştur. Mikroşebekeye entegre edilmiş dizel generatörlerin modellenmesi ve kontrol edilmesi gibi konuların araştırılması hedeflenmiştir[19].

Bronsbergen Holiday Park Mikroşebeke(Hollanda), AB'nin desteklediği birçok mikroşebeke projelerinden biridir. Proje 208 tatil evinden oluşmuştur. Üretim 108 tane çatıya yerleştirilmiş güneş panelleriyle gerçekleştirilmiştir. Üretim kapasitesi 315 kW'tır[20,21].

Am Steinweg Enstitüsündeki Evsel Mikroşebeke(Almanya),test sistemiyle DISPOWER projesi kapsamında çalışmalar yapılmaktadır. Am Steinweg Mikroşebekesi 3-faz alçak gerilim (400 V) dört kablolu bir sistemdir. 400 kVA trafo üzerinden orta gerilim(20 kV) şebekeye bağlıdır. Sistemin işletimi Power Flow ve Power Quality Management System(PoMS) tarafından gerçekleştirilir. Bu sistemle izoleli çalışma ve uzun periyotlar için enerji taleplerini karşılama hedeflenmiştir[22,23].

Cesi Ricerca Der Test Mikroşebeke (İtalya),400 V alçak gerilimli dc mikroşebekedir. 800 kVA trafo üzerinden orta gerilime(23 kV) bağlanmıştır. Birkaç dağıtılmış enerji kaynağı ve kontrol edilebilir yüklerden oluşur. Sistemde merkezileşmiş kontrol uygulanmıştır. Dağıtık kaynaklar ve yükler Supervision & Control System(SCS)'e bağlıdır. Sistem, güç kalitesini sağlamak amacıyla volan ve enerji depolama amacıyla birkaç batarya ile donatılmıştır[24,25].

Kythros Island Mikroşebeke (Yunanistan), 12 evden oluşmuştur. Üretim 10 kW güneş pili, nominal 53 kWh batarya bank ve 50 kW dizel generatörle gerçekleştirilmiştir[22].

Labovatuvar ölçekli mikroşebeke sistem (Yunanistan),Atina Ulusal Teknik Üniversitesi (National Technical University of Athens, NTVA)'nde geliştirilmiştir. Test sistemi iki güneş pili generatörü, bir rüzgar türbünü, batarya ve kontrol edilebilir yüklerden oluşan lokal bir alçak gerilim şebekesidir[5].

DE MO TEC test mikroşebeke sistem (Almanya),iki batarya ünitesi, iki dizel motor, foto-voltaik generatör ve rüzgar generatöründen oluşur. Toplam kullanılabilir üretim kapasitesi yaklaşık 200 kW'dır. Generatör kontrolü için Denetimsel Kontrol ve Veri Belirleme Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition System, SCADA) kullanılmıştır[25,26].

Manchester Üniversitesi mikroşebeke/volan enerji depolama laboratuvarı prototipi (birleşik krallık), 20 kVA şebekeye bağlıdır. Sistemde senkron generatör ve indüksiyon

motoru birbirine bağılı olarak hareket etmektedir. Volan ise inverter üzerinden enerji depolama sistemine bağlanmıştır[24,28].

Kyoto eco-energy projesi (Japonya), NEDO projeleri kapsamındadır. Sanal mikroşebeke olarak tasarlanmıştır. Her bir dağıtılmış enerji kaynağı trafoya bağılıdır ve sadece kontrol sistemi tarafından entegre edilir[29].

Hachinohe projesi (Japonya),NEDO projesi kapsamındadır. Özel dağıtım hattına dayandırılarak oluşturulmuştur. Elektrik dağıtımı ve iletimi amaçlanmıştır. Sistem, gaz motor sistemi, birkaç PV sistem ve küçük rüzgar çiftliğinden oluşmuştur[20,29].

Sendai projesi (Japonya),iki tane 350 kW gaz motoru generatörü, bir 250 kW yakıt pili, 50 kW PV, bateri enerji deposu ve çeşitli türde kompanzasyon cihazlarından oluşmaktadır. Ayrıca uzaktan ölçüm ve kontrol sistemi GPS'le senkronize bir şekilde çalışarak ölçüm verilerini elde etme, gaz motoru çıkış kontrolünü yapma, tesislerin izlenmesi gibi görevleri yerine getirmiştir[29,30].

Dumlupınar Üniversitesi'nde deneysel olarak kurulan şebekeden izole edilmiş ve şebekeye bağılı mikroşebeke sistem rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşmuştur. Deneysel olarak oluşturulan 1-10 kW arasında şebekeden bağımsız 10 adet ve 15-45 kW arasında şebekeye bağılı 6 adet üretim sistemleri üzerine senaryolar geliştirilerek araştırmalar yapılmaktadır[31].

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde otopark alanının aydınlatılması üzerine geliştirilen fotovoltaiik sistem üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar geliştirilerek tüm Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde sistemin yaygınlaştırılması hedeflenmiştir[32].

Muğla Üniversitesi'nde Devlet Planlama Teşkilatı'nın desteğiyle geliştirilen “54 kW Gücündeki Şebekeye Bağılı Fotovoltaiik Sistemin Muğla Üniversitesi Kütüphane Çatısına Entegrasyonu” adlı proje toplam gücü 54kW olan fotovoltaiik sistemden oluşmaktadır. Ayrıca bu proje, Temiz Enerji Kaynakları Vakfı tarafından da desteklenmiştir ve halen başarı ile sürdürölmektedir [33].

Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi çatısına kurulan fotovoltaiik panellerle elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır. Ayrıca, her biri 130W gücünde 6 adet güneş paneli ve 300W gücünde bir rüzgar türbini kullanılarak da enerji üretimi yapılmaktadır. Güneş panelleri ve rüzgar türbininden elde edilen enerji şarj kontrol ünitesi üzerinden bataryalara aktarılıp depolanmaktadır. Doğru akım halinde depolanan enerji, eviriciden geçirilerek

alternatif akıma dönüştürülmektedir. Elde edilen elektrik enerjisi fakültede bir akademisyen odasında kullanılmaktadır[34].

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde kurulan mikroşebeke sistem, 400 W gücünde bir rüzgar türbini, 1000 W gücünde fotovoltaiik panel ve 1200 W gücünde hidrojen yakıt pilinden oluşmuştur. Sistem şebekeye bağlı olarak çalışmaktadır.

Elgerd ve Fosha; 1970 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sistemlerinin Otomatik Üretim Kontrolü (Automatic Generation Control - AGC) için ilk modern kontrol tasarımını ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, ikincil kontrol için klasik kontrol yöntemlerini kullanarak oransal bir kontrolör ve farklı bir geri besleme düzeni ile optimal kontrolör tasarımı yapmışlardır [35].

Kumar ve Kothari, ilk çalışmalarından günümüze kadar, yük-frekans kontrolünde ikincil kontrole yönelik klasik, adaptif, optimal ve dayanıklı (robust) kontrol yöntemleri ya da yapay zeka tabanlı kontrol yöntemleri kullanarak, birbirlerine göre çeşitli üstünlükleri olan birçok farklı kontrol stratejileri geliştirmişlerdir[36].

Lee ve arkadaşları, 1991 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sistemler için bir kazanç güncellemeli kontrolör önermişler, bu kontrolör ile geniş bir çalışma aralığında o zamana kadar sağlanan en iyi kontrol performansını elde ettiklerini ileri sürmüşlerdir [37].

Rubai ve Udo, 1994 yılında yük-frekans kontrolü için çok değişkenli kazanç güncellemeli bir kontrol yöntemi önermişler, kazanç güncelleme algoritmasında farklı bir maliyet fonksiyonu kullanmışlardır [38].

Demirören ve arkadaşları, 2001 yılında yaptıkları çalışmalarda bir enterkonnekte güç sistem modeli üzerinde frekans denetleyici olarak yapay sinir ağı tabanlı kontrolör tasarlamışlardır. Çalışmalarında, üç kontrol bölgesine sahip bir enterkonnekte sistem modeli kullanarak sonuçlarını geleneksel ve klasik yöntemlerle karşılaştırmışlardır [39].

Çam ve Kocaarslan, 2005 yılında yaptıkları Oransal - İntegral (PI) kontrolörün tasarımında kazançlarını güncellemek için bulanık mantık ve yedi adet bulanık kuralları kullanmışlar ve yük frekans kontrol performansını arttırmışlardır [40].

Saravuth ve arkadaşları, 2007 yılında yaptıkları çalışmalarında süper iletkenli manyetik enerji depolama ünitesi içeren bir enterkonnekte sistem için optimal kazanç güncellemeli Bulanık mantık PID-kontrolör önermişlerdir. Tasarımlarında, bulanık mantık PID kontrolörün kazançlarının güncellemesi için geliştirilen Çoklu Tabu Arama

algoritması kullanmışlardır. Önerilen çalışmanın performansını geleneksel PID ve optimal olmayan kazanç güncellemeli bulanık mantık PID kontrolör performansları ile karşılaştırılmışlardır[41].

Taher ve arkadaşları, 2008 yılında yaptıkları çalışmalarda iki kontrol alanına sahip bir enterkonnekte sistem modelinde PI-kontrolörün kazanç güncellemesi için Parçacık Sürü algoritması ve Parçacık Sürü algoritması ile oluşturdukları hibrit bir algoritma kullanmışlardır. Hibrit algoritmada, genetik algoritmasında ya da evrimsel gelişim algoritmasında olduğu gibi doğal seçim ve mutasyon gibi evrimsel operatörler kullanmışlardır [42].

Rashedi, 2009 yılında yapmış oldukları çalışmalarda çeşitli sezgisel optimizasyon yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerin çoğu canlıların sürü davranışları ilham alınarak geliştirilmiştir. Yazarlar yaptıkları çalışmalarda ağırlık ve kütle etkileşimleri kanununa dayalı yeni bir optimizasyon yöntemi algoritması tanımlamışlardır. Ayrıca, önerdikleri yöntemi bilinen bazı sezgisel arama yöntemleri ile karşılaştırmışlardır [43].

Bhatt ve arkadaşları, 2010 yılında yaptıkları çalışmada iki kontrol alanına sahip bir enterkonnekte sistem modelinde Süper İletkenli Manyetik Enerji Depolama Ünitesi (SMES), Tristör Faz Yer Değiştirme Kontrolü (TCPS) tabanlı frekans dengeleyicisi ve integral kazanç güncellemesi için Çılgın Parçacık Sürüsü algoritması kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçları SMES ve TCPS tabanlı frekans dengeleyicisi performansı ile farklı yük değişimi durumları için karşılaştırmışlardır [44].

Gözde ve arkadaşları, 2010 yılında yaptıkları çalışmada iki bölgeyi ara-ısıtma içeren tırbünlü enterkonnekte sistemde yük-frekans kontrolü için tasarladıkları PI-kontrolörün kazançlarını güncellemek için kullandıkları parçacık sürüsü algoritmasında farklı bir maliyet fonksiyonu önererek sistem performansını arttırmayı hedeflemişlerdir [45].

Saikia ve arkadaşları, 2011 yılında yaptıkları çalışmalarda beş bölgeyi bir enterkonnekte güç sistem modeli üzerinde, kazançları Bakteriyel Toplayıcılık (Bacterial Foraging, BF) tekniği ile güncellenen bir İntegral-Çift Türev (IDD) kontrolör kullanmışlardır. Önerilen kontrolör performansını; İntegral (I), Oransal-İntegral (PI), İntegral-Türev (ID) ve Oransal-İntegral-Türev (PID) performansının elde edilmiş sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Her bir bölge için dakikada %3 üretim oranı kısıtlamalarını dikkate alarak, sistemdeki parametrelerin değişimi durumunda BF tabanlı IDD kontrolörün performansı incelemişlerdir [46].

Duman ve arkadaşları, 2012 yılında yaptıkları çalışmalarda bir bölgele güç sisteminin yük frekans kontrolü amacıyla kullandıkları PI ve PID kontrolörün kazançlarını Yerçekimi Arama Algoritması (YAA) ile güncelleyip geleneksel yöntemler ile karşılaştırmışlardır. Yerçekimi arama algoritması yönteminin geleneksel PI ve PID kontrolörüne göre daha iyi sönümleme, az salınım ve kısa süre de geçici yanıt verme özelliklerine sahip olduğunu göstermişlerdir [47].

Taplamacıoğlu ve arkadaşları, 2012 yılında yaptıkları çalışmalarda iki bölgesi olan bir güç sisteminin yük-frekans kontrolünü yapmak amacıyla kullandıkları PI ve PID kontrolörün kazançlarını güncellemek için Yapay Arı Kolonisi (ABC) optimizasyon algoritması kullanmışlardır. Algoritmanın yük-frekans kontrol performansı Parçacık Sürüsü algoritması ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir[48].

Panda ve arkadaşları, 2013 yılında yaptıkları çalışmalarda iki ve üç bölgele enterkonnekte güç sisteminin frekans kontrolü için hibrit bakteriyel toplayıcılık optimizasyon algoritması (hybrid bacterial foraging optimization algorithm, HBFOA) kullanarak bir optimum orantılı-integral (PI) denetleyicinin parametrelerini bulmaya çalışmışlardır. İntegral zaman mutlak hatası (ITAE) çalışma metodu performans indeksini minimize ederek PI denetleyicinin parametrelerini elde etmişler ve elde edilen sonuçları bakteriyel toplayıcılık optimizasyon algoritması (BFOA), parçacık sürüsü optimizasyon ve genetik algoritması ile karşılaştırmışlardır [49].

Azadan ve Torkzadeh, 2013 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sisteminin yük-frekans kontrolü için genetik algoritma tabanlı bulanık kazanç güncellemeli PID-kontrolör tasarımını önermişlerdir. Çalışmalarında, kazanç güncelleme için kullandıkları bulanık mantık yapısına ait bulanık kural kümesinin tasarımı için genetik algoritmaları kullanmışlardır [50].

Sahu ve arkadaşları, 2013 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sisteminin frekans kontrolü için Diferansiyel Evrim (DE) tabanlı 2 - serbestlik dereceli oransal-integral-türev (2-degree freedom based PID) tabanlı denetleyici sunmuşlardır. DE algoritmasında maliyet fonksiyonu olarak Hatanın Karesinin İntegrali (HKİ) metodunu ve Hatanın Zamanla Çarpılmış Değerlerinin Karesinin İntegrali (HZKİ) metodunu kullanmışlardır. Algoritmanın yük-frekans kontrol performansını son yıllar da yayınlanan çılgınlık tabanlı parçacık sürü optimizasyon (craziness based particle swarm optimization, CPSO) algoritmasının performansı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [51].

Yeşil, 2014 yılında yaptığı çalışmada dört bölgeli ara ısıtmalı buhar türbinine sahip olan bir enterkonnekte güç sisteminin frekans kontrolü için tip-2 bulanık tabanlı PID denetleyiciyi tasarlayıp, kontrolörün optimum kazançları elde edilebilmesi için Büyük Patlama (Big Bang, BB) optimizasyon tekniğini kullanmıştır. Elde edilen performans sonuçlarıyla geleneksel PID ve tip-1 bulanık tabanlı PID kontrol performanslarını karşılaştırmıştır [52].

Süper İletken Manyetik Enerji Depolama (SMES) ve katı hal fazında şalter üzerine birkaç yayın hazırlanmıştır ve bu yayınlarda en yeni depolama teknolojilerinden biri olan SMES'lerin yük-frekans kontrolündeki önemli rolleri ortaya konmuştur[53].

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Literatür taraması sonucunda mikroşebekelerin dünya üzerinde çok fazla sayıda uygulama alanına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum bu tip şebekelerin mutlak şekilde analizinin yapılması gerekliliğini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bir şebekenin planlama aşamasından işletme aşamasına kadar, daha sonra da işletme durumunda yapılması gereken en önemli analizlerden biri güç akış analizidir. Güç akış analizini zorunlu kılan nedenlerin en önemlisi, enerji akışının sürekliliğinin sağlanmasıdır.

Bu çalışmada amaç, bir mikroşebekenin Power Factory DIgSilent programı ile tasarlanması ile şebeke bağlı ve şebekeden bağımsız olma durumları için farklı senaryolar üretilerek sistemin dinamik ve yarı dinamik güç akış analizinin yapılmasıdır. Çalışmada DIgSilent programının tercih edilme sebebi öncelikli olarak sistemin çok gerçekçi olarak modellenebilmesidir. Bir diğer sebep ise güç akış analiz yöntemidir. Programın altyapısına uygun olarak geliştirilmiştir ve klasik yöntemlere göre farklılık arz etmektedir. Bu yeni analiz yöntemiyle, klasik güç akış analizi yöntemlerinde uygulanan iteratif yöntemlerin bertaraf edilerek işlem yoğunluğunun azaltılması ve dolayısıyla daha hızlı analiz yapılması amaçlanmıştır.

Ayrıca, oluşturulan mikroşebekenin çeşitli durumlar için çalışma karakteristikleri incelenerek hangi durumun mikroşebekeyi ne kadar etkileyebileceği konusunda tespitlerde bulunulacaktır. Bu işlemler için öncelikle dört baralı bir mikroşebeke yapısı Power Factory DIgSILENT platformu altında tasarlanacaktır. Bu mikroşebekenin üretim kaynakları rüzgâr enerji santrali, PV sistemi, yakıt pili sistemi olarak tanımlanacak, baraların çeşitli

gerilim seviyelerinde bağılı olmak üzere dinamik yüklerimiz tanımlanacak ayrıca ana bara üzerinden şebekeye bağlantımız tasarlanacaktır.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde, mikroşebekeler üzerine genel bilgiler ve literatür araştırması verilmiştir. İkinci bölümde mikroşebekede kullanılan enerji üretim ve depolama kaynakları statik ve dinamik kaynaklar olarak sınıflandırılmış ve bu kaynaklara ilişkin genel bilgiler, çalışma işleyişleri ve enerji üretim denklemleri verilmiştir. Üçüncü bölümde mikroşebeke analiz programları hakkında bilgiler verilerek Power Factory DIgSILENT başlığı altında incelemeler yapılmıştır. Dördüncü bölümde, güç akış analizinde kullanılmak üzere Power Factory DIgSILENT platformunda tasarlanan mikroşebeke modeli anlatılmış ve farklı senaryolar üretilerek bunlara ait sonuçlar verilmiştir. Sonuç bölümünde ise elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. MİKRO ŞEBEKELERDE KULLANILAN ENERJİ ÜRETİM VE DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Geleneksel güç sistemlerinde yerleşim yerlerinden uzakta bulunan elektrik enerjisi üretim kaynakları, iletilen kayıplarını azaltmak amacı ile üretim yerinde yüksek gerilime çevrililerek iletilir. Dağıtım şebekelerine kadar taşınan elektrik enerjisi alçak gerilime indirilerek dağıtımı yapılmaktadır [2]. Bu geleneksel yapı son yıllarda değişim arz etmektedir. Enerji üretim kaynaklarının alçak gerilim seviyesinden şebekeye bağlanmaları bunun bir sonucudur. Yapıdaki değişim mikroşebeke olarak kendini göstermiştir. Mikroşebekeler yerel üretim ve tüketimin olduğu ve aynı zamanda ulusal şebekeye bağlı yapılardır. Ulusal şebekenin bir parçası olan bir mikroşebeke sistemi, şebeke bağımsız ya da bağlantılı olarak iki farklı modda çalışabilir.

Bu bölümde bir mikroşebekede kullanılan enerji üretim ve depolama sistemleri dinamik ve statik üretim sistemleri olarak sınıflandırılmıştır. Dinamik ve statik enerji üretim sistemleri arasındaki temel fark sistemde dönen bir makinenin kullanılmasıdır. Dinamik enerji üretim sistemlerinde generatör gibi bir dönen makine kullanılırken statik enerji üretim sistemlerinde dönen bir makine bulunmaz.

Bir mikroşebekede bütün bu enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılabilmesi adına enerji yönetim stratejileri geliştirilir. Enerji yönetimiyle, bir yandan kurulacak olan mikroşebekenin kurulum ve işletme maliyetlerini makul bir seviyede tutmak diğer yandan sistemden beslenen tüketicinin enerji talebini hızlı ve kesintisiz bir şekilde karşılayabilmek hedeflenir.

2.1. Enerji Üretim Sistemleri

Mikroşebekelerde dağıtık enerji kaynakları, hem dağıtık enerji üretimi hem de dağıtık enerji depolama birimlerini bünyesinde barındırır. Dağıtılmış enerji üretim sistemleri; gaz türbinleri (GT), kombine çevrim gaz türbinleri (KÇGS), içten yanmalı motorlar (DM), yakıt hücreleri (YP), fotovoltaik güneş panelleri (PV), mikro türbinler (MT), rüzgâr türbinleri (RT), mini hidroelektrik santrali, jeotermal enerji sistemleri, dalga enerjisi, gelgit enerjisi ve biyokütle gibi üretim birimleridir.[54]

Mikroşebekeler de doğru bir şekilde enerji yönetimi yapmak için doğru modellemeler yapılmalıdır. Son yıllarda mikroşebekelerin işletilmesi ve kontrolü önemli bir araştırma

konusu olarak ortaya çıkmıştır. Bu konu ile ilgili olarak araştırmacılar akademik ve ticari olarak önemli araştırmalar gerçekleştirmektedirler. Ulusal şebekeden bağımsız çalışan mikroşebekeler, elektrik enerjisinin devamlılık süresini arttırmak için batarya ve diğer enerji depolama sistemleri ile birleştirilebilir. Mikroşebekeyi oluşturan enerji üretim sisteminin bileşenleri aşağıdaki bölümlerde ayrı ayrı açıklanmıştır.

Şekil 2.1 de mikroşebeke sistemlerinde kullanılan enerji üretim sistemlerine ait şema gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Dağıtık üretim teknolojileri

2.1.1. Dinamik Üretim Sistemleri

Dinamik enerji kaynaklarında, enerji üretimi dönen makinalarla yani generatörler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu enerji kaynaklarıyla üretilen ve depolanan enerji AC ya da DC olabilir. Rüzgar türbin generatörü, hidroelektrik güç sistemleri, volanlar, kojenerasyon sistemleri ve dizel jeneratörler dinamik enerji kaynaklarındandır. Bu kaynaklara ilişkin bilgiler aşağıda verilmektedir.

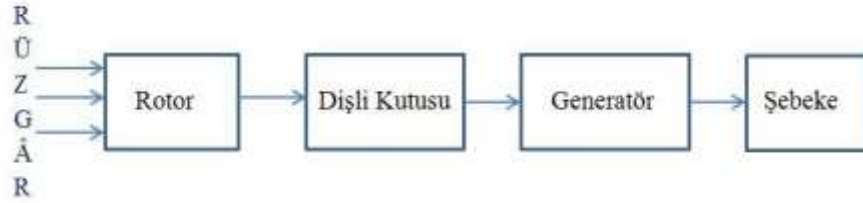
2.1.1.1. Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemi

Rüzgâr enerjisi; doğal yollarla oluşan, çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisinin kaynağı, yeryüzünün gündüz ve gece sıcaklık farklarından kaynaklı olarak ısınması ve soğuması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin doğurduğu hava akımlarının toplamıdır. Sıcaklık ve basınç farkları, Güneş'in yerküreyi ve etrafındaki atmosferi eşit oranda ısıtmadığı için oluşmaktadır ve bu farklar neticesinde hava akımı oluşmaktadır. Yükselen hava kütesinin ve soğuk hava kütesinin yer değiştirmelerinin sonucu oluşan etkiye rüzgâr adı verilmektedir. Ayrıca, rüzgâr şu şekilde de tanımlanabilmektedir;

birbirine komşu olan yüksek basınç alanı ile alçak basınç alanı arasındaki basınç farkları nedeniyle alçak basınç merkezi ile yüksek basınç merkezinin yer değişimi sonucu oluşan hava akımıdır. Rüzgâr, hareket yönünün ilerisinde meydana gelen birbirinden farklı atmosferik olaylar, Dünya'nın eksenini etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri, bölgesel ısı dağılımı ve yeryüzünün topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı, yüksek basınca sahip bölgelerden alçak basınca sahip bölgelere doğru meydana gelen hareketi esnasında şekillenmektedir.

Rüzgârın kaynağı güneş enerjisidir. Dünya'ya güneşten gelen enerji Dünya'nın şekli, dönme eksenini ve yüzeyinin homojen olmaması gibi sebeplerle homojen ısınamaya sağlayamaz. Bu düzgün olmayan ısınma ve soğuma sonucunda rüzgâr oluşur. Rüzgâr; hava kütlelerinin yatay veya yataya yakın doğrultuda yer değiştirmesidir. Güneş enerjisinin yaklaşık %2'lik bir kısmı rüzgârın kinetik enerjisine dönüşür [55]. Rüzgâr vektörel bir kuvvettir, yönü ve şiddeti vardır. İnsanoğlunun rüzgâr enerjisinden faydalanması çok eski dönemlere dayanmaktadır. Tarih boyunca rüzgârdan; yel değirmenleri ile tahılların öğütülmesinde, yine yel değirmenleri ile su pompalayarak tarımda sulama ihtiyacının karşılanmasında ve gemilerde yelkenler ile deniz taşımacılığında faydalanılmıştır [56]. Eski tarihlerden bu yana Rüzgar gücünün etkisinden faydalanılmıştır. Yapılan araştırmalar Eski Mısır, Japonya, Çin ve İran'da yel değirmenleri yardımıyla tahıl öğütme tekniğinin M.Ö. 2000 yıllarına kadar uzadığını gösteriyor. Rüzgar gücünün kullanımı MS. 12. Yy' a kadar deniz ulaşımıyla sınırlı kalırken sonraki yüzyıllarda yel değirmenlerinde itici güç olarak kullanılmıştır. Yel değirmenleri ekonomik kalkınmanın sağlanmasında ve Romalılardan kalma madenlerin su baskınlarından kurtarılacak tekrar hizmete açılmasında kullanılmıştır. Bu yönüyle yel değirmenlerinin Avrupa'yı orta çağın karanlığında kurtardığı söylenebilir. Rüzgâr türbinleri 19. yüzyılın sonlarında elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. İlk rüzgâr güç dönüşüm sistemi Danimarka'da LaCour'un yaptığı 23 m çaplı rüzgâr türbini ile Amerikan Brush firmasının yaptığı 12 kW gücünde DA rüzgâr güç sistemidir. Daha sonra Danimarka'da 20-30 kW gücünde rüzgâr türbinleri yapılmıştır. 1931 yılında 100 kW gücünde rüzgâr türbini yapılmıştır. 1930-1940 yıllarında ABD'de küçük güçlü uygulamalarda kullanılabilen çok sayıda rüzgâr türbini üretilmiştir. Bu dönemde üretilen en büyük rüzgâr türbini 1250 kW'lık Putnam rüzgâr türbinidir. ABD'de Granpa Knop bölgesinde 1941 yılında kurulmuştur. 53 m çapındaki iki kanatlı Putnam türbini ilk modern türbindir. Türbinin ağırlığı 250 ton olduğundan dolayı malzeme yorgunluğu ve titreşim sebebiyle dört yıl sonra bir kanadı kopmuştur. II. Dünya

Savaşı'ndan sonra 1945 yılında İngiltere'de bu konuda yapılan bilimsel çalışmalardan sonra, 10 kW gücünde Andreu türbini kurulmuştur. Andreu türbininin rotoru üç kanatlı, 15 m çapındadır. Danimarka'da 1947 yılında yapılan bir çalışmanın sonucunda 200 kW'lık daha modern bir yapı olan Gedser türbini 1959 yılında enerji üretimine başlamıştır. Bu türbin 24 metre çaplı bir rotora ve üç kanata sahiptir [57]. 1973'teki petrol krizinden sonra enerji fiyatlarındaki artış ve geleneksel kaynakların tükeneceği endişesi ile alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Rüzgar enerjisi de güneş enerjisi gibi ilgiyi üzerine çekmiştir. 1990'lı yıllardan itibaren rüzgar enerjisi özellikle Amerika ve Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde birçok ülkede kullanılmaktadır. Gelecekte elektrik enerjisi üretimindeki payının daha da artacağı düşünülmektedir.



Şekil 2.2. Tipik bir rüzgar enerjisi üretim sistemi

Tipik bir rüzgar enerjisi üretim sistemi Şekil 2.2'de verilmiştir. Aşağıda bir rüzgar türbininden elde edilen güce ilişkin denklemler verilmiştir. Hava yoğunluğu $Q=1.225 \text{ kg/m}^3$ olan ve V hızında esen rüzgârdan elde edilen güç;

$$P = 0,5. Q. V^2 \quad (2.1)$$

$Q = \rho. A. V$ eşitliği yukarıda Denklem(2.1)'de ilgili yere yazıldığında elde edilen güç denklemi aşağıda verilmiştir.

$$P = 0,5. \rho. A. V^3 \quad (2.2)$$

Denklem (2.1) ve (2.2)'deki 'P', rüzgar türbininin ürettiği güçtür. 'ρ', rüzgar türbininin verimidir. Bu verim, Betz limiti olarak ifade edilir ve ideal şartlarda % 59 alınır. 'V' rüzgarın hızıdır(m/s). Denklemde geçen 'A' ise kanatların taradığı süpürme alanıdır (m^2). Aşağıda Denklem(2.3)'le ifade edilir.

$$A = \pi. D^2/4 \quad (2.3)$$

Sistemin ürettiği bir yıllık enerji miktarı (kWh) ise Denklem(2.4)'le hesaplanır.

$$W = P. t \quad (2.4)$$

Denklemde geçen 't' zamanı ifade eder ve 8760 saattir[58].

2.1.1.2. Mikro Hidroelektrik Santraller

1832 yılında ilk su türbini Fransız bilim adamı Benoit Fourneyron tarafından yapılmıştır. 1880 yılında ABD’de, Grand Rapids’de su türbinlerinden elde edilen enerjiyle çalışan bir dinamoyla tiyatro ve dükkanların aydınlatması sağlanmış, 1882 yılında ABD’de Foz Nehri’ne kurulan bir su çarkından elde edilen enerjiyle iki kağıt fabrikasının enerji ihtiyacı karşılanmıştır. 2008 yılında ise Portekiz, Aguçadora Dalga Parkı’nda ilk ticari dalga çiftliği kurulmuştur. Türkiye’de hidroelektrik üretimi ilk olarak Tarsus’da 1902 yılında küçük ölçekli olarak kurulan santralde başlamıştır. 1913 yılında İstanbul’da ilk büyük ölçekli hidroelektrik santralının inşasına başlanmıştır. 1933 yılında ise Ödemiş’te hidroelektrik enerjiyle beslenen aydınlatma ve elektrik şebekesi kurulmuştur.

Hidroelektrik enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Hidroelektrik enerjisinin dünya enerji üretimindeki payı % 16.3’ü dür. Türkiye’de ise bu oran 2013 yılı değerlerine göre %24.8’dir[59].

Hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Temiz ve güvenilir bir enerjidir. Hidroelektrik santrallerinde üretim aşamasında hiçbir atık ve kirlilik oluşmaz. Enerji üretimi oldukça hızlı gerçekleşir ve enerji taleplerine hemen cevap verebilmek için barajlarda su depolanır. Dezavantajları ise özellikle kurulum aşamasında ortaya çıkar. Barajların inşası oldukça pahalıdır ve kurulurken çevreye zarar verir. Uzun vadede ise kurulduğu çevrenin iklimini değiştirebilir.

Hidroelektrik santrallerde elektrik enerjisi suyun kinetik ve potansiyel enerjisinden yararlanarak elde edilir. Bir hidroelektrik santralinde, akarsuyun üzerine inşa edilen barajla nehir suyu yapay bir gölde tutulur. Suyun devasa beton tünellerden, yani barajın elektrik santraline geçtiği bent kapaklarından akmasına izin verilir. Yüksek basınç altında türbine giren su türbin kanatlarının üzerinden akar ve türbin millerini döndürür. Türbine bağlı jeneratörler bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bir hidroelektrik santrali biri diğerinden çok daha büyük olan iki rezervuardan oluşur. Elektrik talebi yüksek olduğunda su elektrik üretmek için üst rezervuardan aşağıya doğru elektrik santraline akar. Talep düşük olduğunda ise şebekedeki fazla elektrik suyu tekrar üst rezervuara pompalamak için kullanılır.

Aşağıda bir hidroelektrik santralinden elde edilen gücün (P) denklemi verilmiştir.

$$P = \gamma \cdot H \cdot Q \cdot \eta \quad (2.5)$$

Denklemden; ‘ γ ’ (9,81 kN/m³) suyun birim hacim ağırlığı, ‘H’ düşü (m), ‘Q’ ise debi (m³/s)’dir.

Elde edilen verim ise aşağıda verilmiştir.

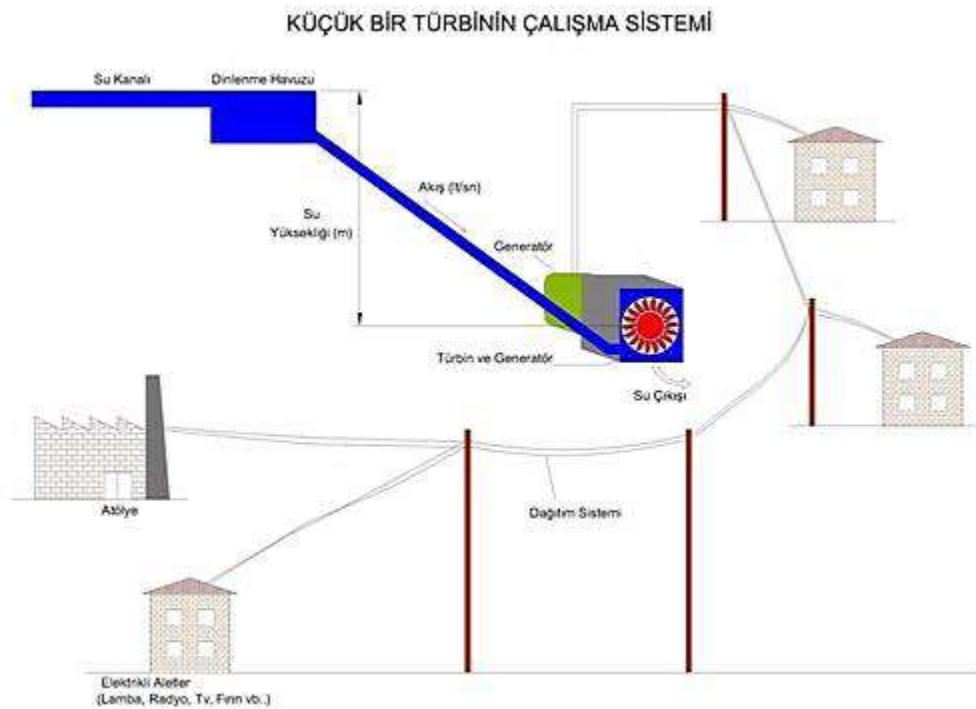
$$\eta = \eta_H \cdot \eta_G \cdot \eta_T \quad (2.6)$$

‘ η_H ’ düşü verimi, ‘ η_G ’ generatör verimi, ‘ η_T ’ ise türbin verimidir[60].

Ülkemizde küçük hidroelektrik santraller çeşitli ülkelerde olduğu gibi kurulu gücüne göre sınıflandırılırlar. Ancak bu sınıflandırma için kullanılan tesis güç sınırları ülkelerin gelişmişlik seviyelerine göre farklı değerler almaktadır. Ülkemizde kabul gören sınıflandırma sistemi UNIDO’dur. (United Nations Industrial Development Organization) Buna göre aşağıda belirtilen sınıflandırma yapılmıştır;

- Mikro: Gücü 100 kW ve altında olanlar,
- Mini: Gücü 101-1000 kW arasında olanlar,
- Küçük: Gücü 1001-10000 kW arasında olanlar.

Yukarıda verilen sınıflandırmadan da görüldüğü üzere kurulu gücü 100 kW’a kadar olan santraller kanal tipi hidroelektrik santraller olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.3. Klasik bir mikro hidroelektrik santral şeması

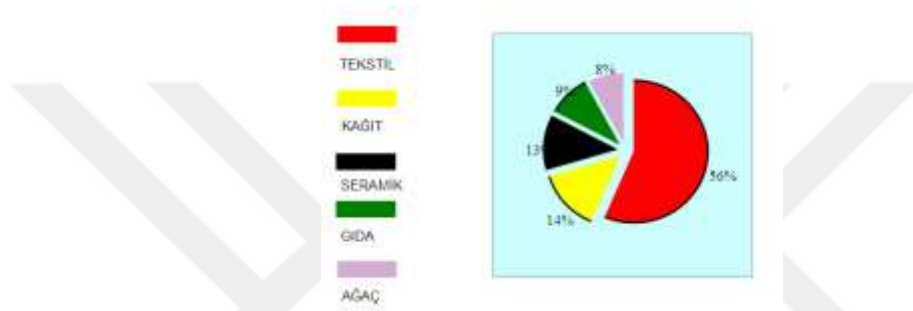
Çok küçük mikro hidroelektrik santraller ise küçük ölçekli hidroelektrik santrallerdir. Bu mikro hidroelektrik santrallerde 500 kW’dan küçük güç üretimi gerçekleştirilir.

Akarsular üzerine inşa edilen mikro santrallerde bir baraja ihtiyaç duyulmaz, böylece baraj inşaatı sırasında ortaya çıkan çevresel sorunlar da önlenmiş olur[61]. Mikro hidroelektrik sistemleriyle yerleşim alanlarına uzak çiftlik ve evler için enerji sağlanabilir. Sistemde kullanılan türbinler su çok yavaş aktığında bile verimli bir şekilde elektrik üretebilen peltron çarklarına bağlıdır. Herhangi bir arıza durumunda ise akülerde depolanan elektrik enerjisi kullanılır. Ayrıca şebekeye bağlı olarak tasarlanan mikro hidroelektrik santralleriyle aküye gerek kalmaksızın enerjinin kesintisizce temini de sağlanır. Bu sistemlerde üretilen fazla enerji gerekli şartlar sağlandığında ana şebekeye de aktarılabilir. Şekil 2.3’de bir hidroelektrik santral şeması gösterilmiştir.

2.1.1.3. Kojenerasyon Sistemler

Bileşik ısı-güç üretim sistemlerine kojenerasyon sistemleri denir. Biomass, doğalgaz, biogaz gibi karbon içerikli yakıt kaynağından maksimum şekilde enerji elde etmek üzere, elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretimidir. Bu tür sistemlerde, sıcak su/buhar ve elektrik birlikte üretilerek kullanıma sunulur. Klasik termik santrallerde verim %30-40’ı civarındadır. Bu sistemler kojene olarak revize edildiğinde ya da yapıldığında %80-90 seviyelerinde yüksek verimlere ulaşılmaktadır. Kojen yapıları, fosil yakıtlardan elektrik ve ısıya dönüştürmenin en verimli olduğu yapılardır. Bu tür sistemlerle birim enerji üretim maliyetleri %40 oranında düşürülür ve tasarruf sağlanır. Kojenerasyon sistemler, sayesinde aynı yakıttan daha fazla faydalanılır ve yüksek verim elde edilir. Ayrıca bu sistemlerde egzoz gazları değerlendirildiği için çevre kirliliğinin de önüne geçilir. 1973 ve 1979 yılları arasında petrol krizinin ardından Kojenerasyon teknolojisinin gelişimi devam ederek uygulamaya konulacak seviyeye gelmiştir. Merkezi ısıtma sistemlerinin yaygın olduğu bölgelerde Kojenerasyon daha hızlı yayılma imkanı bulmuştur. Amerika’da yaygın olarak kullanılan gökdelenler sebebiyle ısıtma sistemi olarak sıcak su kullanılmaz bunun yerine alçak basınçlı buhar sistemleri kullanılır. Sıcak aylarda klima tesisleri buhara ihtiyaç duyar. Bu sistemin kullanılmasının bir diğer nedeni de budur. Kojenerasyon sistemleri içinde bulunduğumuz yüzyılda Amerika’nın ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin %15’ini karşılamıştır. İngiltere bu sistemi 1945 yılından sonra bölge ısıtma amacıyla kullanmış ve hızlı bir gelişim göstermiştir. Almanya ise aynı sistemi merkezi ısıtmada 1930’da kullanmaya başlamıştır. İskandinav ülkelerinde bina ısıtmaları merkezi olarak ısı – güç üretimi şeklinde başlamış ve kurulu binaların %30 ile %80’ini bu sistemle ısıtılmıştır.

Kojenerasyon sistemlerin Avrupa’da kullanımı artış göstermektedir. 2010 yılından bu yana Avrupa’nın toplam ısı ve elektrik üretiminin %18’ i bu yolla sağlanır. Danimarka gibi bazı AB ülkelerinde ise bu oran %51 ‘e kadar çıkmaktadır. Birçok ülkede kojenerasyon uygulamalarını yaygınlaştırmak amacıyla teşvikler verilmektedir. Kojenerasyon teknolojisi; sanayi tesisleri, ticari işletmeler, oteller, hastaneler, alışveriş merkezleri ve okullarda uygulama alanı bulmuş ve yüksek verimler elde edilmiştir [62]. Türkiye’de ise kojenerasyon sistemler çoğunlukla sanayi ve endüstride kullanılır. Ağırlıklı olarak tekstil, kağıt, seramik gibi sektörlerde kullanılır. Sistemin bölgesel ısıtma amaçlı kullanımı için yapılan çalışmalar sürmektedir.



Şekil 2.4. Türkiye’de kojenerasyon sisteminin kullanıldığı sektörler[63]

Kojenerasyon sistemlerinde çeşitli yakıt türleri kullanılabilir. Öncelikli olarak doğalgaz tercih edilirken, fuel oil, kömür gibi yakıtlarda kullanılır. Ayrıca atık arıtma tesislerinde ortaya çıkan çöplük gazı, kanalizasyon gazı, kok gazı ve biyogaz da alternatif olarak kullanılabilir.

Kojenerasyon sistemlerin temeli enerji üreten makinanın atık ısısından faydalanmaya dayanır. Böylelikle aynı anda iki enerji türünün üretimi sağlanmış olur ve verim artırılır. Basit bir enerji üretim tesisinde, motor ve elektrik üretiminde kullanılan gaz türbini enerjinin sadece %40’ını elektriğe çevirirken, kojenerasyon sistemini kullanan yapılarda atık ısının tamamına yakını enerjiye dönüşür. Bu nedenle sisteme giren enerjinin %60 ila %90’u değerlendirilir. Bu teknik aynı zamanda Birleşik Isı-Güç Sistemleri, olarak da adlandırılmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde farklı görevlere sahip 3 farklı motor tipi kullanılmaktadır: gaz türbini, gaz motoru ve dizel motoru. Gaz türbinleri 1MW ve üstü güçlerde kullanılır. Gaz motorları 50-3500 kW güç aralığında çalışır. Dizel motorlar ise 200-22000 kW çıkış gücüne sahip sistemlerde kullanılır. Gaz türbini sıkışan havayla sistemdeki yakıtı yakmak suretiyle elektrik jeneratörünü döndürür. Türbinde oluşan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı ısı enerjisi elde etmek için atık ısı kazanında işleminden geçirilir.

Atık ısı kazanları, kullanılan motorun egzoz çıkışına yerleştirilmektedir. Egzoz gazları, besleme suyu ile kondenslerden içeri gelen suyu kaynama noktasına kadar ısıyı yükselterek buhar haline dönüştürür. Ortaya çıkan buhar, kullanım amacına göre ya sıcak su ya da tekrar buhar olarak sisteme verilir. Son aşamada türbinler, atık ısı kazanında üretilen yüksek basınç değerine sahip buhar yardımıyla tahrik edilir ve generatörü çevirerek tekrar elektrik enerjisi üretir[64].

Bir kojenerasyon sisteminden elde edilen ısı verim (η) Denklem (2.7)'da tanımlanmıştır.

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (2.7)$$

Burada 'W' üretilen güç, 'Q_H' alınan ısı enerjisidir[65]. Bir kojenerasyon sisteminde "enerjiden yararlanma oranı($\mathcal{E}_\gamma$)" Denklem (2.8)'de gösterilmiştir.

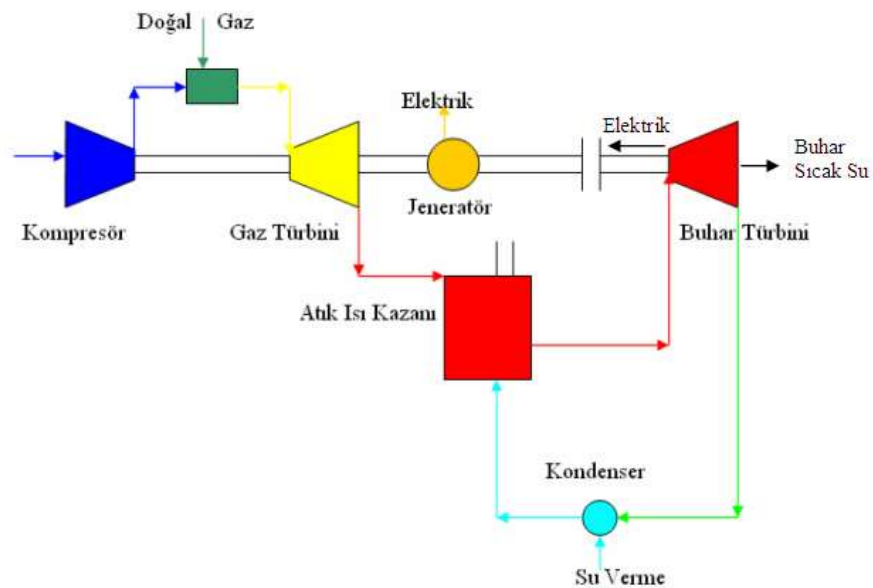
$$\mathcal{E}_\gamma = \left(\frac{\text{üretilennetgüç+prosesısı}}{\text{girilentoplamsı}} \right) = \left(\frac{W_{net} + Q_p}{Q_g} \right)$$

$$\mathcal{E}_\gamma = 1 - \left(\frac{Q_c}{Q_g} \right) \quad (2.8)$$

Denklemden yer alan Q_c çevreye verilen ısıyı ifade eder. Q_g ise girilen toplam ısıdır. Bir kojenerasyon sisteminde üretilen elektrik enerjisinin faydalanılan ısı enerjisine oranı, elektrik ısı oranı (EIO) olarak hesaplanır ve ilgil değer ısı verim olarak da ifade edilebilmektedir. Denklem(2.9)'de tanımlanmıştır[65].

$$EIO = \left(\frac{W}{Q_c} \right) = \left(\frac{\eta}{1-\eta} \right) \quad (2.9)$$

Şekil 2.5'da bir kojenerasyon sistem modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kojenerasyon sistem modeli

Kojenerasyon sistemler küçük güç ve boyutlarda inşa edilerek işletilebilir. Bu sistemler 50 kW'ın altında kurulu güce sahiptir ve mikro kojenerasyon olarak adlandırılır. Mikro kojenerasyon sistemleriyle enerji ihtiyacı düşük olan apartman, otel, hastane, kampüs gibi binaların elektrik, ısı, sıcak su ihtiyaçları karşılanabilir. Mikro kojenerasyonla elde edilen fazla enerjinin şebekeye aktarımı da söz konusudur.

2.1.1.4. Dizel Jeneratörler

Jeneratörler, elektromanyetik endüksiyon sistemini kullanarak mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. Motorlar ise bu işlemin tam tersini yaparak elektrik enerjisinin mekanik enerjiye çevirirler. Bu yönleriyle motorlar ve jeneratörler birbirlerine çok benzerler. Faraday kanunu jeneratörlerin neredeyse tamamının çalışma teorisi göstermede kullanılabilir. Bir tel bobini çevreleyen magnetik akım çizgi sayısı (maxwell) değiştirildiğinde, bobin üzerinde manyetik akıya göre değişen sarım sayısı ile orantılı bir elektromotor kuvveti meydana gelir.

Bir dizel jeneratör; alternatör, alternatörü süren motor ve mekanik aksamından oluşur. Jeneratör sistemi içerisinde kumanda ve kontrol panoları da bulunmaktadır. Kumanda panoları sistemin otomatik veya manuel olarak kontrol edilmesini sağlarken kontrol panoları jeneratörün bağlı olduğu sisteme enerji aktarır. Küçük güçlü jeneratörlerde ise panolar yer almaz. Dışarıya üretilen enerjiyi aktaran endüvi devresi küçük güçlü jeneratörlerde rotorda, büyük güçlü jeneratörlerde statorda bulunur. Şekil 2.7 bir dizel jeneratörün yapısını göstermektedir.



Şekil 2.6. Dizel jeneratör

Bir dizel jeneratör elektrik üretirken ilk aşamada kumanda panosundan jeneratöre otomatik veya manuel olarak bir komut gelir. Bu devreye girme komutunu alan marş motoru akülerden elektrik enerjisini alarak dizel motorun çalışması için gereken ateşlemeyi sağlar ve yakıt pompalanmaya başlar. Dizel motor çalışmasıyla değişken manyetik alan içerisinde kalan stator sargılarında gerilim endüklenir. Bu endüklenen gerilimin sabit kalması için stator sargılarına gerilim regülatörü bağlanır. Üretilen gerilimin frekansı, fazlar arası gerilim ve çekilen güç anlık olarak kumanda panosunda görünür. Böylece dizel jeneratörün elektrik üretimi gerçekleşir[66].

2.1.2. Statik Üretim Sistemleri

Statik enerji üretim sistemleri dönen bir makina kullanılmaksızın enerji üreten sistemleri kapsamaktadır. Dönen bir makine sistemi olmadığından mekanik enerji ile elektrik üretimi mümkün değildir. Bu sebepten ötürü kimyasal enerji kullanılarak enerji üretimi sağlanmaktadır. Fotovoltaik ve yakıt pilleri üretim sistemleri, statik üretim sistemleri arasında sayılabilir.

2.1.2.1. Güneş Enerjisi Üretim Sistemleri

Güneş enerjisi çevre dostu bir enerji kaynağıdır ve tükenmesi söz konusu değildir. Son birkaç yılda artan fosil yakıt fiyatları nedeniyle ekonomik olduğu düşünülmeyen güneş enerjisi sistemlerine olan ilgi artmıştır. Fizyon enerjisinin en büyük kaynağı, dünyaya zarar vermeyecek bir mesafede olan güneştir. Güneşten elde edilen bu enerji fosil yakıtlar ve atom enerjisi gibi birincil enerji kaynaklarının yerini alabilecek potansiyele sahiptir. Kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemlerin aksine işletim maliyetleri düşüktür. Temiz ve çevreye zararı olmayan üretim sistemleridir. Güneşten gelen enerjinin yoğunluğu, atmosferin üzerinde metrekaşe başına 1.35 kW kadardır. Bu yoğunlukta dünya çapının kapladığı alana gelen güneş gücü 178·10⁹ MW düzeyindedir. Dünyanın yüzeyine bir yıl içerisinde gelen güneş enerjisi, 1.22 ·10¹⁴ TET (Ton Eşdeğeri Taşkömürü) ya da 0.814·10¹⁴ TEP (Ton Eşdeğeri Petrol) gibi yüksek miktarlardadır. Başka bir ifadeyle, bir yıl içerisinde dünyaya gelen güneş enerjisi miktarı, keşfedilmiş kömür rezervlerinin 50 katını ve keşfedilen petrol rezervlerinin 800 katını oluşturmaktadır.

Türkiye’de güneş enerjisi ile ilgili ilk hesaplamalar 1970 yılında yapılan bir bilimsel araştırma kapsamında ölçülmüştür. 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel platin tabakalar üzerine yaptığı çalışmalar sırasında fotovoltaik etkiyi

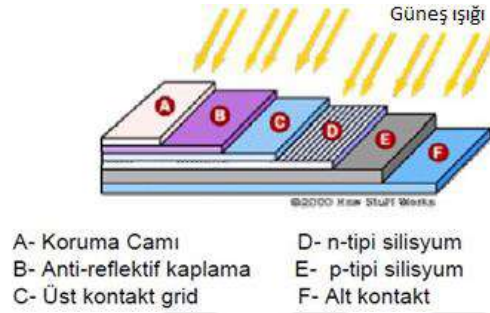
keşfetmiştir. 1873 yılında Willoughby Smith ilk basit güneş pilini, 1883 yılında ise Charles Fritts selenyum kullanarak ilk ciddi güneş pilini üretmiştir. 1905'te Albert Einstein fotovoltaiik etkisini izah etmiş ve 16 yıl sonra bu keşif nedeniyle Nobel Dizik ödölüne layık görölmüştür. 1950 yılına gelindiğinde Daryl Chapin ve arkadaşları güneş pilini geliştirerek verimi %4'e çıkarmışlardır. Güneş pillerinin ilk teknik uygulaması 1954 yılında "Vanguard 1" uydusu ile gerçekleşmiştir. Günümüze kadar süren ve günümüzde de devam eden bilimsel araştırmalarla güneş pillerinin veriminin artırılması ve PV sisteme ilişkin olumsuzlukların giderilmesi hedeflenmektedir. FV diyotların verimliliği 1900'lü yılların başında % 1 değerine ulaşmıştır. 1954 yılında ise Chapin silikon kristali ile verimliliği % 6 olan fotovoltaiik diyot üretmiştir. Bu keşif güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim sistemlerinin dönüm noktası olmuştur. Güneş enerjisi kaynaklı güç sistemleri ilk olarak uzay araçlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. 1960'lı yıllardan itibaren uzay çalışmalarında kullanılmaktadır.

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir.[5] Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge yılda 3015.8 saat ile Güneydoğu Anadolu 'dur. Karadeniz Bölgesi yılda 1965,9 saat ile en düşük değere sahiptir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için yıllık ortalama güneş radyasyon yoğunluğu 341,23 cal/cm².gün düzeyindedir (Bu değer Karadeniz Bölgesinde 246,55 cal/cm².gün). Bu değerler Avrupa ülkelerinin çoğunluğu ile kıyaslanmayacak oranda yüksek değerlerdir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2018 yılı araştırma ve faaliyet raporuna göre, Türkiye'de 564 kayıtlı santral olup bu santrallerin 15'i lisanslı olup 549'u lisanssız santrallerdir. 2018 yılında işletmedeki güneş enerjisi santral sayısı 5.868 adet, 4.981,2 MW'ı lisanssız, 81,8 MW da lisanslı olmak üzere toplamda güneş enerjisi kurulu gücümüz 5.063 MW'a ulaşmıştır. Ülkemizdeki toplam elektrik üretimi içerisindeki payı da 7.477,3 GWh ile %2,5'a yükselmiştir[67].

PV sistemde elektrik üretimi şu şekilde gerçekleşir. Güneş ışınları foton adı verilen enerji parçacıklarıdır. PV sistemler güneş ışınlarındaki bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek üzere tasarlanmışlardır. PV paneller silikondan yapılmış güneş hücrelerinden oluşur. Bu hücreler piller gibi davranış gösterir. Elektrik akımı oluşturabilmek için pozitif ve negatif katmanlardan oluşturulmuşlardır. Güneş ışığındaki fotonlar güneş hücrelerince emilir, bunun sonucunda silikon elektron bağlarını kopartır. Kopan elektronlar PV

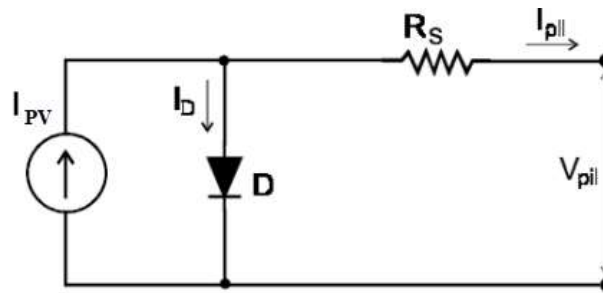
paneldeki alüminyum olan iletken bölüme geçer ve bağlantı kablosundan dışarı çıkarlar, bu şekilde elektrik akımı oluşturulmuş olur. Üretilmek istenen enerji miktarına göre PV panelleri seri veya paralel bağlayarak belirli bir akım ve gerilim değeri ayarlanabilir. Şekil 2.7’de fotovoltaik hücrenin katmanları gösterilmektedir[68].



Şekil 2.7. Fotovoltaik hücrenin katmanları[68]

Güneş pilini elektrik üretimi bir akım kaynağı olarak gösterilir. Elektrik akımı hücre üzerinde düşen ışınım arttıkça artmaktadır. Güneş enerjisinin gövde kısmı yarı iletken malzeme olmasından dolayı diyot şeklinde gösterilmiştir. Sistemde üretilen enerjinin kutuplara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar, seri direnç ile gösterilmiştir ve bu seri direnç hücre verimini doğrudan etkilemektedir.

Şekil 2.8’de güneş pilinin eşdeğer devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Güneş pilinin basite indirgenmiş eşdeğer devresi

Eşdeğer devrenin matematiksel denklemle ifadesi Denklem (2.13)’de verilmiştir.

$$I_{pil} = I_{PV} - I_0 \left[\exp \left(\frac{e}{k \cdot T_{pil}} (v_{pil} + R_s \cdot I_{pil}) \right) - 1 \right] \quad (2.13)$$

Güneş enerjisinden aynı zamanda termal enerji olarak da faydalanılır. Güneş enerjisinden elde edilen ısı elektrik üretiminde kullanılır. Fotovoltaik sistemlerde güneş ışınimleri doğrudan elektrik enerjisine çevrilirken güneş termal enerjisinde elektrik üretimi fosil yakıt santrallerindeki gibi gerçekleştirilir. Fotovoltaik sistemlere göre üstünlükleri ise gündüz depoladığı ısı enerjisini kullanarak geceleri de elektrik üretimi gerçekleştirmesidir. Güneş termal enerjisinden elektrik üretimi nükleer ve kömür santrallerindeki enerji üretimiyle aynıdır. Farklı olarak termal güneş sistemlerinde ısı kaynağı olarak güneş kullanılır. Sistemde güneş ışınlarını toplamak için aynalar bulunur. Güneş ışınları aynalarda yoğunlaştırılmış hale gelir ve kuleye yansıtılır. Kulede güneş ışınları akışkan buhara dönüşür ve jeneratöre gönderilir. Böylece buhar enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur [69].

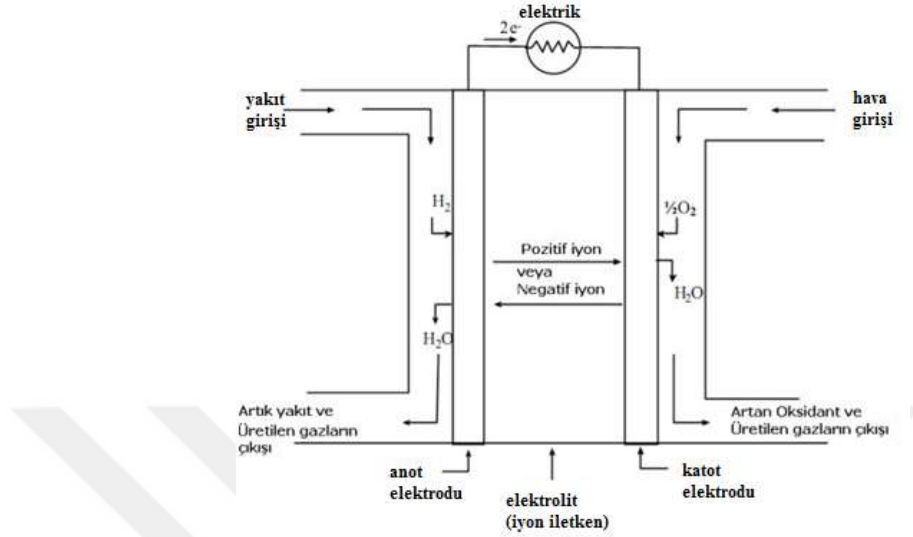
2.1.2.2. Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri; çevreye karşı duyarlı ve oldukça yüksek verimle çalışan enerji dönüşüm sistemleridir. Sistem içerisinde bir dönen makine ya da buhar kazanı yer almaz. Elektrik üretimi kimyasal tepkimeyle gerçekleşir ve kimyasal enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür ve doğru akım formunda elektrik üretilir. Bitmez ve hiç bir zaman doldurulmaya ihtiyacı olmayan yakıt pilleri yakıtın enerjisini direkt olarak elektrokimyasal yolla elektrik enerjisine çevirirler. Anot yakıtlanmayı ve katot oksitlenmeyi sağladığı zaman yakıt pilleri sürekli bir pil gibi çalışır. Bir batarya gibi sessiz ve hareketsizdir. Fakat bataryadan iki yönden farklıdır. İçerisinde tehlikeli madde bulunmaz ve çevreyi kirletmeksizin yenilenebilir. Bir yakıt kaynağı olarak kullanılır.

Yakıt pillerinin tarihi 1800'lü yıllara kadar uzanır. 1839'da William Robert Grove basit yapıda bir yakıt hücresi icat etmiştir. 1932'de günümüz teknolojisine yakın olarak yakıt pili geliştirilmiş, 1952 yılında ise yakıt pilleri NASA tarafından uzay sanayinde enerji üretici olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yıllarda ilk yakıt hücreli traktör, 1980'li yıllarda ilk yakıt hücreli tren ve 1990'lı yıllarda yakıt hücreli deniz ve hava araçları kullanıma sunulmuştur [70].

Yakıt pilinin birçok üstün özelliği vardır. Modüler olması, gürültüsüz çalışması, atık olarak su ve ısı elde edilmesi, birçok yakıt türüyle çalışabilmesi ve yüksek verimle enerji üretmesi bunlar arasında sayılabilir. Maliyetinin yüksek olması, büyük boyutlarda yakıt depolamaya ihtiyaç duyması ve kullanım ömürlerinin öngörülemez olması ise

dezavantajları arasındadır. Şekil 2.9’da bir yakıt pilinin genel yapısı ve çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Tek bir yakıt pilinin genel yapısı

Yakıt pilinin çalışması için hidrojen ile oksijen veya hidrojen ile hava gereklidir. Bir yakıt pili merkezi iki elektrot arasına konumlandırılmış elektrolitten meydana gelmiştir. Hava, anot yüzeyi üzerinden geçer. Elektronlar katoda doğru bir dış devre yoluyla taşınırken hidrojen iyonları da elektrolit yoluyla oksijen elektroda doğru ilerlerler. Katotta oksijen ve hidrojen iyonları ile elektronların reaksiyona girmesiyle su elde edilir. Elektronların dış devre akışı ile elektrik üretir. Yakıt kullanımındaki yüksek verim nedeniyle, bu elektro kimyasal işlemde çıkan yan ürünler sıcaklık, ısı, buhar halinde su ve anottan katoda elektron akışından doğan elektrik akımıdır.

Yakıt pilleri önce enerjilerini gerçek yanma şekline çıkarırlar. Türbin ile bu enerjiyi kinetik enerjiye çevirirler. Sonunda kinetik enerjiyi dinamo kullanarak elektrik enerjisine çevirirler. Yakıt pilleri; yakıtı ve okside eden maddeyi kimyasal olarak yanma olmaksızın bir araya getirerek geleneksel yanmadaki enerji kayıplarını önler ve kirliliğine neden olmaz.

Yakıt pilinin gerilimi Denklem (2.14)’le ifade edilmiştir.

$$V_{cell} = E - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc} \quad (2.14)$$

Yakıt hücresinin (pilin) gerilimi ‘ V_{cell} ’, ‘ E ’ yüksüz hücre gerilimi, ‘ V_{act} ’ hücre gerilim düşümü (aktivasyon gerilimi), ‘ V_{ohm} ’ omik gerilim ve ‘ V_{conc} ’ konsantrasyon gerilimi ile gösterilir.

Elektrot-elektrolit ara yüzeyinde oluşan çift katman kapasitansı Denklem(2.15)'de gösterilmiştir.

$$\frac{dV_{act}}{dt} = \frac{I}{C_{dl}} - \frac{V_{act}}{R_{act}.C_{dl}} V \quad (2.15)$$

Denklemde geçen çift katman kapasitansı ' C_{dl} ', aktivasyon gerilimi ' V_{act} ', aktivasyon direnci ' R_{act} ' ve hücre akım yoğunluğu ' I ' dir. Hücre akım yoğunluğu Denklem (2.16),(2.17) ve (2.18)'de gösterilmiştir.

$$R_{act} = \frac{V_{act}}{I} \text{ k}\Omega.\text{cm}^2 \quad (2.16)$$

R_{act} aynı zamanda efektif direnç olarak da ifade edilebilir. Akım yoğunluğunun ortalama değerinde gerilim düşümü hemen hemen doğrusaldır ve doğal durumda omiktir.

$$V_0 = I . R_{mem} \quad (2.17)$$

' R_{mem} ' membran direncidir(membran; hücre zarı, geçirgen malzemedir). Aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir. ' t_m ' membran kalınlığının ' σ ' iletkenliğe oranına eşittir[71].

$$R_{mem} = \frac{t_m}{\sigma} \text{ k}\Omega.\text{cm}^2 \quad (2.18)$$

2.2. Enerji Depolama Sistemleri

Günümüzde kaliteli bir hayat sürdürebilmek için enerjiye her an ihtiyacımız vardır. Bu gereksinim ile enerjinin sınırsız, kesintisiz, sürdürülebilir, uygun fiyatlı, güvenilir, esnek olması ve çevreye zarar vermeden elde edilmesi istenmektedir. Ayrıca elektrik enerjisi birçok uygulamada en çok tercih edilen enerji şeklidir. Bu amaçla temiz, ucuz ve sürdürülebilir olması sebebiyle dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelme vardır. Fakat bu sistemlerin güç sistemlerine entegrasyonu birtakım zorluklar yaşanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının güç üretimlerinin tahmin edilmesinde yaşanan zorluklar ve bu kaynakların üretiminin stokastik olması nedeniyle enerji depolama sistemlerinin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Biyokütle haricinde yenilenebilir enerji kaynakları depo edilememektedir. Ayrıca elektrik üretim tesislerinin genellikle tüketim birimlerine uzak olması nedeniyle yaşanan enerji verimsizliği de enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesini ve sisteme entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır [72].

Enerji depolama sistemlerinden beklenen bazı özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- Enerji depolama kapasitelerinin yüksek olması,
- Deşarj/Şarj veriminin yüksek olması,
- Öz deşarjın ve kapasite kayıplarının az olması,
- Ömrünün uzun olması,

- Düşük maliyetli olması,
- Yüksek enerji yoğunluğuna sahip (kWh/kg veya kWh/lt) olmasıdır[73].

Tablo 2.1’de mikroşebeke sistemlerinde kullanılan enerji üretim ve depolama sistemlerine ait şemalar gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Enerji depolama teknolojileri

Enerji Depolama Teknolojileri (EDT)	Uygulamalar
Elektriksel (Süper kapasitör/Ultra kapasitör) Kimyasal (Yakıt hücreleri, kurşun -asit pilleri, Lityum-iyon pilleri, Metal hava pilleri, Nikel kadmiyum pilleri)	Elektrikli Araçlar
Elektriksel (Süper kapasitör/Ultra kapasitör, Mikro Süperiletken manyetik enerji depolama-SMES, Geniş SMES) Mekaniksel (Yüksek güç volanlar, pompalı hidroelektrik, Sıkıştırılmış hava enerji depolama(CAES) Isıl enerji depolama Kimyasal (Sodyum Sülfür-NaS pilleri, Kurşun-asit pilleri, Lityum-iyon pilleri, Metal hava pilleri, Nikel kadmiyum-NiCd pilleri, Yakıt hücreleri, Akış Çinko bromür-ZnBr)	Akıllı Şebekeler
Kimyasal (Kurşun-asit pilleri, Lityum-iyon pilleri, Metal hava pilleri, Yakıt hücresi) Isıl enerji depolama	Bina ve Evler

EDT olan elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısı EDT’nin kullanıldığı alanlar Şekil 2.2’de verilmiştir. Elektriksel ve kimyasal EDT’nin elektrikli taşıtlarda, kimyasal ve ısı EDT’nin bina ve yapılarda; elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısı EDT’nin ise akıllı şehir şebekelerinde kullanıldığını görülmektedir. Bunların yanında EDT, güç kalitesi, güvenilirlik, enerji yönetimi ve rezerv gibi uygulamaları da bulunmaktadır. EDT, acil ihtiyaç ve elektrik güç sisteminde oluşan arızaların neden olduğu bozukluklar tüm şebekenin güvenilirliği, dayanıklılığı ve esnekliğinde önemli argüman olarak kullanılacaktır. Mevcut ve geliştirilen enerji depolama teknolojileri, her istenilen güç seviyesine uygun olarak miliwatt seviyesinden MW seviyesine kadar güç elde etmek üzere mili saniyeden saatlere kadar yükü besleyebilirler.

2.2.1. Dinamik Depolama Sistemleri

Dinamik enerji depolama kaynaklarında, enerji üretimi dönen makinalarla yani generatörler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu enerji kaynaklarıyla üretilen ve depolanan enerji AC ya da DC olabilir. Rüzgar türbin generatörü, hidroelektrik güç sistemleri, volanlar, kojenerasyon sistemleri ve dizel jeneratörler dinamik enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar hakkında bilgiler aşağıda verilmektedir.

2.2.1.1. Volanlar

Enerji depolama teknolojileri talep edilen enerjinin aynı anda üretilmesine gerek duyulmadan kesintisiz ve hızlı bir şekilde tüketiciye ulaşmasına imkan sağlar. Bu depolama teknolojilerden biri olan volanlar(flywheel) dinamik enerji depolama çözümleri sunar.

Volanlar ilk kez 1950'li yıllarda İsveç'te 'gyrobus' adı verilen araçlarda kullanılmıştır. 1990'larda Rosen Motor firmasının geliştirdiği gaz türbinli hibrid otomobilde 55.000 devirli bir volan kullanılmıştır. İngiltere'de 2010 yılında geliştirilen 'Flybus' isimli otobüste volan depolama sistemi kullanılmış, bu araçla şehir içi kullanımda % 20 yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca volan sistemleri elektrikli lokomotiflerde kullanılarak demiryollarının elektrik enerjisine adaptasyonuna da katkı sağlamıştır.

Volanın çalışma prensibi şu şekildedir. İlk olarak bir elektrik motoruyla volanın mekanik hareketi sağlanır ve volan dönmeye başlar. Böylece volan devir sayısına ve ataletine göre değişen miktarlarda enerjiyi depo eder. Volanın devir sayısı arttıkça depoladığı enerji de artacaktır. Devir sayısı azaltıldığında ise mevcut kinetik enerji generatör modunda çalışan bir elektrik motorunu tahrik etmek için kullanılır ve böylece depolanmış enerji elektrik enerjisine dönüştürülür[74].

Volanlar uzun süreli kullanıma dayanabilirler. Yüksek şarj ve deşarj hızlarına adapte olabilecek şekilde tasarlanırlar. Bakım masrafları yok denecek kadar azdır. Çok hızlı şarj olabilirler ve verimleri oldukça yüksektir. Ancak volanlar uzun süreli depolamalar için kullanılamazlar. Çünkü boşdaki kayıpları oldukça fazladır. Ayrıca fiyatlarının yüksek olması da dezavantajlarından biridir.

Volan sistemlerini daha ucuz, daha hafif, daha yüksek kapasiteli ve daha küçük yapmak için çalışmalar devam etmektedir. İlerleyen yıllarda volan sisteminin, araçlardaki geleneksel akülerin yerini alacağı düşünülmektedir.

Volanlarda depolanan enerji Denklem (2.19) ve(2.20)'le hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad (2.19)$$

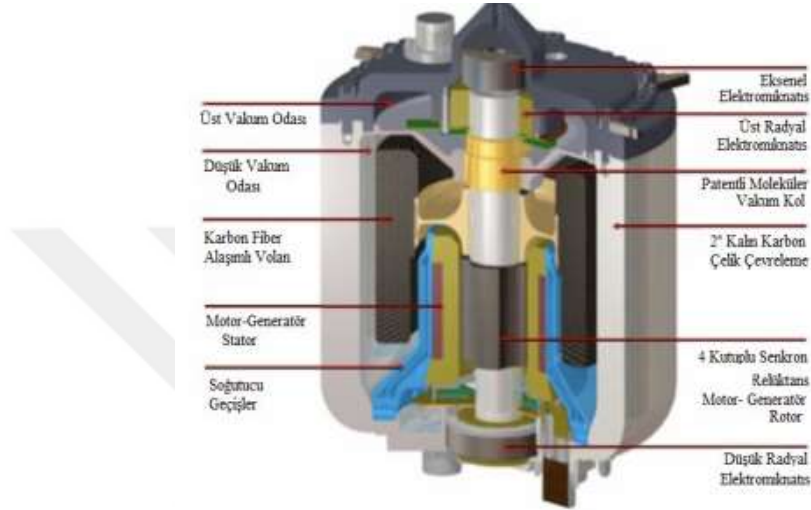
$$I = \frac{r^2 \cdot m \cdot h}{2} \quad (2.20)$$

Depolanmış enerji, (2.19) eşitliğinde gösterildiği gibi rotorun eylemsizlik momentine ve volanın dönme hızının karesine bağlıdır. Eylemsizlik momenti ise (2.20) eşitliğinde gösterildiği gibi yarıçap, kütle ve rotor uzunluğuna bağlıdır. Yani depolanan enerji, volan sistem tasarımının yapısına bağlıdır ve bu yapı değiştirilerek depolanan enerji

değiştirilebilir. Volanın dönme hızından dolayı depolama sığası sınırlandırılır. Bu sınırlandırmayı açısal hızın en fazla olduğu değer belirler. Bu değer ise kullanılan materyellerin dayanıklılıkları ile denetlenir.

Volanda depolabilecek maksimum enerji (birim kütle başına) E_{mx} ,

$$E_{mx} = \frac{1}{2} (\sigma_{mx} / \rho) \quad (2.21)$$

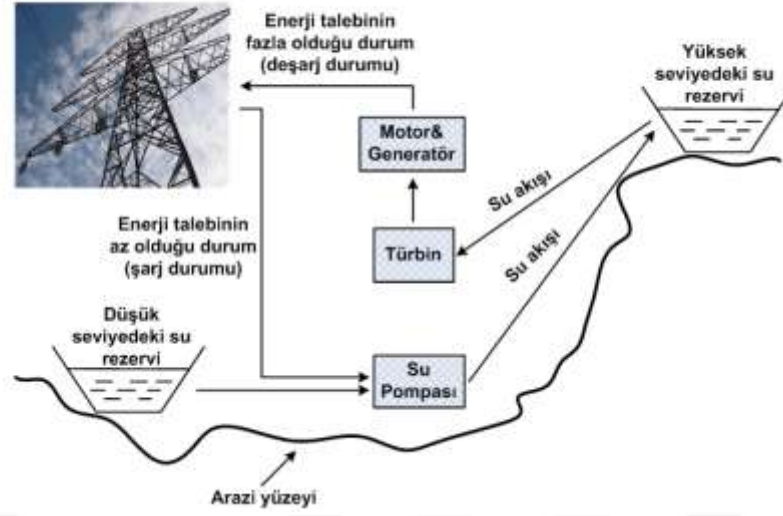


Şekil 2.10. Volan enerji depolama sisteminin şematik görünüşü

Volan malzemesinin en fazla çekme dayanımı σ_{mx} , malzeme yoğunluğu ise pile gösterilir. Denklem (2.921)'a bakıldığında E_{mx} ' in en yüksek değeri için, çekme dayanımı yüksek olan düşük yoğunluklu malzemelerin tercih edilmesi gerektiği görülür [75]. Şekil 2.10'te volan enerji depolama sisteminin şeması görülmektedir.

2.2.1.2. Basınçlı Su Depolama

Pompaj rezervuarlı HES'lerde, suyun düşük kot seviyedeki rezervuardan daha yüksek kotta bulunan başka bir rezervuara suyun basınçla aktararak potansiyel enerji olarak enerjinin depolanmasıdır. Bu işlem; enerji tüketiminin az olduğu yani enerji üretim fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda kullanılan enerji ile su pompaları çalıştırılır. Yüksek rezervuara pompalanan su, elektrik enerjisi gereksiniminin fazla yani enerji üretim birim fiyatlarının yükseldiği zamanlarda rezervardaki su bir potansiyel enerjiye sahiptir ve bir cebri boruda taşınarak türbinine aktarılır ve kinetik enerjiye dönüşüm olur. Bu hidrolik türbinler ile kinetik enerji mekanik enerjiye dönüştürülür ve akabinde generatör vasıtası ile elektrik enerjine dönüştürülerek şebekeye aktarılır. Şekil 2.12'de Basınçlı su depolama sistemini şematik gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Tipik bir pompalanmış su tabanlı enerji depolama ünitesinin şematiği

Pompaj rezervuarlı yapılar her ne kadar mekanik DT olarak bilinse de daha ziyade elektrik üretiminde kullanılmaktadırlar. Elektrik enerjisinin arz fazlasının olacağı zamanlarda alt rezervuardaki su, yüksek rezervuara pompalanarak potansiyel enerji olarak depolanır. Enerji fiyatlarını yükseldiğinde ya da sistem güvenliği için gerek duyulduğunda tekrar elektrik üretilebilir. Gövde yükseliği/net düşüsü/rezervuarı yüksek olan bazı hidrolik santrallerde pompaj depolamalı sistemler kullanılması ile depolama kapasitelerinde artış sağlanır böylece üretecekleri enerji miktarı artmış olur. Ülkemizde son yıllarda yer altı depolamalı pompalı sistemler üzerine politikalar geliştirilmektedir. Bunun birçok çıktısı olduğu ifade edilmiştir. Sistemlerdesu akışı için yapay olarak elde edilen maden oyukları ya da doğal yapılar yani mağaralar kullanılır ancak insan yapıları maliyetlidir. Açık denizde eğer uygun bir yer varsa alçak rezervuardan yüksek rezervuara deniz suyu taşınarak kullanılabilir. 90'lı yılların sonunda Japonya'nın Yanbaru kentinde 30 MW gücünde deniz suyu pompa santrali kurulmuştur. Hazneli pompalı büyük ölçekli santrallerdedeşarj olma süresi saatler bazende günler sürmektedir. Günümüzde dünyada 90 GW' ın üzerinde hazneli pompalı depolama sistemleri çalıştırılmaktadır ve yaklaşık olarak dünya elektrik üretim kapasitesinin %3' üne karşılık gelmektedir. Hazneli pompalı depolama sisteminin negatif tarafı coğrafi olarak uygun yerlerin az olması bunun yanında kurulum süresinin ve maliyetinin yüksek olması denilebilir. Bununla birlikte hazneli pompalı depolama sisteminin ucuz olabilmesi için çok büyük depolama kapasitesine sahip olması gerekir. Ancak birçok enerji üretim santralinde depolama sistemi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde hazneli pompalı depolama sisteminin verimliliği % 80

civarındadır. Uygun motor ve bölümlendirmeler ile titreşimler azaltılarak sistemin kullanım süresi de arttırılabilir [76].

2.2.1.3. Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama

Havanın sıkıştırılması nedeni ile depolanan kinetik enerji, savaş gemilerinin torpidolarına itici güç ihtiyaçlarında ve maden ocaklarındaki güç lokomotiflerinde temel teşkil etmiştir. Enerji depolamanın havanın sıkıştırılması prensibi pek de yeni bir fikir değildir [77]. Sıkıştırılmış havayı depolama sistemi, bir hava depolama tankının içinde enerjiyi aşırı kullanım gerektirmediği yani az kullanım olduğu zamanlarda bir kompresör vasıtasıyla enerjinin depolanmasını sağlar. Enerji türbinine monte edilmek üzere, jeneratör için gerekli bir yüklem komutu ve diğerinde boşaltma komutu olacak şekilde çift komut vermek amacıyla sızdırmayan özel bir tutacak gereklidir. Üç rezervuar çeşidi genellikle şunları içerir: doğal yeraltı kaynakları, erimiş tuz solüsyonları ve kayalardan meydana gelen fiziksel oluşumlar. Şarj olma esnasında, sıkıştırılmış hava rezervuara gönderilirken santral jeneratörü kompresör ile tersine hareket ederek mekanik enerji ihtiyacı sağlar. Santral deşarj olduğu zamanlarda ise sıkıştırılan hava içinde yanmalı türbinleri harekete geçirmek için kullanılır ve bu süreçte doğal gaz yakılarak aynı yolla türbinler hareket ettirilerek elektrik üretilir [78]. Bir CAES santralının depolama net verimliliği sıkıştırmada meydana gelen sıcaklıktan dolayı sınırlanır. Enerji depolama verimliliği neredeyse %75 civarındadır. CAES tesisleri, yanma olmadan çalıştırılmaz çünkü egzoz havası çok düşük sıcaklıklarda çıkacak ve bu durum malzemelerde kırılabilirlik veya donmaya sebep olacaktır. Eğer tamamen yenilenebilir enerji üretimi olması istenirse, biyoyakıtlar gaz türbinlerinde kullanılabilir. Sistemden karbon salınımı, sıfır konumuna gelecektir ancak diğer emisyonlar hala salınmaya devam edecektir. Sıkıştırılan hava, yeraltında uygun olan maden ocaklarında, büyük mağaralarda, tuzlu kayaların içinde depolanabilir. İlk ticari CAES tesisi, 1978 yılında Almanya'nın Hundorf şehrinde inşa edilen 290 MW'lık bir ünedir [79].

2.2.2. Statik Depolama Sistemleri

2.2.2.1. Ultra Kapasitörler

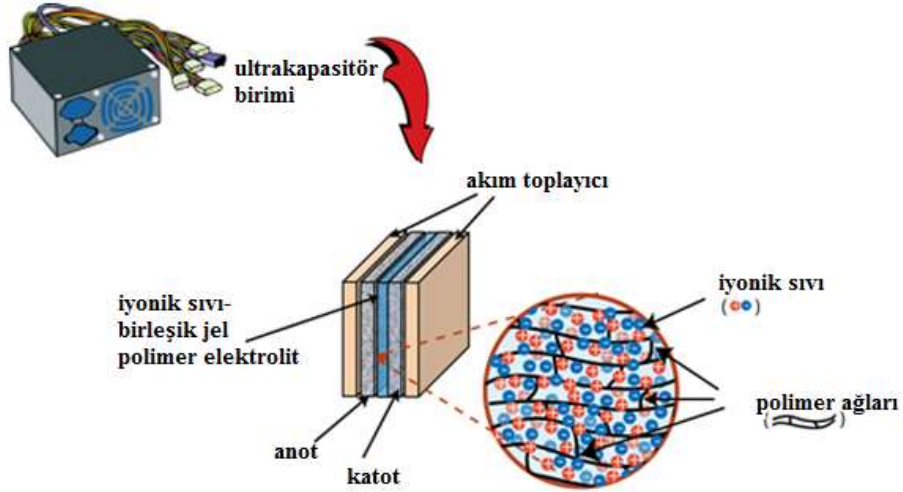
Ultrakapasitörler, elektrik enerjisini elektrostatik olarak depolayan büyük kapasiteli, çift katmanlı kondansatörlerdir. Kısa sürede şarj ve deşarj olabilen enerji depolama sistemleri olarak da tanımlanabilirler. Elektrik enerjisi kondansatörlerde depolanabilir.

Kondansatörler enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kapasitörler iki tane iletken plaka arasında dielektrik yalıtkan malzemeden meydana gelir. Dielektrik malzeme levhalar arasında ark meydana gelmesini önleyerek daha fazla şarj yapılmasına yardım eder. Klasik kapasitörlerin güç yoğunlukları çok yüksektir (yaklaşık olarak 10^{12} W/m³). Fakat enerji yoğunlukları çok düşüktür (yaklaşık olarak 5 Wh/m³). Klasik kapasitörler genel olarak elektrolitik kapasitörler olarak adlandırılırlar. Süperkapasitörler (Ultrakapasitör diye de adlandırılır) ise klasik kapasitörlerin geliştirilmiş olanlarıdır. Bu kondansatörlerin güç yoğunlukları 10^6 W/m³ ve enerji yoğunlukları 10^4 Wh/m³ değerindedir. Enerji yoğunlukları az fakat deşarj süreleri hızlı ve çevrim ömrü daha fazladır. Ancak kapasitörlerin asıl olarak boyut problemleri vardır. Kapasitörlerin kapasitesi ve dielektrik malzeme arasında lineer bir bağlantı vardır. Bu yüzden büyük kapasite gerekli olduğunda zorunlu olarak dielektrik malzeme de büyük olmak durumunda olmalıdır. Süperkapasitörler yapıldıktan sonra çok büyük kapasiteler gayet küçük boyutlardaki kapasitörlerle yüksek enerji depolamaya olanak sağlamıştır.

Elektro-kimyasal kapasitörlerin keşfi, ultrakapasitörlerin de keşfinin başlangıcı olarak kabul edilir. 1957 yılında Becker tarafından geliştirilerek dünya literatürüne kazandırılmıştır. 1982 yılında ise ultrakapasitörler askeri amaçlı olarak uygulamaya konmuştur. Ultrakapasitörler birçok sistemde kullanılmakla beraber özellikle elektrikli taşıt sistemlerinde önemli rol oynamaktadır.

Ultrakapasitörlerin diğer depolama sistemleriyle karşılaştırıldıklarında birçok üstün özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Ultrakapasitörler çalışırken sıcaklık değişimlerinden hemen hemen hiç etkilenmezler, oldukça uzun bir kullanım ömrüne sahiptirler ve hızlı değişen yüklere karşı hızlı cevap verebilme yetenekleri vardır. Ayrıca, ultrakapasitörlerin oldukça yüksek güç yoğunlukları vardır, bu sayede çok kısa bir sürede güç sistemine binlerce amper değerinde akım aktarabilirler. Ancak ultrakapasitörlerin enerji yoğunlukları oldukça azdır. Bir bataryayla kıyaslandığında depolayabildikleri enerjinin, bataryanın depoladığı enerjinin neredeyse %5'ine eşit olduğu görülür [80,881].

Şekil 2.12'da, bir ultrakapasitör biriminin eşdeğer devresi verilmiştir. Model bir kapasitans (C), şarj ve deşarj durumlarını temsil eden bir seri eşdeğer dirençten ve kapasitörün kendi deşarj kayıplarını gösteren paralel bir dirençten oluşmuştur. EPR, sızıntı etkilerini modeller ve sadece ultrakapasitörün uzun dönem enerji depolama performansı üzerinde etkiye sahiptir.



Şekil 2.12. Ultra kapasitör şeması

Ultrakapasitör bankından alınan enerji, direkt olarak kapasitansa ve ultrakapasitörün uç gerilimine bağlıdır. Enerji matematiksel olarak Denklem (2.23)'daki gibi ifade edilebilir.

$$E_{UK} = \frac{1}{2} \cdot c(V_{ilk}^2 - V_{son}^2) \quad (2.23)$$

Ultrakapasitör bank belirli bir miktar enerjiyi karşılamak durumunda kaldığında, uç gerilimi doğal olarak düşer. Denklem (2.23), salınan veya kazanılan enerjiye bağlı gerilim değişiminin denklemdir. Ultrakapasitör bankın, yük tarafına enerji salması durumunda E_{UC} pozitifdir, enerjinin ultrakapasitör bank tarafından kazanımı durumunda ise E_{UC} negatiftir. Belirli bir yük için etkin spesifik enerji, farklı ultrakapasitör bank konfigürasyonları tarafından karşılanabilir.

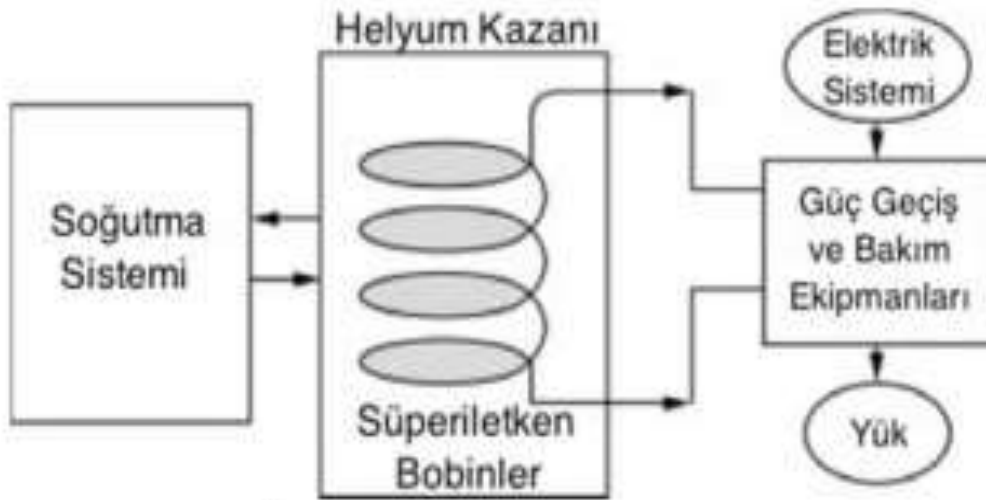
$$R_{UK-Toplam} = \eta_s \cdot \left(\frac{ESR}{\eta_p} \right) \quad (2.24)$$

$$C_{UK-Toplam} = \eta_s \cdot \left(\frac{C_{UK}}{\eta_p} \right) \quad (2.25)$$

Pratik uygulamalarda, gerekli miktardaki enerji, kapasitans ve uç gerilim değerlerini elde edebilmek için çoklu ultrakapasitör birimleri ile seri veya paralel bağlantılar yapılabilir. İstenilen uç gerilim değeri, bir bank oluşturulabilmesi için seri bağlanacak gerekli ultra kapasitör sayısını tayin ederken istenilen kapasitans değeri, bankta paralel bağlanması gereken ultra-kapasitör sayısını tayin eder. Ultrakapasitör sisteminin toplam eşdeğer resistansı ve kapasitansı, Denklem (2.24) ve (2.25) kullanılarak hesaplanabilir [82].

2.2.2.2. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemleri

Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemleri (Super Conducting Magnetic Energy Storage, SMES) en iyi depolama teknolojilerinden biridir. Sistemin çalışması süper iletken özelliklere sahip bir bobinden akım akıtıp bir manyetik alan oluşturarak enerjiyi oluşan bu manyetik alanda depolama esasına dayanır. Süper iletkenlik, bir malzemenin (idealde) sıfır ya da sıfıra yakın dirence sahip olmasıdır. Bu da akımın iletkeniden kayıpsız bir şekilde akması demektir. Bu yüzden SMES'ler yüksek verimli ve uzun ömürlüdür. Ayrıca; yük-frekans kontrolü, enerji yönetimi, sistem kararlılığı gibi birçok alanda kullanılması, gürültüsüz çalışması ve taleplere hızlı cevap vermesi sistemin diğer üstün yönleridir. SMES'in dezavantajları ise; sıcaklığa karşı hassasiyeti, soğutma ihtiyacı ve maliyetinin yüksek oluşudur [83]. Şekil 2.13'de tipik bir SMES sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Tipik bir SMES sistemi

SMES'e ilişkin enerji ve güç denklemleri Denklem (2.26) ve (2.27)'de verilmiştir.

$$E = \frac{1}{2} L \cdot I^2 \quad (2.26)$$

$$P = \frac{dE}{dt} = L \cdot I \cdot \frac{dI}{dt} = V \cdot I \quad (2.27)$$

SMES sisteminde enerji üretimi sonucu doğru akım DC oluşur. Sistem çıkışında ise, DC-AC dönüştürücü kullanarak AC güç elde edilir. Sistemin depoladığı enerji bobinin indüktansına ve akıma bağlı olarak değişir ve bu enerji deşarj yoluyla sisteme geri verilebilir.

2.2.2.3. Elektroniz ve Hidrojen Depolama

Çok yönlü bir kullanılabilirliği olan hidrojen, efektif maliyet, taşınması, çevreye etkileri, enerji yoğunluğu, gibi alternatif enerji kaynaklarının genel özelliklerine tümü ile uyan tek enerji kaynağıdır[84].

20. yy ortalarında ilginin arttığı hidrojen, gelecek yüzyılın enerji kaynağı olarak gösterilmektedir. Hidrojen; renksiz, tatsız, kokusuz ve şeffaf bir yapıya sahiptir. Dünyadaki en hafif ve en küçük element olan hidrojen, dünyada serbest halde bulunmazlar. Doğal bir yakıt olmayıp hava, su, doğal gaz ve fosil yakıtlar gibi değişik hammaddelerden üretilen yapay bir yakıttır. Kolayca depolanabilmesi, pahalı ve ağır bataryalara gerek duyulmaması, istenildiğinde yüksek verimle tekrar elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi gibi özellikler önemini artırmıştır.

Yakıt hücrelerinin tersi prensibine göre çalışan yapılara elektrolizör denir. Proton Geçirgen Membran yakıt pili (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC), alkali (AFC) ve katı oksit elektrolizörler (SOFC) olmak üzere temel olarak üç çeşit elektrolizör vardır. Ticari olarak iki tip elektrolizör mevcuttur. Alkali Elektrolizör; daha çok bilinen sıvı elektrolit içinde yapılan günümüzde yaygın olarak kullanılan elektrolizördür. Fakat alkali elektrolizörlerin verimlerinin düşük olması, üretilen hidrojen ve oksijen gazları içerisindeki safsızlıklar, çalışma sırasında elektrot tabakalarının korozyonu sebebiyle zamanla verimin düşmesi gibi dezavantajları bulundurmaktadır [85].

PEM elektrolizör ise daha yüksek performansla çalışması, yüksek basınçta hidrojen üretilmesi, kompakt bir yapıya sahip olması ve yüksek saflıkta hidrojen üretmesi gibi avantajlarından dolayı daha çok tavsiye edilen bir yöntemdir. Elektrolizöre su pompadan elektrik ise güç kaynağından verilir. Hidrojen ve oksijene ayrıştırılan su, hidrojen, yakıt pilinde hava ile birleşerek ve katot bölümleri bulunmaktadır. Anotta su, hidrojen iyonuna, oksijen gazına ve elektronlara ayrışmaktadır. Elektronlar erindekatoda geçmektedir. Güç kaynağından gelen elektronlarla bu hidrojen iyonları birleşerek hidrojen gazıoluşturmaktadır. Böylece anotta oksijen gazı oluşurken, katotta hidrojen gazı oluşur.

3. MİKROŞEBEKE ANALİZ PROGRAMI

Güç akış analizleri iletim ve dağıtım güç sistemlerinde detaylı çalışmaların vazgeçilmez bir parçasıdır. Yük akış analizleriyle enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin tasarımından önce performans ve güvenlik gereklilikleri gerçek zamanlı olarak ortaya koyulmaktadır. Bilgisayar yardımıyla yapılan güç akış analizlerinin ortaya çıkmasından bu yana daha hızlı ve gelişmiş algoritma ve benzetim teknikleri ortaya konulmuştur [86]. Güç akış uygulamaları bir akış için gerilimin faz açısını, genliğini ve iletim hattı güç akışını kararlı hâl çalışma koşulları altında hesaplar. Günümüzde bilgisayarlar 100.000 bara ve 150.000 iletim hattı içeren şebekeler için etkili güç akış çözümlerini yeterli depolama ve hızla sahip olarak sunabilmektedir. Ayrıca interaktif güç akış programları aracıyla analiz sonuçlarının bir tek hat şeması şeklinde bilgisayar ekranında görüntülenebilmesi ve hızlı ve kolay bir şekilde yapılan değişikliklerin sonuçlarının görselleştirilebilmesi mümkündür [87]. Güç akış analizleri iletim ve dağıtım güç sistemlerinde detaylı çalışmaların ayrılmaz bir parçasıdır. Güç akış analizleriyle enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin tasarımından önce performans ve güvenlik gereklilikleri gerçek zamanlı olarak belirlenmektedir. Bilgisayar destekli güç akış analizlerinin var olmasından bu yana daha hızlı ve gelişmiş algoritma ve benzetim teknikleri geliştirilmiştir [88]. Güç akışı çalışmaları güç sisteminin büyüme hızı ve gün geçtikçe artan önemi sebebiyle mevcut sistemin en doğru şekilde çalışma şartlarının belirlenmesi önemlidir. Özellikle son yıllarda çoğu ülkede meydana gelen sistem çökmeleri nedeniyle hem mühendislik uygulamaları, hem de ekonomik hesaplama ve beklenmedik olası durumların analizleri için güç sistem yazılımlarının kullanılması zorunlu hale gelmiştir [89]. Power System Toolbox (PST), MatPower, Voltage Stability Toolbox (VST) ve SimPowerSystems (SPS) gibi özellikle kararlı hâl ve geçici hâl benzetimini yapan, MATLAB/Simulink tabanlı, ücretsiz veya ticari, eğitim ve araştırma amaçlı güç sistem araç ve yazılımları mevcuttur. Bunların yanında PSS/E, DIgSILENT/Power Factory, NEPLAN, PSCAD, EUROSTAG, PSS SINCAL, SIMPOW, PowerWorld, CYMFLOW çok yaygın olarak kullanılan güç sistemi benzetim araçlarıdır [90].

3.1. DIgSILENT/Power Factory Analiz Programı

DIgSILENT yazılımının gelişimi 1976 yılında başlamıştır. UNIX işletim sistemleri için ilk ticari ürün 1986 yılında oluşturulmuştur. DIgSILENT Power Factory yazılımı en gelişmiş çözüm algoritmaları ve eşsiz veritabanı ile güvenilir ve esnek sistem modelleme imkânı sağlayan güç sistemleri analiz aracıdır. 1993 yılında geliştirilmiş çözüm algoritmaları ve nesne yönetimli veritabanı içeren yazılım teknolojisi ile Power Factory konsepti başlatılmış oldu. ‘Aktif Dökümantasyon’ olarak ifade edilebilen özelliği ile Power Factory fonksiyonel entegrasyona yeni standartlar getirmiştir. Bu esnek özellik ile kullanıcılar tek veri tabanı içerisinde detaylı güç sistem modellemeleri yapabilmektedir. Ayrıca sürekli durum, frekans bölgesinde, zaman bölgesinde kolaylıkla bütün analizler yapılabilmektedir.

DIgSILENT programı, elektrik şebeke sistemlerinin analizinde planlanmasında ve işletilmesinde. Aktif olarak kullanılmaktadır. DIgSILENT , “DIgital SIMuLator for Electrical NeTwork” kelimelerinin kısaltılmış halidir. Çalışmamızda kullandığımız DIgSILENT programı ile elde edilen sonuçların doğruluğu ve geçerliliği ilgili kuruluşlar tarafından onaylanmıştır.

DIgSILENT Power Factory programında yer alan fonksiyonlar:

- Güvenilirlik analiz
- Güç elektroniği elemanlarının modellemesi
- Topraklama
- A / D arayüzü
- SCADA/GIS/NIS arayüzü
- PSS/E gibi diğer programlarla uyumluluk
- Çoklu kullanıcı hesabı ve çoklu kullanıcıya uygun veri tabanı yapısı
- Optimal yük akışı ve üretim planlama gibi ileri seviye uygulamalar
- Alçak gerilim şebeke analizi
- Dağıtım şebekesi optimizasyonu
- IEC kablo ebatlama

Power Factory programı Windows uyumlu tek başına çalıştırılabilinen bir programdır. Program alt yapısı farklı hesaplama fonksiyonları arasında hızlı bir geçişe imkan sağlar. Farklı analizler için başka bir modülün yüklenmesine veya verilerin veya sonuçların gerek

yenilenmesine, gerekse de transferine ihtiyaç yoktur. Mesela Yük akışı, kısa devre ve harmonikli yük akışı analizi işlemlerini peş peşe yapmak için her bir işlemten sonra programı tekrar çalıştırmaya, farklı programcık, modülleri yüklemeye veya harici veri dosyalarına aktarma yapmaya gerek yoktur.

Power Factory programı dikey modelleme kabiliyetine sahiptir. Bu hususiyet özellikle üretim, iletim, dağıtım gibi farklı seviyelerdeki şebekelerin birlikte çalıştırılmasını sağlamaktadır. Her bir tip analiz için ayrı bir program yapılanmasına gereksinim duyulmaz. Power Factory ihtiyaç duyulan analizleri tek bir çerçevede ve tek bir veri tabanı ile gerçekleştirebilmektedir.

Tek Veri Tabanı Konsepti; Power Factory veri tabanı ve çeşitli hesaplamalar için gerekli tanımlamalarını ve ayar değerlerinin veya program işletim seçeneklerinin hafızada tutulmasını en uygun şekilde yönetilme imkanı sunar. Study case, operasyon senaryolar, tek hat grafik bilgilerinin metin ve grafik sonuçları, hesaplama seçeneklerini, kullanıcı cihaz modellerini vesaire, hepsini bir veri tabanı içerisinde bütünleştirir.

Proje Yönetimi: Bir şebekeye ait bütün veriler, veri tabanında yer alan proje klasöründe depolanır.

Çoklu Kullanıcı: Birden fazla kullanıcının her biri kendilerine ait projeler veya başkaları tarafından paylaşılan veriler çoklu kullanıcı veri tabanı işlevi ile desteklenmektedir. Bu çerçevede yetkilendirme tanımlanabilmektedir.

Window (pencere) Çalışması: Power Factory tam bir grafiksel pencere ortamında işlemlerini gerçekleştirmektedir. Çıktıların, tek hat şemasının ve TM çizimlerinin gösterimini, veri tabanlı düzenleme ve hesaplama fonksiyonları için ayrı pencereler oluşturulmaktadır.

Tam etkileşimli Mod: komut penceresi vasıtasıyla komut satırına yazarak bütün aktiviteler gerçekleştirilebilir.

Motor (Engine) Mod: Başka programlar (Simulink gibi) veya sistemler (GIS/NIS, SCADA gibi) ile Power Factory arka tarafta motor olarak birlikte çalışabilir.

3.2. DIGSILENT ile Elektriksel Analiz

DIGSILENT programının kütüphanesinde ve kısa yol tümleçlerinde elektrik enerjisi sistemi modellemeye yarayacak bütün elemanlar hazır bulunur. Bunlar, pv sistemler,

reaktörler, diyotlar, genel şebeke, bara çeşitleri, yer altı kabloları, sabit ve değişken yükler, ac ve dc motorlar, transformatörler, kesiciler, senkron generatörler ve diğer gerekli elemanlardır. Bu elemanlar için global kütüphanelerde çeşitli özelliklerde örnekleri hazır olarak tanımlanmıştır. İlgili sistemde bulunan elemanlar DIgSILENT programının kütüphanesinde bulunmaması durumunda, kullanıcı tarafından eklenecek elemanın bilgileri kullanıcı tarafından istenildiği gibi tanımlanıp, proje içindeki kütüphaneye kaydedilebilir. Kullanıcı tarafından kütüphaneye kaydedilen elemanlara tekrar ihtiyaç duyulduğu takdirde kütüphane içinden ilgili elemana isim verilerek aynı elemandan istenildiği kadar kullanılabilir. Bu kolaylık kuracağımız sistemin daha kolay ve hızlı bir şekilde analizini yapmamıza imkan sağlamaktadır.

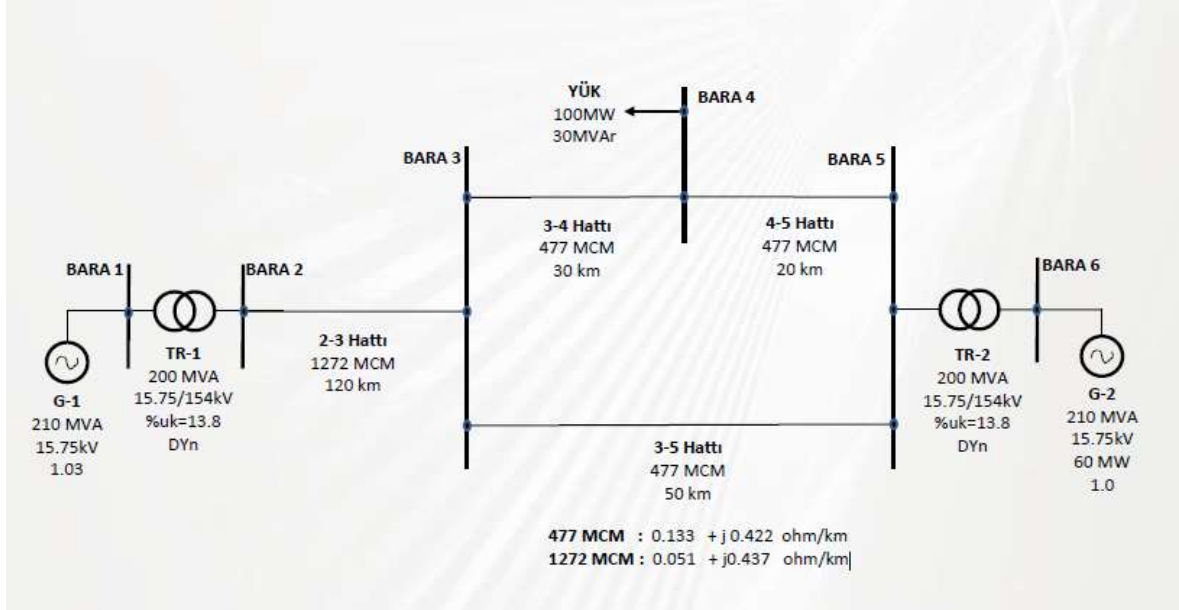
DIgSILENT sayesinde kolayca tek bir program ile tüm güç benzetim fonksiyonlarının yürütülmesi mümkündür. Bu program ile yapılan çalışmalar;

- Güç akış analizi,
- Kısa devre analizi,
- N-L (Arıza durum) analizi,
- Güvenilirlik analizi,
- Üretim yeterliliği analizi,
- Optimal güç akış analizi,
- Alçak gerilim şebeke analizi,
- Model parametre tanımlama,
- Güç sistemlerinin dinamik benzetimi,
- Harmonik analizi,
- Flicker analizi,
- Dağıtım şebekesi analizi,
- Stabilitate hesaplama ve koruma koordinasyon,
- Rüzgar ve güneş santrallerinin modellenmesidir.

Şeklinde sıralanabilir.

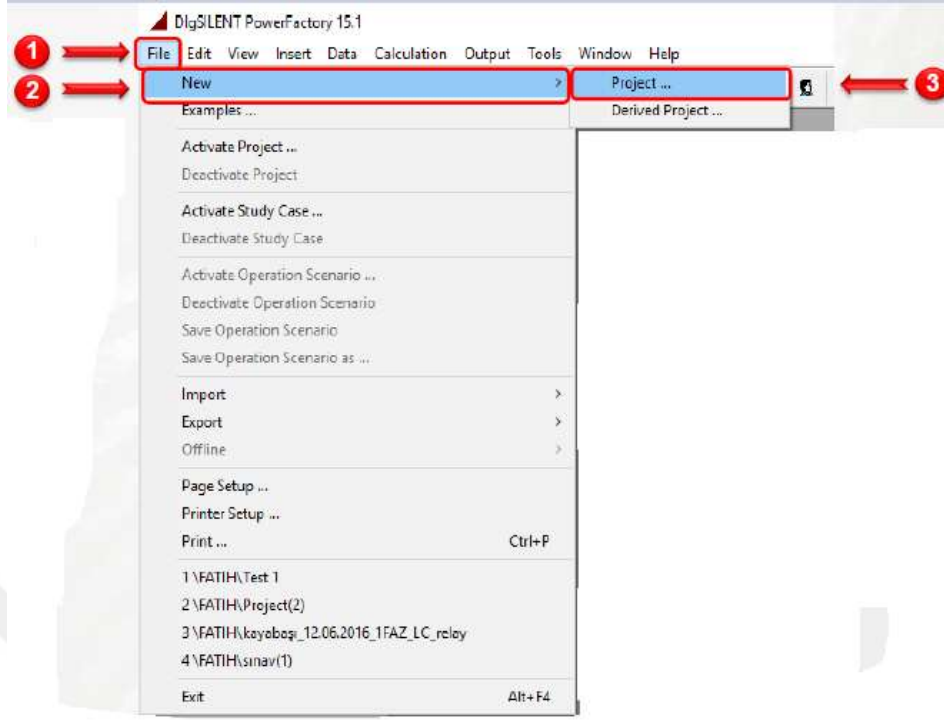
3.3. Örnek Proje Oluşturulması

Programda projenin oluşturulması, tasarlanacak sistemin karmaşıklık ve zorluk derecesine bağlı olarak değişmektedir. Kullanıcı sistem bileşenlerini tanımlamada geniş kütüphane özelliğinde dolayı esnekliğe sahiptir. Örnek sistemimiz Şekil 3.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. DIgSILENT programı ile örnek şebeke

Şekil 3.1. de yer alan sistemimizi DIgSILENT programından faydalananarak adım adım işlemlerini gerçekleştirip proje oluşturulması şekillerde gösterilmiştir.



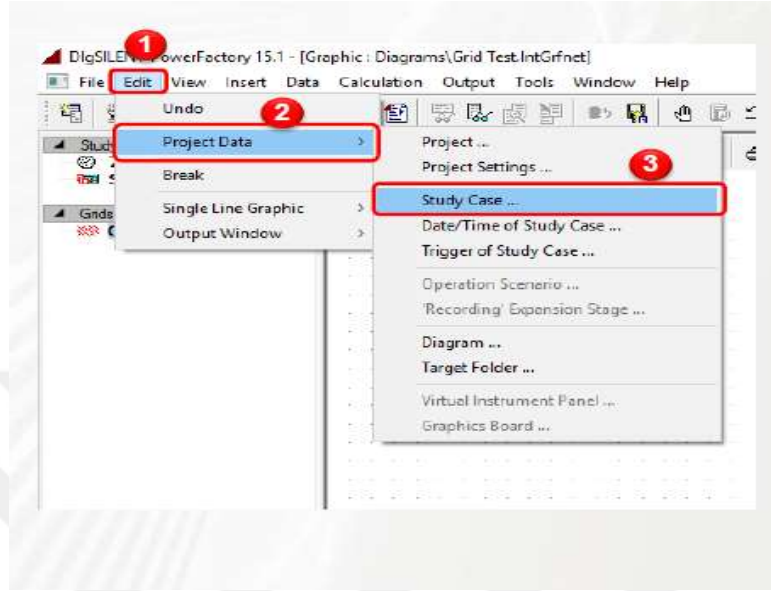
Şekil 3.2. Yeni bir proje oluşturmak ekranı

DIGSILENT programından faydalanarak öncelikle file kısmından new ve daha sonra Project seçilerek modellemesini yapacağımız sistemin dosyasını açılarak ilk adım gerçekleştirilir.

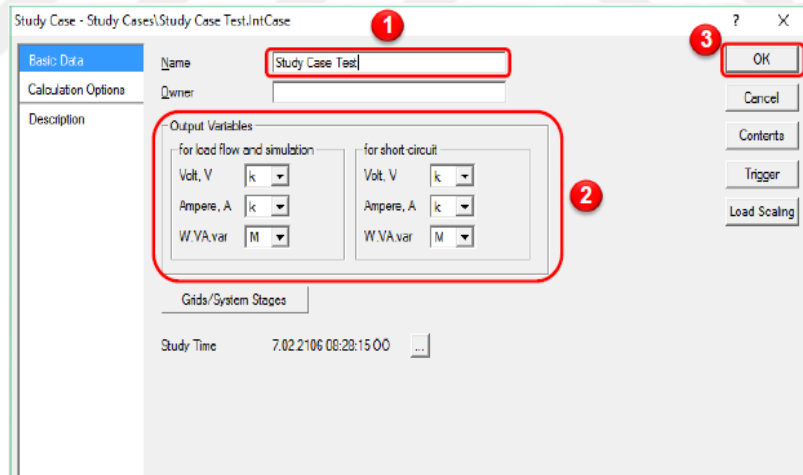


Şekil 3.3.Yeni bir proje oluşturmak ekranı

Açılan pencerede çıkan basic data kısmında proje ismi belirlenebilir. Description sekmesini seçerek proje ile ilgili daha fazla bilgi girişi yapılabilir. Bilgi girişini tamamlayınca ok tuşuna basılarak projenin ilk tanımlama adımları tanımlanmış olacaktır.

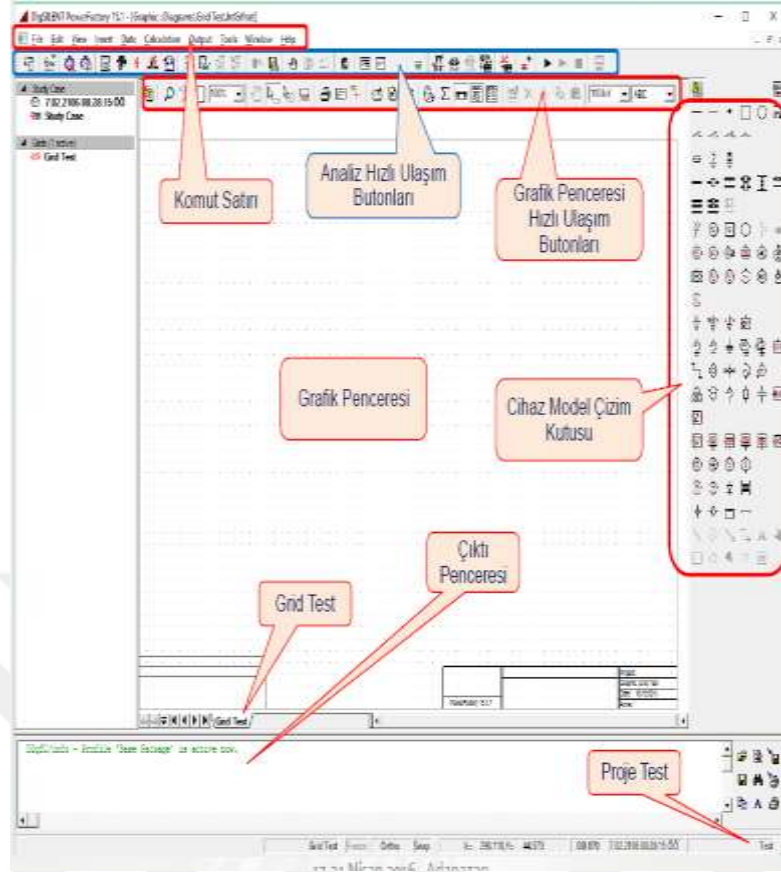


Şekil 3.4. Study case tanımlaması



Şekil 3.5. Study case tanımla sayfası arayüzü

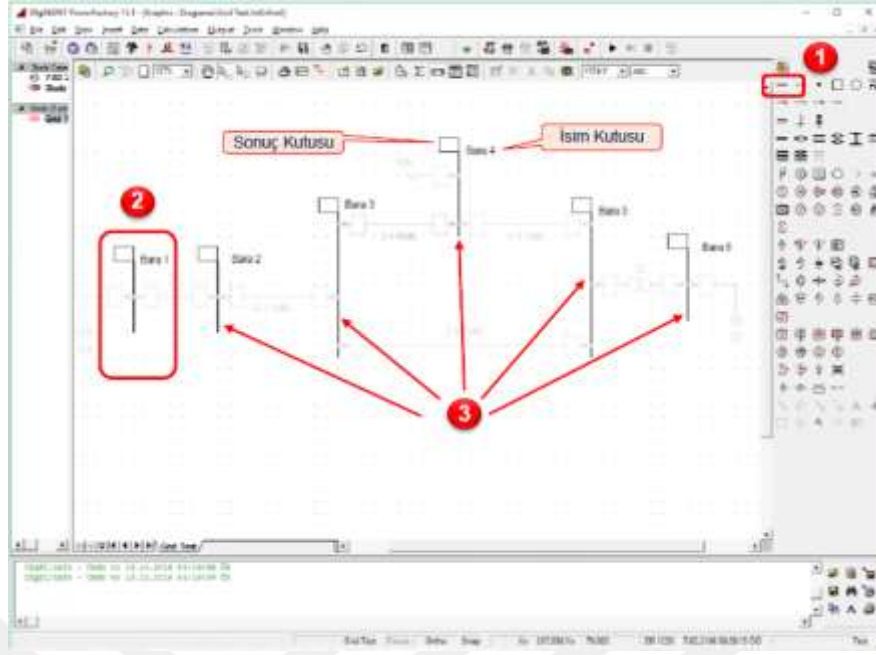
Her proje tanımlanması sonrası study case oluşturulmalıdır. Şekilde görüldüğü gibi oluşturulan study case'in amacı sistemde kullanacağımız parametlerin istenilen kA, MW, Kv vb. türden görülmesi içindir.



Şekil 3.6. Program arayüzü

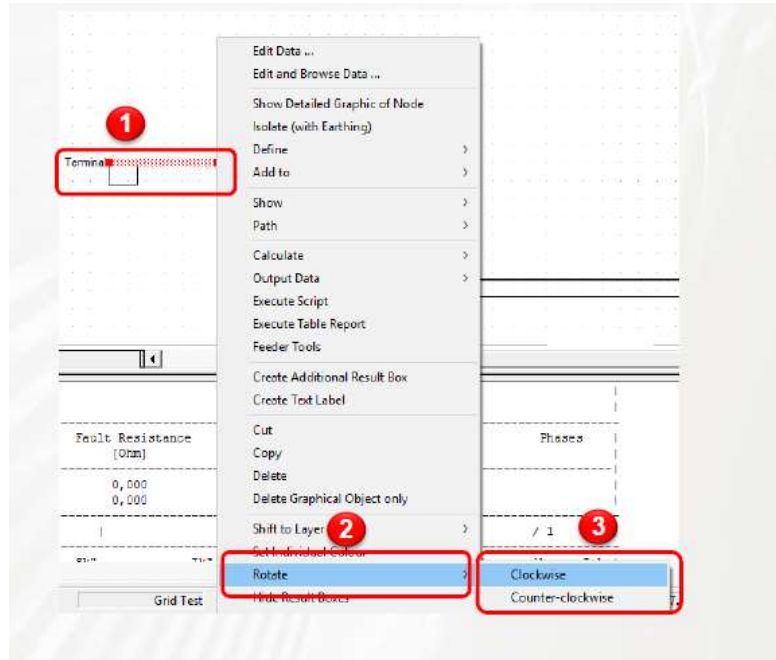
Study case işleminden sonra yeni proje oluşturma işlemi tamamlanmıştır. Genel bir bakış ile DIGSILENT programının açılan penceresinde yer alan imleçler ve toolbarların yapısı şekilde incelenmiştir.

Power Factory programında öncelikle her bir şebeke elemanı ayrı ayrı oluşturulup ve şebeke topolojisine göre birbirlerine bağlanarak şebeke modeli gerçekleştirilmiştir. Etkileşimli tek hat şemaları ile kolayca yapılır. Her bir grafik elemanına veri tabanından metin tabanlı olarak da ulaşılabilir. Elemanlara ait tek hat şemaları oluşturulurken aynı zamanda veri tabanına ait bilgilerle beraber oluşturulmuştur.



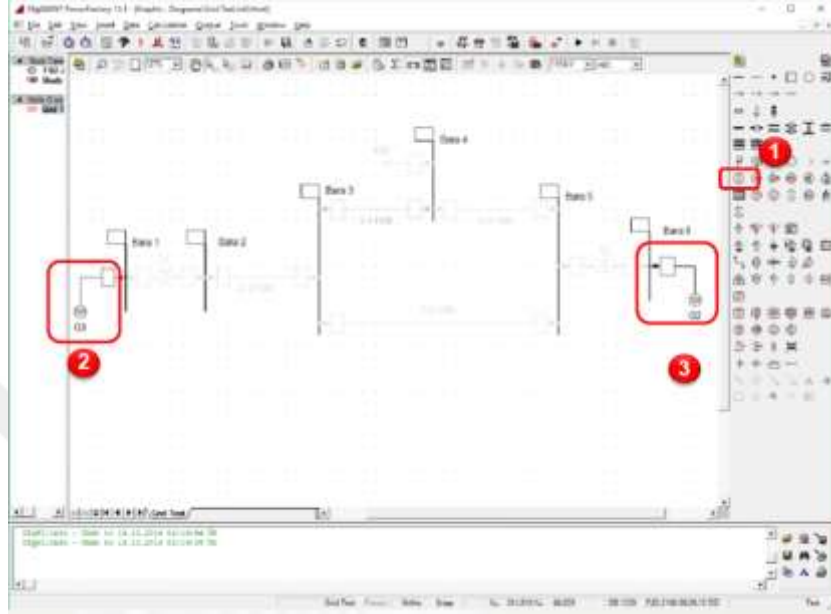
Şekil 3.7. Baraların çizilmesi

Modellemeye öncelikle baralardan başlanılmaktadır. Model Çizim Kutusundan Bara simgesine fare sol tuşu ile tıklanarak seçilmelidir. Grafik penceresinde arzu edilen bir alana fare sol tuşu tıklanarak yerleştirme gerçekleştirilir. Bu işleme tüm baralar yerleştirilinceye kadar devam edilir. Bara yerleştirme işlemi tamamlanınca fare sağ tuşuna basılmalıdır.



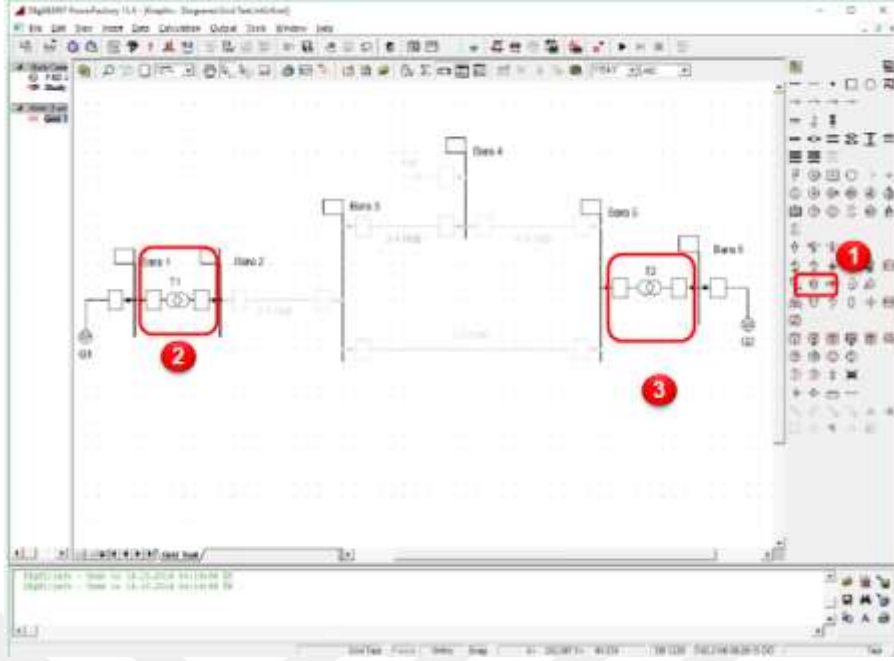
Şekil 3.8. Proje ait elemanların döndürülmesi

Çizilen baraların veya tanımlaması yapılacak elemanların şekillerinin döndürülmesi ve projeye uygunluğu için, önce işaret imleci şeklin üzerine getirilir ve farenin sağ tuşuna tıklanmalıdır. Açılan pencerede Rotate tercihin fare sol tuşu ile basılır. Projemize uygun olacak şekilde döndürme işlemi gerçekleştirilebilir.



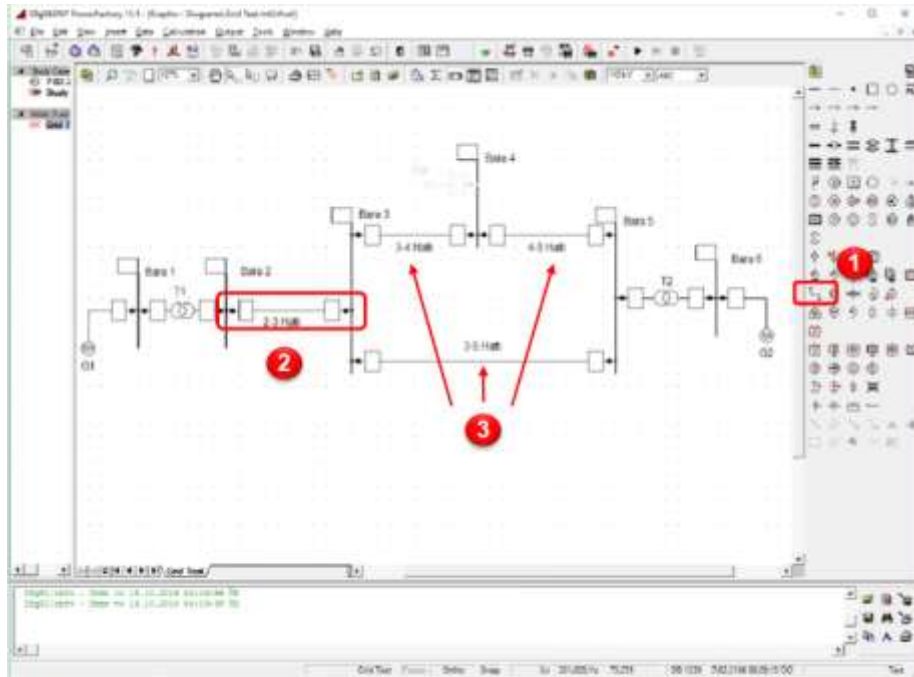
Şekil 3.9. Generatörlerin oluşturulması

Model Çizim Kutusundan Senkron Makine simgesine fare sol tuşu ile tıklanarak seçilir. Grafik penceresinde bağlanacak bara üzerine fare sol tuşu tıklanarak yerleştirilir. Bu işleme tüm generatörler yerleştirilinceye kadar devam edilir. Generatör yerleştirme işlemi tamamlanınca fare sağ tuşuna basılmalıdır.



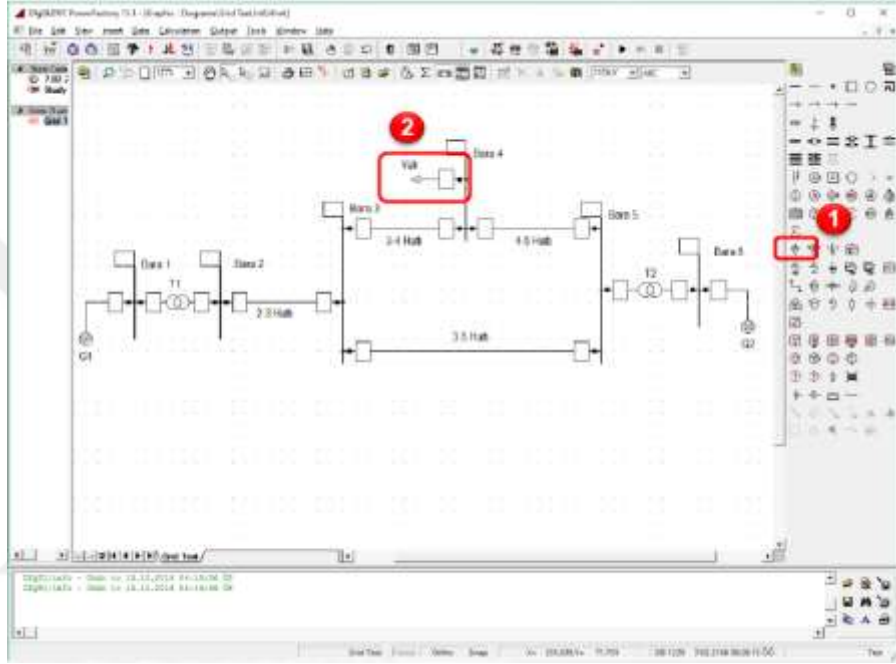
Şekil 3.10. Trafoların oluşturulması

Model Çizim Kutusundan Trafo simgesine fare sol tuşu ile tıklanarak seçilir. Grafik penceresinde bağlanacak bara üzerine fare sol tuşu tıklanarak bağlanır. Trafo diğer ucu da diğer bara üzerine tıklanarak yerleştirme işlemi tamamlanır. Bu işleme tüm trafolar yerleştirilinceye kadar devam edilir. Trafo yerleştirme işlemi tamamlanınca fare sağ tuşuna basılmalıdır.



Şekil 3.11. Hatların oluşturulması

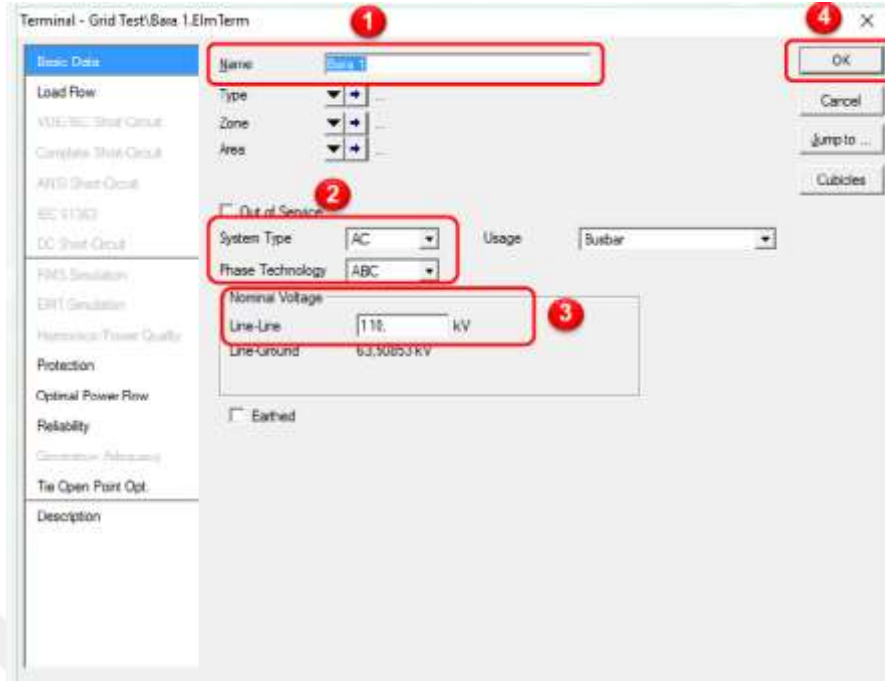
Model Çizim Kutusundan Hat simgesine fare sol tuşu ile tıklanarak seçilir. Grafik penceresinde bağlanacak bara üzerine fare sol tuşu tıklanarak bağlanır. Hattın diğer ucu da diğer bara üzerine tıklanarak yerleştirme işlemi tamamlanır. Bu işleme tüm hatlar yerleştirilinceye kadar devam edilir. Hat yerleştirme işlemi tamamlanınca fare sağ tuşuna basılmalıdır.



Şekil 3.12. Yüklerin oluşturulması

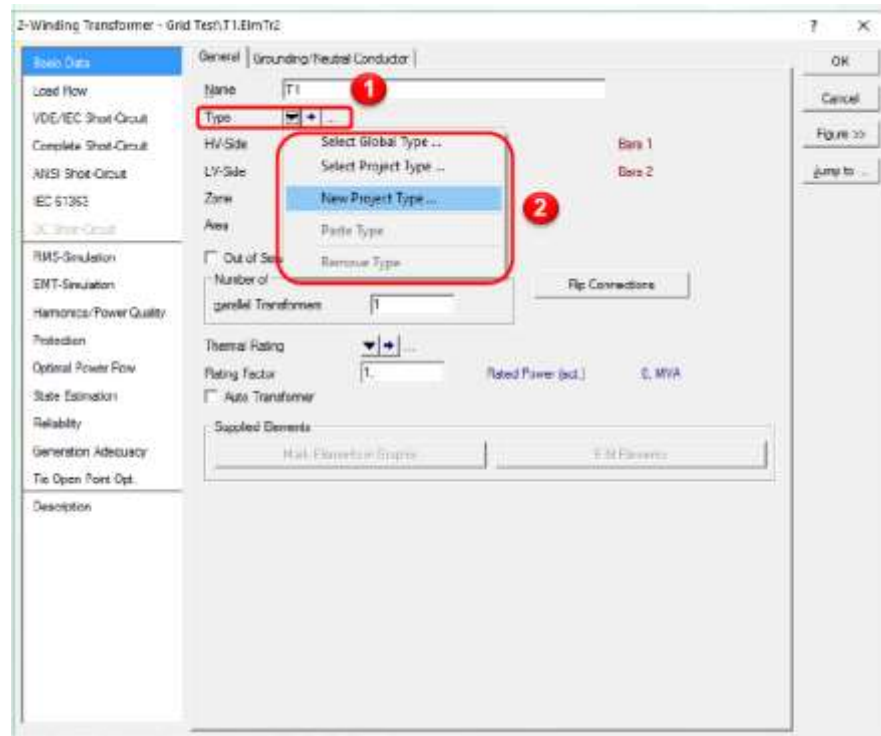
Model Çizim Kutusundan Yük simgesine fare sol tuşu ile tıklanarak seçilir. Grafik penceresinde bağlanacak bara üzerine fare sol tuşu tıklanarak yerleştirilir. Bu işleme tüm yükler yerleştirilinceye kadar devam edilir. Yük yerleştirme işlemi tamamlanınca fare sağ tuşuna basılmalıdır.

Örnek proje oluşturma aşamaları tamamlandıktan sonra projemizde yer alan devre elemanlarının tanımlamalarını yaparak elektrik şebekesini oluşturduğumuz sistemin analiz işlemlerine hazır hale gelecektir. Sırasıyla projemizde yer alan elemanların tanımlamalarını inceleyecek olursak;



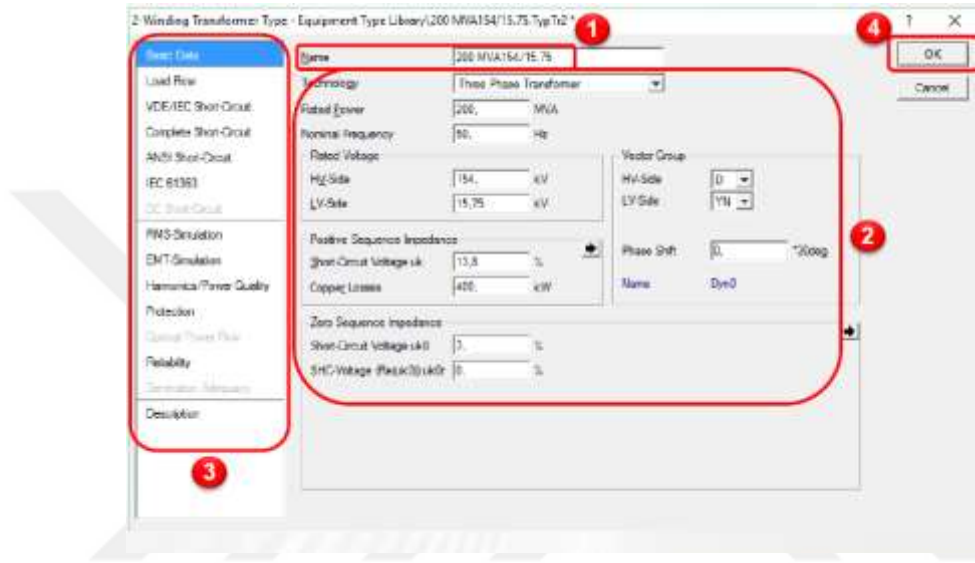
Şekil 3.13. Bara bilgilerinin tanımlanması

Bilgileri girilecek bara üzerine işaret imleci götürülüp fare sol tuşuna çift tıklanır. Açılan pencerede **Name** kısmına o baraya verilecek olan isim girilir. Şebeke türü ve faz bilgileri seçilir. Bara nominal gerilimi girilir. Bilgi girişi tamamlanınca **OK** tuşuna basılır.



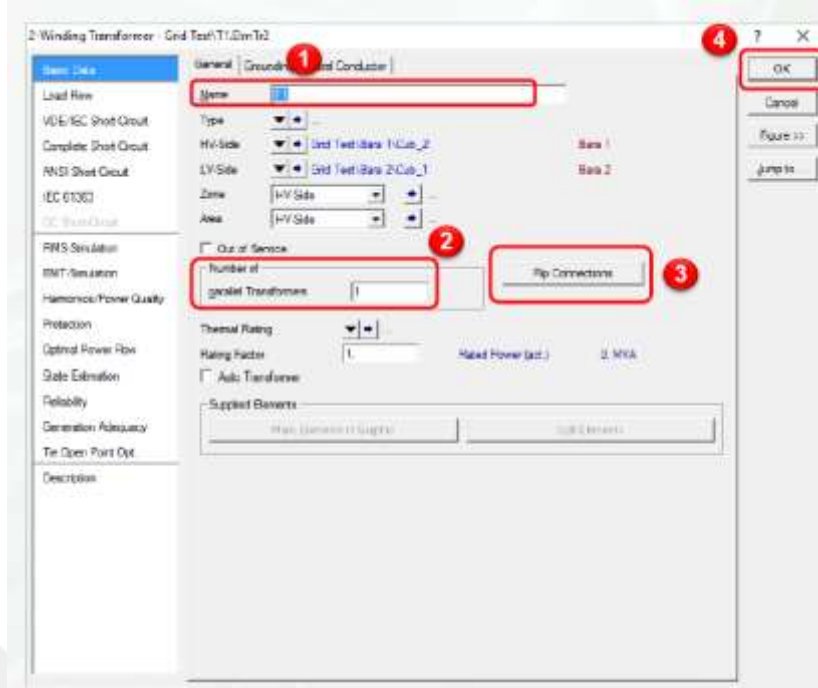
Şekil 3.14. Trafo tanımlamaları-1

Bilgileri girilecek Trafo üzerine işaret imleci götürülüp fare sol tuşuna çift tıklanır. Açılan pencerede **Type** tuşuna basılır. Açılan pencereden kullanılacak trafo tipi aşağıda verilen bilgiler çerçevesinde seçilir. Eğer kullanılacak trafo ana kütüphanede hazır varsa **Select Global Type** seçilir. Eğer kullanılacak trafo proje kütüphanesinde daha önceden tanımlanmış ise **Select Project Type** seçilir. Eğer orada da yoksa yeni bir tip oluşturmak için **New Project Type** seçilir.



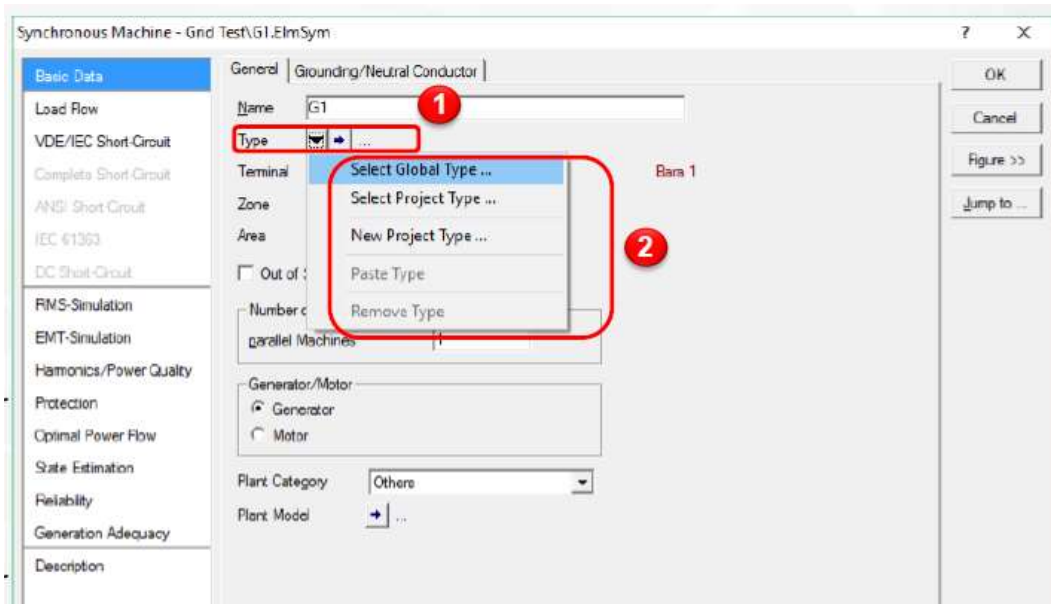
Şekil 3.15. Trafo Tanımlamaları-2

Açılan pencerede **Name** kısmına trafo tipine verilecek olan isim girilir. Verilen isim ana hatları ile o tip hakkında bilgiler ihtiva etmesi daha sonra proje kütüphanesinden seçilirken kolaylık sağlayacaktır. Trafoya ait karakteristik bilgileri girilir. Yapılacak farklı analizler için gerekli karakteristikler o analize ait sekme seçilerek açılan pencerede girilir. Eğer bir karakteristik değer birkaç sekmede yer alıyorsa bir sekmede girilen bilgi otomatik olarak diğer sekmelerde de yer alır. Bilgi girişi tamamlandıncı **OK** tuşuna basılır.



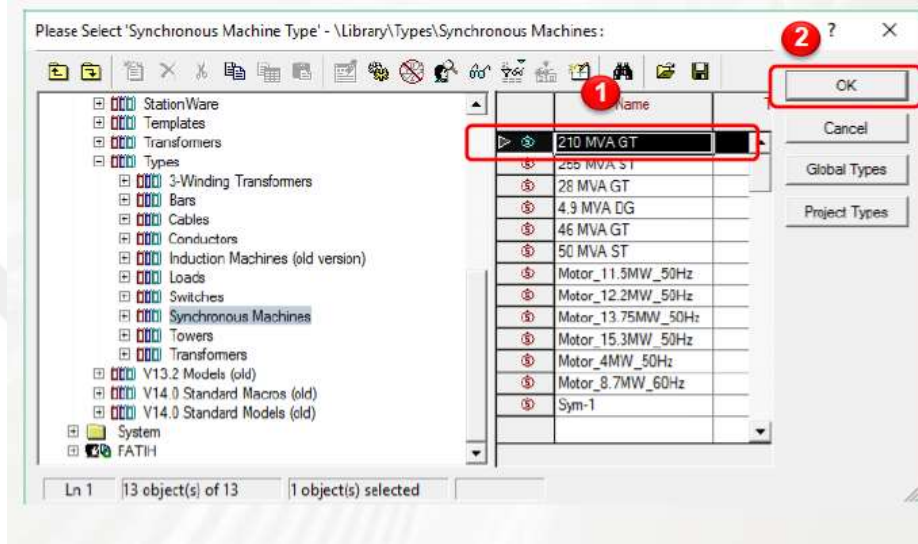
Şekil 3.16. Trafo Tanımlamaları-3

Açılan ana pencerede **Name** kısmına trafo lokasyonuna verilecek olan isim girilir. Eğer aynı tip te paralel başka trafo da bağlı ise paralel trafo sayısı girilir. Eğer bağlantı uçları ters yapılmış ise **Flip Connection** tuşuna basılarak değiştirilir. Bilgi girişi tamamlandıca **OK** tuşuna basılır.



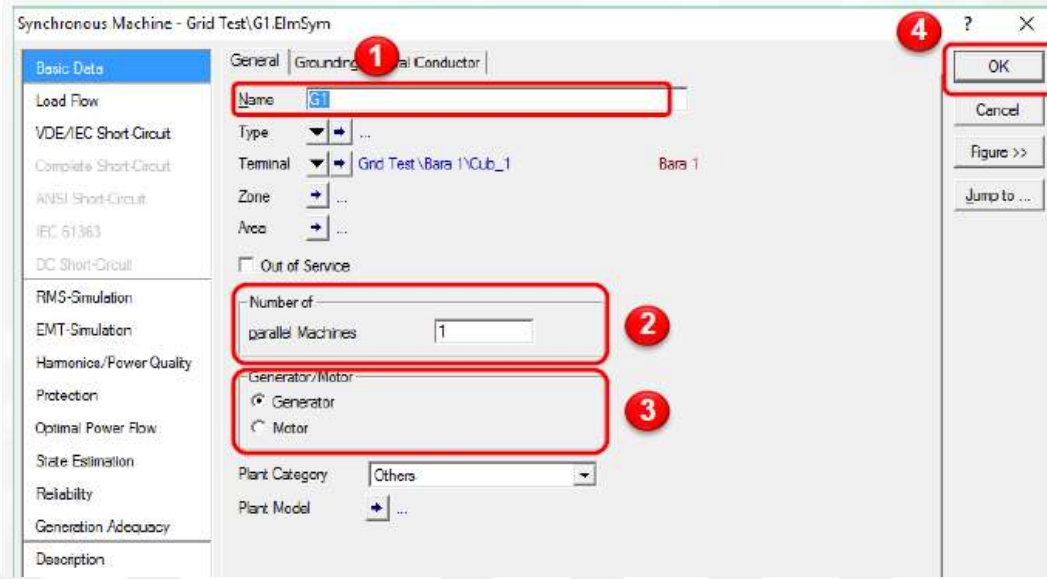
Şekil 3.17. Generatör bilgilerinin tanımlanması-1

Generatör üzerine işaret imleci götürülüp fare sol tuşuna çift tıklanır. Açılan pencerede **Type** tuşuna basılır. Açılan pencereden kullanılacak Generatör tipi seçilir. Eğer kullanılacak Generatör ana kütüphanede hazır varsa **Select Global Type** seçilir. Eğer kullanılacak Generatör proje kütüphanesinde daha önceden tanımlanmış ise **Select Project Type** seçilir. Eğer orada da yoksa yeni bir tip oluşturmak için **New Project Type** seçilir.



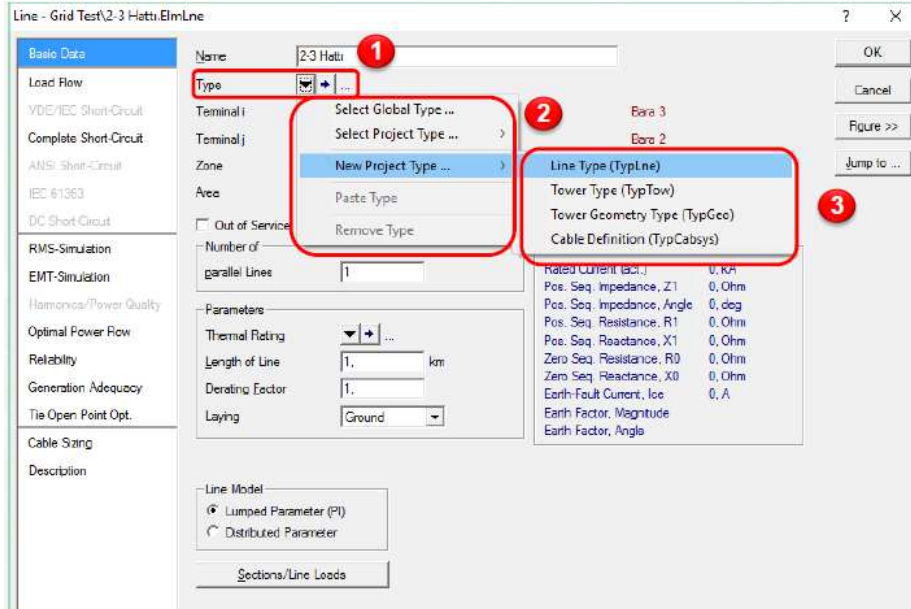
Şekil 3.18. Generatör bilgilerinin tanımlanması-2

Açılan pencerede ana kütüphaneye ait veri tabanı görülecektir. Arzu edilen generatör tipi fare sol tuşu ile kütüphaneden seçilir. Tercih yapılırken isim üzerine değil sembol üzerine tıklanmalıdır. Tercih tamamlanınca **OK** tuşuna basılır.



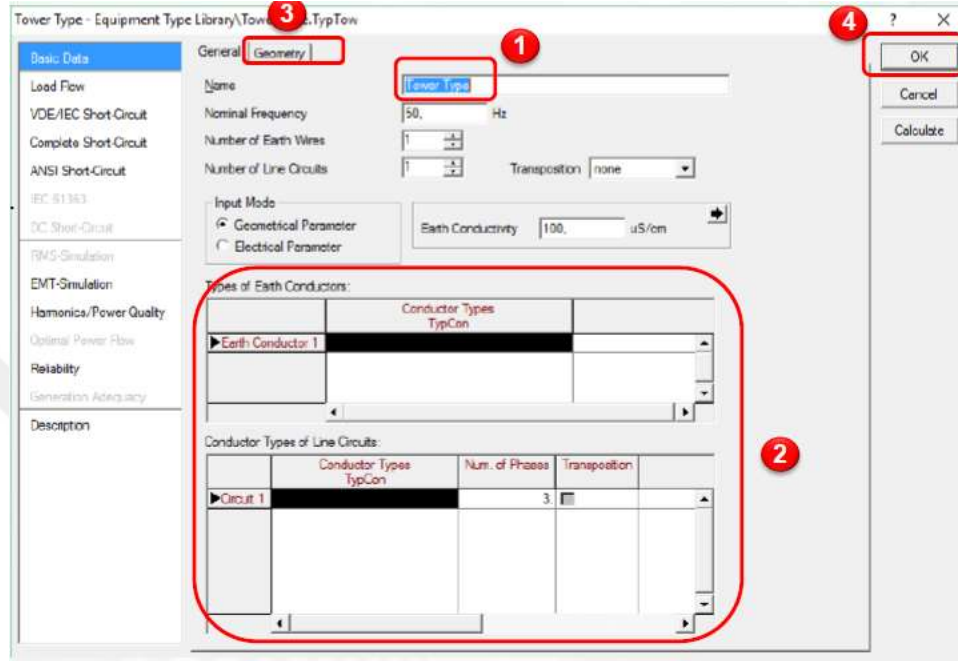
Şekil 3.19. Generatör bilgilerinin tanımlanması-3

Açılan ana pencerede **Name** kısmına Generatör lokasyonuna verilecek olan isim girilir. Eğer aynı tip te paralel başka generatör de aynı baraya bağlı ise paralel generatör sayısı girilir. Bağlanan senkron makine generatör mü yoksa motor mu olarak kullanılacak tercih yapılır. Bilgi girişi tamamlandıca **OK** tuşuna basılır.



Şekil 3.20. Hat bilgilerinin tanımlanması-1

Bilgileri girilecek hat üzerine işaret imleci götürülüp fare sol tuşuna çift tıklanır. Açılan pencerede **Type** tuşuna basılır. Açılan pencereden kullanılacak Hat tipi seçilir. Yeni bir tip oluşturmak için **New Project Type** seçilir. Açılan menüden birisi seçilir.



Şekil 3.21. Hat bilgilerinin tanımlanması-2

Eğer Tower type seçilirse açılan pencere şekildeki gibi görülür. **Name** kısmına Hat tipine verilecek olan isim girilir. İletken karakteristikleri tanımlanır. Direk tipi **Geometry** sekmesi seçilerek girilir. Program otomatik olarak hattın empedans ve şönt büyüklüklerini km başına hesaplar. Bilgi girişi tamamlandıncı **OK** tuşuna basılır.

Tower Geometry Type - Equipment Type Library

Name: Tower Geometry Type

Number of Earth Wires: 1

Number of Line Circuits: 1

Coordinates Earth Wires (m):

	X	Y
Earth Wire 1	0	0

Coordinates Phase Circuits (m):

	Num Phases	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3
Circuit 1	3	0	0	0	0	0	0

OK Cancel

Şekil 3.22. Hat bilgilerinin tanımlanması-3

Eğer Tower Geometry type seçilirse açılan pencere şekildeki gibi görülür. **Name** kısmına Hat tipine verilecek olan isim girilir. Direk tipi bilgileri girilir. İletken bilgileri ana pencerede girilir. Bilgi girişi tamamlandıncı **OK** tuşuna basılır.

Line Type - Equipment Type Library\1272 MCM.TypeLine*

Name: 1272 MCM

Rated Voltage: 0 kV

Rated Current: 1 kA

Nominal Frequency: 50 Hz

Cable / OHL: Overhead Line

System Type: AC Phases: 3 Number of Neutrals: 0

Parameters per Length 1-2-Sequence:

AC-Resistance R(20°C): 0.051 Ohm/km

Reactance X: 0.437 Ohm/km

Parameters per Length Zero Sequence:

AC-Resistance R0: 0 Ohm/km

Reactance X0: 0 Ohm/km

OK Cancel

Şekil 3.23. Hat bilgilerinin tanımlanması-4

Açılan pencerede **Name** kısmına Hat tipine verilecek olan isim girilir. Verilen isim ana hatları ile o tip hakkında bilgiler ihtiva etmesi daha sonra proje kütüphanesinden

seçilirken kolaylık sağlayacaktır. Hat tipine ait karakteristik bilgiler girilir. Yapılacak farklı analizler için gerekli karakteristikler o analize ait sekme seçilerek açılan pencerede girilir. Bilgi girişi tamamlandıncı **OK** tuşuna basılır.

Line - Grid Test\2-3 Hatlı.ElmLine *

Basic Data

Name: 2-3 Hatlı

Type: Equipment Type Library\1272 MCM

Terminal i: Grid Test\Baro 3\Cub_1

Terminal j: Grid Test\Baro 2\Cub_2

Zone: Terminal i

Area: Terminal i

☐ Out of Service

Parameters

Number of parallel Lines: 1

Thermal Rating: ...

Length of Line: 120 km

Derating Factor: 1

Line Model

☒ Lumped Parameter (PI)

☐ Distributed Parameter

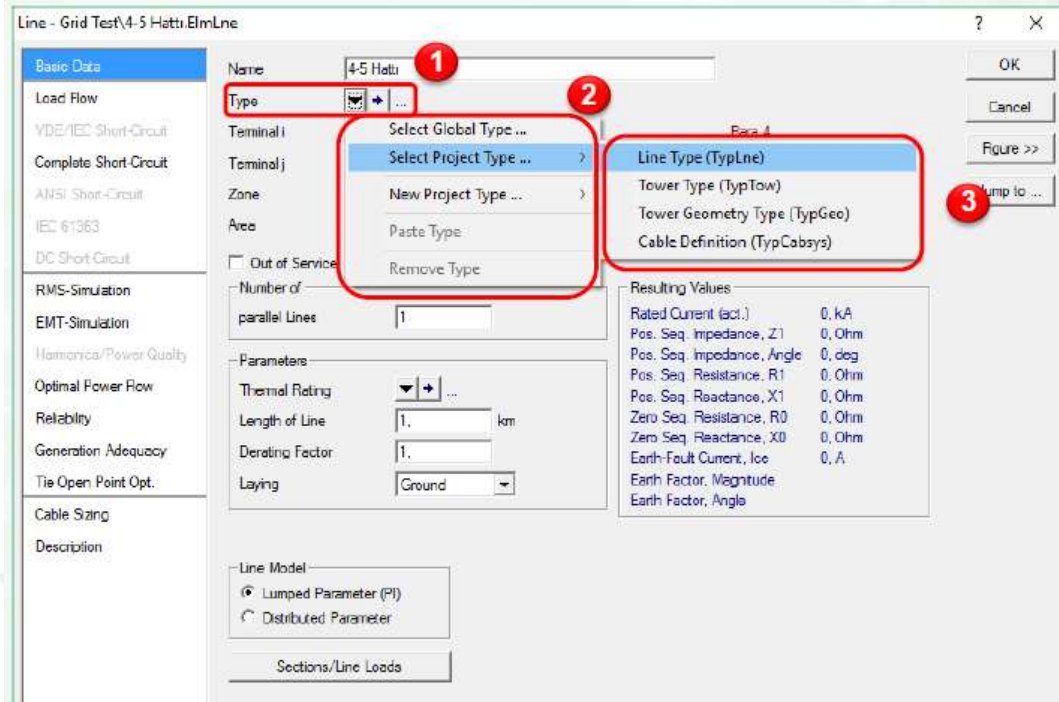
Resulting Values

Rated Current (aci.)	1 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	52.79591 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	83.34342 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	6.12 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	52.44 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	0 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	0 Ohm
Earth-Fault Current, Ioe	0 A
Earth Factor, Magnitude	0.333333
Earth Factor, Angle	180 deg

OK

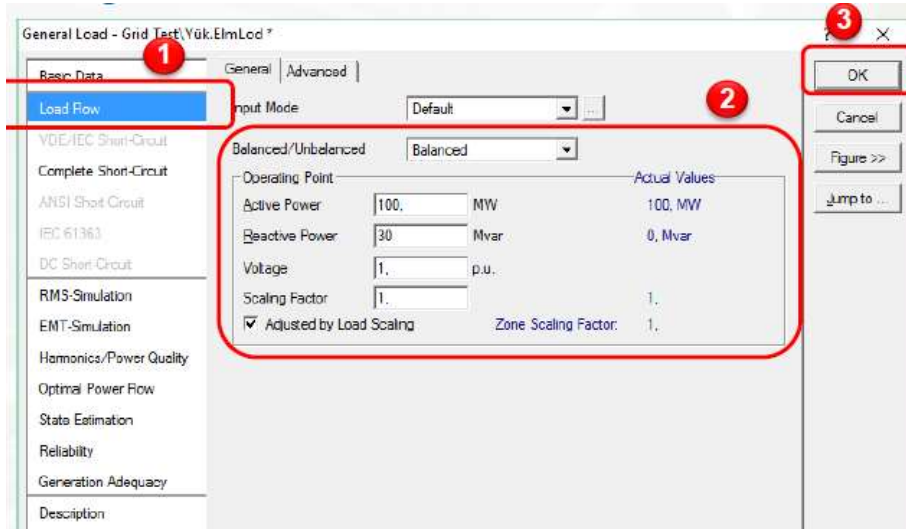
Şekil 3.24. Hat bilgilerinin tanımlanması-5

Dönülen ana pencerede **Name** kısmına Hat lokasyonuna verilecek olan isim girilir. Eğer aynı tip te paralel başka Hat bağlı ise paralel hat sayısı girilir. Hattın uzunluk bilgisi girilir. Verilen uzunluk bilgisine göre toplam hat empedans bilgileri girilir. Hat matematiksel modeli seçilir. Bilgi girişi tamamlandıncı **OK** tuşuna basılır.



Şekil 3.25. Hat bilgilerinin tanımlanması-6

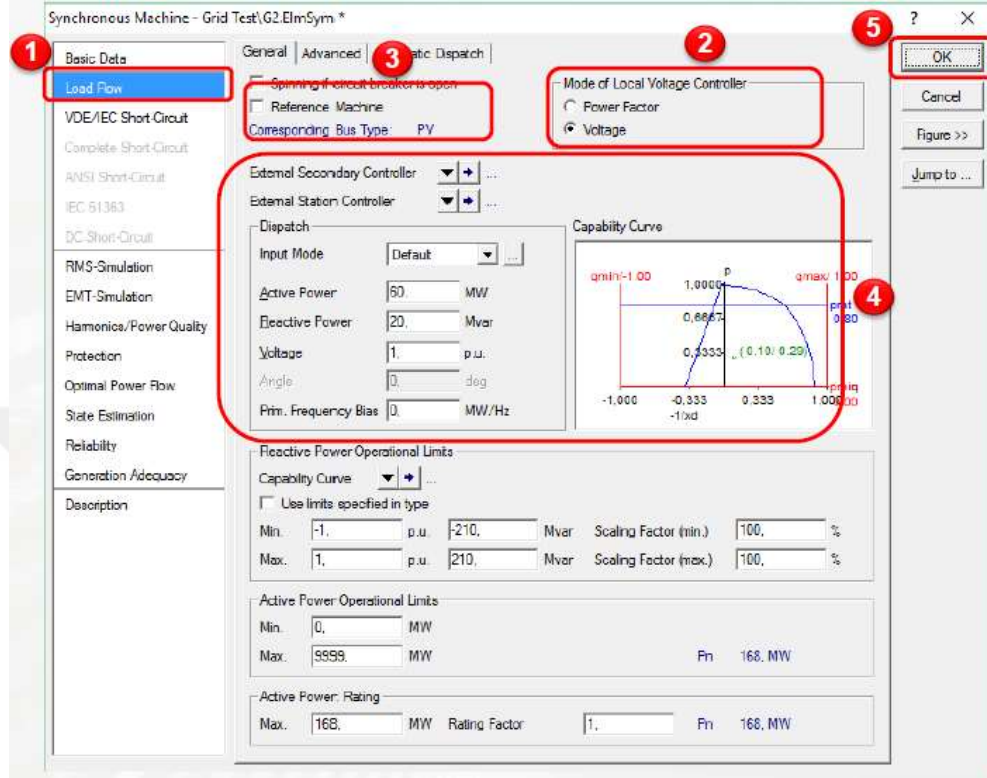
Proje kütüphanesinden hat seçme. Açılan pencerede **Type** tuşuna basılır. Proje kütüphanesinden hat tipi için **Select Project Type** seçilir. Açılan menüden **Line Type** seçilir. Açılan pencerede hat tipi farenin sol tuşu ile seçilip hat tanımlama işlemi tamamlanır.



Şekil 3.26. Yük bilgilerinin tanımlamalarının yapılması

Bilgileri girilecek Yük üzerine işaret imleci götürülüp fare sol tuşuna çift tıklanır. Açılan pencerede **Load Flow** sekmesine tıklanır. Açılan pencerede yük bilgileri girilir.

Bilgi girişi tamamlandıncı **OK** tuşuna basılır. Dönülen ana pencerede **Name** kısmına o Yüke verilecek olan isim girilir.



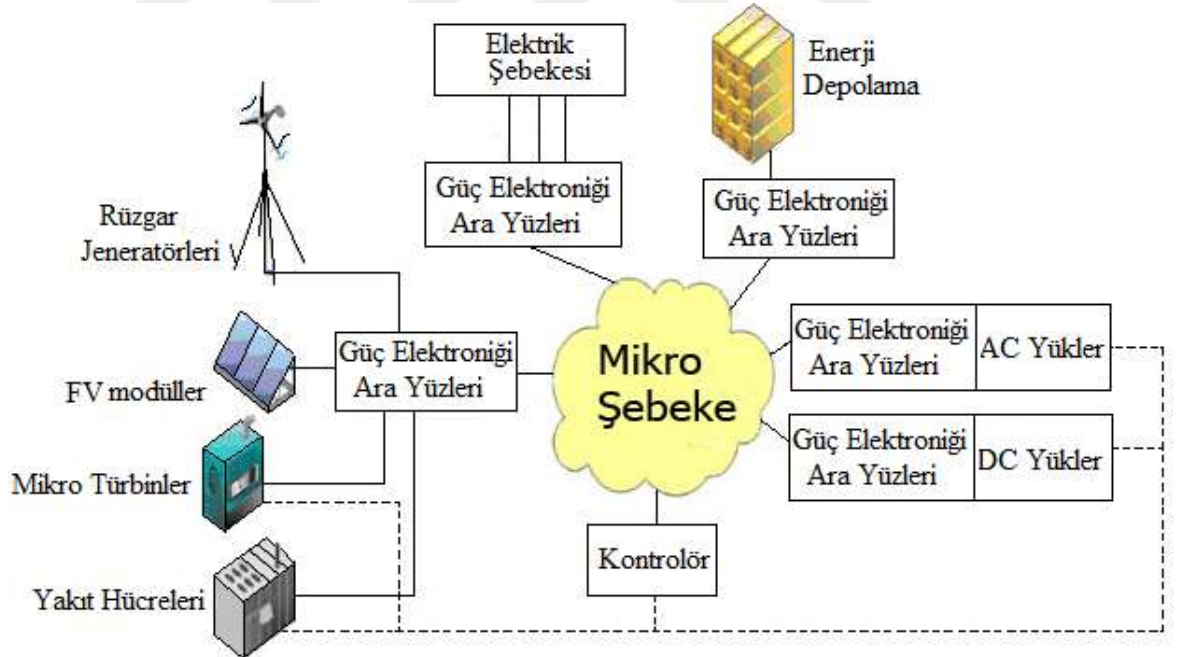
Şekil 3.27. İşletme durumu için generatör yüklenme bilgilerinin tanımlanması

Generatörü üzerine işaret imleci götürülüp fare sol tuşuna çift tıklanır. Açılan pencerede **Load Flow** sekmesine basılır. **Voltage Control** seçilir. **Reference Machine** seçili olmadığına dikkat edilir. Yüklenme bilgileri girilir. Bilgi girişi tamamlandıncı **OK** tuşuna basılarak tanımlama işlemi tamamlanmaktadır.

Örnek projeyi referans olarak oluşturduğumuz ve adım adım çizimini ve tanımlamalarını yaptığımız proje üzerinde yük akış analizi ve kısa devre analizi olmak üzere analizlere uygun hale getirilmiştir.

4. MİKRO ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Mikroşebeke; birbirine bağlanmış dağınık yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturmuş olduğu bir grubun temel şebekeye entegre edilerek senkronize bir şekilde çalışabilmesini sağlayan şebeke yönetim teknolojisi olup şebekeden bağımsız olarak kontrol edilebilen ayrıca şebeye bağlı olarak da sisteme entegre olabilen enerji sistemleridir. Temel şebekenin bir parçası ve endüstriyel/ ticari tüketici uygulamalarından oluşan bir mikroşebeke sistem, şebekeden bağımsız veya şebeke bağlantılı mod olarak çalışabilir. Mikroşebeke oluşturmuş olduğu grup ise, rüzgâr türbinleri, FV modüller, mikro türbinler, jeotermal enerjisi, biyokütle enerjisi, biyogaz enerjisi ve batarya gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kapsamaktadır. Mikroşebeke, yerel enerji kaynaklarının kullanımıyla güç yüklerini ve kaynak gereksinimlerini düzene sokar ve böylece sistemin verimliliğini artırarak problemleri ve meydana gelebilecek olumsuzlukları da önceden tahmin ederek akıllı teknoloji ve Microgrid kontrol sistemi ile otomatikleştirilirler.



Şekil 4.1. Mikroşebeke yapısı

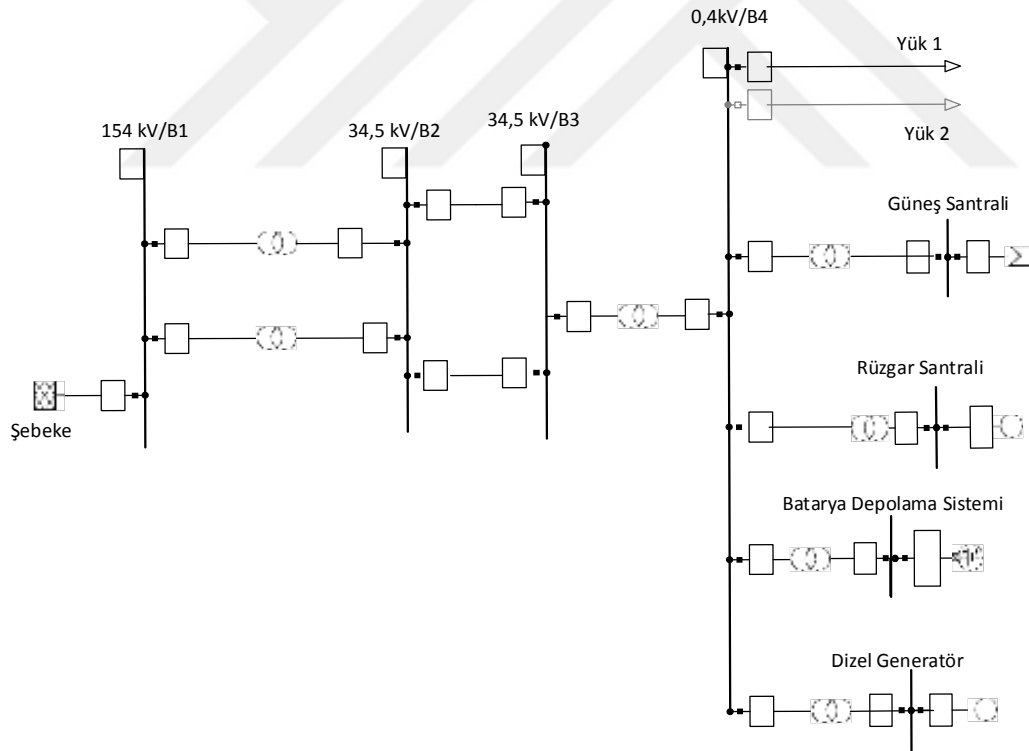
Şebekemize entegre olan veya kapalı devre sistemiyle çalışan mikro şebeke sisteminin hızlı bir şekilde gelişmesi bu şebekelerin kontrolünü zorunlu kılmaktadır. Gelecekte sisteme dahil olacak elektrikli araç şarj istasyonları ve bataryalı mikroşebeke sistemleri ile

mikroşebekelerin daha etkin olarak elektrik enerji sistemizde yer alması, şebekenin verimli ve kesintisiz çalışması için bu sistemlerin modellenmesi ve analizinin yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Şekilde tipik bir mikroşebeke modeli gösterilmiştir.

Şebekelerde 20.yy da üretim yükü takip ederken 21.yy'dan itibaren yük üretimi takip etmek durumunda kalmıştır. Bu da genel anlamda şebekelerimide merkezi ve tek yönlü olan enerji akışını, merkezi olmayan ve çok yönlü bir hale gelmektedir. Artık şebekelerimizin her noktasında üretim santralleri yer almakta, hatta bazı son kullanıcılar talep tarafı katılımına dahil olarak hem üretici hem de tüketici olarak rol oynamaya başlamaktadır.

4.1. Mikroşebeke Modeli

Bu çalışmada kullanılan şebekeden bağımlı ve bağımsız yenilebilir enerji kaynaklı olan Rüzgâr santrali, Güneş santrali, mini üretim (dizel generatör) santrali, batarya depolama sistemi kullanılmıştır.

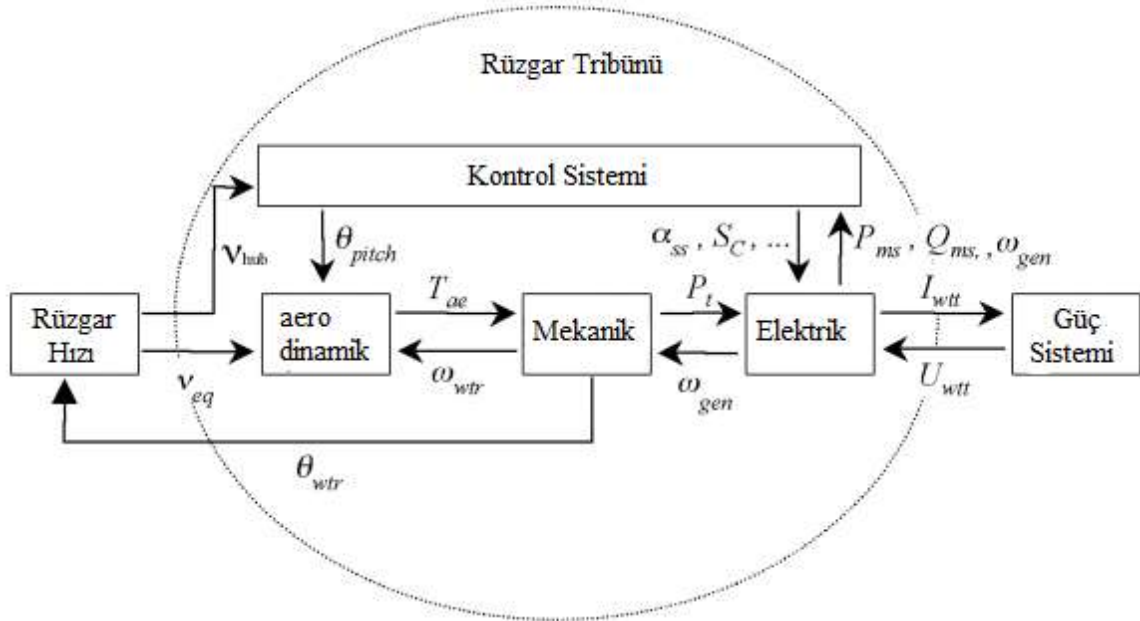


Şekil 4.2. Mikroşebekeli sistemin blok diyagramı

Mikroşebeke kullanılarak oluşturulan sistemin üretmiş olduğu elektrik enerjisini talep edilen yüke aktarmak veya yükün üretilen elektrik enerjisinden az olduğu durumlarda depolama birimleri olan bataryalar kullanılarak fazla enerji depolama sağlayacaktır.

Bataryanın dolu olduğu durumlarda, üretilen enerji ya doğrudan yüke aktarılacak ya da daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere hidrojen üretimi için elektrolizör'e yönlendirilecektir. Bataryanın aşırı şarj veya aşırı deşarj olmaması için şarj regülatörü kullanılmaktadır. Ayrıca güç üretimindeki kaynakların enerji üretimi yapmadığı ve bataryanın boş olduğu durumlarda yükün ihtiyacı olan enerjinin bir kısmı yakıt hücresinden karşılanması, enerji yönetimi ile yapılacaktır. Böylece enerji üretim birimleri ile yük arasında sürekli bir enerji akışı olması hedeflenmektedir. Program için oluşturulan mikroşebekeli sistemin blok diyagramı Şekil 4.2.'de verilmiştir.

4.1.1. Rüzgar Modeli



Şekil 4.3. Rüzgar türbini çalışma diyagramı

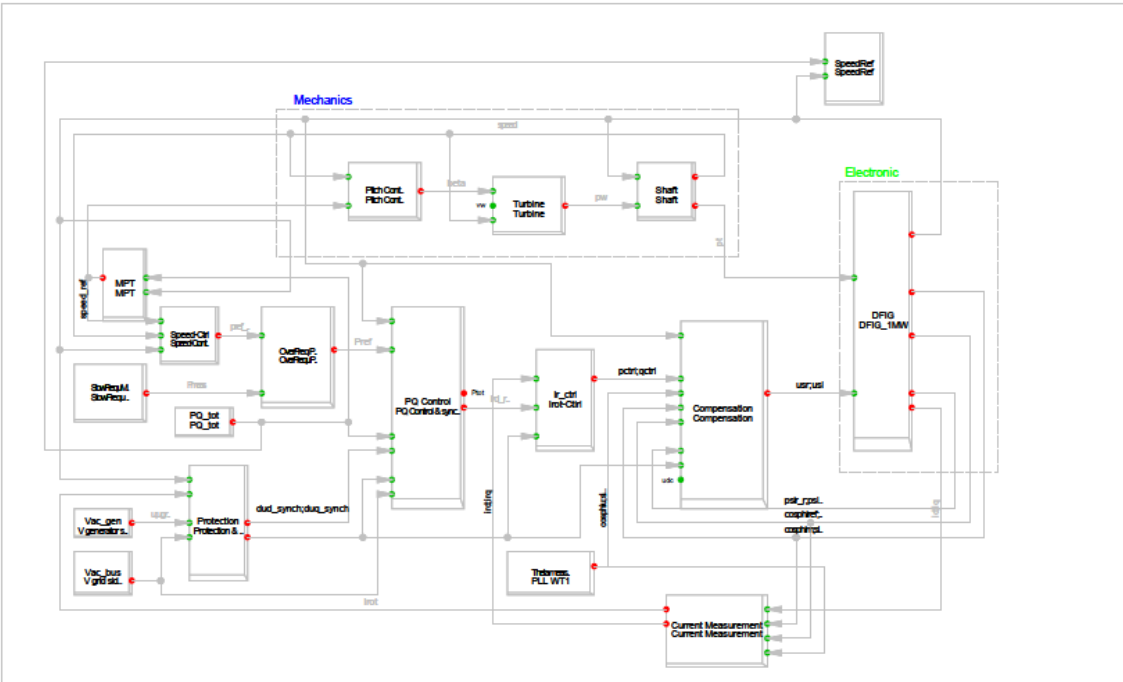
Rüzgâr türbini elektrik, mekanik ve aerodinamik ünite gruplarını içerir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, eşdeğer rüzgâr hızı olan v_{eq} , kule rotor hızı kısmındaki değişimler ile türbin rotor konumu Daha sonra hesaplanan bu eşdeğer rüzgâr hızı (v_{eq}), eşdeğer rüzgâr hızı açısı (Q_{pitch}) ve rüzgâr tribünü hızı (ω_{wtr}) ile birlikte aerodinamik ünitenin torkunu (T_{ae}) oluşturur. Bu tork ile mekanik güç (P_t) oluşturularak, elektrik adlı üniteye elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgâr tribününün iç çalışma yapısı bu yapıya uygun olarak modellenmiştir. Daha sonra rüzgâr tribünün istenilen standartlarda çalışması için DigSilent'da bulunan program kütüphanesindeki hazır kontrol ünitesi istenilen değerlere göre modellenir. Kontrol ünitesine aktif/reaktif güç, voltaj, frekans, akım referans değerleri taşınarak, bu değerler ilgili kontrol ünitelerine aktarılır. Son aşamada kontrol ünitesinden

gelen referanslar, akım kontrol ünitesine oradan da generatöre aktarılır. Böylece generatör bu referans değerlerine göre güç (MW) üretir.

	Parameter	
► Kp : Active Power Control Gain [p.u.]	4.	
Tp : Active Power Control Time Constant [s]	0,1	
Kq : Reactive Power Control Gain [p.u.]	4.	
Tq : Reactive Power Control Time Constant [s]	0,1	
Xm : Magnetizing reactance @Pbase [p.u.]	3,5	
deltaU : Voltage Dead Band [p.u.]	0,1	
K_deltaU : Reactive support gain []	2.	
i_max : Combined current limit [p.u.]	1,31	
i_EEG : 0=e.on mode; 1=SDLWindV mode [0/1]	1.	
Tudelay : Voltage Support Delay [s]	0,01	
Tbackdelay	0,5	
Tramp : Power return ramp rate (PT1) [p.u./s]	2.	
id_max : id current limit [p.u.]	1,1	
iq_max : iq current limit [p.u.]	1.	

Şekil 4.4. Mikroşebekede kullanılan rüzgâr türbini PQ kontrol parametreleri

Generic DFIG-Turbine_resync:



Şekil 4.5. DİgSILENT rüzgâr santrali blok diyagramı

DİgSILENT Power Factory programında yer alan rüzgâr santralının detaylı blok diyagramı Şekil 4.5’de verilmiştir.

4.1.2. PV Modeli

Solar-PV enerji üretimi, Şekil 4.6'deki dinamik solar-PV modeli ile gösterilmektedir. DİgSILENT Power Factory tarafından sağlanmıştır. Mikro şebemizde kullanılacak PV Panel sistemimizin parametreleri Şekil 4.6’da verilmiştir.

Common Model - Grid\Photovoltaic System\PV Array.ElmDsl

Basic Data

Description

General | Advanced 1 | Advanced 2 | Advanced 3

Name: PV Array

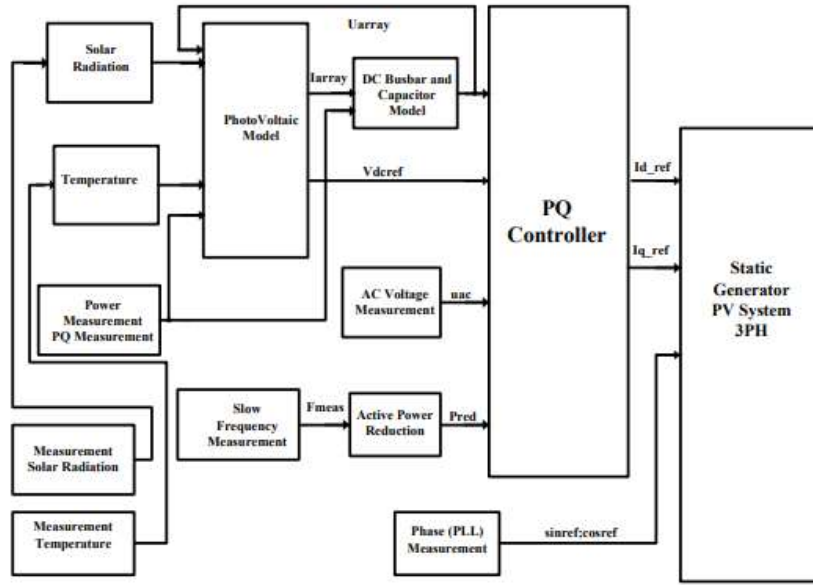
Model Definition: ...5MVA\Library\BlkDef PV Array

☐ Out of Service ☒ A-stable integration algorithm

Parameter	Value
UI0 Open-circuit Voltage (STC) of Module [V]	43.8
Umpp0 MPP Voltage (STC) of Module [V]	35.
Impp0 MPP Current (STC) of Module [A]	4.58
Ik0 Short-circuit Current (STC) of Module [A]	5.
au Temperature correction factor (voltage) [1/K]	-0.0039
ai Temperature correction factor (current) [1/K]	0.0004
nSerialModules Number	20.
nParallelModules Number	140.
Tr Time Constant of Module [s]	0.

OK Cancel Events

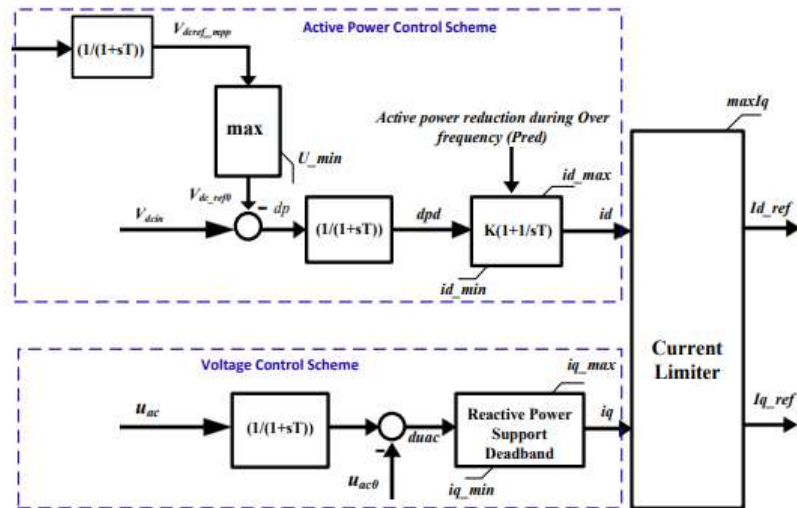
Şekil 4.6. Mikroşebekede kullanılan PV panel parametreleri



Şekil 4.7. DIGSILENT PV generatör şebeke blok diyagramı

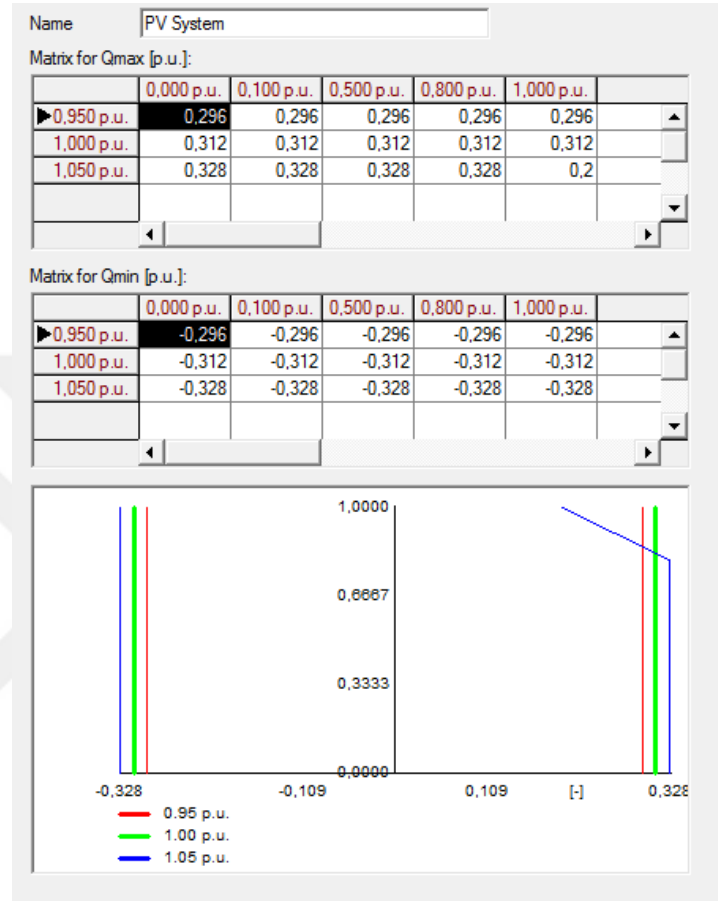
Solar-PV sisteminin dinamik benzetim modeli dört ana blok ile geliştirilmiştir; fotovoltaik blok (yani solar-PV dizisi), DC bara ve kapasitör modeli, PQ kontrolör ve solar-PV sistemidir.

Solar-PV sistemi maksimum güç noktasında çalıştırılır. Solar-PV sistemi, değişken güneş ve diğer parametrelere cevap verebilme özelliğine de sahiptir. Sıcaklık şartları Solar-PV'nin aktif reaktif güç kontrol cihazlarının şeması Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. PV sistemin güç kontrol şeması

Solar-PV denetleyicisi voltaj kontrol modunda çalışabilir ve bu nedenle terminali korumak için solar-PV inverterin reaktif güç kapasitesini önceden tanımlanmış bir gerilim değeri ile kontrol edilmektedir.

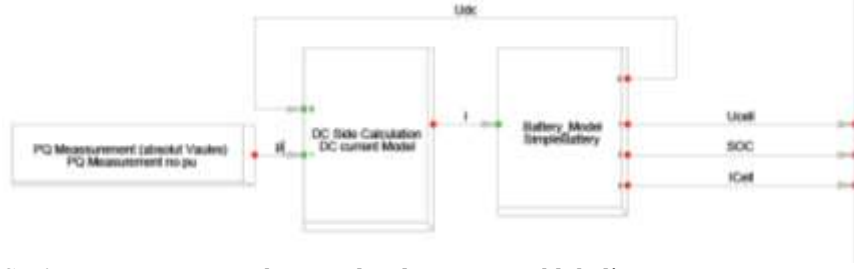


Şekil 4.9. Digsilent PV parametre bloğu

500 kVA 'lık solar-PV üretim sistemi, yeterli sayıda paralel PV bağlanarak elde edilir. Birleştirilmiş solar PV parametre şeması Digsilent Power Factory'deki model parametreleri Şekil 4.9'da gösterilmektedir.

4.1.3. Batarya Modeli

Kondansatörlerin değişimi, belli bir süre boyunca ölçülen reaktif gücün ortalama değerine göre yapılır. Bu ortalama değer, reaktif güçteki kısa değişimler nedeniyle kapasitörlerin hızlanmasını önlemek ve böylece anahtarlama frekansını azaltmak ve kontaktörleri korumak için kullanılır.



Şekil 4.10. DIGSILENT batarya depolama sistemi blok diyagramı

Önce reaktif gücün hareketli bir ortalaması uygulanır ve daha sonra blok ortalamalarını temsil etmek için bir örnek tutma fonksiyonu kullanılır. Örnek tutma fonksiyonu, örneklenmiş giriş sinyalini, çıkışta saat sinyalinin bir sonraki yükselen kenarı görünene kadar saklar. Reaktif güç, hali hazırda bağlı olan kapasitörler tarafından sağlanan reaktif gücün dikkate alındığı şebeke bağlantı anahtarı noktasında ölçülür.

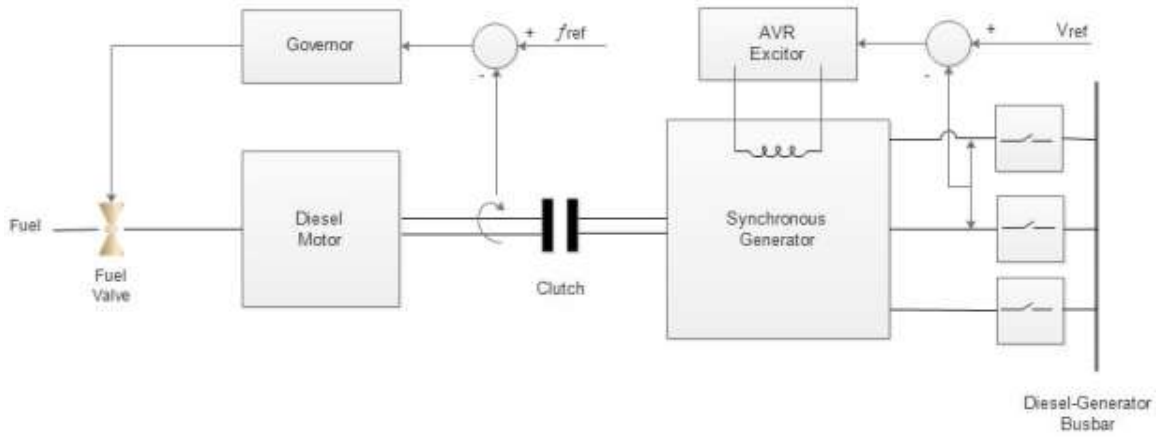
	Parameter	
►SOC0 State of Charge at Initialisation [int]	0,8	
CellCapacity Capacity per cell [Ah]	80,	
u_min Voltage of empty cell [V]	12,	
u_max Voltage of full cell [V]	13,85	
CellsParallel Amount of parallel cells [int]	60,	
CellsInRow Amount of cells in row [int]	65,	
RiCell Intem Resistance per cell [ohm]	0,001	

Şekil 4.11. Mikroşebekede kullanılan batarya parametreleri

4.1.4. Dizel Generatör

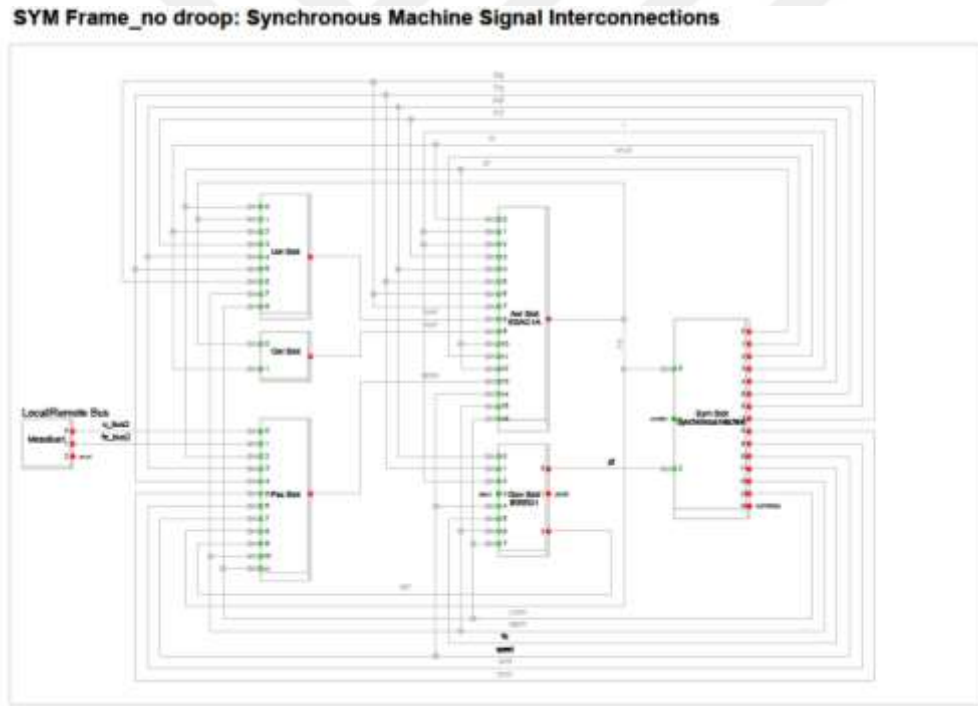
Çalışmada kullanılan dizel generatöre ait temel iki bileşen vardır. Bunlar frekans ve gerilim kontrol yapılarıdır. Sırası ile bunlar aşağıda açıklanmıştır.

Otomatik Gerilim Regülatörü (AVR) : Sisteme sürekli senkronlama torku sağlarlar. Çıkış gerilimi düştüğünde ikaz akımını artırarak jeneratörün çıkış gerilimini yukarda tutma yönünde hareket ederler.



Şekil 4.12. Dizel generatör çalışma diyagramı

Türbin Hız Regülatörü (Governor) : Hız regülatörü sistemleri (governor), senkron jeneratöre giren mekanik gücü kontrol ederek çıkış gücünü ayarlarlar.



Şekil 4.13. PLL yapısı

4.2. Mikroşebeke Dinamik Güç Analizi

Oluşturulan mikroşebekenin analizi, yarı dinamik (quasi dynamic) ve dinamik analiz (RMS analysis, stability analysis function) olarak iki şekilde yapılmıştır. Sırası ile yapılan benzetimlere ait detaylar aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Yarı Dinamik Güç Analizi

Power Factory, orta ve uzun vadeli benzetimlerin uygulanması için yarı dinamik benzetim kullanılır. Kullanıcı tanımlı zaman adım büyüklükleri ile çoklu yük akış hesaplamaları yapılır. Program, bu özellikle uzun süreli yük ve üretim profillerinin tanımlandığı planlama çalışmaları için kullanılmak için tasarlanmıştır.

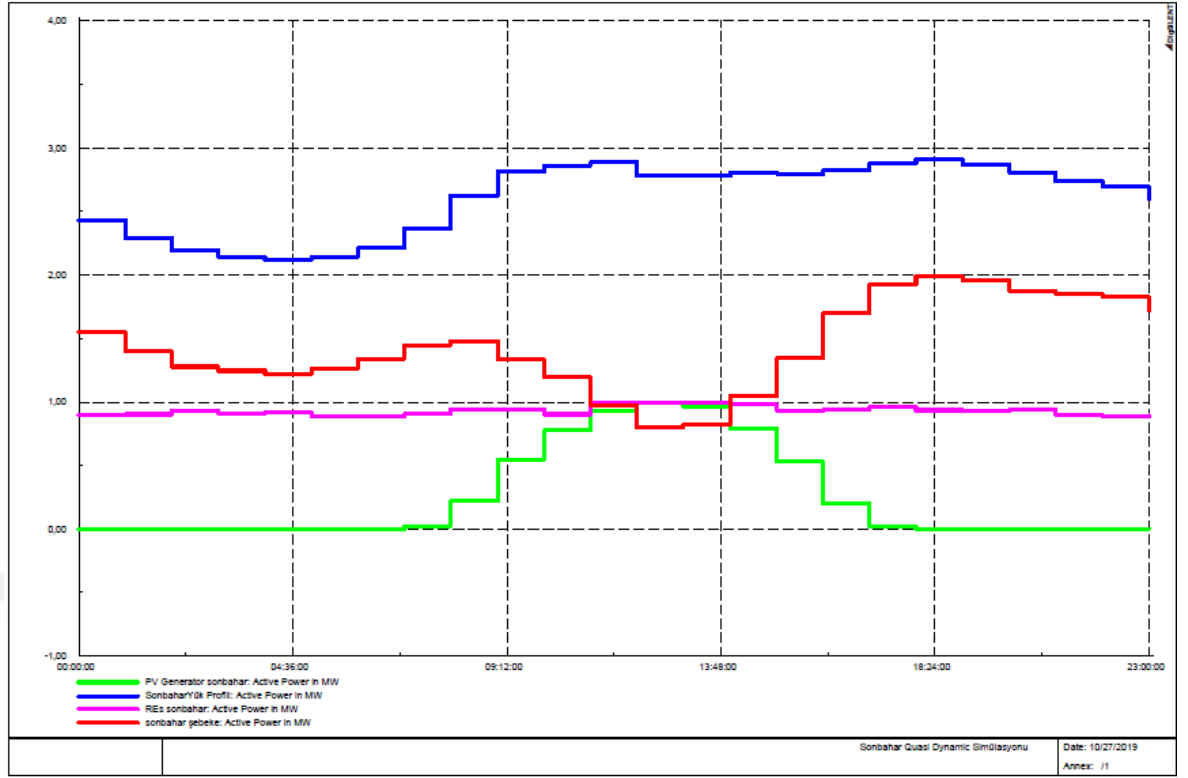
Bu analizde Muğla yöresinde seçilen mikroşebeke yapısı dikkate alınarak o bölgenin son bir yıllık RES ve GES değerleri dikkate alınmıştır. Başlangıçta saatlik olarak alınan 8760 veri, önce mevsimsel olarak üç aylık ayrıştırılmış, daha sonra her mevsimin saatlik ortalaması elde edilerek sonuçta her mevsimi karakterize edecek bir günlük veriler elde edilmiştir ve bunlar Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.2’te verilmiştir. DIgSILENT programı kullanılarak oluşturulan mikroşebekemiz On Grid yani şebekeye bağlı durumda çalıştırılarak şebekenin güç akış analizi yapılmıştır.

4.2.1.1. Senaryo-1

Bu senaryo, seçilen mikroşebekenin lokasyonundan elde edilen gerçek bilgilere göre oluşturulmuştur. Oluşturulan profiller RES, GES, Yük ve şebekeden kullanılan güç değerleridir. Sonbahar dönemine ait yarı dinamik güç akış diyagramı DIgSILENT programı ile analiz edilmiştir.

Tablo 4.1. Sonbahar dönemi verileri

Saat	RES	GES	Yük	Şebeke
1	0,8989	0	2,432217	-1,53332
2	0,902886	0	2,293314	-1,39043
3	0,931868	0	2,197405	-1,26554
4	0,909366	0	2,143242	-1,23388
5	0,916981	0	2,123572	-1,20659
6	0,890299	8,19E-05	2,143398	-1,25302
7	0,886925	0,000846	2,215063	-1,32729
8	0,906485	0,022787	2,364042	-1,43477
9	0,941484	0,218508	2,626263	-1,46627
10	0,945172	0,546365	2,81267	-1,32113
11	0,902603	0,777153	2,861484	-1,18173
12	0,99464	0,931667	2,88703	-0,96072
13	0,993833	1	2,779718	-0,78588
14	1	0,965697	2,779338	-0,81364
15	0,980724	0,790252	2,808346	-1,03737
16	0,930838	0,531056	2,794621	-1,33273
17	0,937617	0,198614	2,823573	-1,68734
18	0,959969	0,016401	2,884295	-1,90792
19	0,937154	0,000519	2,91367	-1,976
20	0,928583	0	2,87238	-1,9438
21	0,942096	0	2,804775	-1,86268
22	0,900034	0	2,735024	-1,83499
23	0,882326	0	2,694178	-1,81185
24	0,896137	0	2,598794	-1,70266



Şekil 4.14. Sonbahar mevsimini karakterize eden profiller

Sonbahar mevsimine ait profillemler incelendiğinde rüzgâr enerjisi üretimin saat 11:00 civarında maksimum seviyelere ulaştığı incelenmiştir. Güneş enerjisinden üretimin tipik güneş enerjisi profiline uygun olarak üretim yaptığı, 12:00-14:00 saatleri arasında maksimum seviyelere ulaştığı ancak şebekeden güç çekilmeye devam edildiği Şekil 4.14 incelendiğinde görülmektedir. Sonbahar döneminde mikroşebekenin kendine yetmediği ortaya çıkmaktadır.

4.2.1.2. Senaryo-2

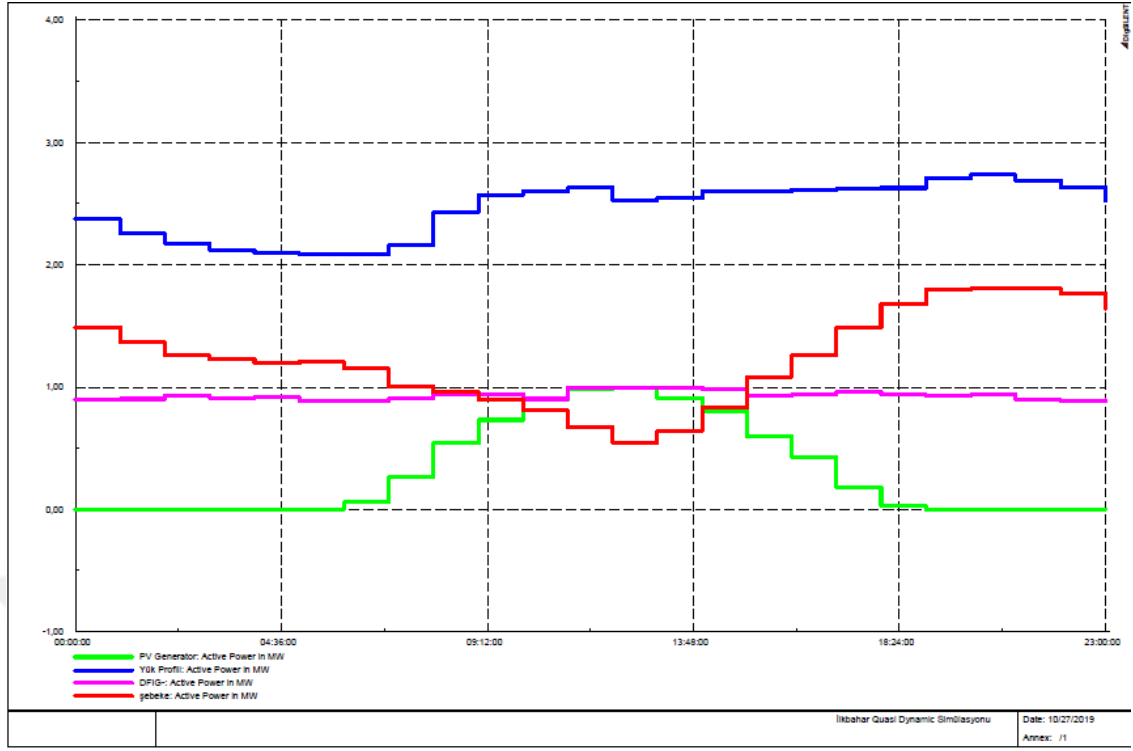
Kış dönemine ait yarı dinamik güç akış diyagramı DIgSILENT programı ile analiz edilmiştir. Tablo 4.2. ve Şekil 4.15’de kullanılan veriler ve bunların değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Kış dönemi verileri

Saat	RES	GES	Yük	Şebeke
1	0,773396	0	2,374694	-1,6013
2	0,722051	0	2,254442	-1,53239
3	0,707313	0	2,177313	-1,47
4	0,702241	0	2,121836	-1,41959
5	0,730152	0	2,098308	-1,36816
6	0,696115	0,002526	2,088924	-1,39028
7	0,710342	0,060005	2,085581	-1,31523
8	0,716605	0,264517	2,161722	-1,1806
9	0,710053	0,540542	2,428254	-1,17766
10	0,689511	0,733755	2,567843	-1,14458
11	0,760837	0,897516	2,600248	-0,9419
12	0,815007	0,980062	2,632069	-0,837
13	0,835072	1	2,526203	-0,69113
14	0,856158	0,9136	2,545329	-0,77557
15	0,919536	0,803236	2,603724	-0,88095
16	1	0,596597	2,59848	-1,00188
17	0,947395	0,431146	2,612895	-1,23435
18	0,924846	0,184801	2,619346	-1,5097
19	0,917936	0,026623	2,628089	-1,68353
20	0,937099	0	2,709031	-1,77193
21	0,945966	0	2,736349	-1,79038
22	0,888375	0	2,68972	-1,80135
23	0,848381	0	2,633508	-1,78513
24	0,859392	0	2,524156	-1,66476

Kış mevsimine ait profillemeler incelendiğinde rüzgâr enerjisi üretimin saat 11:00-14:00 civarında maksimum seviyelere ulaştığını görülmektedir. Mikroşebekenin kurulduğu bu bölgenin meteorolojik verilerinde sonuçla kış aylarında rüzgâr hızının lodos etkisiyle arttığı ve bunun sonucunda üretimin maksimum seviyelere ulaştığı zaman dilimlerinin arttığı görülmektedir.

Güneş enerjisi üretimin tipik güneş enerjisi profiline uygun olarak üretim yaptığı 11:00-14:00 saatleri arasında maksimum seviyede üretim yaptığı görülmektedir. Güneş panellerinin yüksek verimde çalışması için ortam sıcaklığının etkisiyle maksimum seviyelerde üretimi arttığı zaman dilimlerinin de gözle görülür biçimde arttığı gözlemlenmektedir. Şebekeden güç çekmeye devam edildiği Şekil 4.15'den görülmektedir.



Şekil 4.15. Kış mevsimini karakterize eden profiller

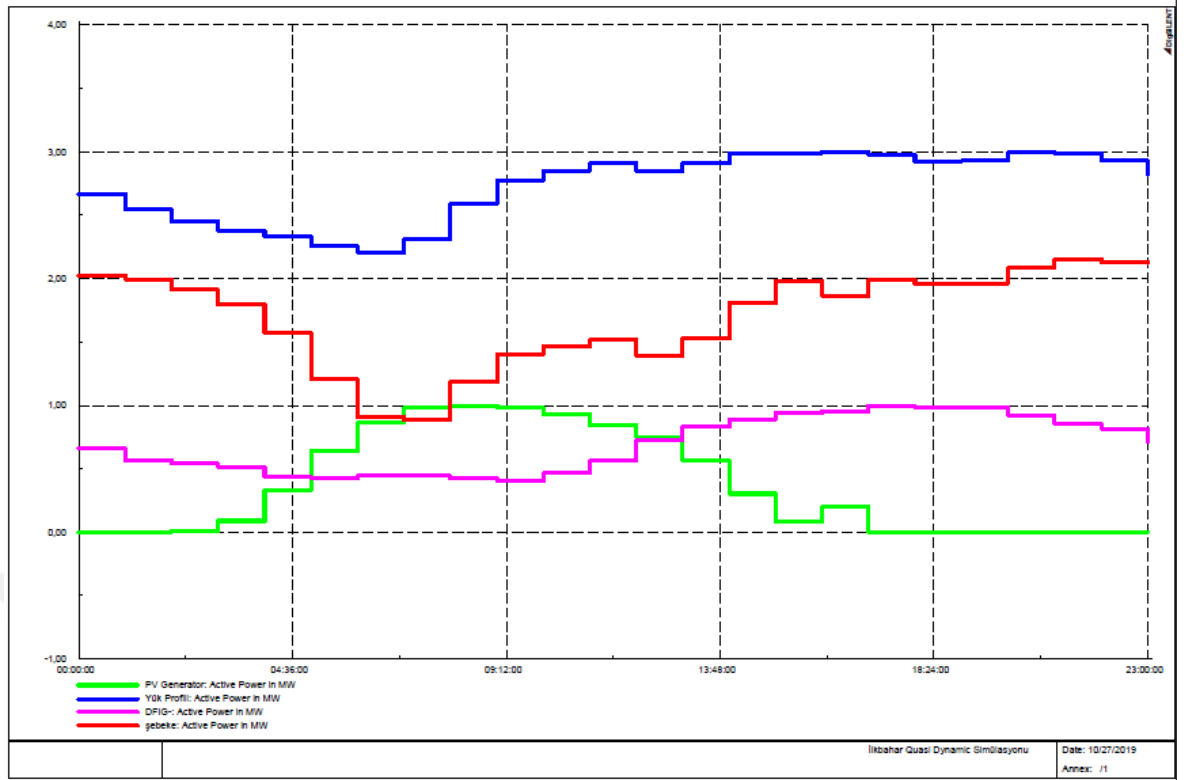
4.2.1.3. Senaryo-3

Oluşturulan bu senaryo seçilen mikroşebekenin lokasyonundan elde edilen gerçek bilgilere göre oluşturulmuştur İlkbahar dönemine ait yarı dinamik güç akış diyagramı DIgSILENT programı ile analiz edilmiştir.

Tablo 4.3. İlkbahar dönemi verileri

Saat	RES	GES	Yük	Şebeke
1	0,660486	0	2,669516	-2,00903
2	0,567913	0	2,544965	-1,97705
3	0,542323	0	2,450024	-1,9077
4	0,512474	0	2,378174	-1,8657
5	0,441366	0	2,332609	-1,89124
6	0,42394	0,011728	2,257165	-1,8215
7	0,446234	0,088081	2,209423	-1,67511
8	0,444206	0,334016	2,306022	-1,5278
9	0,421658	0,639679	2,591875	-1,53054
10	0,401021	0,864052	2,772372	-1,5073
11	0,465925	0,986168	2,848598	-1,39651
12	0,56509	1	2,909807	-1,34472
13	0,72539	0,980926	2,847034	-1,14072
14	0,828054	0,931969	2,906204	-1,14618
15	0,888716	0,840941	2,987611	-1,25795
16	0,943428	0,744404	2,99056	-1,30273
17	0,953671	0,56101	3	-1,48532
18	1	0,30375	2,972954	-1,6692
19	0,980917	0,080754	2,924247	-1,86258
20	0,985413	3,83E-05	2,930436	-1,94498
21	0,923873	0	2,997627	-2,07375
22	0,852765	0	2,989752	-2,13699
23	0,816476	0	2,930835	-2,11436
24	0,716179	0	2,819652	-2,10347

İlkbahar mevsimine ait gerçek veriler sonucu oluşturulan profillemeler ile güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi ile üretim sistemlerinin birbirlerinin üretim zaman dilimlerini dengelediklerini Res sisteminin üretiminin azaldığı zaman dilimlerinde Ges sisteminin üretimini artırdığı görülmektedir. Şebekeden güç çekilmeye ilkbahar ayında da devam edildiği Şekil 4.16'dan anlaşılmaktadır.



Şekil 4.16. İlkbahar mevsimini karakterize eden profiller

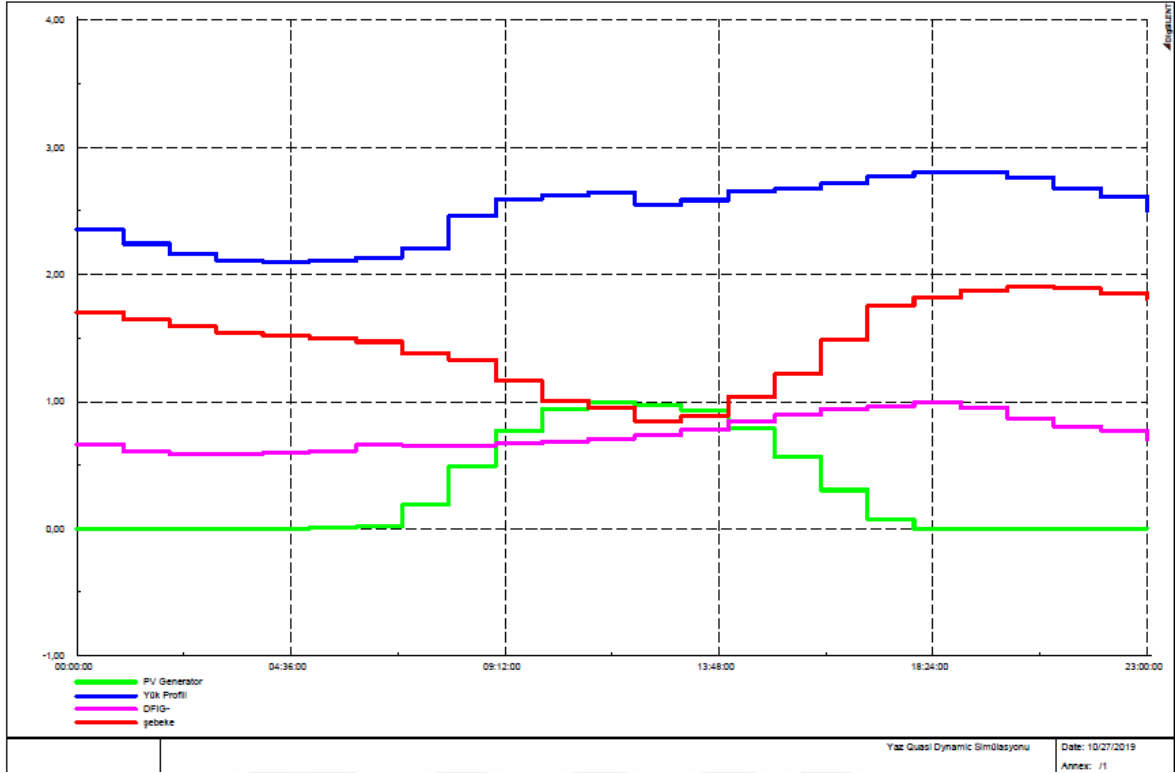
4.2.1.4. Senaryo-4

Oluşturulan bu senaryo seçilen mikroşebekenin lokasyonundan elde edilen gerçek bilgilere göre oluşturulmuştur Yaz dönemine ait yarı dinamik güç akış diyagramı DIgSILENT programı ile analiz edilmiştir.

Tablo 4.4 Yaz dönemi verileri

Saat	RES	GES	Yük	Şebeke
1	0,66649	0	2,354784	-1,68829
2	0,606026	0	2,241456	-1,63543
3	0,58775	0	2,163115	-1,57537
4	0,587605	0	2,111922	-1,52432
5	0,593644	0	2,094403	-1,50076
6	0,614216	6,52E-05	2,107933	-1,49365
7	0,656308	0,018252	2,131838	-1,45728
8	0,652438	0,186581	2,209307	-1,37029
9	0,651892	0,491798	2,461413	-1,31772
10	0,670537	0,771267	2,593507	-1,1517
11	0,686163	0,944093	2,622797	-0,99254
12	0,708839	1	2,64852	-0,93968
13	0,734904	0,975317	2,543611	-0,83339
14	0,776257	0,930383	2,585666	-0,87903
15	0,846968	0,788758	2,658575	-1,02285
16	0,896319	0,568933	2,670947	-1,2057
17	0,944546	0,303001	2,716929	-1,46938
18	0,962003	0,072225	2,77296	-1,73873
19	1	0,000413	2,806057	-1,80564
20	0,948979	0	2,805765	-1,85679
21	0,868697	0	2,759022	-1,89033
22	0,804828	0	2,680276	-1,87545
23	0,77478	0	2,615232	-1,84045
24	0,704198	0	2,496053	-1,79186

Yaz mevsimine ait profillemeler incelendiğinde rüzgâr enerjisi üretimin saat 18:00-20:00 civarında deniz meltem rüzgârlarının etkisiyle maksimum seviyelere ulaştığını görülmektedir. Güneş enerjisi üretimin tipik güneş enerjisi profiline uygun olarak üretim yaptığı 10:00-12:00 saatleri arasında maksimum seviyede üretim yaptığı görülmektedir. Güneş panellerinin yüksek verimde çalışması için ortam sıcaklığının etkisiyle öğlen saatlerinede sıcaklığın artması sonucu üretiminde bu zaman aralıklarında azaldığı görülmektedir. Şebekeden güç çekmeye devam edildiği Şekil 4.17’den izlenebilmektedir.



Şekil 4.17. Yaz mevsimini karakterize eden profiller

4.2.1.5. Sonuçlar

Yenilenebilir enerji kaynaklı mikroşebekede yapılan enerji yönetimi ile üretim kaynaklarının yükten kaynaklanan ihtiyacı karşılaması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında Muğla yöresine ait üretim kaynaklarının ve yükün gerçek değerleri temel alınarak ileriye dönük olarak mikroşebekelerde yapılacak yeni üretim sistemleri ya da depolama sistemleri üzerinde perspektif çalışması yapılmıştır.

Yarı dinamik benzetim, yatırım yapılacak bölgelerin üretim ve tüketim dengeleri gözetilerek şebekeye aktarılan ya da şebekeden çekilen aktif güç düzeyleri dikkate alınarak oluşturulan güç akış analizlerini gözlemlemektir. Güç akış analizlerinin gerçek verilerden yararlanılarak oluşturulmasının bir sonucu olarak yatırım yapılması düşünülmekte olan bölgenin yatırıma uygunluğu doğru bir şekilde görülmektedir. Analiz yapılan bölgenin meteorolojik şartları, coğrafi koşulları, güneşlenme zamanları, rüzgâr hızı ve zamanları hakkında gerçekçi sonuçları görmemizi sağlayan yarı dinamik benzetim doğru bölgelere doğru üretim sistemleri ile yatırım yapmak imkânı sağlamaktadır.

Mevcut mikroşebekede sürekli olarak şebekeden güç çekildiği ve düşünülen mikroşebekeye rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemleri yatırımı yapılması mikroşebekenin kesintisiz ve verimli çalışması için gerekliliğini göstermektedir.

4.2.2. Dinamik Güç Analizi

Power Factory'deki RMS benzetim aracı, benzetim taraması özelliğini içeren hem dengeli hem de dengesiz koşullarda orta ve uzun vadeli geçici süreleri analiz etmek için kullanılmaktadır. RMS benzetim işlemi aşağıdaki basamaklar izlenilerek gerçekleştirilir.

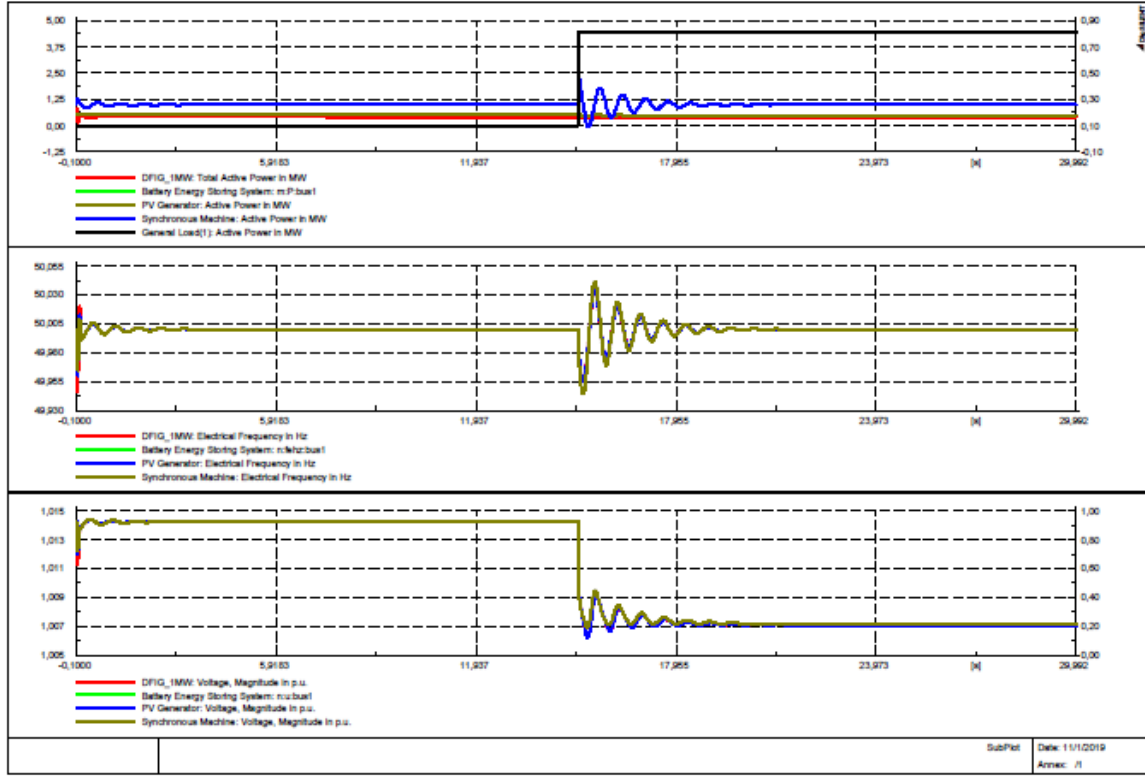
- Değişken seçimi
- Benzetim olay tanımlama
- RMS benzetim çalıştırma
- Grafik oluşturma

Tablo 4.5. Dinamik güç akış senaryoları

	GES (MW)	RES (MW)	Batarya (MW)	Senkron Gen. (MW)	Yük (MW)	Şebeke
Senaryo 1	0,5	1	-	1	4,5	On grid
Senaryo 2	0,5	1	-	1	2,5	On /Off grid
Senaryo 3	0,5	1	$\pm 4,5$	1	4,5	On grid
Senaryo 4	0,5	1	$\pm 4,5$	1	4,5	Off grid
Senaryo 5	0,5	1	$\pm 4,5$	1	1,5	Off grid

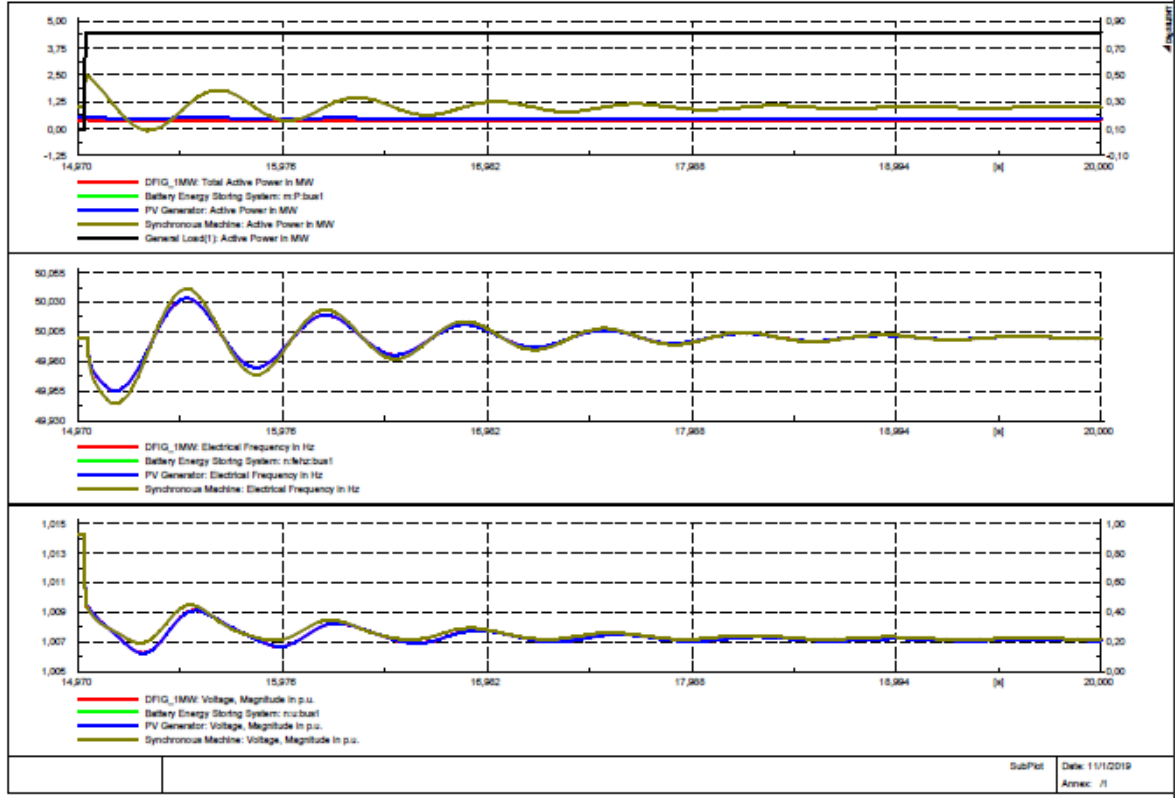
4.2.2.1. Senaryo-1

Tablo 4.5’de verilen güç değerlerine göre çalıştırılan Mikroşebekenin şebekeye bağlı olma durumunda elde edilen sonuçlar Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Senaryo 1'a ait sonuçlar

Bu senaryoda 15 saniyede yük devreye alınmaktadır. Yükün devreye girdiği andan itibaren Şekil 4.18'den görüldüğü üzere gerilim(p.u) ve frekans(Hz) değerlerinin düştüğü görülmektedir. Senkron makinanın kontrol mekanizmasının devreye girerek sistemi nominal frekans ve gerilim düzeyinde tuttuğu görülmektedir. Frekans değerleri salınımdan sonra bizim için ideal değer aralıklarında olan 50 Hz düzeyinde çalışmasına devam etmektedir.

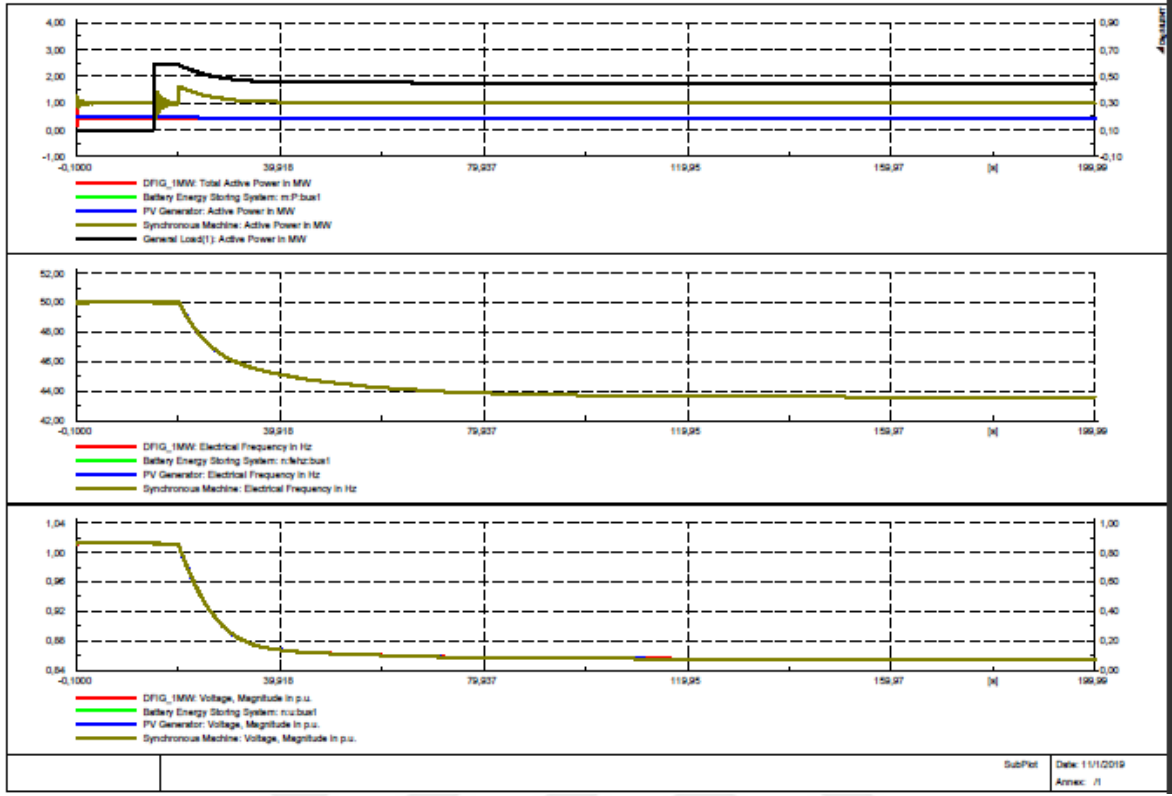


Şekil 4.19. Senaryo 1'in 15.sn'ne ait sonuçlar

Şekil 4.19'de verilen sonuçlara göre yük devreye girdiğinde sistem frekansı birkaç salınım yaparak eski değerine geri gelmesine rağmen sistem gerilimi düşmüş ve eski değerine gelmemiştir. Bu sistem gerilimi, istenen bant aralığında kalması nedeni ile herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

4.2.2.2. Senaryo-2

Mikroşebekenin ana şebekeden ayrılması (off-grid) durumu Tablo 4.5'de verilen güç değerleri için sistem çalıştırılmış ve Şekil 4.20'daki sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen bu senaryo ilk durumun yani Senaryo 1 şartlarında sistem çalışırken sistemin adalanma durumunu modellemektedir. Sistem adalandığında, mevcut üretim kaynakları skaler olarak yeterli olsa bile dinamik cevabı yetersiz olduğundan sistem frekansı yeni bir denge noktasına düşmektedir.

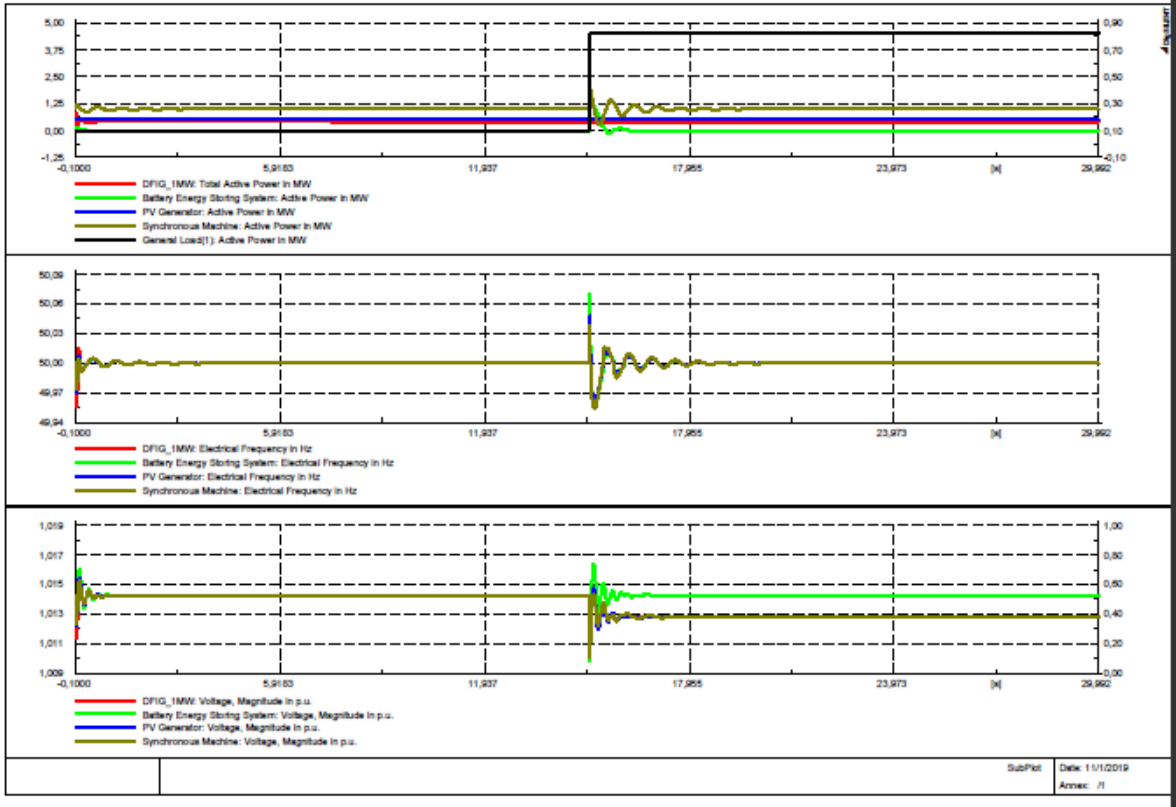


Şekil 4.20.Senaryo 2'a ait sonuçlar

Bu senaryoda mikroşebekemiz on grid modda çalışmaya devam ederken, 15. sn'de 2.5 MW yük ile yükleme yapılmıştır. Yükün devreye girmesiyle birlikte Senaryo-1 de görülen frekans(Hz) ve gerilim(p.u) değerlerinin düştüğü gibi bu değerlerin düştüğü görülmektedir. Sistemin frekans ve gerilimi ideal aralıklarına oturmadan 20. sn' de şebekemiz off grid moda alınmış ve şebekeden güç çekilemediği için frekans ve gerilimin düştüğü ve ideal çalışma bölgesinin altında bir nokta sabitleştiği görülmektedir.

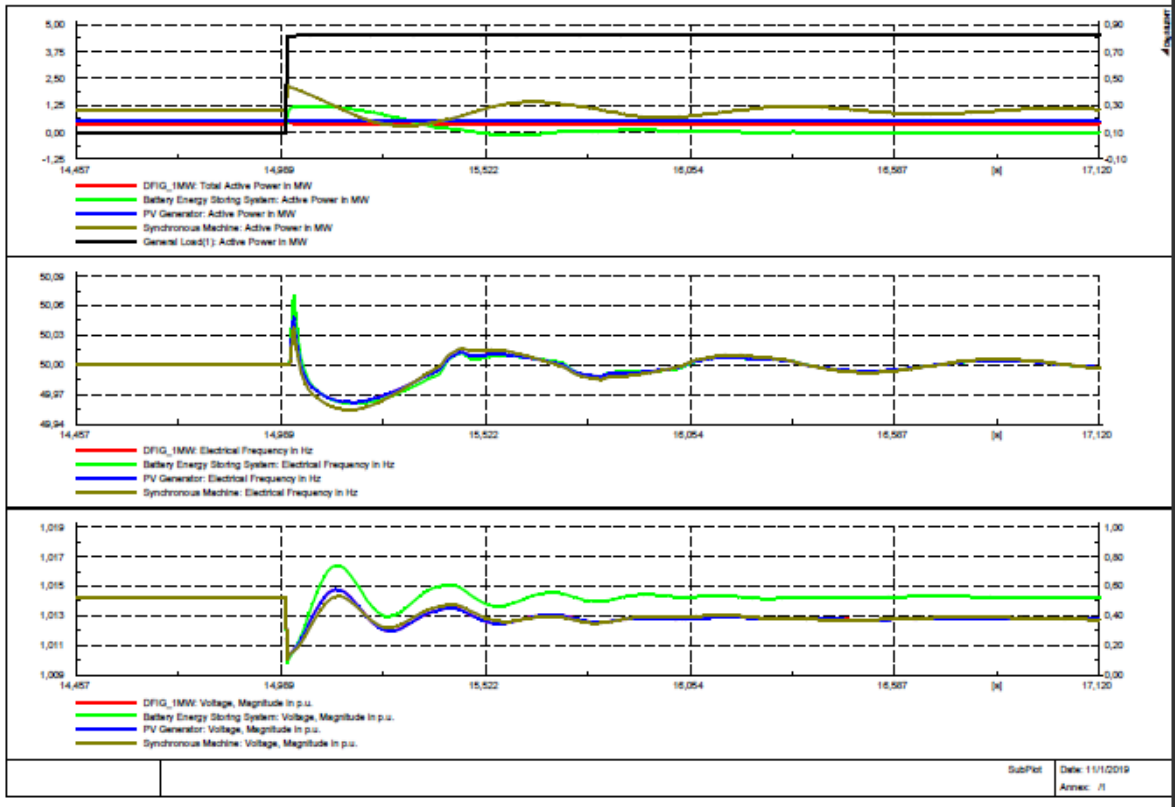
4.2.2.3. Senaryo-3

Tablo 4.5'de verilen güç değerlerine göre çalıştırılan Mikroşebekenin şebekeye bağlı olma durumunda elde edilen sonuçlar Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Senaryo 3'a ait sonuçlar

Mikroşebeke on grid modda çalışırken nominal frekans(Hz) ve gerilim(p.u) değerlerinin ideal çalışma aralıklarında olduğu görülmektedir. 15. sn de devreye giren 4.5 MW büyüklüğünde yükün devreye girmesiyle gerilimin düştüğü ancak frekansın düşmeden arttığı görülmüştür.

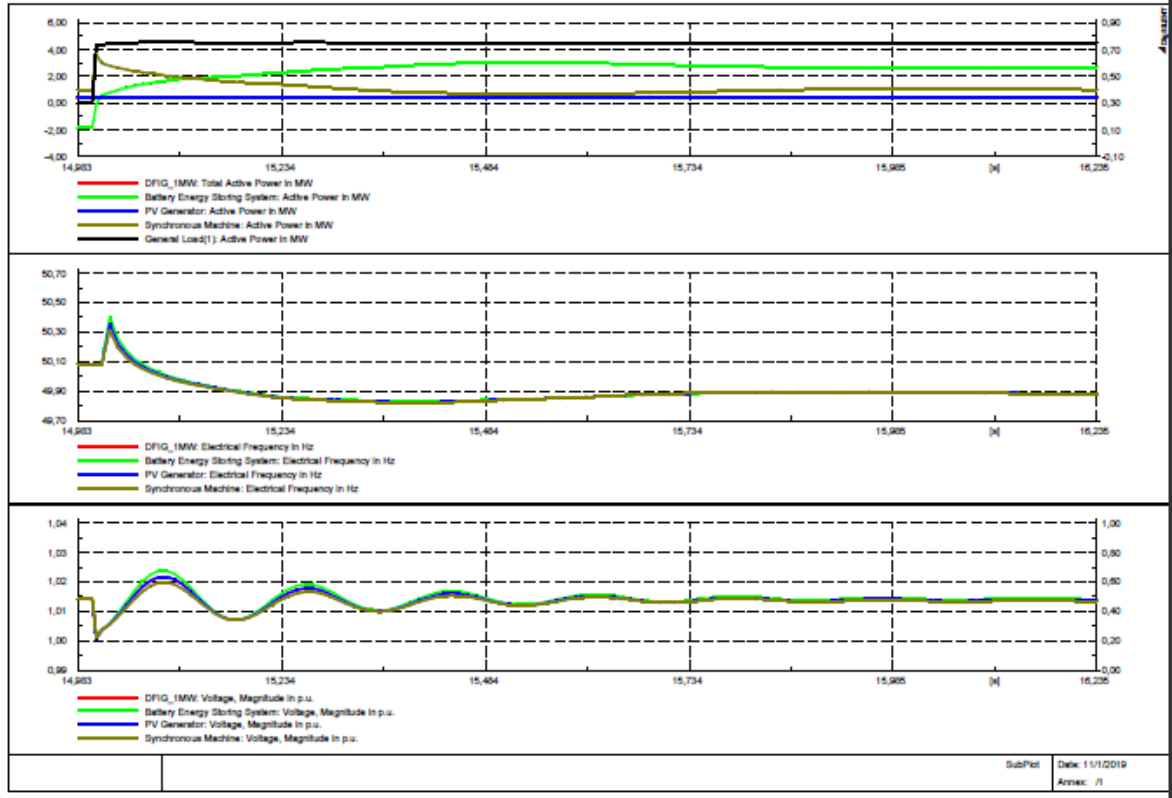


Şekil 4.22. Senaryo 3'ün 15.sn'ne ait sonuçlar

Mikroşebekenin 15. sn deki tepkisinin yakınlştırılmış analizi sonucu batarya sisteminin kontrol programları vasıtasıyla gerilim düşümünü öngörüp çok hızlı bir şekilde tepki verdiği ve frekansın düşmesine izin vermediği görülmektedir. Yükün devreye girmesinde sonra Senaryo-1 deki gibi frekansın düşmesi beklenirken bataryalı mikroşebeke sisteminin 0.1 sn gibi kısa bir sürede tepki üretip frekans düşümünü engelleyip sistemin ideal frekans aralıklarında çalışmasını sağladığı görülmektedir.

4.2.2.4. Senaryo-4

Mikroşebekenin ana şebekeden ayrılması (off-grid) durumu Tablo 4.5'de verilen güç değerleri için sistem çalıştırılmış ve Şekil 4.23'daki sonuçlar elde edilmiştir.



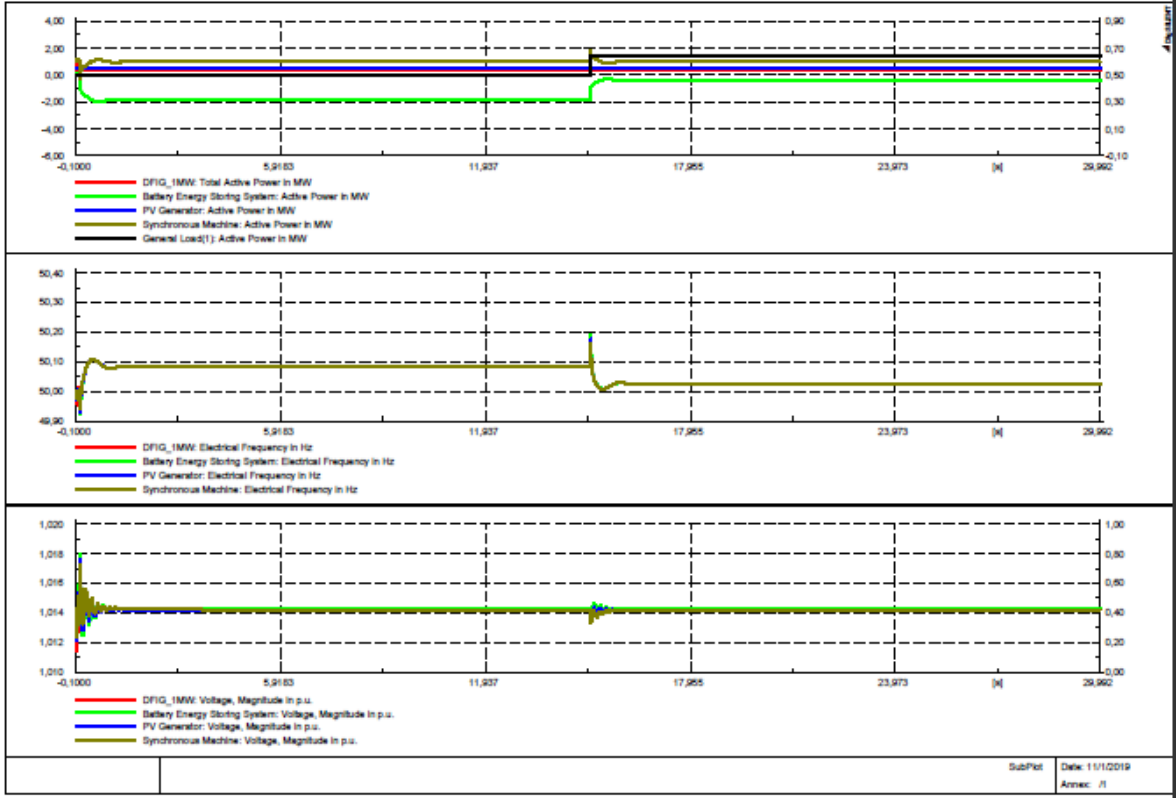
Şekil 4.23.Senaryo 4’a ait sonuçlar

15. sn den itibaren sonuçların görüldüğü Şekil 4.23 de off-grid modda çalışan mikroşebekemizde batarya çok hızlı bir şekilde şarj durumundan deşarj duruma geçip devreye girdiği görüşmüştür. 15. sn de devreye giren 4.5 MW yük sonucunda Senaryo-3 deki gini gerilim(p.u) değerinin düştüğü ancak batarya sisstemini devrede olmasının bir sonucu olarak frekansın beklenen bir tepki olarak düşmesi beklenirken düşmediği ve frekans(Hz) değerini korumaya yönelik çalıştığı görülmektedir. Ancak yaklaşık 5 sn sonra bataryanın mikroşebekeye verilen güç büyüklüğünün düştüğü ve frekansın buna bağlı olarak düşmeye başladığı ancak ideal frekans aralığında çalışmasını sürdürdüğü görülmektedir.

4.2.2.5. Senaryo-5

Mikroşebekenin ana şebekeden ayrılması (off-grid) durumu Tablo 4.5’de verilen güç değerleri için sistem çalıştırılmış ve Şekil 4.24’daki sonuçlar elde edilmiştir.

Senaryo-5 de off-grid modda çalışan mikro şebemizde devrede olan bataryanın şarj durumunda olduğu ancak 15. sn de devreye giren 1.5 MW yük sonrası ani bir tepki ürettiği görülmektedir.



Şekil 4.24.Senaryo 5'e ait sonuçlar

Devreye giren 1.5 MW'luk yükün bir sonucu olarak gerilim(p.u) değerinin Senaryo-3 deki gibi düşmediği yük değerinin büyüklüğünün gerilim üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Bataryanın devrede olması frekansın düşmesini engellediği ve mikroşebekenin dinamik güç akış dengesini düzenlediği görülmektedir.

4.2.2.6. Sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında, mikroşebekede kullanılan elektirik enerjisi üretim sistemlerinin on-grid ve off-grid çalışmadaki dinamik güç analizleri yapılmıştır. Farklı senaryolarda yapılan çalışmalar sonucunda, özellikle batarya sisteminin olmadığı durumlarda şebekeye verilen yüklerin bir sonucu olarak sistem frekasının istenilen düzeylerden aşağıya düştüğü ve nominal frekasn aralıklarının dışına çıktığı görülmektedir. Ayrıca ada durumu çalışmasında bataryaların hızlı devreye girip hızlı bir şekilde devreden çıkmasının bir sonucu olarak frekans düşümünü engellediği ve özellikle ada çalışmasında mikro şebenin istenilen gerilim ve frekasn aralığında çalışması için önem arz ettiği görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada amaç, bir mikroşebekenin Power Factory DIgSILENT programı ile tasarlanması ve farklı senaryolarla, sistemin güç akış analizinin yapılmasıdır. DIgSILENT programı ile klasik güç akış analizi yöntemlerinde uygulanan iteratif yöntemlerin bertaraf edilerek işlem yoğunluğunun azaltılması ve dolayısıyla daha hızlı analiz yapılması amaçlanmıştır.

Tüketimin sürekli arttığı günümüz de doğal bir sonuç olarak üretim sistemlerinin de arttığı görülmektedir. Hızla artan bu mikroşebeke sistemlerinin planlanması ve kontrolü de zorlaşmaktadır. Farklı enerji kaynaklarının yer aldığı mikroşebekelerde güç değerleri arasındaki dengeyi sağlamak için, gerçek değerlere en yakın sonuçlar veren benzetim programlarına ihtiyaç vardır. DIgSILENT programı güç akışının sağlıklı ve sürekliliğini korumak amacıyla gerçekçi sonuçlar üreterek yük değişikliklerden şebekenin olumsuz yönde etkilenmesini önlemektedir. Farklı karakterisliklere sahip üretim kaynaklarının, ulusal şebekemizde verimli şekilde kullanılması, güç akış analizlerinin ve dinamik cevaplarının göz önüne alınabildiği gerçek sonuçlara en yakın değerlerin elde edildiği programlar ile mümkündür. Ayrıca ulusal ve bölgesel enerji politikaları, talep taraflı güç yönetimi ve dinamik fiyatlandırma gibi stratejik öneme sahip uygulamalar kontrol yöntemleri üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Mikroşebekenin çeşitli durumlar için çalışma karakteristikleri DIgSILENT programı ile analiz edilmiştir. Mikroşebekeye etkisi iki ana başlıkta yarı dinamik güç analizi ve dinamik güç analizi incelenmiştir. Bu analizler için gerçekte TEİAŞ sisteminde var olan dört baralı bir mikroşebeke yapısı DIgSILENT platformu altında tasarlanmıştır.

Bu mikroşebeke ilk olarak yarı dinamik güç analizi yapılmıştır. Üretim kaynakları rüzgâr enerji santrali, PV sistemi Muğla yöresine ait gerçek santrallerden alınan aktif güç üretim profilleri ile aynı bölgeye ait gerçek yük profilleri ile oluşturulmuştur. Bir yıla ait 8760 veri başlanıçta mevsimlere daha sonra her mevsim tek bir günün 24 saatine tekabül edecek şekilde profillemeler oluşturulmuştur. Dört mevsim için oluşturulan bu gerçek değer profillemeleri ile bölgeye ileride yapılması gereken yatırımlar için perspektif oluşturulmuştur. Muğla yöresinin üretim değerlerinin geniş bir çerçevede incelenmesiyle bölgenin meteorolik ve coğrafi özellikleri de gözler önüne serilmiştir. Güneş Enerjisi üretimimin kış mevsiminde panellerin üretim veriminin sıcaklıkla ters orantılı olmasından

dolayı arttığı görülmektedir. Analizlerden mikroşebeke sisteminin kendine yetmediği ve sürekli şebekeden güç çektiği görülmektedir. Yapılan yarı dinamik simülasyonların bir sonucu olarak bölgeye rüzgâr enerji santrali ve güneş enerji santralinin yapılmasının şebekeden çekilen sürekli gücün azalması yönünde katkı sağlayacağı aşîkârdır. Aktif güç üretim profilleri dikkate alınınca öncelik olarak rüzgâr enerji santrali yatırımının yapılması bölgenin coğrafi özellikleri ve rüzgâr hızının ideal seviyede olmasından dolayı makul bir seçenek olarak karşımıza çıktığı görülmektedir.

Dinamik güç analizi için, oluşturulan diğer mikroşebeke modelinde üretim kaynakları olarak rüzgar enerji santrali, PV sistemi, senkron generatör ve bataryalar kullanılmıştır. Farklı zaman aralıklarında mikroşebekemiz On-grid ve ada çalışma modelleri ile incelenmiştir. Ayrıca 15. saniyede devreye giren yük değerleri ile sistemin frekan ve gerilim tepkileriyle güç akış dengesine verdiği tepkiler incelenmiştir. Senaryolardan anlaşılacağı üzere bataryalı sistemlerin, devreye girme hızı ve karakteristiklerinin etkisiyle frekans ve gerilim değerlerini ideal çalışma bölgesinde tuttuğu görülmektedir. Birden fazla üretim kaynaklarının olduğu mikroşebeke modellerinde her bir enerji üretim sisteminin farklı karakteristiklerinin olmasından dolayı bu sistemlerin kontrolü ve verdiği tepkiler değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada, özellikle adalanma durumunda sorunsuz ve kesintisiz bir şekilde sistemin idame edilebilmesi için depolamalı bir sisteme ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu depolamalı sistemin tepki süresi sistem performansında etkili olacağı görülmüştür. Bu bağlamda bataryalı sistem tercih edilmiştir. Bu analizler yapılırken mikroşebeke sistemimizde kullanılan elektrik enerjisi üretim kaynaklarının karakteristikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonraki çalışmalarda farklı depolama sistemlerinin mikroşebeke performansına etkileri incelenebilir. Elektrikli araçların yaygınlaşması sonucunda ortaya çıkabilecek problemlerin öngörülmesi ve çözüm önerilerinin ortaya konulması için mevcut program ile elektrikli araç etkileri incelenmelidir. Benzer şekilde röle ve koordinasyonların isabetli seçilebilmesi için mevcut program ile analizler yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. **Bevrani, H. (2014).** Robust power system frequency control, Springer.
2. <http://www.emo.org.tr>. 26 Nisan 2017.
3. **Joan, R., Luna, A., Blaabjerg, F. ve Rodriguez, P., (2012).** Control of PowerConverters in AC Microgrids", IEEE Trans. on power electronics, 27:4734-4749.
4. **Lasseter, R. H. (2002).** Microgrids. In Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE (Vol. 1, pp. 305-308). IEEE.
5. **Barnes, M., Dimeas, A., Engler, A., Fitzner, C., Hatziargyriou, N., Jones, C., Vandenberg, M. (2005).** Microgrid laboratory facilities. In 2005 International Conference on Future Power Systems (pp. 6-pp). IEEE.
6. **Meiqin, M., Chang, L., Ming, D. (2008).** Integration and intelligent control of micro-grids with multi-energy generations: A review. In 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (pp. 777-780). IEEE.
7. **Lopes, J. P., Moreira, C. L., Resende, F. O. (2005).** Control strategies for microgrids black start and islanded operation. International Journal of Distributed Energy Resources, 1(3), 241-261.
8. **Celli, G., Pilo, F., Pisano, G., Soma, G. G. (2005).** Optimal participation of a microgrid to the energy market with an intelligent EMS. In 2005 International Power Engineering Conference (pp. 663-668). IEEE.
9. **Pilo, F., Celli, G., Ghiani, E., Soma, G. G. (2013).** New electricity distribution network planning approaches for integrating renewable. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 2(2), 140-157.
10. **Patra, S. B., Mitra, J., Ranade, S. J. (2005).** Microgrid architecture: a reliability constrained approach. In IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005 (pp. 2372-2377). IEEE.
11. **Alibhai, Z., Gruver, W. A., Kotak, D. B., Sabaz, D. (2004).** Distributed coordination of micro-grids using bilateral contracts. In Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on (Vol. 2, pp. 1990-1995). IEEE.
12. **Dimeas, A., Hatziargyriou, N. (2004, May).** A multi-agent system for microgrids. In Hellenic Conference on Artificial Intelligence (pp. 447-455). Springer Berlin Heidelberg.
13. **Meliopoulos, A. S., Cokkinides, G. J. (2006).** Small Signal Stability Analysis of the Integrated Power System-MicroGrid Model. In Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting.
14. **Jayawarna, N., Jenkins, N., Barnes, M., Lorentzou, M., Papathanassiou, S., Hatziargyriou, N. (2005).** Safety analysis of a microgrid. In 2005 International Conference on Future Power Systems (pp. 7-pp). IEEE.
15. **Al-Nasser, H., Redfern, M. A., O'Gorman, R. (2005).** Protecting micro-grid systems containing solid-state converter generation. In 2005 international conference on future power systems (pp. 5-pp). IEEE.
16. **Li, Y. W., Vilathgamuwa, D. M., Loh, P. C. (2004).** A grid-interfacing power quality compensator for three-phase three-wire microgrid applications. In Power

- Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual (Vol. 3, pp. 2011-2017). IEEE.
17. **Nichols, D. K., Stevens, J., Lasseter, R. H., Eto, J. H., Vollkommer, H. T. (2006).** Validation of the CERTS microgrid concept the CEC/CERTS microgrid testbed. In 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting (pp. 3-pp). IEEE.
 18. **Ito, Y., Zhongqing, Y., Akagi, H. (2004).** DC microgrid based distribution power generation system. In Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004. The 4th International (Vol. 3, pp. 1740-1745). IEEE.
 19. **Krishnamurthy, S., Jahns, T. M., Lasseter, R. H. (2008).** The operation of diesel gensets in a CERTS microgrid. In Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE (pp. 1-8). IEEE.
 20. **Benjamin, K., Robert, L., Toshifumi, I. (2008).** A look at microgrid technologies and testing, projects from around the world. IEEE Power and energy magazine, 6(3), 41-53.
 21. **Loix, T., Leuven, K. U. (2009).** The first micro grid in the Netherlands: Bronsbergen. Retrieved on December, 27, 2012.
 22. **Bossi, C., Degner, T., Tselepis, S. (2006).** Distributed generation with high penetration of renewable energy sources. Dispower, Final Public Report, Laboratory Tests Case Studies and Field Experience, Kessel, Germany.
 23. **Erge, T., Becker, R., Kroger-Vodde, A., Laukamp, H., Thoma, M., Werner, R. (2006).** Report on improved power management in low voltage grids by the application of the PoMS system. DISPOWER Project 2005.
 24. **Mitra, I., Degner, T., Braun, M. (2008).** Distributed generation and microgrids for small island electrification in developing countries: a review. Solar Energy Society of India, 18(1), 6-20.
 25. **Moneta, D., Marciandi, M., Tornelli, C., Mora, P. (2009).** Voltage optimization of a LV microgrid with DERs: field test. In Electricity Distribution-Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on (pp. 1-4). IET.
 26. **Hughes, P., Hare, S., Pina, M. (2012).** First Principles: Technology as an Enabler for Productive Power Markets, Pasific Energy Summit Paper.
 27. **Osika, O., Degner, T., Hardt, C., Lange, H., Vandenbergh, M., Dimeas, A., Elmasides, K. (2005).** Description of the laboratory micro-grids. Microgrids project report.
 28. **Jayawarna, N., Jones, C., Barnes, M., Jenkins, N. (2007).** Operating microgrid energy storage control during network faults. In 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering (pp. 1-7). IEEE.
 29. **Morozumi, S., Nakama, H., Inoue, N. (2008).** Demonstration projects for grid-connection issues in Japan. *e i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 125(12), 426-431.
 30. **Hirose, K., Takeda, T., Muroyama, S. (2006).** Study on field demonstration of multiple power quality levels system in Sendai. In INTELEC 06-Twenty-Eighth International Telecommunications Energy Conference (pp. 1-6). IEEE.
 31. **Köse, G. (2010).** Hibrit (Güneş+ Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 136s.

32. **Efe, S. B., Cebeci, M. (2015).** Mikroşebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi, 6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu (EVK2015), 4-6.
33. **Oktik, Ş., Tozlu, C., Eke, R., Eltez, M.** Güneş enerjisi ve Muğla üniversitesi temiz enerji kaynakları araştırma geliştirme merkezi (mutek-arge) uygulamaları. EİEİ Enerji Tasarrufu Etkinlikleri Bildirileri, 17.
34. **Karaca, C. (2012).** Güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sistemi tasarımı (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
35. **Elgerd, O., Fosha, C. (1970).** Optimum megawatt-frequency control of multiarea electric energy systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 4(PAS-89), 556-563.
36. **Kumar, P., Kothari, D. P. (2005).** Recent philosophies of automatic generation control strategies in power systems. IEEE transactions on power systems, 20(1), 346-357.
37. **Lee, K. A., Yee, H., Teo, C. Y. (1991).** Self-tuning algorithm for automatic generation control in an interconnected power system. Electric Power Systems Research, 20(2), 157-165.
38. **Rubaai, A., Udo, V. (1994).** Self-tuning load frequency control: multilevel adaptive approach. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 141(4), 285-290.
39. **Zeynelgil, H. L., Demiroren, A., Sengor, N. S. (2002).** The application of ANN technique to automatic generation control for multi-area power system. International journal of electrical power energy systems, 24(5), 345-354.
40. **Çam, E., Kocaarslan, I. (2005).** A fuzzy gain scheduling PI controller application for an interconnected electrical power system. Electric power systems research, 73(3), 267-274.
41. **Pothiya, S., Ngamroo, I., Kongprawechnon, W. (2007, December).** Design of optimal fuzzy logic-based PID controller using Multiple Tabu Search algorithm for AGC including SMES units. In 2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007) (pp. 838-843). IEEE.
42. **Taher, S. A., Hematti, R., Abdolalipour, A., Tabei, S. H. (2008).** Optimal decentralized load frequency control using HPSO algorithms in deregulated power systems. American Journal of Applied Sciences, 5(9), 1167-1174.
43. **Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S. (2009).** GSA: a gravitational search algorithm. Information sciences, 179(13), 2232-2248.
44. **Bhatt, P., Ghoshal, S. P., Roy, R. (2010).** Automatic Generation Control of two-area interconnected hydro-hydro restructured power system with TCPS and SMES. ACEEE Int. J. Electr. Power Eng, 1(2).
45. **Gözde, H., Taplamacioğlu, M. C., Kocaarslan, I., Şenol, M. A. (2010).** Particle swarm optimization based pi-controller design to load-frequency control of a two area reheat thermal power system. Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi-Journal Of Thermal Science And Technology, 30(1), 13-21.
46. **Saikia, L. C., Nanda, J., Mishra, S. (2011).** Performance comparison of several classical controllers in AGC for multi-area interconnected thermal system. International Journal of Electrical Power Energy Systems, 33(3), 394-401.
47. **Duman, S., Yörükeren, N. (2012).** Automatic generation control of the two area non-reheat thermal power system using gravitational search algorithm Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 88 NR 10a.

48. **Gözde, H., Taplamacioğlu, M. C., Kocaarslan, I. (2012).** Comparative performance analysis of Artificial Bee Colony algorithm in automatic generation control for interconnected reheat thermal power system. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 42(1), 167-178.
49. **Panda, S., Mohanty, B., Hota, P. K. (2013).** Hybrid BFOA–PSO algorithm for automatic generation control of linear and nonlinear interconnected power systems. *Applied Soft Computing*, 13(12), 4718-4730.
50. **Azadani, H. N., Torkzadeh, R. (2013).** Design of GA optimized fuzzy logic-based PID controller for the two area non-reheat thermal power system. In *Fuzzy Systems (IFSC), 2013 13th Iranian Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
51. **Sahu, R. K., Panda, S., Rout, U. K. (2013).** DE optimized parallel 2-DOF PID controller for load frequency control of power system with governor dead-band nonlinearity. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 49, 19-33.
52. **Yesil, E. (2014).** Interval type-2 fuzzy PID load frequency controller using Big Bang–Big Crunch optimization. *Applied Soft Computing*, 15, 100-112.
53. **Ngamroo, I., Mitani, Y., Tsuji, K. (1999).** Application of SMES coordinated with solid-state phase shifter to load frequency control. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 9(2), 322-325.
54. **Özdemir E. 2007.** Dağılmış Enerji Üretim Sistemleri ve Yardımcı Hizmetler, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı.
55. <http://web.itu.edu.tr/~kaymak/images/windpower.html>, Rüzgar Enerjisi, 12 Ekim 2017.
56. **Ünsalver, C., 2008.** Rüzgar Enerji Sistemlerinin İncelenmesi Ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
57. **Emniyetli G., 2007.** Evsel İhtiyacın Karşılınması İçin Rüzgar Türbini Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
58. **Ağış, O. (1998).** '21 Yüzyılda Kojenerasyonun Yen', Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, 21-24
59. www.energy.gov.tr Son erişim tarihi: 20.07.2016, 15:00
60. **Lucas, K. (2000).** 'On the Thermodynamics of Cogeneration', *Int. J Therm Sa* , pp 1039-1046
61. **Aslan, Y., Yaşar, C., Karabörk, M. Ç. (2004).** Bir mikro-hidro örneği: Kayaboğazı Barajı. *ELECO 2004, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 20-25.
62. **De Wit, J., Näslund, M. (2011).** Mini and Micro Cogeneration. Danish Gas Technology Centre, ICCI.
63. <http://kojenturk.org/tr>
64. **Sahoo, P. K. (2008).** Exergoeconomic analysis and optimization of a cogeneration system using evolutionary programming. *Applied thermal engineering*, 28(13), 1580-1588.
65. **Kocaman, B.,(2014).** Mikroşebekeler için örnek bir enerji yönetimi uygulaması. *BEU Journal of Science*, 3(1), 35-52.
66. **J.Appelbaum,(1987).** The Quality of Load Matching in a Direct-Coupling Photovoltaic System, *IEEE Trans. Vol. EC-2, No.4*, pp.534-541.
67. www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes
68. www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf
69. **Kreith, F., Kreider, J. F. (1978).** Principles of solar engineering Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC. New York, 299-342.

70. **Hauer, K. H. (2001).** Analysis tool for fuel cell vehicle hardware and software (controls) with an application to fuel economy comparisons of alternative system designs (No. UCD-ITS-RR-01-15).
71. **Steele, B. C., Heinzl, A. (2001).** Materials for fuel-cell technologies. *Nature*, 414(6861), 345-352.
72. **Dell, R.M., Rand, D.A.J., (2001).** “Energy Storage – A Key Technology for Global Energy Sustainability”, *Journal of Power Sources*, 100 (1-2): 2-17.
73. **Taner ÇARKIT.2017** yenilenebilir enerji kaynakları depolama sistemlerinin incelenmesi.
74. **Çelikel R.,Özdemir M., Aydoğmuş Ö.(2016).** Implementation of a flywheel energy storage system for space applications, DOI: 10.3906/elk-1507-259.
75. **Talaq , J. and Al-Basri F. (1999).** Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load Frequency Control, *IEEE Transactions on power systems*, 14, No. 1, 145-150.
76. **Linden, D., Reddy, T. B., 2002,** Handbook of Batteries, Chapter 30, M. Fetcenko, McGraw-Hill, New York, USA
77. **Christopher Schaber, Patrick Mazza and Roel Hammerschlag, 2004,** Utility-Scale Storage of Renewable Energy, *The Electricity Journal*, 17, 21-29
78. **Schainker, R. B., 1990.,** CAESscope 13(2). *Electr. Power Res. Inst.*, Palo Alto, CA
79. **Yağcıtekin, B., 2008,** “Rüzgar Enerjisi Üretiminde Depolama Tekniği ve Tahmin Sistemleri Kullanılarak Enerji Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
80. **Schindall, J. (2007).** The charge of the ultracapacitors. *IEEE Spectrum*, 44(11), 42-46.
81. **Abdel-Hamid, A. M.(2001).** A Fuzzy Logic-Based Load Frequency Controller: The Multi-area Control Problem, *EPE 2001*, Graz
82. **Elgerd, O.I.(1982).** *Electric Energy Systems Theory*, Mc Graw-Hill Press, New York,299-342
83. **Zhang, Z. C., Ooi, B. T. (1993).** Multimodular current-source SPWM converters for a superconducting magnetic energy storage system. *IEEE transactions on power electronics*, 8(3), 250-256.
84. **Veziro, T. N., Barbir, F. (1992).** Hydrogen: the wonder fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 17(6), 391-404.
85. **Becerikli, F. (2011).** Yüksek Basıncılı PEM (Proton Geçirgen Membran) Elektrolizör Geliştirilmesi ve Çalışma Parametrelerinin Performansa Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 60s.
86. **Ghosh S.(2010),** Load Flow Simulation of Western Grid of Bangladesh Power System Using PSAT and Performance-based Comparison with PowerWorld, *International Conference on Intelligent Systems*,.
87. **Glover D., Sarma M.S., Overbye T.J., (2008).** *Power System Analysis and Design*, Thomson, USA.
88. **Strasser, T., Stifter, M., Andren, F., De Castro, D.B. ve Hribernik, W., (2011).** “Applying Open Standards and Open Source Software for Smart Grid Applications: Simulation of Distributed Intelligent Control of Power Systems”, *IEEE Power And Energy Society General Meeting*.

89. **Sarussi, D. ve Rabinovici, R. (2008).** “Developing and Analysis Of Power Systems Using Psat Software”, IEEE 25th Convention of IEEE



ÖZGEÇMİŞ

Melikşah Türk SALMAN, 1990 yılında Altındağ' da dünyaya gelmiştir. İlk ve orta öğretimini Elazığ'ın değişik okullarında tamamlamıştır. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne başlamış ve 2012'de aynı bölümden mezun olmuştur. 2012 yılında Türk Standartları Enstitüsünde Asansör Gözetim ve Muayene Uzmanı olarak İstanbul' da çalışma hayatına başlamıştır. 2013-2014 yılında Tetiş Yapı İnşaat A.Ş.' de çalışmıştır. Eylül 2015'de Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri ABD' de yüksek lisansa başlamıştır. 2014-2016 yılları arası Türk Mühendislik Müşavirlik A.Ş. de TOKİ yapılarının elektrik tesisatlarının kontrolörü olarak görev yapmıştır. 2016 yılında TEİAŞ Genel Müdürlüğü'ne atanmış olup halen aynı kurumda İletişim ve Bilgi Sistemleri Dairesi Başkanlığında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.