



T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE İZOLE ADA MODU  
ÇALIŞMA DURUMUNDA AKTİF GÜÇ-FREKANS  
DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

ALİ OSMAN KÖKSAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2021

**T.C.**  
**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE İZOLE ADA MODU**  
**ÇALIŞMA DURUMUNDA AKTİF GÜÇ-FREKANS**  
**DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

**ALİ OSMAN KÖKSAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**KAHRAMANMARAŞ 2021**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

ALİ OSMAN KÖKSAL



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bilgilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE İZOLE ADA MODU ÇALIŞMA DURUMUNDA AKTİF GÜÇ-FREKANS DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ALİ OSMAN KÖKSAL

## ÖZET

Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynakları ile klasik enerji üretim santrallerinin entegrasyonu sonucunda oluşturulan hibrit yapılardır. Ana şebeke açısından incelendiğinde, mikro şebekenin en önemli avantajı, ana şebeke içinde kontrol edilebilir bir yapıda ve gerekli durumda ayırık bir enerji kaynağı olarak çalışabilme yeteneğine sahip olmasıdır. Kullanıcı açısından bakıldığında ise, bireysel enerji ihtiyaçlarını kaliteli ve kesintisiz enerji sunarak karşılayabilmesi ve bu durumun olası zararları engellemesi yeteneği, mikro şebekenin en büyük avantajı olarak öne çıkmaktadır. Mikro şebeke olarak çalışılması için ise en önemli kriter frekans kontrolüdür. Şebekeden ayrılıp mikro yönetilecek bir şebekenin frekans kontrolünün sağlanması gerektiği yapılan çalışmalarda görülmüştür. Bu tezde, trafo merkezi tarafından enerjisiz kalındığı durumlarda mikro şebeke çalışması yapılmış ve aktif güç – frekans kontrolü için gereklilikler ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda, mikro şebekede aktif güç – frekans kontrolü için en önemli husus, kaynak olarak kullanılacak santralin frekans kontrolcülerinin mikro şebekeye uygun olarak ayarlanması ve mikro şebekenin frekans takibini yapabilecek duruma getirilebilmesi olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro Şebeke, Frekans Kontrolü, Dağıtık Üretim, Fider, İzole Ada Modu, Santral Enerjilendirmesi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimler Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendislik Anabilim Dalı, Haziran/2021

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ

Sayfa Sayısı: 87

**INVESTIGATION OF ACTIVE POWER-FREQUENCY CHANGES IN  
DISTRIBUTION NETWORKS AT THE ISOLATED ISLAND MODE  
OPERATING CONDITION  
(M.Sc. THESIS)**

**Ali Osman KÖKSAL**

**ABSTRACT**

Micro grids are hybrid structures created as a result of the integration of renewable energy sources and conventional power generation plants. When analyzed in terms of mains network, the most important advantage of microgrid is that it has the ability to operate as a separate energy source in a controllable structure within the main network and when necessary. From the user's point of view, the ability to meet individual energy needs by providing quality and uninterrupted energy and to prevent possible damages in this situation stands out as the biggest advantage of the micro grid. Frequency control is the most important criterion for working as a micro grid. It has been seen in the studies that it is necessary to provide frequency control of a network that will be separated from the network and micro-managed. In this thesis, micro-grid work has been carried out in cases where the transformer center is de-energized and the requirements for active power-frequency control have been put forward. As a result of this study, it has been seen that the most important issue for active power – frequency control in the micro-grid is to adjust the frequency controllers of the power plant to be used as a source in accordance with the micro-grid and to be able to follow the frequency of the micro-grid.

**Keywords:** Micro Grid, Frequency Control, Distributed Generator, Feeder, Isolated Island Mode, Black Start

Kahramanmaraş Sütçü Imam University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electric Electronic, June/2021

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ

Page number: 87

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve birikimlerinden faydalandığım, tez çalışmamın tüm safhalarında bilimsel desteğinin yanı sıra anlayış ve sabrını esirgemeyen, çalışmamın etkin bir şekilde ilerleyişi için fedakârlıklardan kaçınmayan, kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum tez danışmanım Sayın hocam **Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ**'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mesleki deneyimlerini paylaşarak tez çalışmama katkıda bulunan Sayın **Dr. Osman Bülent TÖR**'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve birikimlerini bana aktaran **KSÜ Elektrik Elektronik Bölümü hocalarıma** saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Analiz çalışmalarım boyunca bana gösterdikleri yardımlarından dolayı **AKEDAŞ Elektrik Dağıtım A.Ş.**'ye teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen her koşulda yanımda olan çok değerli Eşim **Didem KÖKSAL**'a ve canım kızım **Ayşe Nil KÖKSAL**'a ayrıca, **Aileme** ve **Dostlarıma** sonsuz teşekkür ederim.

**Ali Osman KÖKSAL**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET .....	I
ABSTRACT .....	II
TEŞEKKÜR .....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	X
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR DERLEMESİ .....	4
2.1. Farklı Ada Konfigürasyonları .....	6
2.1.1. Yerel Elektrik Güç Sistemi Adası .....	7
2.1.2. Sekonder Ada .....	7
2.1.3. Lateral Ada .....	8
2.1.4. Devre Adası .....	8
2.1.5. Transformator Merkezi Bara Adası .....	8
2.1.6. Transformator Merkezi Adası .....	8
2.1.7. Komşu Devre Adası .....	8
2.1.8. Ada Modu Konusunda Genel Uygulama .....	8
2.1.9. Ada Sisteminin İşletilmesi ve Yönetimi .....	9
2.1.10. Generatör Kontrolcüsü .....	9
2.1.11. Frekans Kararlılığı .....	10
2.2. Mikro Şebeke Sistemleri için İzole Ada Modu Çalışması Örnekleri .....	11
2.2.1. Washington Eyalet Üniversitesi Mikro Şebeke Sistemi Örneği .....	11
2.2.2. Illinois Teknoloji Enstitüsü Mikro Şebeke Sistemi Örneği .....	12
2.2.3. BC Hydro ve Hydro Quebec Planlı İzole Ada Örnekleri .....	12
2.2.4. Başkent EDAŞ Mikro Şebeke Yöntemleri ve Kontrol Donanımı Geliştirilmesi Örneği .....	13
2.2.5. Çoruh EDAŞ İzole Ada HES AR-GE Örneği .....	13
2.2.6. Sakarya EDAŞ Acil Durum Senaryoları Altında Çalışan Dağıtım Şebekelerinin İşletilmesinde Olasılıksal Risk Yönetimine Bağlı Algoritma Geliştirilmesi Örneği .....	14
2.2.7. Mikro Şebekelere ait diğer örnek uygulamalar .....	15
2.3. Ulusal ve Uluslararası İlgili Standartlar ve Mevzuatlar .....	16

<b>3. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>20</b>
3.1. DigSilent Power Factory Uygulaması .....	20
3.2. AKEDAŞ Coğrafi Bilgi Sistemi.....	20
3.3. AKEDAŞ Otomatik Sayaç Okuma Sistemi.....	23
3.4. Pilot Fider Belirleme Çalışmaları .....	24
3.4.1. Dağıtık Üretim Santrallerinin İzole Ada Modunda Çalıştırılması İçin Gerekli Asgari Teknik Kriterler.....	24
3.4.2. Dağıtık Üretimlerin İzole Ada Modunda Çalıştırılması İçin Gereken Koşulların Özeti.....	27
3.4.3. AKEDAŞ Elektrik Dağıtım Sisteminde Pilot Fiderlerin Seçimi .....	27
3.5. Tasarım ve Analiz Faaliyetleri Raporu.....	36
3.5.1. Konvansiyonel Santral Dinamik Modellemesi .....	36
3.5.2. Generatör Modeli .....	38
3.5.3. İkaz Sistemi Modeli .....	40
3.5.4. Hız Regülatörü ve Türbin Modeli.....	40
3.5.5. Kontrolcü Ayar Değerleri .....	41
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>43</b>
4.1. Dinamik Analizler .....	43
4.1.1. Santrallerin İzole Ada Modunda Devreye Alınması ve İzole Ada Şebekesinde Yapılacak Manevralar ile Yükünün Arttırılması .....	44
4.1.2. Minimum Yüklenme Koşullarında Analizler .....	45
4.1.3. Maksimum Yüklenme Koşullarında Analizler .....	49
4.1.4. Ani Yük Artış Analizleri.....	53
4.2. Pilot Bölge Mikro Şebeke Kontrolcü Ayarları .....	58
4.3. Pilot Bölge Mikro Şebeke Çalışma Şartları .....	59
4.3.1. Mikro Şebeke İçin Ön Hazırlık.....	60
4.3.2. Mikro Şebeke İzolasyon İçin Açma Manevraları .....	60
4.3.3. Kojenerasyon Santralinin Devreye Alınması.....	61
4.3.4. Mikro Şebeke Üzerindeki Diğer Santrallerin Enerjilendirilmesi.....	62
4.3.5. Mikro Şebeke Üzerindeki Diğer Yüklerin Enerjilendirilmesi .....	62
4.3.6. Mikro Şebeke Modundan Şebeke İşletme Moduna Geçilmesi.....	65
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AB</b>	: Avrupa Birliđi
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devleti
<b>AVR</b>	: Otomatik Gerilim Düzenleyici
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>DEK</b>	: Dağıtık Enerji Kaynağı
<b>DÜ</b>	: Dağıtık Üretici
<b>EDAŞ</b>	: Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
<b>EPS</b>	: Elektrik Güç Sistemi (Electric Power System)
<b>GES</b>	: Güneş Enerji Sistemi
<b>HES</b>	: Hidro Elektrik Santrali
<b>IEEE</b>	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
<b>IIT</b>	: Illinois Institute of Technology
<b>IPP</b>	: İşletmeler Veya Bağımsız Enerji Üreticiler
<b>LOM</b>	: İzole Ada/Ana Şebekeden Kopma
<b>MIC</b>	: İzleme, Bilgi Alışverişi ve Kontrol
<b>MW</b>	: Megawatt
<b>MVA</b>	: Mega Volt Amper
<b>NEMA</b>	: Ulusal Çevre Yönetimi Yasası
<b>NERSA</b>	: Güney Afrika Ulusal Enerji Düzenleme Kurumu
<b>OG</b>	: Orta Gerilim
<b>OSOS</b>	: Otomatik Sayaç Okuma Sistemi
<b>PCC</b>	: Ortak Bağlantı Noktası (Point of Common Coupling)
<b>PSS</b>	: Güç Sistemi Sabitleyici (Power System Stabilizer)
<b>PID</b>	: Proportional İntegral Derivative
<b>UPS</b>	: Kesintisiz Güç Kaynağı (Uninterruptible power supply)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Avrupa'da Kojenerasyon Kullanım Yoğunluk Haritası Yıl:2021 [17].....	5
Şekil 2.2. Mikro Şebeke Topolojisi [5] .....	7
Şekil 3.1. AKEDAŞ Coğrafi Bilgi Sistemi .....	22
Şekil 3.2. Eşzamanlı Modun Şematik Diyagramı [42].....	25
Şekil 3.3. Hız Regülatörü Kontrolcüsünün Droop Modu [42] .....	25
Şekil 3.4. Droop Modu Çalışma Karakteristiği [42] .....	26
Şekil 3.5. Hız Regülatörü Kontrolcüsünün Sabit Güç Modu [42].....	26
Şekil 3.6. AKEDAŞ Kahramanmaraş Şebekesinin Coğrafi Tabanlı DigSilent Power Factory Modeli .....	28
Şekil 3.7. TM-2 Sümer-2 (Maraş Kağıt) Fideri.....	30
Şekil 3.8. TM-2 Sümer-1 (Memteks) Fideri.....	30
Şekil 3.9. Suçatı TM Süleymanlı Fideri .....	31
Şekil 3.10. 380 TM Sanayi Fideri .....	31
Şekil 3.11. Göksun TM Elbistan Çardak Fideri .....	32
Şekil 3.12. Göksun TM Kanlıkavak Fideri .....	33
Şekil 3.13. Kılavuzlu TM Suçatı HES Fideri .....	34
Şekil 3.14. Simülasyonlar İle Detaylı Bir Şekilde İncelenecek Olan Pilot Fiderlerin Tekhat Şemaları.....	35
Şekil 3.15. Dokuboy Kojen Santraline Ait Dahili Tek Hat Şeması .....	35
Şekil 3.16. Kompozit Model Blok Şeması .....	37
Şekil 3.17. Senkron ve Sönümlenme Momentlerinin Şebekeye Etkisi [40] .....	38
Şekil 3.18. Dinamik Simulasyonlar İçin Generatör RMS Parametreleri.....	39
Şekil 3.19. İkaz Sistemi – IEEET1 - IEEE Type 1 [41] .....	40
Şekil 3.20. Hız Regülatörü – Gov_General – Generalised Turbine Governor [41] .....	41
Şekil 4.1. Minimum Yüklenme Koşullarında 380 TM Sanayi Fideri Yük Profili .....	44
Şekil 4.2. Maksimum Yüklenme Koşullarında 380 TM Sanayi Fideri Yük Profili .....	44

Şekil 4.3. Şebeke Modeli Üzerinde Santralleri Enerjilendirmek İçin Tanımlanan Olaylar	45
Şekil 4.4. Minimum Yüklenme Koşullarında Şebeke Modeli Üzerinde Tanımlanan Olaylar (Santral Ve Yük Devreye Alma)	47
Şekil 4.5. Minimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Santral Çıkış Gücü Ve Terminal Gerilimindeki Değişimler	47
Şekil 4.6. Minimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Santral Aktif Gücü Değişimleri	48
Şekil 4.7. Minimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Frekanstaki Değişimler	49
Şekil 4.8. Maksimum Yüklenme Koşullarında Şebeke Modeli Üzerinde Tanımlanan Olaylar (Santral Ve Yük Devreye Alma)	50
Şekil 4.9. Maksimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Santral Çıkış Gücü Ve Terminal Gerilimindeki Değişimler	51
Şekil 4.10. Maksimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Santral Aktif Gücü Değişimleri	52
Şekil 4.11. Maksimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Frekanstaki Değişimler	52
Şekil 4.12. 0,5 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	53
Şekil 4.13. 1 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	54
Şekil 4.14. 1,5 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	54
Şekil 4.15. 2 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	55
Şekil 4.16. 2,5 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	55
Şekil 4.17. 3 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	56
Şekil 4.18. 3,5 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	56
Şekil 4.19. 4 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi	57
Şekil 4.20. Devreye Alınan Yük Miktarına Bağlı Frekans Değişim Grafiği	58
Şekil 4.21. Pilot Bölge Fiderlerinde Yapılacak Şebeke İzolasyon Amaçlı Manevralar	61

Şekil 4.22. Yük Alım Adımları .....	64
Şekil 4.23. Toplam Yük Dağılımı .....	64



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. İzole-Ada Besleme İçin İncelenen Potansiyel Pilot Fiderler.....	29
Çizelge 3.2. İkaz Sistemi Analizlerde Öngörülen Parametreler [41] .....	42
Çizelge 4.1. Santral Enerjilendirme Olay Çizelgesi .....	45
Çizelge 4.2. Minimum Yüklenme Koşullarında Gerçekleştirilen Olaylar .....	46
Çizelge 4.3. Maksimum Yüklenme Koşullarında Gerçekleştirilen Olaylar .....	49
Çizelge 4.4. Ani Yük Artışına Bağlı Frekans Değişim Senaryoları Çizelgesi.....	57
Çizelge 4.5. İkaz Sistemi Önerilen Parametreler [41] .....	59
Çizelge 4.6. Hız Regülatörü Önerilen Parametreler [41] .....	59
Çizelge 4.7. Şebeke İzolasyonu Manevralar Çizelgesi.....	60
Çizelge 4.8. Santral ve Yük Devreye Alma Çizelgesi.....	63

## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik enerjisine olan talep ve ihtiyaç, artan nüfus ve sanayileşme nedeniyle hızla artmaktadır. Ayrıca, enerji üretim merkezlerinin yaşam merkezlerinden uzak olması nedeniyle yüksek gerilim iletim hatlarının kullanımı, yayılan nüfus nedeniyle de dağıtım sistemlerinin genişleyen yapıları, işletme şartlarının ve kontrol işlemlerinin oldukça karmaşık bir hal almasını sağlamıştır [1].

Elektrik enerjisinin büyük güçlü santraller üzerinden sağlanması, coğrafik ve çevresel sınırlamalar, politik ve teknik nedenlerden dolayı yeni arayışlar ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Güvenli ve sürdürülebilir enerji arzı için küçük güçlü, farklı karakteristikli enerji kaynaklarının yerel olarak kullanılması Dünya çapında yaygınlaşmaya başlamıştır [2].

Düşük ya da orta gerilim seviyesinde, tüketici merkezlerine yakın, tek başına ya da elektrik dağıtım şebekesine bağlı küçük güçlü üretim birimleri ve enerji depolama elemanları dağıtık üretim kaynakları(DEK) olarak tanımlanabilir [3]. Bu üretim kaynakları bilinen küçük güçlü hidroelektrik ya da doğalgaz santrali olabileceği gibi, güneş enerji sistemi (GES), rüzgâr santralleri, yakıt pili, mikro türbin kaynakları da olabilir. Bu kaynakların dağıtım şebekesine bağlanması, doğal olarak dağıtım şebekesinin planlama ve işletmesini yeniden gözden geçirilmesi durumunu ortaya çıkaracaktır. Bu durumda dağıtım şebekesinin beslenmesi sadece iletim şebekesi tarafından olmayacak, dağıtık üretim (DÜ) kaynakları da buna katkıda bulunacak ve gerekli gücü yerel olarak sağlayacaktır [4].

Günümüzdeki şebeke yapısında, yüksek gerilim şebekelerinde oluşan arızalarda hatların kesilmesi ve/veya büyük bir santralin devre dışına çıkması sonucunda yapılan zorunlu yük atımı veya sistemin komple çökmesi nedeniyle uzun süreli elektrik kesintileri oluşmaktadır. Bunun sonucunda, elektrik enerji sistemlerindeki arızalar sebebi ile çok fazla sayıda elektrik enerji kesintisi yaşanmakta dolayısı ile büyük miktarda elektrik tüketimi yapan vatandaş enerjisiz kalmaktadır. Günümüzde, tüketici taleplerindeki değişimler toplumda teknolojiye bağımlılığın gittikçe artmasının sonucu olarak daha güvenilir ve arızalara dayanıklı bir elektrik dağıtım şebekesinin yapılandırılmasına olan gereksinim artmıştır. Çok sayıda dağıtık enerji kaynağını (DEK) içeren yeniden yapılandırılmış bir elektrik dağıtım şebekesi ile sistem güvenirligi artırılıp, hizmet kalitesi yükseltilebilir.

Geleneksel planlama yöntemlerinde, büyük santrallerde üretilen elektrik enerjisi iletim şebekeleri ile şehirlere, dağıtım şebekeleri aracılığı ile ise son kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Bu yapıda, bir transformatör merkezinden beslenen tüketiciler hemen hemen aynı enerji kalitesi ile beslenmektedirler. Sistem koordinasyonunda ve kontrol ekipmanlarının çalışmalarında olumsuz etkilerin önüne geçebilmek için mevcut uygulamada, dağıtım şebekelerine az sayıda DEK'in küçük ölçekli entegrasyonu yapılmaktadır. Bu nedenle DEK'ler frekans ayarı, güç kontrolü ve şebeke kararlılığı konusunda şebekeye destek verememektedirler. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının güç dalgalanması problemi sebebi ile enerji kalitesi üzerinde sorun yaratmaları dağıtım şebekesine entegre edilen DEK sayısının kısıtlı kalmasına neden olmaktadır. DEK'ler gerilim / frekans ayarı açısından enterkonnekte şebekeye bağlı oldukları için kendi kabiliyetlerinde gerilim ve frekans ayarlamaları yapamadıkları için ana şebeke kapatılırsa en gerekli oldukları anda güç üretemezler [5].

Bu durum, şebeke de yaşanabilecek uzun süreli kesintilerde mikro şebeke çözümlerine gidilmesinin önünü açmıştır. Uzun süreli yaşanabilecek kesintilerde mikro şebeke yapısına dönülmesi için frekans ayarı, güç kontrolü ve şebeke kararlılığı konularında önceden çalışma yapılma gereği doğurmaktadır. Mikro şebekeler, farklı yenilenebilir ve konvansiyonel enerji kaynaklarının entegrasyonuna esnek bir şekilde olanak sağlayan, düşük veya orta gerilimli küçük ölçekli enerji dağıtım sistemine verilen isimdir. Dağıtık üretim kaynakları (DEK), enerji depolama birimleri ve tüketimlerden oluşan ve bölgesel elektrik şebekesi olan mikro şebekeler güç şebekesi açısından değerlendirildiğinde kontrol edilebilen tek bir varlık olarak davranır [6-7].

Mikro şebekeler, klasik güç şebekeleri ile kıyaslandığında birçok avantaja sahiptir. Mikro şebekeler ile enerji üretim sistemlerine yenilenebilir ve konvansiyonel enerji kaynaklarının entegrasyonu sağlanmaktadır. Küçük ölçekli şebekeler olan mikro şebekeler, güç şebekesiyle bağlantılı çalışabildiği gibi ana şebekeden ayrılarak ada modlu otonom çalışabilir ve kritik yüklere güvenilir enerji temini sağlanabilir. Daha az yatırım maliyeti, yerinde üretim ve yerinde tüketim özelliği ile daha az iletim kaybı ve sürdürülebilir enerji için mikro şebeke güvenilir bir güç olarak karşımıza çıkmaktadır [8-9]. Bu sebeple mikro şebekeler enerji sektöründe gelecek vadede uygulamalar arasında gösterilmektedir.

Mikro şebekelerde birincil kontrol, ikincil kontrol ve üçüncül kontrol olmak üzere üç kontrol yapısı mevcuttur. Bu kontrol yapıları hiyerarşik kontrol olarak isimlendirilir.

Hiyerarşik kontrolün ilk basamağında yer alan birincil kontrol; dağıtık üretim birimleri arasındaki yük paylaşımından, ada modlu çalışma durumundaki gerilim ve frekans kararlılığından sorumludur. İkinci basamağında yer alan ikincil kontrol; gerilim ve frekans sapması ve güç şebekesine senkronizasyondan sorumludur. Üçüncül kontrol ise güç şebekesi ve mikro şebeke arasındaki enerji alışverişinden ve piyasa katılımından sorumludur. Ayrıca maliyet vb. değişkenlerin optimizasyonu ile üçüncü kontrol basamağı ilgilendir [10]. Bu tezde odaklanılacak kontrol, birincil kontrol yapısı olacaktır.

Bu tezde, iletim sisteminin çökmesi durumunda kritik yüklerin beslenmesi ve tedarik sürekliliğini iyileştirmeye yönelik dağıtım şebekesinin beslemesinin sağlanması için aktif güç-frekans kontrolü yapılması sağlanmıştır. Literatür tarandığında ada modu çalışmalarının kısıtlı bir alanda kaldığı dağıtım şebekesi üzerinde bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu tez sonucunda dağıtım şebekesi özelinde, pilot bir fider üzerinde bulunan dağıtım şebekesine bağlı konvansiyonel santraller ve kritik yükler belirlenmiştir. Dağıtım fideri ölçekli mikro şebeke (izole ada) oluşturulmasına yönelik DigSilent Power Factory programı üzerinde analizler yapılarak literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bu amaçla, dağıtım şirketi özelinde kritik yüklerin ve sanayi yüklerin bulunduğu pilot fiderlerin seçimi yapılmıştır. Fider üzerinde bulunan dağıtım şebekesine bağlı kontrolcü konvansiyonel santral ile diğer dağıtım şebekesine bağlı konvansiyonel santraller, dağıtım fideri ölçekli mikro şebeke (izole ada) oluşturulmasına yönelik DigSilent şebeke simülasyon yazılımı ile mikro şebekelerdeki frekans kontrolü analizi yapılmıştır.

AKEDAŞ Elektrik Dağıtım A.Ş. sorumluluk bölgesinde bulunan Kahramanmaraş 380 TM yük tevzi merkezinden çıkan sanayi fideri incelemek, bu fider üzerinde hem konvansiyonel santrallerin hem de kritik yüklerin bulunduğu göz önüne alındığı analiz çalışmaları üzerinde yoğunlaşmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR DERLEMESİ

Elektrik enerjisi; dağıtımı, kullanımı ve kontrolü kolay, birçok enerji türüne kolaylıkla dönüştürülebilen ve günlük yaşamda vazgeçilmez temiz bir enerji türüdür. Bu enerji; insan yaşamında hayat kalitesini iyileştiren, sanayi üretimi için temel gereksinimlerden biri olan, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, gerek dünyada gerekse ülkemizdeki nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselişi sebebiyle ülkeleri yeni arayışlara yönlendirmiştir. Sanayi ve teknolojiye paralel olarak enerji talebinin artışı, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edeceği göz önüne alındığında yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerde yine ülkeleri yeni arayışlara sevk etmektedir [11].

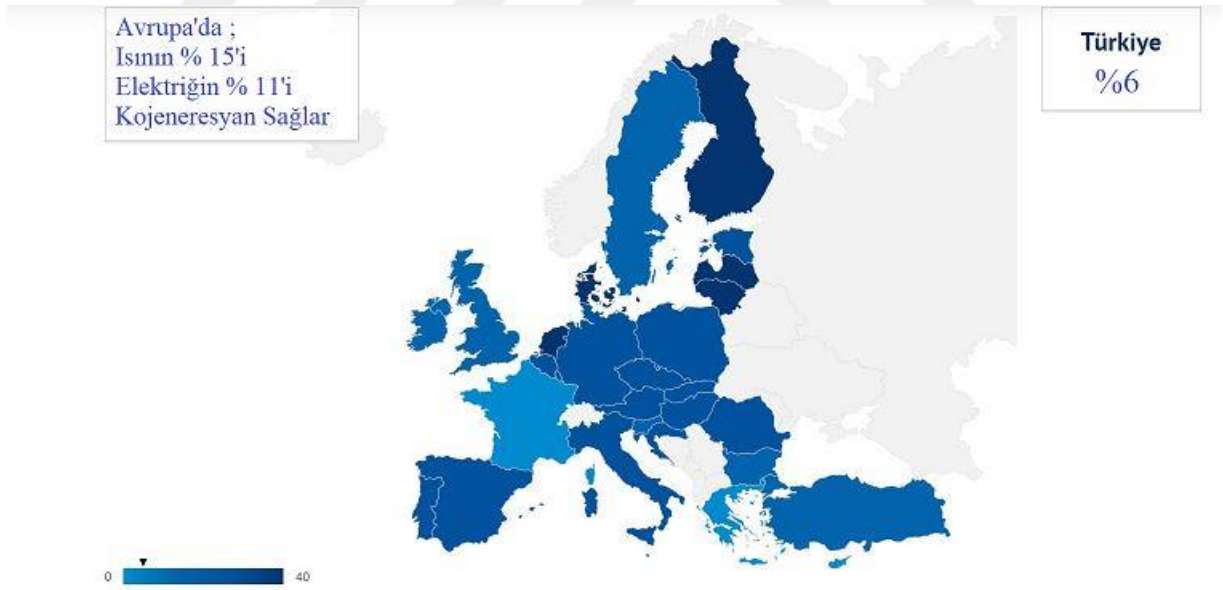
Diğer yandan günümüzde enerji, uluslararası siyaset ve ilişkilerde stratejik bir öneme sahiptir. Kendi enerji kaynaklarına sahip olan ülkeler enerjide dışa bağımlılığı kısıtlamışlar ve ekonomik olarak öne çıkmaktadırlar. Dolayısıyla ülke yöneticileri, enerji arz güvenilirliğini garanti edecek politikalar geliştirmektedir. Yerli kaynakların öncelikli kullanılması, var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik olması, puant talebin karşılanması, elektriğin uygun gerilim ve frekansta olması, en basit arızalarda devre dışı kalmayacak güçlü bir sistem oluşturulmasını hedeflemektedir [11].

Tüketicilerin elektrik enerjisi taleplerini karşılamak amacıyla fosil yakıtlı enerji kaynakları (dogalgaz, petrol, kömür, v.b.) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş, akarsu enerjisi, biomas, jeotermal, hidrojen, v.b.) birleşiminden hibrit güç üretim sistemi ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde sistem güvenilirliğini arttıracak ve enerjinin sürekliliğini sağlayacağı son yapılan çalışmalardan görülmektedir. Bu enerji üretim ünitelerinden rüzgâr-güneş, rüzgâr-dizel, rüzgâr-gaz, gaz-dizel, rüzgâr-mikro hidroelektrik generatörleri yaygın olarak kullanılmaktadır [12].

Fosil yakıt rezervlerinin azalması günümüzde bir yandan yeni enerji üretim teknolojilerinin gelişmesine sebep olurken, diğer yandan ise gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin yeniden gündeme gelmesini sağlamıştır. 18. ve 19. yüzyıllarda sanayi devrimi ile temelleri atılan kojenerasyon sistemi aslında ilk olarak ısıtma amaçlı kullanılmıştır [13,14]. 20. yüzyılın başlarından itibaren kullanılan kojenerasyon sistemleri tüketicilerin ısı ve elektrik ihtiyaçlarını birlikte sağlamaktadır [14]. Daha sonra karşımıza çıkan teknoloji olan

trijenerasyon sistemlerinde ise soğutma kabiliyeti de bulunmaktadır. Kojenerasyon sistemleri kombine ısı ve güç sistemleri büyüklüğüne göre 4 kategoride incelenmektedir. 50 kW ve altı için mikro kojenerasyon, 50 kW ile 1 MW elektrik gücü için küçük kojenerasyon, 1 MW ile 10 MW arası elektrik enerjisi için orta ölçekli kojenerasyon ve 10 MW üstü için ise büyük ölçekli kojenerasyon olarak ayrılmaktadır [15]. Küçük ölçekli enerji ihtiyacı olan binaların (apartman, ofis, otel, avm, hastane, kampüs, vb.) elektrik, ısı ve sıcak su ihtiyaçları mikro kojenerasyon sistemi ile karşılanabilmektedir [16].

Dünya’da ilk olarak 1900’lü yıllarda Amerika Birleşik Devletleri’nde(ABD) kullanılan kojenerasyon sistemleri, ülkenin kendi mevzuatlarının getirdiği engellerden dolayı yaygınlaşamamıştır. Buna rağmen Avrupa’da kojenerasyon sistemleri hızla gelişmiştir. Avrupa ülkelerinde toplam üretimlerinin ne kadarının kojenerasyondan elde edildiğine bakılacak olursa; dikkat çeken ülkeler arasında yer alan Letonya, elektrik enerjisinin yaklaşık %37,7’sini kojenerasyondan karşılamaktadır. Danimarka, Hollanda, Rusya ve Finlandiya ise toplam elektrik üretiminin %30’undan fazlasını kojenerasyon sisteminden sağlamaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere Türkiye genel ihtiyacının %6’sını kojenerasyon sistemlerinden sağlamaktadır [17].



**Şekil 2.1.** Avrupa'da Kojenerasyon Kullanım Yoğunluk Haritası Yıl:2021 [17]

Türkiye’de ilk kurulan kojenerasyon sistemi 1992 yılında Yalova Elyaf’tır. 1992 yılında ilk olarak 4 MW kurulu güce sahip olan elyaf fabrikası şu anda 12,5 MW gücünde bir kojenerasyon sistemine sahiptir [18,19]. 1995 yılından sonra Botaş ile birlikte yeni kojenerasyon sistemleri kurulmaya başlanmıştır. Bu dönemde kojenerasyon sistemi yapımı

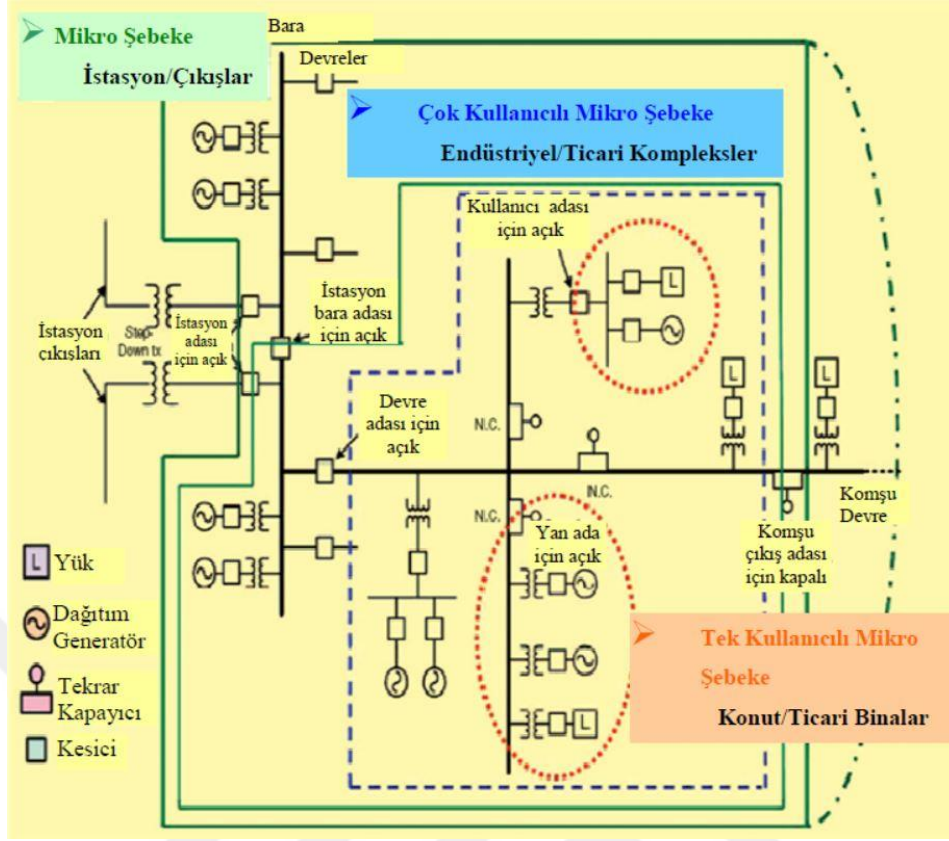
ivme kazanarak 2001 yılında işletmedeki oto-produktör enerji tesisi sayısı 90'a ulaşmıştır [19]. 1992 yılından itibaren 2013 yılına kadar olan dönemde kojenerasyon sistemiyle çalışan endüstriyel kuruluşların toplam kurulu güçlerinin yıllara göre artış gösterdiği görülmektedir. 1992 yılında 4 MW kurulu güç ile kojenerasyondan elektrik üretmeye başlayan Türkiye, 2013 yılı itibariyle kurulu güç kapasitesini 8300 MW'a çıkarmıştır [20].

Güç elektroniği alanının gelişerek özellikle de kontrol ve otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılması, endüstrinin kesintisiz ve kaliteli enerji ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Kojenerasyon sistemleri şebeke ile paralel çalışacak şekilde bağlanırken, ulusal şebekede meydana gelecek sorunlar karşısında da kendi sisteminin etkilenmemesi için ada moduna geçmektedir. Şebeke ile paralel çalışma çok daha yaygın olarak görülmektedir. Ada modunda çalışma pozisyonunda ise generatör şebekeden bağımsız bir şekilde, kendi başına yani sadece beslediği yükler ile bağlantılı çalışır. Böylece yükün talep ettiği enerji kesintisiz ve kaliteli olarak sağlanır. Bu sistemlerin artan enerjisi ise alım ve satım imkânı sağlayacak şekilde çift yönlü aktarım şeklinde tesis edilir [21,22]

## **2.1. Farklı Ada Konfigürasyonları**

Dağıtık üretim (DÜ), küçük güçlü üretim birimlerinin şebekeye tüketicilerin yük ihtiyaçlarını karşılamak üzere bağlanmasıdır. Küçük ölçekli hidro, dizel, kombine santraller ve diğer dönen makinalar dağıtık üretim kaynaklarından bazılarıdır. Bunlara ilave olarak yakıt hücreleri, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi gibi elektrik enerjisi üretim kaynaklarında dağıtık üretim (DÜ) birimleri olarak tanımlanır. Alternatif enerji üretim kaynakları boyutlarının küçük olması sebebi ile dağıtıma yakın noktalarda yerleştirilebilirler.

Dağıtık üretimleri (DÜ) kapsayan planlı izole adalar için çeşitli işletme konfigürasyonları mevcuttur [23]. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere yerel elektrik güç sistemi adası (tesis adası), sekonder ada (ikincil ada), lateral ada (yanal ada), devre adası (ring adası), trafo merkezi bara adası, trafo merkezi adası ve tezin ilerleyen kısımlarında daha ayrıntılı şekilde ele alınacak olan komşu devre adasından (bitişik ring adası) oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Mikro Şebeke Topolojisi [5]

### 2.1.1. Yerel Elektrik Güç Sistemi Adası

Dağıtık Üretim (DÜ) ada sistemi genel olarak bir müşteri tesisi içinde sunulan üretim ve yükten meydana gelir. Buna aynı zamanda Tesis Adası denir. Bu DÜ ada sistemi, tek bir Ortak Bağlantı Noktası'na (Point of Common Coupling -PCC) sahiptir. Şebekede elektrik kesintisi meydana geldiği anlarda işletmelerde bulunan dağıtık üretim (DÜ) tesisleri şebeke yükünü karşılayabilmek için çalıştırılabilir.

### 2.1.2. Sekonder Ada

Sekonder ada, bir ya da daha fazla dağıtık üretim (DÜ) ve bir dağıtım transformatörünün sekonder tarafına bağlı birden fazla müşteriden oluşur. Tek bir dağıtım hattında birden fazla sekonder ada oluşturulabilir. Örneğin, ortak enerji depolama birimleri sekonder adalara yerleştirilebilir. Bu sistemlerde, elektrik güç sistemlerine (EPS) ait bir depolama cihazı dağıtım trafosunun sekonder tarafına, sekondere bağlı birden fazla müşteriyle bağlanır. DÜ'nün diğer türleri topluluk enerji depolama ile birlikte sekonder adada kurulabilir.

### **2.1.3. Lateral Ada**

Lateral ada, genellikle bir dağıtım şebekesinde bulunan fiderlerdeki yükten meydana gelir. Üretim, fider anahtarlama ekipmanları (ör. kesici, tekrar kapamalı kesici veya otomatik yük ayırıcı) açıldığında adanın yükünü sağlamak için çalıştırılabilir.

### **2.1.4. Devre Adası**

Bir devre adasında, ada genellikle tek bir dağıtım hattından beslenen yükten meydana gelir. Transformatör merkezi beslemesi, transformatör ya da bara kaybı için dağıtık üretim (DÜ), devrenin yükünü karşılamak için çalıştırılabilir.

### **2.1.5. Transformatör Merkezi Bara Adası**

Transformatör merkezi terminal adasında, ada genellikle bir transformatör merkezindeki tek bir terminalden beslenen yükten meydana gelse de, bir transformatör merkezindeki yükleri beslemek için birçok terminal kullanılabilir. Belirli bir baradaki dağıtık üretim (DÜ), bir trafo merkezi beslemesi veya transformatör kaybı durumunda çalıştırılabilir.

### **2.1.6. Transformatör Merkezi Adası**

Transformatör merkezi adasında, ada genellikle tek bir trafo merkezinden beslenen yükten meydana gelir. Bu ada, dağıtım transformatör merkezi kullanım dışı olduğunda veya bir transformatör kullanım dışı olduğunda ve kalan transformatör tüm transformatör yükünü sağlayamadığında kullanılabilir. Bu ada, transformatör merkezi beslemeleri üzerindeki bir termik (aşırı yüklenme) veya gerilim problemini veya gerilim düşürücü transformatörlerde bir aşırı yüklenme problemini azaltmak için kullanılabilir.

### **2.1.7. Komşu Devre Adası**

Komşu devre adasında, komşu bir devredeki yük, devrenin ada kısmından beslenebilir. Bu, komşu devre beslemesinin kaybı, ana transformatör merkezi beslemelerinin kaybı durumunda hizmet sağlar.

### **2.1.8. Ada Modu Konusunda Genel Uygulama**

Şimdiye kadar, ortaya çıkan tehlikeler ve riskler nedeniyle şebeke işletmesinden izole edilen ada şebekesinin işletilmesine devam edilmesi uygun olmadığı belirtilmekteydi. IEEE STD 1547-2003'te [20], planlanmamış ada modu için dağıtık üretimlerin (DÜ) adaya

enerji vermesine izin verilmediği belirtilmiştir. DÜ korumaları adalanma oluşumunu tespit etmeli ve daha sonra ilgili DÜ'yu devreden çıkarmalıdır. Otomatik tekrar kapamalı kesici, kendisinin kapama zamanına ve aşağı yönlü akım röleleriyle koordinasyona bağlı ilk yeniden bağlanma girişimlerinde bulunmadan önce olması gereken ve bir saniyeden daha kısa süren ve hızlı tespite bazı işletmelerin gerek duydukları unutulmamalıdır. İzole ada işletmesine izin verilmese de planlı izole ada işletmesi konusunda pek çok araştırma çalışması yapılmıştır. Dağıtım sisteminde sayıları artan DÜ'ler bu harekete öncülük etmiştir. Dağıtık üretimler (DÜ), hizmet güvenilirliğini iyileştirmek için ada modda çalışmak üzere tasarlanmıştır.

Yakın zamanda, IEEE Çalışma Grubu tarafından, IEEE 1547-4 (*Elektrik Güç Sistemleri ile Dağıtık Kaynak Ada Sistemlerinin Tasarımı, Çalışması ve Entegrasyonu Kılavuzu*) olarak adlandırılan yönetmelik yayınlanmıştır. Bu yönetmelik, izole ada çalışmasını tasarlamak ve işletmek, ve şebekenin yeniden bağlanmasını sağlamak için işletmeler veya bağımsız enerji üreticileri (IPP) için bir kılavuz olmuştur. Açıklanan tüm teknik sorunlar çözüldüğünde izole ada işletmesi uygulanabilir bir çözüm olabilir. Literatürün çoğunda vurgulanan başarılı ada işletmesine yönelik çözümler ve önemli gereklilikler aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

### **2.1.9. Ada Sisteminin İşletilmesi ve Yönetimi**

İyi planlanmış bir ada stratejisi, sorunsuz bir ada işletmesini gerçekleştirmede en önemli gereksinimdir. Strateji, ada tespit tekniğini barındırmalıdır. Şebekeye bağlanma konusunda işletme, ada modu ve şebekeye yeniden bağlanma işlemlerini kapsamalıdır. Ada modu operasyonu için tezde [21] ve [22] üzerinde durulmuş çeşitli stratejiler belirtilmiştir.

### **2.1.10. Generatör Kontrolçüsü**

Generatör kontrolçileri, ada işletmesinde en önemli kriter olarak öne çıkmaktadır. Denetleyici, iki çalışma modunda tasarlanmış ve modellenmiştir: şebeke bağlı ve ada modu. Ada modunda, kontrolcü ada sisteminin güç kalitesini yasal sınırlar dahilinde tutabilmelidir. Şebekeye tekrar bağlantı sırasında eşzamanlı kapamadan kaçınmak için, eşzamanlı DÜ'nün regülatör kontrol ünitesi, adanın frekansı, gerilimi ve fazörünü şebekedekiler ile yakın olarak tutacak şekilde düzenlemesi için tasarlanmış kontrol ünitesi ile donatılması gerekir. Ayrıca kontrolcü, ana şebekenin kaybına maruz kaldığında generatörün geçici stabilitesini iyileştirebilmelidir. Bu, talepler adanın üretim kapasitesini

aştığında yük atma uygulanmasını kapsamalıdır. Çoklu DÜ birimleri için yük paylaşım kontrolü (speed droop) kontrolcüye dahil edilir.

### **2.1.11. Frekans Kararlılığı**

Frekans kararlılığı, üretim ve tüketim arasında önemli bir dengesizliğe neden olan ciddi bir sistem bozulmasından sonra güç sisteminin sabit frekansta kalma yeteneğini ifade eder [23]. Üretim ve tüketim arasındaki herhangi bir dengesizlik, sistem frekansının nominal değere göre sapmasına ve dolayısıyla güç şebekesi açısıl frekansında değişikliklere neden olur. Sistem frekansı ve açısıl frekans, küresel miktarlar olduğundan, üretim ve tüketim arasındaki herhangi bir dengesizlik, elektrik güç sisteminin tüm senkron makinelerinin çalışmasını etkiler. Açısıl frekanstaki herhangi bir değişiklik, elektromanyetik moment ve sonuçta elektromanyetik moment ile her senkron makinanın mekanik momenti arasındaki dengesizlikle sonuçlanır [24].

Güç sistemleri, frekans kontrolü için kullanılan otomatik ve manuel kontrol sistemleri ile tasarlanmıştır. Avrupa'da frekans kontrolü üç düzeyde gerçekleştirilir. Birincil ve ikincil kontroller otomatik sistemlerdir ve frekans sapmalarına çok hızlı tepki verebilirler. Üçüncül kontrol seviyesi, sevkiyat merkezinin çağrısı üzerine güç rezervlerinin manuel olarak yerleştirilmesinden oluşur.

Birincil kontrol bozulma oluşumundan sonra ilk saniyede frekansı dengeye getirmek üzere tasarlanırken, ikincil kontrol otomatik olarak üretim ve yükü dengelemek ve sistem frekansını önceden tanımlanmış sınırlar içerisine getirmek üzere tasarlanmıştır. Üçüncü kontrol seviyesinin, ikincil rezervin yerini alması, böylelikle, istenmeyen güç dengesizliklerine ve frekans sapmalarına karşı koymak için sistemde yeterli otomatik aktif güç rezervinin korunması amaçlanmaktadır [24].

Bir iletim hattının veya bir trafo bağlantısının kesilmesi, diğer şebeke branşmanlarının aşırı yüklenmesine ve bazı şebeke koridorlarındaki kapasitenin zayıflamasına neden olabilir. Bu durum, uzun vadede, üretim ve yük arasında ciddi yerel dengesizlik yaratabilir. Büyük frekans salınımları ile sonuçlanan şiddetli sistem bozulmaları aynı zamanda güç akışı değişikliklerine, büyük gerilim değişimlerine ve diğer sistem değişkenlerinde önemli değişikliğe neden olur. Frekans değişimlerine oranla yüzde olarak daha yüksek olabilen gerilim büyüklüğü değişiklikleri, aynı zamanda yük-üretim dengesini de etkiler. Yüksek

gerilim, uyarım rölelerinin veya Volt / Hertz rölelerinin kötü şekilde tasarlanmasıyla veya koordinasyonun kaybolması nedeniyle istenmeyen bir şekilde generatörün devre dışı kalmasına neden olabilir. Aşırı yüklenmiş bir sistemde, düşük gerilim, empedans rölelerinin istenmeyen şekilde çalışmasına neden olabilir. Dolayısıyla, frekans kararsızlığının bağımsız bir olgu olmadığı söylenebilir. Büyük frekans sapmaları, sistem üretimi ve yük arasındaki dengeyi korumak / tekrardan kurmak için senkron generatörlerin yeteneksizliğinden kaynaklanmaktadır. Kararsızlık, üretim birimleri ve/veya yüklerin atılmasına yol açan sürekli salınım şeklinde ortaya çıkabilir. Bu nedenle, kesilen yük miktarını en aza indirmek için zamanında ve en uygun eylemler gerçekleştirilmelidir [24]. Mikro şebeke uygulamalarında görülmüştür ki şebekenin frekans kararlılığının sağlanabilmesi için yük alımlarına dikkat edilmelidir. Frekansın belirli sınırların dışına çıkartacak yük alımlarından kaçınılmalıdır. Bu tezde, referans konvansiyonel santrallerin mikro şebeke koşullarında yük miktarına göre frekans değişimleri gösterilmiştir.

## **2.2. Mikro Şebeke Sistemleri için İzole Ada Modu Çalışması Örnekleri**

Genel olarak, mevcut fider ölçekli mikro şebekeler askeriye, veri merkezleri, hastaneler, endüstri ve kampüs gibi kritik yüklere sahip alanlarda sürekliliği sağlamak için tesis edilir. Bu alanda dünya genelinde gerçekleştirilen uygulamalar mevcut örnekler ile alt başlıklarda sunulmuştur.

### **2.2.1. Washington Eyalet Üniversite Mikro Şebeke Sistemi Örneği**

ABD Washington Eyaletinde bulunan Washington Eyalet Üniversitesi (WSU) Pullman kampüsü, yaklaşık 28 MW tepe yüke sahiptir ve yerel bir elektrik dağıtım şirketi tarafından tedarik edilmektedir. Pullman şehri (nüfus 30.000) birden fazla 115 kV trafo merkezinden birkaç 13,2 kV fider ile besleniyor. Üniversite, iki 4 kV trafo merkezi ve 4 kV fider ring hatları kullanarak kampüs içinde kendi 4 kV sistemini çalıştırmaktadır. Ayrıca, ihtiyaç duyulduğunda kullanılacak (bazı binalarda) UPS ve 4 kV ring sistemine bağlı birden fazla generatör (doğal gaz ve dizel) vardır.

Pasifik Kuzeybatı Tatbikat Projesi (ABD DOE hibe pilot projesi) kapsamında Pullman şehri, yardımcı arayüz programları tarafından kontrol edilebilen ve dağıtım otomasyon sistemine sahip bütün tüketiciler için akıllı sayaç uygulamasına geçerek akıllı bir şehir haline gelmiştir. Ayrıca üniversite bir mikro şebeke olarak faaliyet göstermekte olup bölgesel durum denetleyicileri yardımı ile işlem sinyallerini gözlemleyebilmektedir. Mikro

şebeke kontrolü, üniversite güç kaynağında bir kesinti olması durumunda, kampüs yedekleme üretimini otomatik olarak başlatır. Generatörleri başlatmak için adım adım bir yol izlenir. Örneğin, dizel ünite sırasından önce gaz ünitelerinin başlatılması, ekonomik faktörlerin başlangıç sürecinin bir parçası olmasına ve benzer adımların her bir bina için ayrı ayrı uygulanmasına izin verir. UPS bulduran binalar, yerel bir elektrik kesintisi durumunda diğer binalara göre daha hızlı enerjilendirilir [25].

### **2.2.2. Illinois Teknoloji Enstitüsü Mikro Şebeke Sistemi Örneği**

ABD'nin Chicago kentinde bulunan Illinois Teknoloji Enstitüsü'nde (IIT) yaklaşık 10 yıldır mikro şebeke sistemi faaliyet göstermektedir. IIT'nin mikro şebekesi, yüksek güvenilirlikli bir dağıtım sistemi, yenilenebilir enerji kaynakları (çatı tip güneş panelleri, rüzgar üretim birimleri, depolama ve elektrikli araçlar için şarj istasyonları) ve akıllı bina otomasyon teknolojisi (bina kontrolörleri, sensörler, kontrol edilebilir yükler) ile enerji verimliliği konusunda imkanlar sağlamaktadır. Şebeke bir ring sistemi ve yedek elektrik beslemesi içeren akıllı mikro şebekelerden oluşur. Kurulan mikro şebeke sistemleri maliyetli kesintileri ortadan kaldırma, güç kesintilerini en aza indirme, sürekli artan talebi karşılama ve sera gazı emisyonlarını azaltma fırsatı vermektedir [25].

### **2.2.3. BC Hydro ve Hydro Quebec Planlı İzole Ada Örnekleri**

BC Hydro araştırma grubu, 2007 yılında 2x3,6 MVA değere sahip küçük hidroelektrik santrali için ilk izole ada modunda çalışmayı gerçekleştirdi [26]. Bu çalışmayı gerçekleştirmelerinin temel nedeni, müşterilerin güç güvenilirliğini arttırmaktı. Olaydan önce, 3 MW ortalama yüke güç sağlayan ada işletmesi için uygun bir plan yapıldı. Trafo merkezi fideri kesicisi, bir iletim kesintisi olayı nedeniyle bir transfer açma sinyali aldığı zaman ilk işlem başlatılmıştır. Daha sonra hidro DÜ, sistem toparlanması (black start) ada modu dizisini başlatmak için devreye girmiştir (Santralin enerji üretmek için yeterli suya sahip olması durumunda, DÜ'nün sistem toparlanması ada moduna ihtiyaç duymadığı dikkate alınmalıdır). İşlem, yaklaşık 1,1 MW'lık müşteri yükünü karşılamak için izole ada standardına göre gerçekleştirilmiştir. İşlem başarıyla tamamlanmış ve 5 saat boyunca devam etmiştir. Bu durum, SAIFI endeksini 2008 yılı için 8,5 saatten 3,5 saate düşürerek güvenilirlik performansını artırmıştır.

BC Hydro ve Hydro Quebec'in planlı ada deneyimlerine dayanan küçük hidro üretimin ada çalışması ile ilgili daha fazla araştırma, Kanada'daki bir grup araştırmacı tarafından

yapılmıştır [27]. BC Hydro trafo merkezinde izole ada uygulamalarının şimdiye kadar tek bir fider (tek DÜ veya iki eşdeğer paralel DÜ ünitesi) üzerinde uygulandığını vurgulamak önemlidir. Bu, makalenin yazarlarına, çoklu DÜ üniteleriyle planlı bir ada çalışmasını araştırmak adına fizibilite çalışması yürütmeleri için ilham vermiştir. Çalışma, iki yakın fiderde birbirine bağlanan sırasıyla 8,6 MVA ve 4,4 MVA güce sahip iki DÜ ünitesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Adanın toplam yükü 6 MW'tır. Sorunsuz bir ada çalışması sağlamak adına, DÜ'nün regülatör ve ikaz kontrolcüsü için iki kontrol stratejisi önerilmiş ve çalışma gerçekleştirilmiştir:

- “Master slave” yöntemi: Bu yöntemde izole ada çalışma modu sırasında, daha büyük güce sahip DÜ ana kontrolcü (master) olarak ayarlanırken, diğer DÜ yardımcı (slave) kontrolcü rolü üstlenmektedir. Yardımcı kontrol prensibinde çalışan DÜ, şebekenin yüklenme miktarı ve regülasyon ihtiyacı göz önüne alınarak, önceden belirlenmiş güç değerine bağlı olarak sabit güç modunda çalıştırılırken, izole ada içindeki yük değişiklikleri dolayısıyla gerekli regülasyonu ana kontrolcü sağlamaktadır.
- Aktif yük paylaşımı yöntemi (droop yöntemi): İzole adayı besleyen her iki DÜ'nün de hız regülatörleri yük paylaşım moduna ayarlanmaktadır. Böylece, her iki DÜ'de güç kapasiteleri ile orantılı olarak regülasyon yapmaktadır.

#### **2.2.4. Başkent EDAŞ Mikro Şebeke Yöntemleri ve Kontrol Donanımı Geliştirilmesi Örneği**

Elektrik enerjisinin kesintisiz ve güvenilir olması hem ekonomik hem de operasyonel açıdan azami önem arz etmektedir. Dolayısıyla enerjinin sürekliliğinin sağlanması, olası kesintilerin müşteri tarafından hissedilmemesi ve maliyetlerin en aza indirilmesi için hem endüstriyel hem de akademik kaynaklar tarafından birçok çözüm önerisi geliştirilmiştir. Bu öneriler içinde en fazla öne çıkan mikro şebeke anlayışıdır [28]. Bu kapsamda Başkent EDAŞ “*Mikro Grid Yönetim Yöntemleri Ve Kontrol Donanımı Geliştirilmesi (Faz-1 & Faz-2)*” projesi ile mikro grid kontrolcü tasarımına odaklanmıştır.

#### **2.2.5. Çoruh Edaş İzole Ada HES AR-GE Örneği**

ÇORUH EDAŞ'ın EPRA Elektrik Enerji (EPRA) firmasından ARGE hizmeti aldığı “*Acil Koşullarda Dağıtım Şebekesine Bağlı Hidrolik Santrallerin (HES) İzole Ada Modunda Şebekeyi Beslemesi İçin Gerekli Koşulların Araştırılması ve Eylem Planı Geliştirilmesi Ar-*

*Ge Projesi*”, normal çalışma koşulları altında şebeke ile senkron (on-grid) çalışan dağıtım şebekesine bağlı olan ve izole ada (off-grid) prensibinde çalışmaya uygun olan HES’lerin, şebekedeki olası uzun süreli kesinti durumunda, izole ada prensibinde çalıştırılmasını hedeflemiştir. Türkiye’deki konu ile ilgili mevcut yönetmelik ve tebliğlere göre, her ne kadar dağıtım şebekesine bağlı DÜ’lerin izole ada beslemeye uygun bir şekilde tasarlanması gerekse de, “planlı” izole ada modunda çalışma ile ilgili kuralları içeren bir yönetmelik/tebliğ henüz mevcut değildir ve yapılan bu çalışma mevzuatın geliştirilmesi açısından önemli bir fırsat sunmuştur. Zira, Türkiye’nin özellikle Karadeniz Bölgesi’nde bulunan, Kaplan ve Pelton tipi türbinli küçük HES’ler, “planlı” izole ada uygulaması için potansiyel birer adaydır ve projede gerçekleştirilen çalışmalar ile bir izole ada besleme karar ve uygulama süreci uygulandığı ve teknik kriterler sağlandığı sürece planlı bir izole ada besleme uygulaması yapılabilirliği anlaşılmıştır [28]. İzole ada beslemesi için proje kapsamında gerekli teknik şartlar şu şekilde olması gerekmektedir:

- İzole adada en az bir HES bulunmalı,
- İzole ada çalışması esnasında yeterli miktarda su olmalı,
- Santralde black start özelliği olmalı (dizel generatör veya başka bir lokal enerji desteği olmalı),
- Ada bölgesi içerisinde yük olmalı (dağıtım şirketi tarafından şebekeden ayrılıp izole adaya tahsis edilecek şekilde),
- HES, Kaplan veya Pelton tipi türbin ile donatılmış olmalı,
- HES’in hız regülatörü sistemi, P-F droop modunda (izole ada modu) çalışabilmeli; ve,
- HES’in gerilim kontrol sistemi, Q-V droop modunda (izole ada modu) çalışabilmelidir.

#### **2.2.6. Sakarya EDAŞ Acil Durum Senaryoları Altında Çalışan Dağıtım Şebekelerinin İşletilmesinde Olasılıksal Risk Yönetimine Bağlı Algoritma Geliştirilmesi Örneği**

Sakarya EDAŞ tarafından gerçekleştirilen bu AR-GE projesin de, Başkent EDAŞ ve Çoruh EDAŞ projelerinde olduğu gibi tek bir hidrolik santralin izole ada modunda iken, şebekeden ayrılan bir bölgeyi (1 MW yük) beslediği senaryolar teorik olarak incelenmiştir. Analizlerde santral standart kontrolcülerle modellenmiştir (gerçek santral frekans ve gerilim kontrolcülerini modellenmemiştir). Bununla birlikte, analizlerde elde edilen sonuçlar,

uygun koruma koordinasyonu ve kontrolcü set değerleri ayarları ile santralin izole olarak yükleri besleyebileceğini göstermiştir [28].

### **2.2.7. Mikro Şebekelere ait diğer örnek uygulamalar**

Dünya genelinde istenmeyen olaylardan kaynaklı enerji kesintileri sonrası birçok mikro şebeke sistemleri kurulmuş ve kurulmaya devam etmektedir. New York Üniversitesi (ABD), Washington Squqre Park (ABD), Utica Koleji (New York – ABD), Cornel Üniversitesi, Tohoku Fukushi Üniversitesi (Japonya), BCIT's Burnaby Kampüsü (Kanada), Kaliforniya üniversitesi (ABD) ve San Diego Üniverisitesi (ABD) gibi birçok kampüs ve yerleşim alanlarında mikro şebeke uygulamaları örnek olarak faaliyet göstermektedir. Bununla beraber San Diego Gas&Electric şirketi dağıtılabılır üretimi, enerji depolaması ve yüksek PV konsantrasyonu ile yük ve iletim kayıplarında önemli azalma sağlayan bir mikro şebeke altyapısına sahiptir.

Sacramento Belediye Hizmet Bölgesi'nde yer alan mikro şebeke örneği sistem verimliliğinin arttığını ve işletim maliyetlerinin minimum seviyelere gerilediğini göstermiştir. Diğer bir mikro şebeke örneği olan ve inşaaı süren Philadelphia donanma bölgesinde ise, mikro şebekelerin “Gelecekte enerji alt yapısına açılan bir pencere” olduğu iddaası ön plana çıkmaktadır. Mikro şebeke sistemlerinin fider ölçekli olarak konuşlandırılabilmesi için gerekli koşullar ve sağlayacağı faydalar aşağıda verilmiştir [29];

- Kritik yük (hastahane, veri merkezleri, finans kurumları, endüstriyel parklar ve kampüsler, v.b.) içeren bölgeler için şebekeden kolay ayrılma ve yedek güç kaynakları (dizel generatör, UPS, batarya v.b.) bulundurmalarından dolayı mikro şebeke sistemleri için avantaj sağlamaktadırlar.
- Dağıtık üretim kaynaklarının yoğun olduğu bölgeler otonom ve izole ada olarak çalışabilme yeteneklerinden dolayı mikro şebeke sistemleri için olanaklar sunmaktadır.
- Şebeke alt yapısı eskimiş ve modernizasyon ihtiyacı olan bölgelerin, mikro şebeke'ye uygun şekilde yapılandırılarak daha az maliyetli ve yüksek verimlilik sağlayacakları ön plana çıkmaktadır.
- Enerji verimli bina teknolojilerine erişimi olan bölgelerin mikro şebeke sistemine katkıda bulunacağı muhtemeldir.

### 2.3. Ulusal ve Uluslararası İlgili Standartlar ve Mevzuatlar

Dağıtık üretim kaynaklarının elektrik güç sistemleriyle entegrasyonu ile ilgili olarak, IEEE 1547 standardı [30] , DÜ'lerin mikro şebekeler üzerinde izole ada besleme prensibini “planlı” (intentional) ve “planlı olmayan” (unintentional) olarak iki ana kategoriye ayırmıştır:

1. “Planlı olmayan” izole ada besleme: Şebekede meydana gelen bir arıza sonrası, şebeken izole olan bir bölgenin, bölgedeki DÜ'ler tarafından beslenmeye devam ettiği durumdur. IEEE 1547.3 [30] standardına göre böyle bir durumda, DÜ'ler tarafından izole ada besleme koşullarının iki saniye içerisinde tespit edilmesi ve DÜ'lerin enerji üretimlerini kesmesi gerekir. Yani, izole ada besleme durumuna düşen DÜ'lerin koruma sistemlerinin, olayı takiben iki saniye içinde DÜ'leri devre dışı bırakması gerekir.
2. “Planlı” izole ada besleme: IEEE 1547.4 [31] standardına göre, aşağıda belirtilen hususların göz önüne alınması koşulu ile, tedarik sürekliliği göstergelerinin iyileştirilmesi için “planlı” izole ada beslemeye izin verilir:
  - Güç akış büyüklüğü ve yönündeki değişiklikler,
  - Gerilim, frekans ve güç kalitesinin uygun kontrolü,
  - Mevcut PCC'lerin sayısı (tek veya birden fazla),
  - Koruma planları ve modifikasyonları,
  - İzleme, bilgi alışverişi, ve kontrol,
  - İzole ada olacak bölge ya da yerel elektrik güç sistemlerinin yük gereksinimleri,
  - Dağıtık üretim kaynaklarının karakteristikleri ve işlevselliği,
  - Kararlı-durum ve geçici koşullar,
  - Elektrik enerjisi kaynakları arasındaki etkileşimler,
  - Rezerv marjları, yük atma, ve talep tepkisi,
  - Anlık yük alma (Cold-load pickup).

“Planlı” izole ada besleme için gerekli bu hususların sağlanabilmesi için, izole adayı besleyen DÜ’lerin kapasitelerinin, donanımlarının ve kontrolcülerinin, izole adadaki aktif ve reaktif güç dengesini kabul edilebilir teknik sınırlar (frekans ve gerilim değişimi) içerisinde karşılayabilecek bir şekilde tasarlanmış olması gerekir. Ayrıca, planlı izole beslemeye aşağıdaki adımlar izlenerek geçilmediği [32];

1. Planlı beslenecek izole adadaki DÜ’leri ve yükü ana şebekeden ayırmak için uygun olan devre kesicisi ile izole ada oluşturulmalıdır.
2. İzole adayı besleyecek olan DÜ’lerin hız regülatörü kontrolcü prensibi, “senkron mod”dan frekans kontrolü için uygun olan hız regülatörü kontrolcü modu olan “ada modu”na geçmelidir. Ayrıca, şebekeye bağlı iken, sabit örneğin güç faktörü veya sabit reaktif güç kontrol modunda çalışan DÜ’lerin, izole ada koşullarında otomatik gerilim regülatörü (AVR) modunda çalışması gerekir. Bu kontrol modlarındaki değişimlere ilave olarak, bazı koruma rölelerinin ayarlarının da izole ada koşullarına uygun bir şekilde ayarlanması gerekebilir veya ilave rölelere ihtiyaç duyulabilir.
3. Ana şebeke ile planlı bir şekilde tekrar senkronizasyon sonrası DÜ’ler tekrar şebeke senkronizasyon çalışma prensiplerine uygun kontrolcü modlarında çalıştırılmalıdır.

Bu hususlar göz önüne alındığında, DÜ’ler – kapasiteleri ve teknik kısıtları ( $P_{max}$ - $P_{min}$  bandı, yüklenme hızı, hidroelektrik DÜ’ler için su kapasitesi, vb.) dahilinde – izole ada modunda çalışabilir. Planlı izole ada beslemeye yönelik literatürdeki bazı örnekler [33]’te açıklanmıştır.

Güney Afrika’da kırsal bölgelerde küçük ölçekli hidroelektrik santralleri planlı izole ada beslemesi uygulanmasına ilişkin mevzuat [34], [35]’de sunulmuştur. Güney Afrika Ulusal Enerji Düzenleme Kurumu’nun (NERSA) Ulusal Çevre Yönetimi Yasası (NEMA) küçük hidroelektrik DÜ’lerin gerektiğinde planlı bir şekilde izole ada modunda çalışmasını teşvik etmektedir. İlgili Yönetmelikler IEEE 1547.4 standardında belirtilen teknik kısıtlamaları referans almıştır. Aynı şekilde Hindistan’da da küçük hidroelektrik santrallerin planlı izole ada beslemeye izin verilmektedir [36].

Konu ile ilgili Türkiye’deki mevzuat incelendiğinde, aşağıda belirtilen rapor, yönetmelik ve tebliğler öne çıkmaktadır:

- TEDAŞ, Komisyon Çalışması Raporu, “Dağıtım tesislerine bağlanacak üretim santralleri için fider kriterleri,” 08.02.2008 [37]. Komisyon raporuna göre; “Dağıtım şirketi hattında enerji kesildiği anda, dağıtım şebekesinde adalanma oluşmaması için, dağıtık üretim (DÜ) tarafından, dağıtım şebekesine hiçbir şekilde elektrik verilmeyecektir.”
- Komisyon raporundaki bu talimata göre, IEEE 1547.3 Standardına “planlı olmayan” izole ada besleme diye adlandırılan duruma izin verilmemektedir.
- Lisanssız DÜ’ler için bu hususta ayrıca bir tebliğ yayınlanmıştır (bkz. bir sonraki madde).
- “*Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ*”, üçüncü bölüm, teknik hükümler, işletme madde 18 [38]. “Üretim tesisi, can ve mal emniyetinin sağlanması için, kısa devre arızası veya şebekenin enerjisiz kalması durumunda bağlantı noktası itibarıyla şebekeden izole hale gelmeli ve şebekeye enerji vermemelidir. Şebekenin bir bölümünü içerecek şekilde adalanmaya müsaade edilmez. Bu durumda bağlantı noktası itibari ile şebekeden izole hale gelen üretim tesisi, bağlantı noktasının ilgili üretici tarafında kalan bölümlerini şebekeden bağımsız olarak besleyebilir.” Bu tebliğe göre, dağıtım şebekesine bağlı lisanssız DÜ’lerin dağıtım şebekesinde izole bir adayı “planlı” ve “planlı olmayan” bir şekilde beslemesine izin verilmemektedir.
- Dağıtım şebekesine bağlı lisanslı DÜ’lerin “planlı” izole ada beslemesi ile ilgili ise henüz bir tebliğ yayınlanmamış olmakla birlikte, *Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği*’ne göre DÜ’ler izole ada beslemeye uygun bir şekilde tasarlanmalıdır.
- “*Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği*”, üçüncü bölüm, üretim tesislerinin tasarım ve performans şartları, generatör kontrol düzenekleri, madde 14 [39]. “Hız regülatörü, ünitenin bağlı olduğu kısmın izole bir ada şeklinde sistemden ayrılması fakat ünitenin talebi beslemeye devam etmesi durumunda, frekansını mümkün olduğunca 47,5-52,5 Hz aralığında tutabilmelidir. Ancak, bu durum çıkış gücünün ünitenin tasarlanmış asgari çıkış seviyesinin altına düşmesine yol açamaz.” denilmektedir.
- Türkiye’deki konu ile ilgili mevcut yönetmelik ve tebliğlere göre, her ne kadar dağıtım şebekesine bağlı DÜ’lerin izole ada beslemeye uygun bir şekilde

tasarlanması gerekse de, “planlı” izole ada modunda çalışma ile ilgili kuralları içeren bir yönetmelik/tebliğ henüz mevcut değildir. Diğer yandan, uluslararası araştırmalarına göre bu konudaki mevzuatsal gelişmeler halen devam etmekte olup, ancak bazı ülkelerde belli bir seviyeye ulaşmıştır [34 - 36]. Bu ülkelerden bir diğeri Kanada’dır. BC Hydro araştırma grubu tarafından, 35 kV ve altında dağıtım sistemi için “planlı” bir izole ada çalışması için gerekli koşullar ve kurallar için bir standard geliştirilmiştir [37 - 39].



### **3. MATERYAL VE METOT**

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen modelleme ve bilgisayar simülasyon analizlerinde DigSilent Power Factory yazılımı kullanılmıştır. Pilot bölge olarak seçilen fiderlere ait teknik özellikler AKEDAŞ Coğrafi Bilgi Sistemi sayesinde DigSilent Power Factory programına aktarılarak gerçek veriler üzerinden analiz çalışması yapılmıştır. Ayrıca, pilot bölge üzerindeki fiderler, yükler, konvansiyonel santrallere ait yük profilleri AKEDAŞ Otomatik Sayaç Okuma Sistemi üzerinden sağlanmıştır. Bu veriler yine DigSilent Power Factory uygulamasına aktarılarak gerçek veriler ile analiz yapılabilmesi sağlanmıştır.

#### **3.1. DigSilent Power Factory Uygulaması**

Bu şebeke analiz yazılımı temel olarak bir veri tabanı üzerinde koşan analiz algoritmalarından oluşmaktadır. Her veri tabanında olduğu gibi, kullanıcı tanımına ve kullanıcılara ait ya da tüm kullanıcılara açık veri depolama alanlarına sahiptir.

Belirlenecek olan pilot fider üzerinde muhtelif anahtarlama pozisyonları ile elde edilecek adaların gerilim kararlılık analizleri DigSilent Power Factory analiz yazılımı ile gerçekleştirilecektir. Bu analizler, fiderin maksimum - minimum yük koşulları ve santrallerin olası yüklenme seviyeleri gibi farklı şebeke koşullarını kapsamaktadır.

#### **3.2. AKEDAŞ Coğrafi Bilgi Sistemi**

Coğrafi bilgi sistemi (CBS), Dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik mekâna/konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere, büyük hacimli coğrafi verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, yönetimi, mekânsal analizi, sorgulaması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren donanım, yazılım, personel, coğrafi veri ve yöntem bütünüdür.

CBS alanında yapılmış uygulamaların ve CBS başlangıcının ilk olarak, 1832 yılında Charles Picquet'in Paris'in 48 ilçesinde kolera salgınını haritalaması, ardından 1854 yılında İngiliz Doktor John Snow'un Londra'da kolera nedeniyle artan ölümleri göstermek için aynı prensipte harita oluşturularak mekansal olarak salgının kaynağını tespit edip sorunun önüne geçmesi şeklinde yer almaktadır.

CBS kavramı ilk kez 1960'lı yılların başında tanıtılıp ilerleyen yıllarda yeni bir disiplin olarak araştırıldı ve geliştirildi. Roger Tomlinson doğal kaynakların yönetilebilir envanterinin oluşturulması için Kanada hükümeti tarafından görevlendirdi.

Kanada'nın tüm doğal kaynak verilerini birleştirebilmek için bilgisayar kullanmayı düşünüyordu ve Kanada'nın ulusal arazi kullanım yönetim programına başlamasını sağlayan, büyük boyutlardaki veriyi depolayıp işleyebilmek için otomatik bilgi işlem sistemini yarattı.

Bu sistemi CBS olarak adlandırdı. Roger Tomlinson'ın Kanada Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni başlatmak, planlamak ve geliştirmek için yaptığı çalışmalar 1963'te ilk bilgisayarlı CBS ile sonuçlandı.

Bu süreci 80'lerin başından itibaren piyasaya sürülen ticari masaüstü yazılımları izledi. Günümüzde ise özellikle bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmelere bağlı olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Teknolojileri'nde web ve mobil platformlarda da büyük gelişmeler olmuştur. CBS Türkiye pazarında 1990'lı yıllarda özellikle Windows 95 sonrası masaüstü CBS programlarıyla yaygınlaşmıştır. 2000 yılı sonrasında kurumsal CBS sistemleri yayılmaya başlanmıştır [45] .

Bu tezde kullanılan Şekil 3.1'de gösterilen AKEDAŞ Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) içerisinde; 5.067 adet transformatör, 9.190 kilometre orta gerilim hat uzunluğu, 14.740 kilometre alçak gerilim hat uzunluğu bilgileri bulunmaktadır.



### 3.3. AKEDAŞ Otomatik Sayaç Okuma Sistemi

Klasik sayaç okuma sistemlerinde bir görevli bina bina dolaşarak yada konvertör okuma noktasından her ay sayaçların son endeks değerini alır, Toplanan bu bilgiler merkezde faturalandırılır ve abonelere gönderilir. Bu yöntemler ile yapılan okuma işlemleri insan hatası riski, operasyon maliyeti veri toplamadaki zaman kaybı nedeniyle verimli değildir. Ayrıca kaçak kullanım tespiti zor ve arıza tespiti ise sadece okuma dönemlerinde tespit edilebilmektedir.

Günümüz teknolojilerindeki eğilimler her alanda olduğu gibi sayaçların okunması alanında da insan faktörünü sistemin operasyon katmanından çıkartıp yönetim katmanına getirmeyi amaçlamaktadır.

Uzaktan okuma sistemi milli inovasyon ve milli teknoloji prensibiyle sadece sayaç okuyup endeks değerlerine göre gider paylaşım yapılması değil bir sistemin bütün yönetimini sağlamaktadır.

Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) ile sistemde bulunan M-Bus veri iletişimine sahip kalorimetreler, su sayaçları, elektrik sayaçları tüketim endeks değerinin yanı sıra akış, sıcaklık, manipilasyon, sayac arızası ve tüm sistemin sağlıklı çalışıp çalışmadığının takibi uzaktan yapılabilmektedir.

Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) uzaktan okuma sisteminde daire sakinleri kedilerine ait sayaçları bilgisayarlarından yada cep telefonları ve tabletlerine indirdikleri uygulamalarından takip edebildiği gibi, site ve apartman yönetimlerinde sistemde bulunan tüm sayaçların bilgilerini bilgisayarlarından yada cep telefonları ve tabletlerine indirdikleri uygulamalarından takip edip sistemi 7/24 online gözlemleyebilmektedirler.

Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) uzaktan okuma sistemi sayesinde sayaçlardan geçen enerji ve tüketim değerlerinin takibi ile sistemde oluşabilecek kayıpların ve kaçak kullanımların tespit edilmesi tamamen kişilerin yorum, düşüncelerine veya gözlemlerine göre değil sistemden alınan gerçek verilere göre yapılmaktadır.

AKEDAŞ Elektrik Dağıtım Otomatik Sayaç Okuma Sistemine kayıtlı 15.000'in üzerinde abone bulunmaktadır.

### 3.4. Pilot Fider Belirleme Çalışmaları

#### 3.4.1. Dağıtık Üretim Santrallerinin İzole Ada Modunda Çalıştırılması İçin Gerekli Asgari Teknik Kriterler

Dağıtım sisteminin bir bölümünün izole ada olarak çalışabilmesi için gerekli asgari teknik şartlar:

- Şebeke toparlanması (black-start) özellikli santral içeren yerel enerji kaynakları (santralleri).
- Mikro-şebeke üzerindeki santraller tarafından yük ve gerilim kontrolü.

##### i. Şebeke Toparlanması (Black-Start) Özellikli Santral İhtiyacı

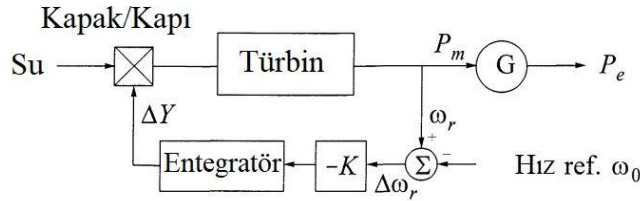
İzole-ada çalışması için ilk koşul yerel enerji kaynağının mevcut olmasıdır. Yerel üretimi olmayan ve ortak bağlantı noktasından (Point of Common Coupling (PCC)) net bir yük olarak görülen bir bölge izole ada olarak kabul edilmez. Nitekim, Şekil 2.2’de gösterilen tüm izole ada türlerinde enerji kaynağı (generatör) mevcuttur. Ayrıca, bu enerji kaynağı generatörlerden en az birinin şebeke toparlanması (black-start) şeklinde çalışabilmesi gerekir. Bu santrallerde generatörün uyarma sistemine harici bir kaynaktan (dizel generatör gibi) gerilim verilir. Dolayısıyla, pilot fiderler belirlenirken, şebeke toparlanması yeteneği olan santrallerin yer aldığı fiderlere odaklanılmıştır.

##### ii. Mikro-Şebeke Üzerindeki Santraller Tarafından Yük Ve Frekans Kontrolü İhtiyacı

Elektrik güç sistemlerinin dinamik doğası gereği değişkenlik gösteren sistem frekansının ve geriliminin, izin verilen aralıklar içinde tutulması gerekir. Bu amaçla santraller hız regülatörü üzerinden frekans kontrolü ve otomatik gerilim regülatörü üzerinden de gerilim kontrolü desteği sağlarlar. Santrallerdeki bu kontrolcülerle ilişkili parametreler ve çalışma modları genellikle normal çalışma koşulu olan şebeke modu için tasarlanmış ve ayarlanmış olup, izole ada modu çalışması sırasında değiştirilmesi gerekir.

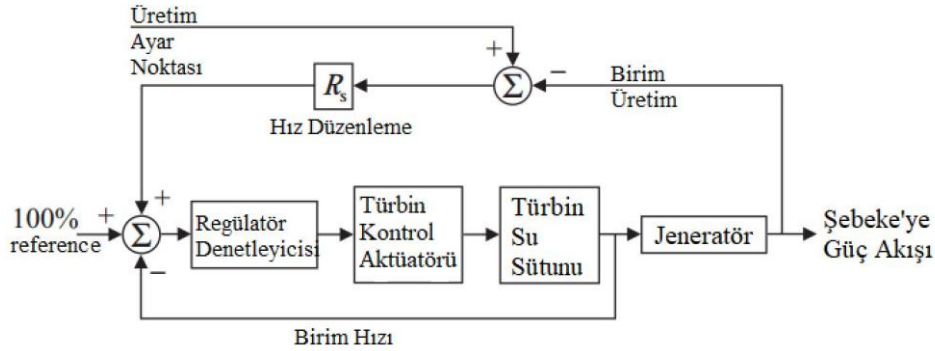
Hız regülatörü (hız kontrol sistemi), şebekeye bağlı (on-grid) ve ada işletme modunda olduğu zaman, senkron generatör tipindeki DÜ’nün aktif gücünü ve hızını kontrol eder. Genel olarak, üç tip hız regülatörü kontrol modu mevcuttur; izokron/eşzamanlı (Isochronous), “droop” modu ve sabit güç modu. İzokron moda ait şematik diyagram Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu mod çoğunlukla yükün önemli bir kısmının diğer üreticiler

tarafından sağlandığı salınım generatörleri için kullanılır ve eşzamanlı kontrolcüye sahip generatörler sistem frekansını ayarlar. İzole ada çalışması koşulunda, stabilite problemi nedeniyle tüm santrallerde bu modun kullanılması önerilmez. Eğer adalanmış tüm DÜ'ler eşzamanlı modda çalışıyorsa, yükte dengesiz salınımlara neden olabilecek küçük değişikliklere tepki verecektir.



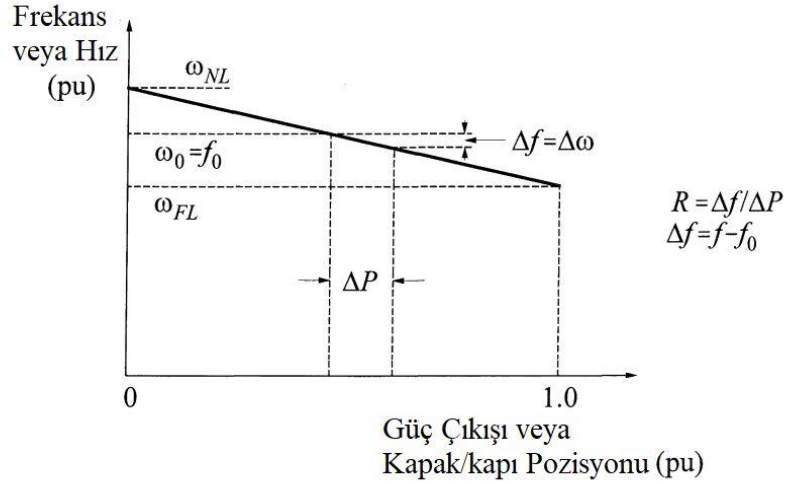
Şekil 3.2. Eşzamanlı Modun Şematik Diyagramı [42]

Droop modunda, kontrolcüye iletilen hata hız sapmasından tam olarak ortaya çıkmaz. Burada, çıkış gücü bir ara geri beslemedir ve hız regülasyonunu yapar. Çıkış gücü ve istenen üretim veya ayar noktası arasındaki hata,  $R_s$  (hız regülatör sabiti) sabiti ile çarpılarak hız regülatörü kontrolcü ayar noktasına eklenir. Tipik bir hız regülasyonu yönetim sisteminin blok şeması Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu modda, hız veya güç ayar noktasındaki kısmi sapma kabul edilebilir.



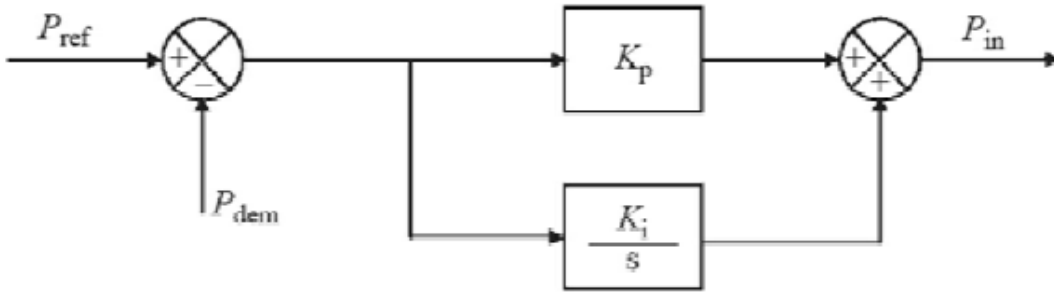
Şekil 3.3. Hız Regülatörü Kontrolcüsünün Droop Modu [42]

Droop modu, eşzamanlı moddakinden daha karardır, çünkü adalanmış DÜ yük değişimine droop değeri ile tanımlanan bir dereceye kadar tepki verir (Şekil 3.2'deki  $R_s$ ). DÜ ada modunda çalıştığı zaman, frekanstaki küçük sapmalar ihmal edilebilir; ancak, ana şebeke ile yeniden senkronizasyondan önce frekans değeri tekrar nominal değere ayarlanmalıdır. Bu amaçla bir santralin eşzamanlı modda çalışması gerekir. Droop modun çalışma karakteristiği Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Droop Modu Çalışma Karakteristiği [42]

Sabit güç modu, regülatörün ayar kanatlarını önceden tanımlanmış bir sabit çıkış gücünün elde edilebileceği şekilde ayarladığı moddur. Şekil 3.5'te sabit güç modunun kontrol mantığını göstermektedir. Senkron tabanlı dağıtık generatörlerin çoğu normal çalışma koşullarında bu modu kullanır. Zira tüm değişiklikleri karşılayabilen bir ana şebeke vardır ve DÜ önceden planlanmış modele bağlı kalarak üretim yapar.



Şekil 3.5. Hız Regülatörü Kontrolcüsünün Sabit Güç Modu [42]

Bu bilgiler ve şimdiye kadar yapılan çalışmalara dayanarak, izole ada koşullarında en uygun çalışma modunun droop modu olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte santrallerden biri eşzamanlı modda da çalışabilir.

### **3.4.2. Dağıtık Üretimlerin İzole Ada Modunda Çalıştırılması İçin Gereken Koşulların Özeti**

Dağıtım sisteminin bir bölümünün izole ada olarak çalışabilmesi için gerekli asgari teknik şartlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- İzole adada senkron generatör içeren üretim santrali/santralleri bulunmalı,
- En az bir santralde şebeke toparlanma (black start) özelliği olmalı,
- Ada bölgesi içerisinde yük olmalı (dağıtım şirketi tarafından şebekeden ayrılıp izole adaya tahsis edilecek şekilde),
- DÜ'nün hız regülatörü sistemi, P-F droop modunda çalışabilmeli,
- DÜ'nün gerilim kontrol sistemi, Q-V droop modunda çalışabilmelidir.

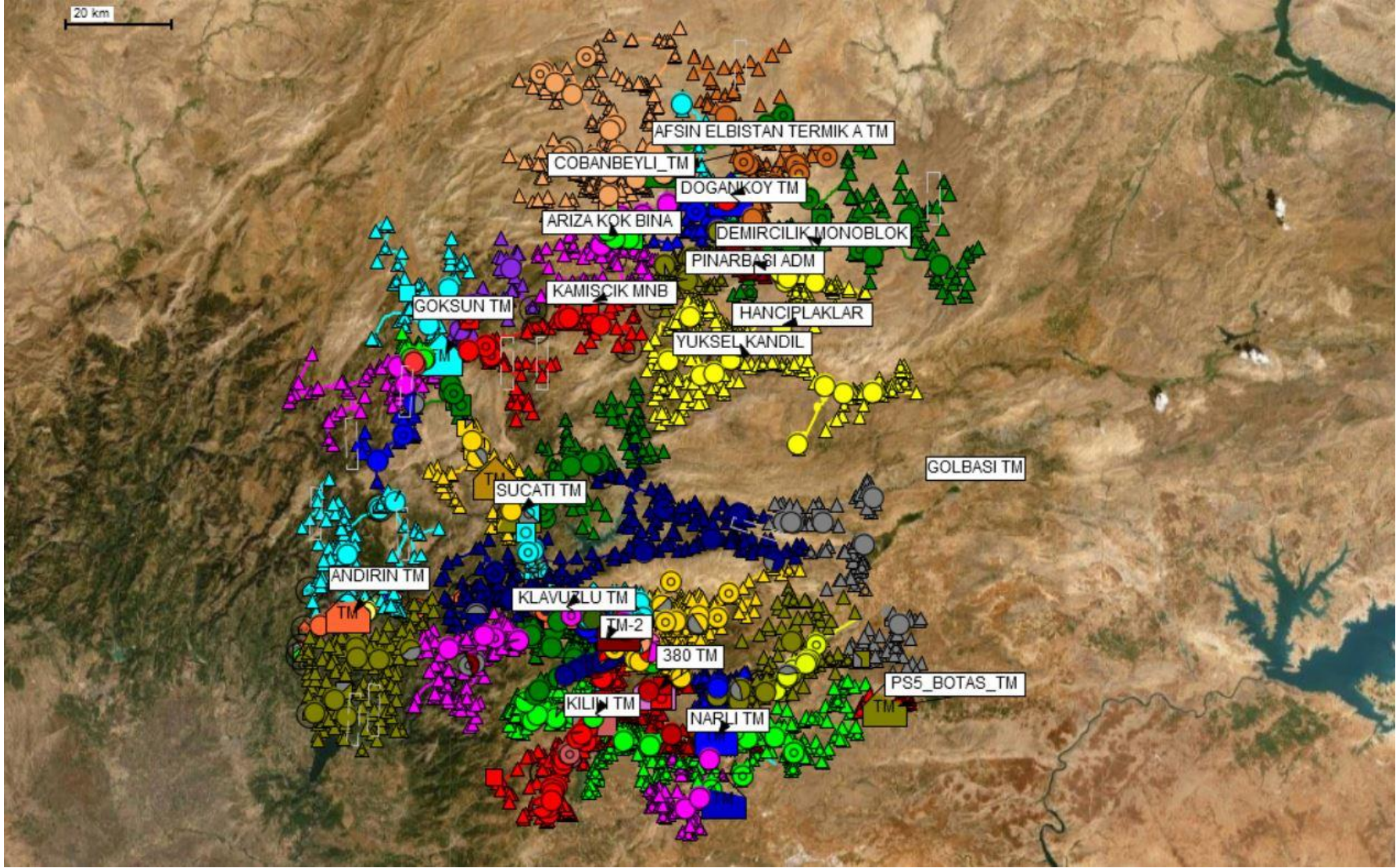
Bu şartların haricinde, tezde pilot fiderler belirlenirken, fider üzerinde önemli yüklerin (hastane gibi) olması da bir kriter olarak göz önüne alınmıştır. Bunun sebebi, geniş çaplı bir şebeke kesintisi yaşanan acil bir durumda, öncelikli yüklere mikro fider uygulaması ile hızlı bir şekilde enerji verilmesidir.

Ayrıca, şebeke işletmecilerinin alışık olmadığı bir çalışma prensibi olması nedeniyle izole ada modunda işletmecilerin güvenliği de önemlidir. Zira, izole ada prensibinde çalışacak olan fiderin Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) merkezindeki kesicisi ve/veya fider üzerindeki dağıtım merkezlerindeki bazı kesiciler açılmak suretiyle izole ada oluşturulacak olup, bu kesicilerin açık olması fider üzerinde enerji olmadığı anlamına gelmeyecektir.

Son olarak, fider üzerindeki koruma sisteminin, izole-ada koşullarında da sağlıklı bir şekilde çalıştığı kontrol edilmeli ve gerekirse koruma koordinasyonunda gerekli ayarlamaların yapılması gerekir.

### **3.4.3. AKEDAŞ Elektrik Dağıtım Sisteminde Pilot Fiderlerin Seçimi**

Tezin bu bölümünde, AKEDAŞ dağıtım sisteminde izole ada çalışmasına en uygun pilot fiderlerin belirlenmesi kapsamında yapılan çalışmalar açıklanmıştır. Pilot fiderlerin belirlenmesi kapsamında ilk olarak, CBS (Coğrafi Bilgi sistemi) –Digsilent PowerFactory (PF) entegrasyonu çalışmasında kullanılan 2018 ve 2020 Kahramanmaraş dağıtım şebekesi modelleri detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 3.6). Bu incelemeler sonucunda, Çizelge 3.1'de belirtilen potansiyel pilot fiderlere odaklanılmıştır. Bu fiderlerin tek hat şemaları Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmektedir.

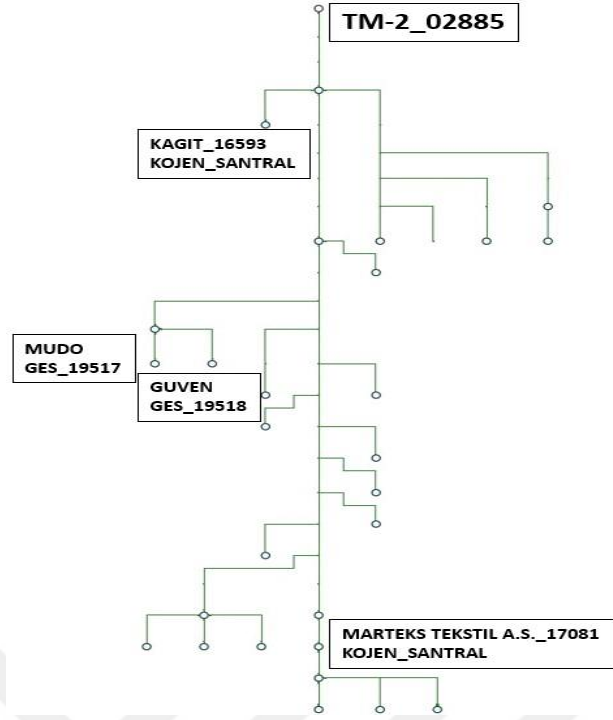


Şekil 3.6. AKEDAŞ Kahramanmaraş Şebekesinin Coğrafi Tabanlı DigSilent Power Factory Modeli

**Çizelge 3.1.** İzole-Ada Besleme İçin İncelenen Potansiyel Pilot Fiderler

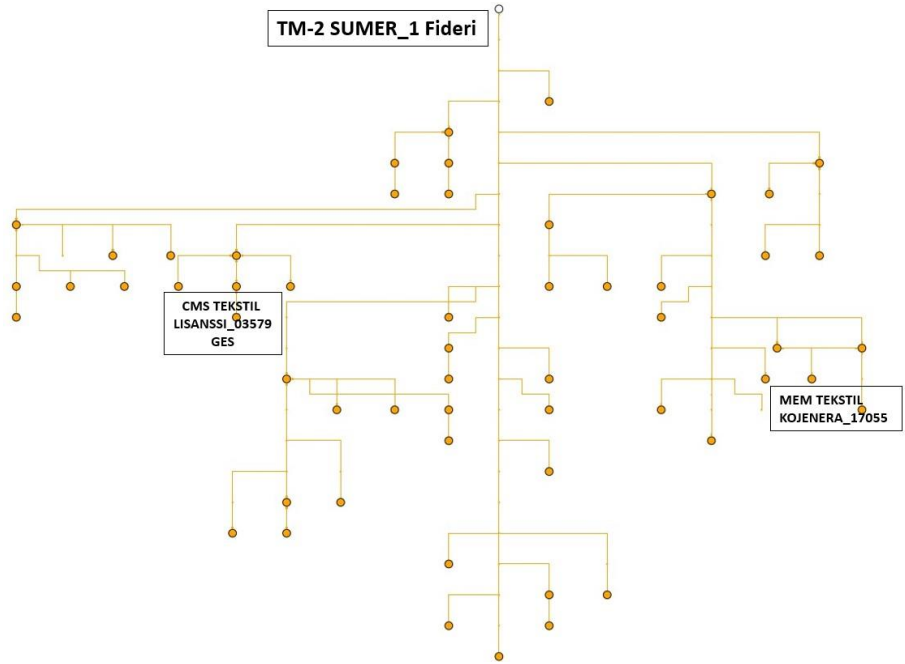
<b>Trafo Merkezi</b>	<b>Fider</b>	<b>Santral</b>
TM-2	Sümer-2 Fideri	KMK Kojen
TM-2	Sümer-2 Fideri	Marteks Kojen
TM-2	Sümer-2 Fideri	Mudo Ges
TM-2	Sümer-2 Fideri	Güven Ges
TM-2	Sümer-1 Fideri	Mem Tekstil Kojen
TM-2	Sümer-1 Fideri	ÇMS Tekstil Ges
380 TM	Sanayi Fideri	Dokuboy Kojen
380 TM	Sanayi Fideri	Tekas Tekstil Kojen
380 TM	Sanayi Fideri	Arıkan Kojen
SUÇATI TM	F12 Süleymanlı Fideri	Kozak Hes
SUÇATI TM	F12 Süleymanlı Fideri	Süleymanlı Hes
SUÇATI TM	F12 Süleymanlı Fideri	Kavaklı Ges
SUÇATI TM	F12 Süleymanlı Fideri	YST Ges
SUÇATI TM	F12 Süleymanlı Fideri	ZHT Ges
KILAVUZLU TM	F13 Suçatıhes Fideri	Suçatı Ere Hes
KILAVUZLU TM	F13 Suçatıhes Fideri	Öztürk Enerji Kojen
KILAVUZLU TM	F13 Suçatıhes Fideri	HMT Ges
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Koyobaşı Hes
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Yüksel 1 Ges
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Marsolar Ges
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Astürk Ges
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Artı Solar Ges
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Yüksel 2 Ges
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Kaynar Ges
GÖKSUN TM	F2 Elbistan Çardak Fideri	Berit Enerji Ges
GÖKSUN TM	F8 Kanlıkavak Fideri	Asmar Ges

Şekil 3.7' de Kahramanmaraş TM-2 merkezinden çıkan eski adı ile Sümer-2 yeni adı ile Maraş Kağıt fideri görülmektedir. Maraş kağıt fiderinde; 11 MW gücünde Kahramanmaraş Kağıt işletmesine ait kömürlü sistem kojenerasyon, 1000 kVA gücünde Mudo GES, 1000 kVA gücünde Güven GES ve 4,3 MW gücünde Marteks Tekstil işletmesine ait doğalgazlı sistem kojenerasyon bulunmaktadır.



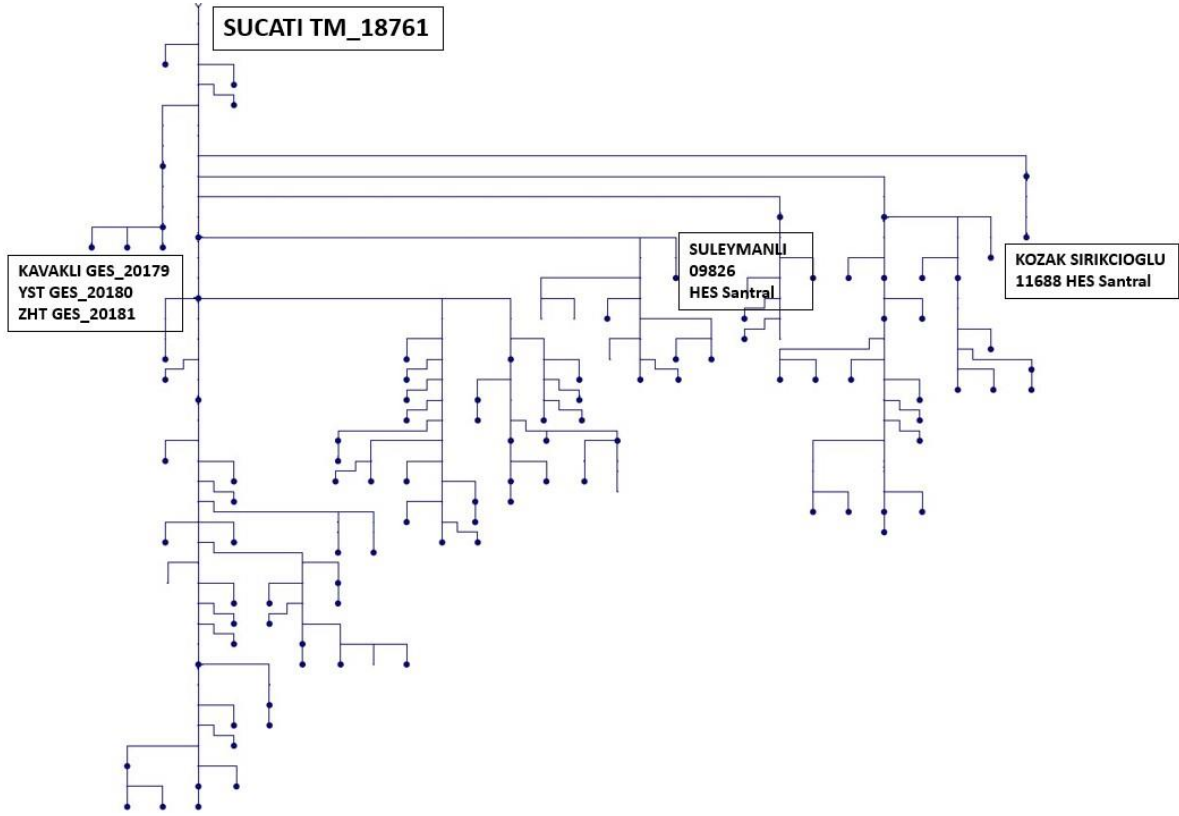
Şekil 3.7. TM-2 Sümer-2 (Maraş Kağıt) Fideri

Şekil 3.8’ de Kahramanmaraş TM-2 merkezinden çıkan eski adı ile Sümer-1 yeni adı ile Memteks fideri görülmektedir. Memteks fiderinde; 4,3 MW gücünde MEM Tekstil işletmesine ait doğalgazlı sistem kojenerasyon ve 500 kVA gücünde ÇMS GES bulunmaktadır.



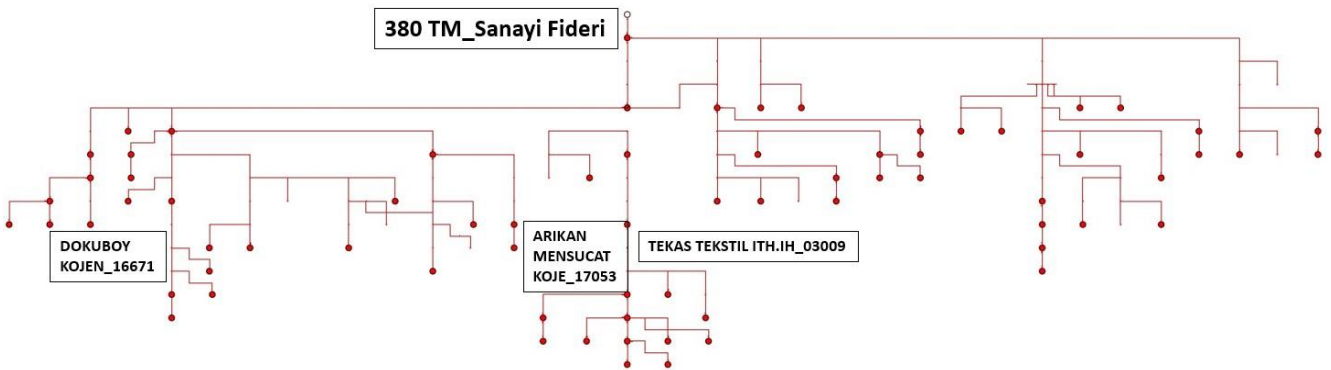
Şekil 3.8. TM-2 Sümer-1 (Memteks) Fideri

Şekil 3.9’ da Suçatı TM merkezinden çıkan Süleymanlı fideri görülmektedir. Süleymanlı fiderinde; 1250 kVA gücünde Kavaklı GES, 1250 kVA gücünde YST GES, 1250 kVA gücünde ZHT GES, 4,6 mVA gücünde Süleymanlı hidroelektrik santrali ve 4,5 mVA gücünde Kozak Şirikçioğlu hidroelektrik santrali bulunmaktadır.



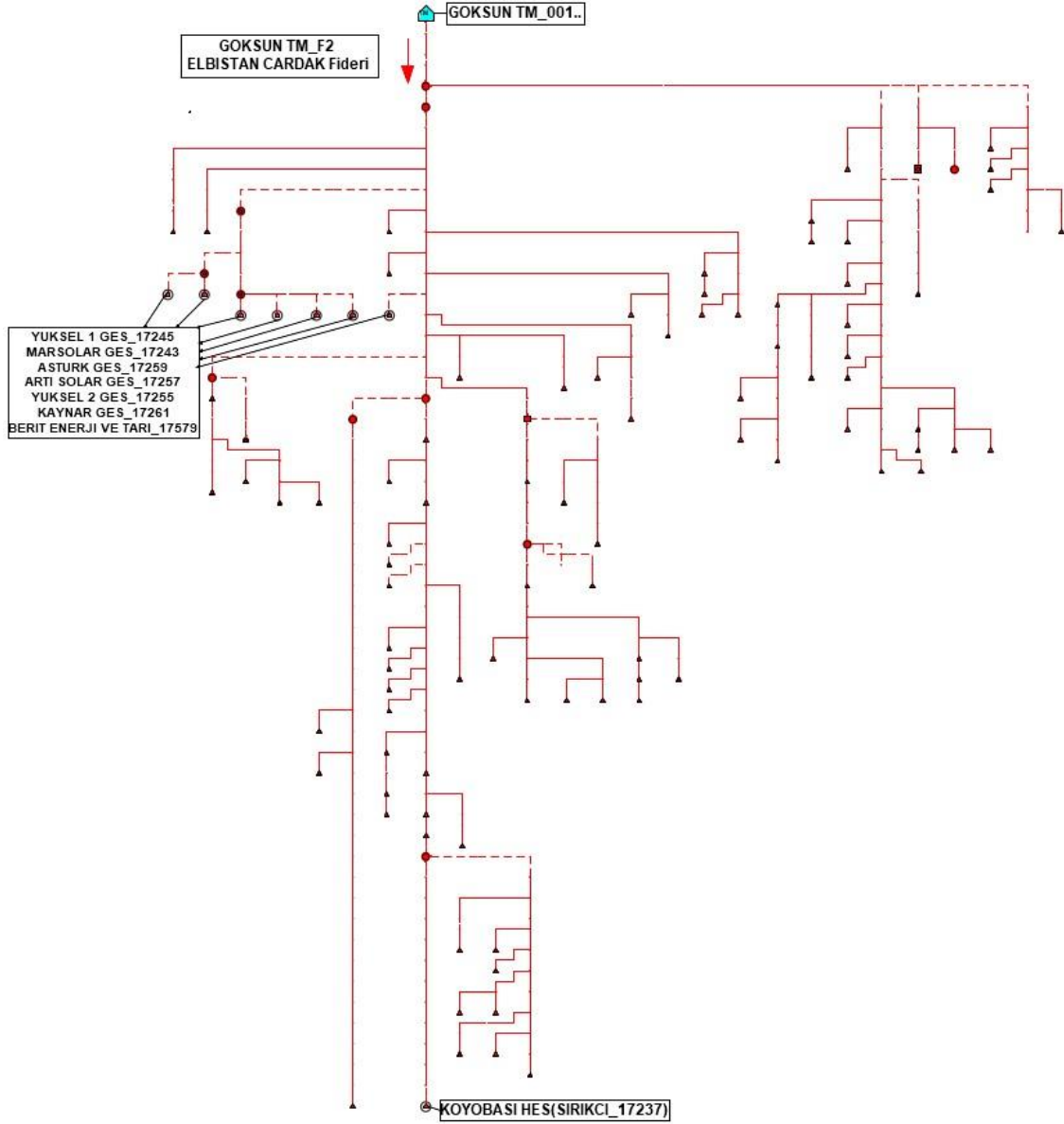
Şekil 3.9. Suçatı TM Süleymanlı Fideri

Şekil 3.10’ da 380 TM merkezinden çıkan Sanayi fideri görülmektedir. Sanayi fiderinde; 4,3 MW gücünde Dokuboy Tekstil işletmesine ait doğalgazlı sistem kojenerasyon, 9 MW gücünde Arıkan Tekstil işletmesine ait doğalgazlı kojenerasyon ve 800 kVA gücünde Tekas Tekstil işletmesine ait doğalgazlı kojenerasyon bulunmaktadır.



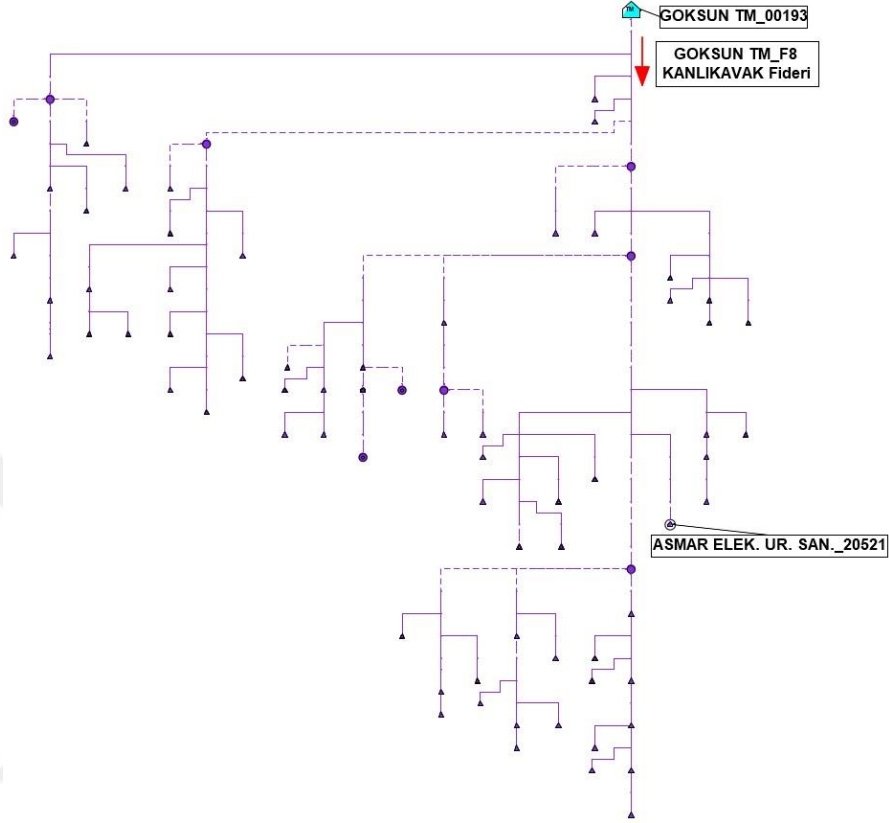
Şekil 3.10. 380 TM Sanayi Fideri

Şekil 3.11’de Göksun TM merkezinden çıkan Elbistan Çardak fideri görülmektedir. Elbistan Çardak fiderinde; 1250 kVA gücünde Yüksel-1 GES, 1250 kVA gücünde Marsolar GES, 1250 kVA gücünde Astürk GES, 1250 kVA gücünde Artı Solar GES, 1250 kVA gücünde Yüksel-2 GES, 1250 kVA gücünde Kaynar GES, 400 kVA gücünde Berit GES ve 4,6 mVA gücünde Süleymanlı hidroelektrik santrali ve 1,25 mVA gücünde Koyobaşı Şirikçi hidroelektrik santrali bulunmaktadır.



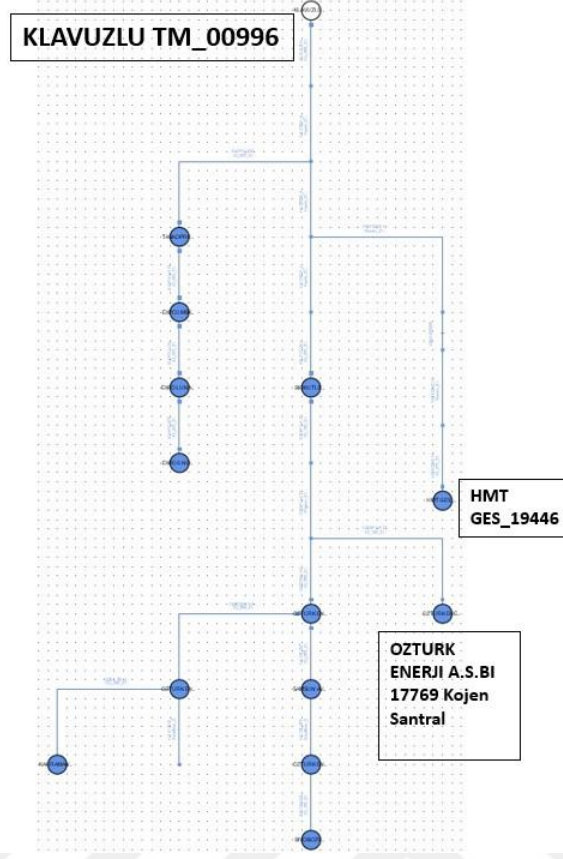
Şekil 3.11. Göksun TM Elbistan Çardak Fideri

Şekil 3.12’de Göksun TM merkezinden çıkan Kanlıkavak fideri görülmektedir. Kanlıkavak fiderinde; 2 adet 2,25 MW gücünde Asmar Elektrik işletmesine ait doğalgazlı sistem kojenerasyon bulunmaktadır.



**Şekil 3.12.** Göksun TM Kanlıkavak Fideri

Şekil 3.13’te Kılavuzlu TM merkezinden çıkan Suçatı fideri görülmektedir. Suçatı fiderinde; 400 kVA gücünde HMT GES, ve 4,88 mVA gücünde Öztürk Enerji işletmesine ait doğalgazlı sistem kojenerasyon bulunmaktadır.



**Şekil 3.13.** Kılavuzlu TM Suçatı HES Fideri

Bu potansiyel fiderler üzerinde yapılan detaylı incelemeler sonucunda;

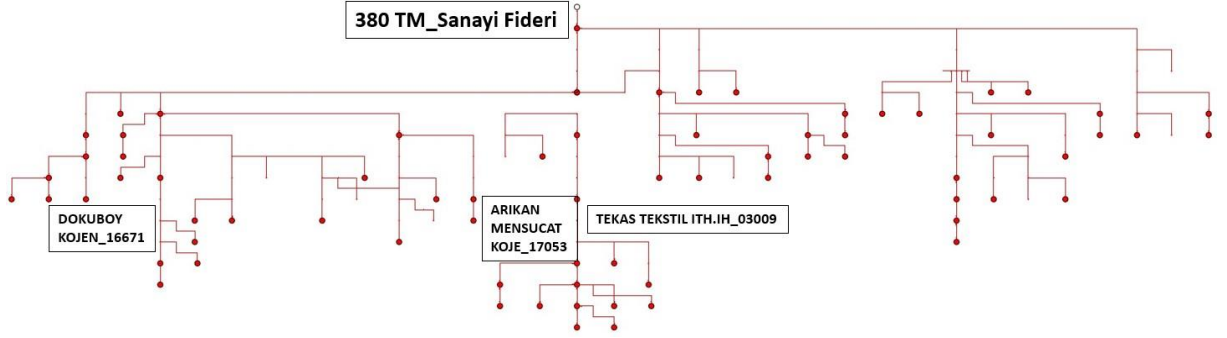
1. Şebeke toparlanma (black start) özellikli santral olması,
2. Orta gerilim şebekede izole ada oluşturmak için gerekli manevra imkanı olması,
3. Kritik yüklerin bulunması koşullarını sağlayan aşağıdaki fiderler ön plana çıkmıştır.

Bu kapsamda, aşağıdaki fiderler ön plana çıkmıştır.

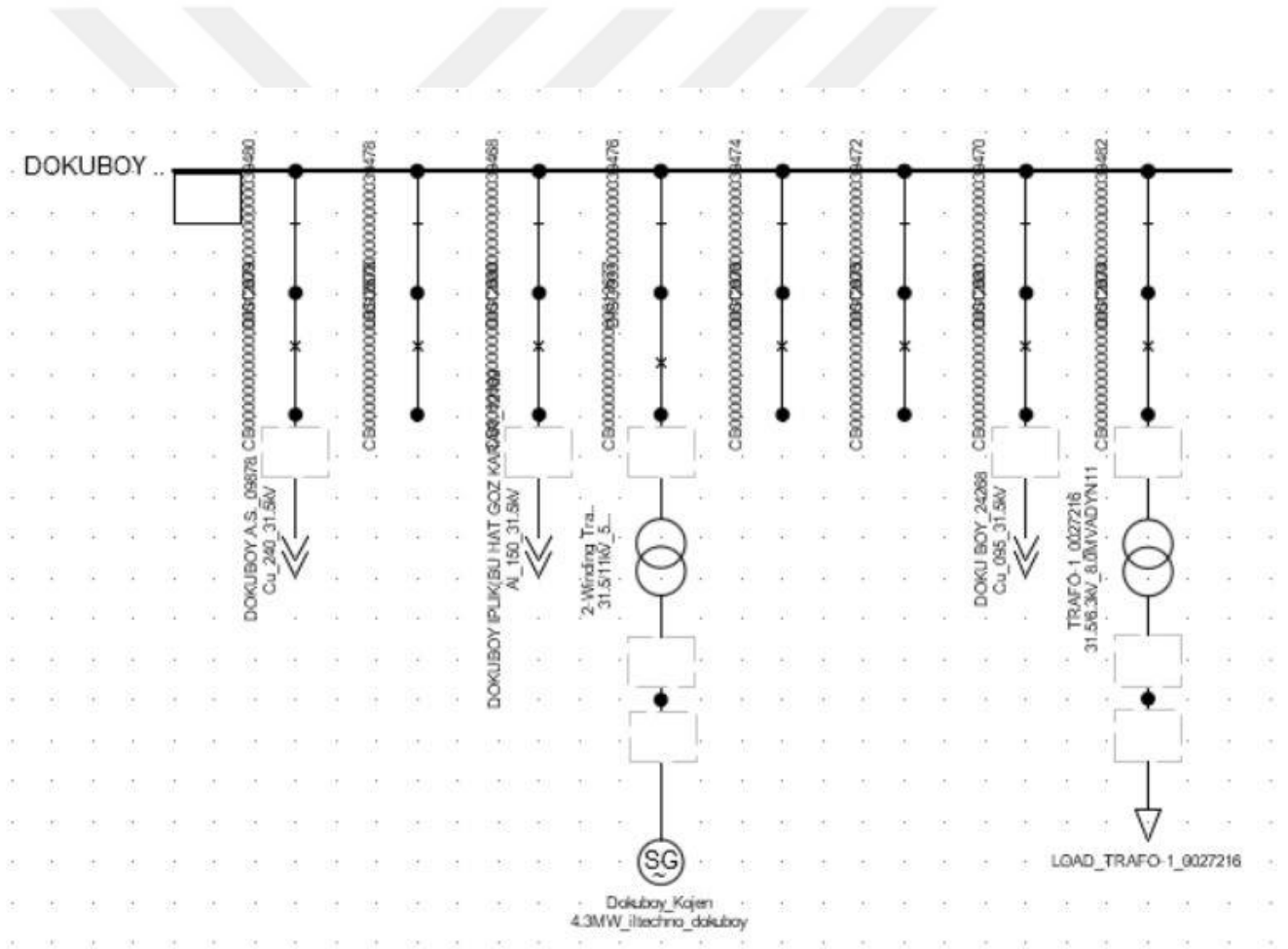
- Sanayi Fideri (380 TM) - Şebeke toparlanma (black start) özellikli santral olması açısından;
- Sanayi Fideri (380 TM) - Kritik yükler açısından (Kahramanmaraş şehir hastanesi ve AFAD);
- Sanayi Fideri (380 TM) - Senkron generatör içeren santral içermesi;

Sanayi (380 TM) fideri üzerinde bulunan Dokuboy santraline ait dâhili tek hat şeması Şekil 3.14'te gösterilmektedir. Şekil 3.15'te görüleceği üzere, Dokuboy Kojen santralindeki generatör transfer anahtarları sayesinde dizel generatör grubu üzerinden ikaz ve iç ihtiyaç temin edilerek santral şebeke toparlanması (black-start) yapabilir. Genellikle senkron generatörler black start işlemi için kapasitelerinin %0,5-2'sine ihtiyaç duyarlar. 4,3

MW'lık Dokuboy Kojen santrali 0,2 MVA'lık bir dizel generatöre sahiptir ve bu durum santralin black start kabiliyetinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.14. Simülasyonlar İle Detaylı Bir Şekilde İncelenecek Olan Pilot Fiderlerin Tekhat Şemaları



Şekil 3.15. Dokuboy Kojen Santraline Ait Dahili Tek Hat Şeması

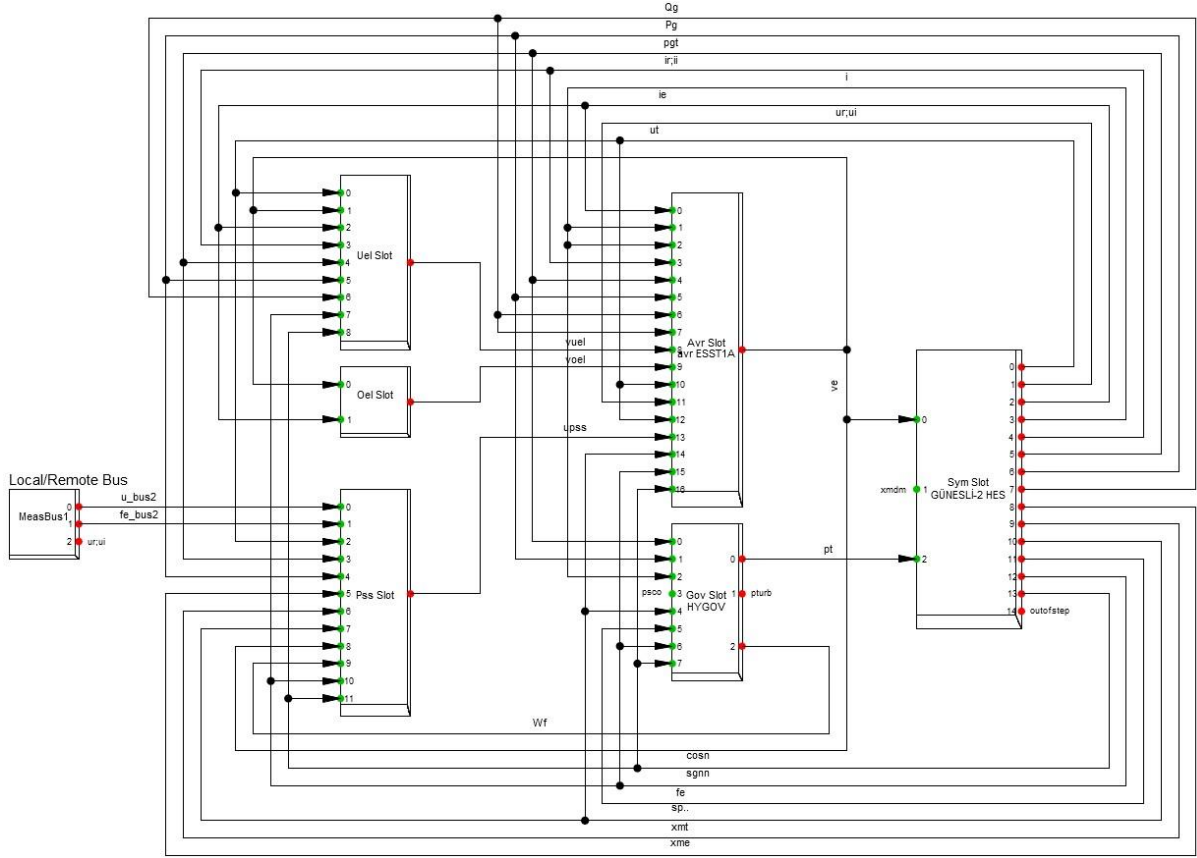
### 3.5. Tasarım ve Analiz Faaliyetleri Raporu

#### 3.5.1. Konvansiyonel Santral Dinamik Modellemesi

İzole ada (off-grid) çalışma koşulları şebekeye bağlı (on-grid) çalışma koşullarından önemli farklılıklar göstermektedir. Şebekeye bağlı çalışma koşullarında santralin temel şebeke parametrelerindeki (gerilim ve frekans) değişimlere verdiği tepkiler ile izole ada koşullarında verdiği tepkiler birbirinden farklıdır. Özellikle izole ada koşullarında, ünite tarafından beslenen adanın temel şebeke parametreleri (gerilim ve frekans) doğrudan ünitenin bu parametrelerdeki değişimlere verdiği dinamik tepkiye bağlı olur.

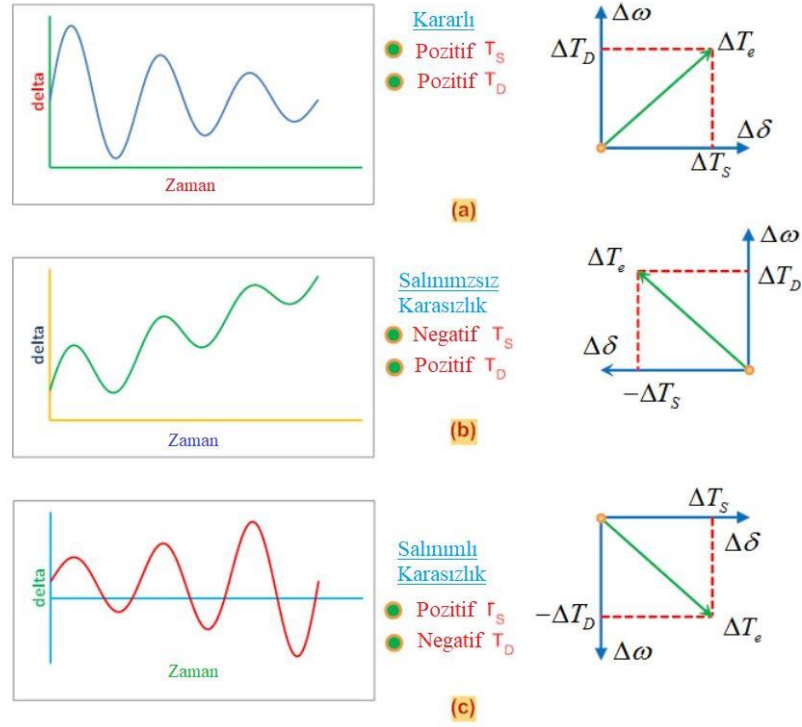
Tezin bu aşamasında, pilot bölge üzerindeki konvansiyonel santrallerin ada besleme koşullarındaki bu dinamik tepkimeleri bilgisayar simülasyonları ile analiz edilmiştir. Dinamik analizler konvansiyonel santrallerin genel karakteristiğini yansıtan jenerik modeller ile gerçekleştirilmiştir. Modelleme kapsamında, şebeke topolojisi, generatör, ikaz sistemi ve hız regülatörü – türbin modelleri oluşturulmuştur.

Analizlerde izole adanın besleneceği senkron generatörlerin dinamik bileşenleri (AVR-ikaz sistemi, Gov-hız regülatörü, PSS-güç sistemi dengeleyicisi gibi) ve bu bileşenlerin birbirleri ile ilişkilerini sağlayan DigSilent Power Factory yazılımında kompozit model olarak adlandırılan yapı modellenmiştir. Bu yapı, ikaz sistemi ve hız regülatörünün generatör ile hangi durum değişkenleri (state) üzerinde ilişkili olacağını modellemek için kullanılmaktadır. Generatörün ve kontrolcü blok şemalarının giriş çıkış parametrelerinin birbirleri ile ilişkili olarak çalışabildiği model olarak tanımlanabilir. Bu model üzerinde ikaz sistemi, türbin ve hız regülatörüne ek olarak güç sistemi dengeleyicisi (power system stabilizer, PSS) ve aşırı/düşük yük ikaz limitleyicileride modellenenilmektedir. Bahse konu ilişkilerinin tanımlandığı kompozit model Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Kompozit Model Blok Şeması

Generatörler, normal koşullarda otomatik gerilim regülatörü tarafından gerçekleştirilen çıkış verilerini düzenlemek için bazı geri bildirimlere ihtiyaç duymaktadır. Ancak, hat üzerinde oluşabilecek bir arıza veya yük alma/atma durumlarında sistem yeterince hızlı olmadığından rotor açılarında salınımlar yapmaya başlar. Bu durum generatörlerin senkronizasyon momenti ve sönümlenme momentlerinin miktarları ile şebekedeki salınımların kararlılığını göstermektedir. Yetersiz miktarda senkronizasyon momenti olduğunda, rotor açısında sürekli olarak artmalar, yetersiz miktarda sönümlenme momenti durumunda rotor açısı sürekli artan genlikle salınımlara maruz kaldığı gözlemlenir. Şekil 3.17 – (a)’da, senkronizasyon ve sönümlenme momentlerinin yeterli düzeyde olduğu ve generatöre olası bir darbe sonucunda salınımların küçülerek rotor açısının sabit değere geldiği örnek gösterilmektedir (a). Sönümlenme momenti yeterli ve senkronizasyon momenti yetersiz olduğu durumda, salınımlar sabit olarak rotor açısında monoton olarak artmalar gözlemlenmektedir (Şekil 3.17 – (b)). Şekil 3.17 – (c)’de, sönümlenme momentinin yetersiz olduğu ve senkronizasyon momentinin yeterli olduğunda yaşanan rotor açısı salınımı ve şebekenin kararsızlığını göstermektedir. Bu durum karşısında, generatörlerin ataletleri hesaba katılır ve geri beslemelerine güç sistemi sabitleyici (PSS) ile rotor açılarından kaynaklı frekans ve gerilim salınımlarının sönümlenmesi sağlanır [40].



**Şekil 3.17.** Senkron ve Sönümlenme Momentlerinin Şebekeye Etkisi [40]

Salınlı kararsızlık durumu (Oscillatory Instability) genellikle iletim şebekelerinde elektriksel mesafeleri ve empedansları yüksek olan iki bölge arasında görülmektedir. Mesafeler ne kadar yüksek ise olası bir darbe sonucunda şebekeler arasında oluşabilecek salınım riski okadar yüksektir. Fakat, dağıtım şebekelerindeki hat uzunlukları ve empedans değerleri düşük seviyelerde olmasından dolayı santraller arasındaki salınımlar birbirleri ile senkron ve sönümlenebilir düzeydedir. Bu sebepten dolayı dağıtım şebekelerinde salınlı kararsızlık durumu görülmemektedir ve PSS ihtiyacı bulunmamaktadır.

### 3.5.2. Generatör Modeli

Pilot bölge üzerindeki senkron makine tabanlı santrallere ait santral dökümanları incelenmiş ve senkron makine davranışlarının modellenmesi için kullanılan ve analizlerde IEEE standartlarını [41] referans alan standart model kullanılmıştır. Generatör modeli için gerekli parametreler genel olarak tasarım değerleri olmakla beraber, generatörün dinamik davranışını yansıtacağı değerlendirilmektedir. İlgili model Şekil 3.18’de sunulmuştur. Buna ek olarak, ünite trafolarının karakteristikleri ise santral dökümanlarından elde edilmiştir. Pilot bölge üzerindeki mevcut santrallerin verileri incelenmesi sonucunda, dinamik verileri mevcut olan santral verileri modele işlenmiştir. Fakat bazı santrallerin dinamik analiz verileri mevcut olmamasından dolayı eylemsizlik sabiti (inertia constant), zaman sabiti ve reaktans değerleri santral yapısına uygun değerler ile hesaplanmıştır.

Eylemsizlik sabiti, dönen bir nesnenin hareket durumlarını koruma eğilimi olarak tanımlanmaktadır. Senkron makinelerin karşılaşılabileceği olası bir darbe durumunda, türbinlerin dönen kütlelerinde toplanan kinetik enerji ihtiyaca göre (eksik/fazla güç durumlarında) generatöre gönderilmektedir. Bunun sonucunda, türbinler üzerinde bir yavaşlama/hızlanma gözlemlenmektedir. Dolayısıyla sistem frekansında artma/azalmalara yol açmaktadır. Generatörlerin bu durumlar karşısında oluşabilecek güç dengesizlikleri durumunun dengelenmesi eylemsizlik katsayısı, zaman sabiti ve reaktans değerleri ile sağlanmaktadır . Örnek olarak silindir tip bir türbinin eylemsizlik katsayısının matematiksel hesapması aşağıdaki gibi yapılmaktadır (I:Eylemsizlik katsayısı, m:kütle, r:yarıçap, h:yükseklik) [42].

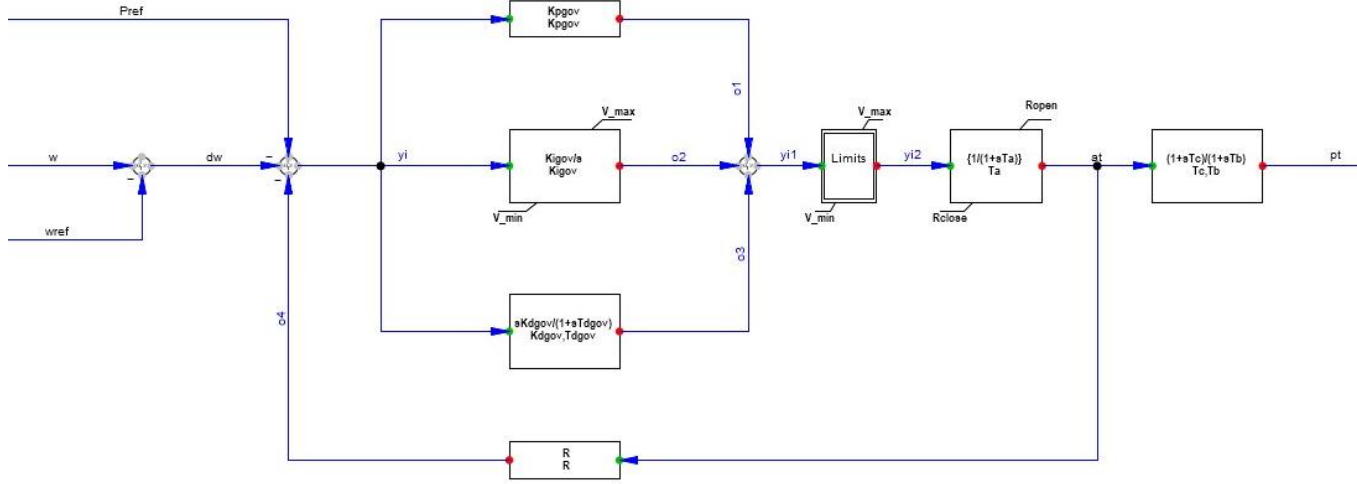
$$I = \frac{1}{2} m(3r^2 + h^2) \quad (3.1)$$

Senkron Makine Tipi - Equipment Type Library\GEN\_TYPES\4.3MW\_iltechno\_dokuboy.TypSym

Temel Veriler	Genel	Sıfır/Negatif Bileşen Verisi	Doyma	Sönümlenme	Gelişmiş
Tanım	Model	Standart	Girdiler	Kısa-Devre verisi	
Versiyon	*Detaylı model 2.1 (d-ekseninde alan ve bir sönümlenme sargısı, ve q-ekseninde bir sönümlenme sargısı)				
Yük Akışı	Atalet				
Kısa-Devre VDE/IEC	Girdi Modu	Atalet Sabiti H (Sgn'ye göre)			
Kısa-Devre Gerçek	Atalet Sabiti H (Sgn'ye göre)	1,67 s			
Kısa-Devre ANSI	Stator parametreleri		Senkron Reaktans		
Kısa-Devre IEC 61363	rstr	0, p.u.	x <sub>d</sub>	1,014 p.u.	
Kısa-Devre DC	x <sub>l</sub>	0,1 p.u.	x <sub>q</sub>	0,77 p.u.	
Simülasyon RMS	Rotor Türü		Rotor karşılıklı reaktansları		
Simülasyon EMT	<input checked="" type="radio"/> Şalient Pole		x <sub>rd</sub>	0, p.u.	
Koruma	<input type="radio"/> Round Rotor		x <sub>rq</sub>	0, p.u.	
Güç Kalitesi/Harmonikler	Geçici Rejim Zaman Sabiti		Geçici Reaktans		
Güvenilirlik	Td0'	6,55 s	x <sub>d</sub> '	0,314 p.u.	
Bağlantı Kapasitesi Analizi	Ara-Geçici Rejim Zaman Sabiti		Ara-Geçici Rejim Reaktanslar		
Optimal Güç Akışı	Td0''	0,039 s	x <sub>d</sub> ''	0,28 p.u.	
	Tq0''	0,071 s	x <sub>q</sub> ''	0,375 p.u.	

Şekil 3.18. Dinamik Simülasyonlar İçin Generatör RMS Parametreleri





**Şekil 3.20.** Hız Regülatörü – Gov\_General – Generalised Turbine Governor [41]

Elektrik şebekelerinde en yaygın kullanılan frekans aralığı 50 Hz (Avrupa ve Asya) ve 60 Hz (Kuzey Amerika) seviyeleridir. 50 Hz seviyelerinde çalışan elektrik sistemlerindeki frekans değişim aralığı 47,5 – 51,5 Hz olarak kabul edilmektedir (Ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir). Frekans kararlı tutabilmek için günümüzde birincil, ikincil ve üçüncül kontrol olarak 3 yöntem bulunmaktadır. Birincil frekans kontrolü, diğer frekans kontrolleri içerisinde en hızlı olanıdır ve frekans değişimi sonrası birkaç saniye içerisinde hız regülatörü aracılığı ile tepki verebilir. Üretim santrallerine olası darbe (yük alma/atma, kısa devre v.b.) sonucunda frekans değerini kararlı seviyeye getirmek için görevlidir. İkincil frekans kontrolü, birincil frekans kontrolünde yaşanan frekans sapmasını integral kontrolü ile santrallerin operasyonel aktif güç üretimlerini arttırarak nominal değere (50 Hz) getirir (Pmax'i aşmamak şartı ile). Son olarak üçüncül frekans kontrolü, frekans nominal değerlere getirebilmek için generatörün mevcut güç rezervlerinde yapılan değişim ile frekans kontrol etmektedir. Bu 3 frekans kontrolü, büyük iletim şebekelerinde ve gerekli koşulların sağlandığı dağıtım şebekelerinde her koşulda yapılarak frekans değeri nominal değere gerilebilmektedir. Fakat izole ada şebekelerinde esas olan, frekans değerini kabul edilebilir aralıkta tutmaktır [43,44].

### 3.5.5. Kontrolcü Ayar Değerleri

Tez kapsamında gerçekleştirilen dinamik analizlerde konvansiyonel santrallere ait veriler ile oluşturulan matematiksel modele, ikaz sistemi ile hız regülatörü ve türbin modeli eklenmiştir. Bu kontrolcüler için simülasyon çalışmaları sırasında kullanılan IEEE standart modelleri [41] aşağıda verilmiştir:

- İkaz sistemi modeli: IEEE Type IEEET1

- Hız regülatörü: IEEE gov\_General

Her iki modele ait kontrolcü parametreleri belirlenirken konvansiyonel santralleri;

- Generatör karakteristikleri,
- Döner kütle ataleti,
- Türbin karakteristiği,
- Santral tipi

Göz önüne alınmıştır. Bu parametreler belirlenirken, santralin izole ada koşullarında kararlı şekilde üretime devam edebilmesi en önemli kısıt olarak tanımlanmıştır. İlgili kontrolcülere ait ayar değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** İkaz Sistemi Analizlerde Öngörülen Parametreler [41]

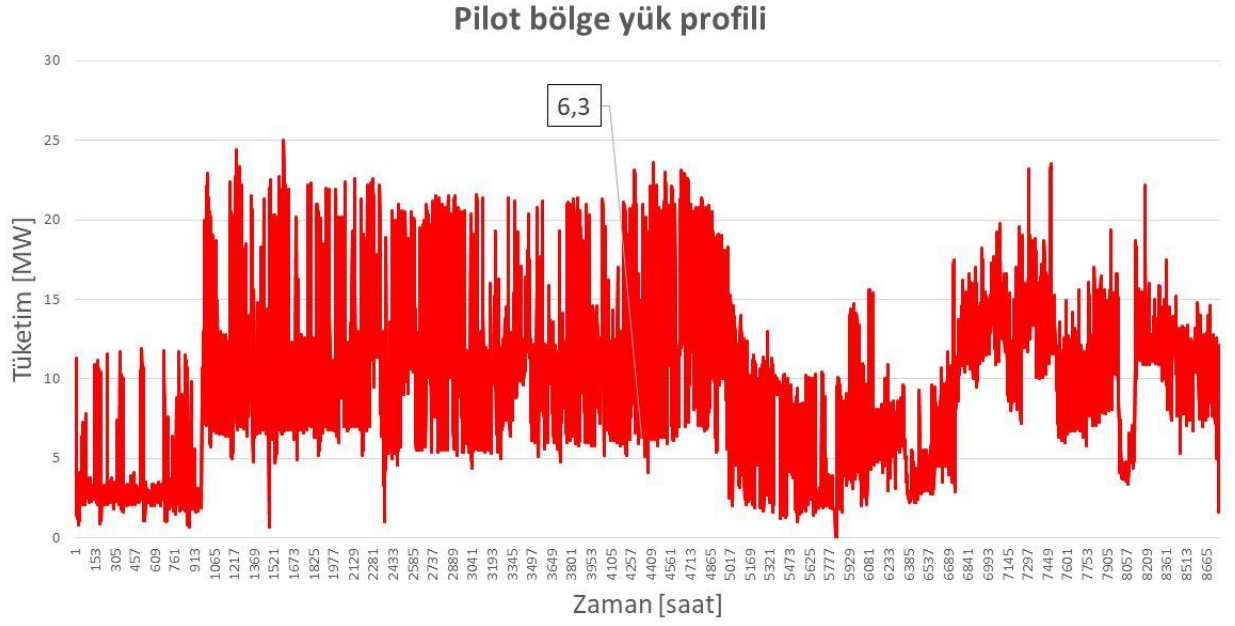
<b>Hız Regülatörü (gov_General)</b>	
R kalıcı düşüş [p.u.]	0.04
Kpgov Regülatör orantılı kazanç	10
Kigov Regülatörsi integral kazancı	2
Kidgov Governor türev kazancı	0
Tdgv Regülatör türev denetleyicisi zaman sabiti [s]	1
Ta Regülatör zaman sabiti [s]	0.4
Tc Türbin sağlama süresi sabiti [s]	0
Tb Türbin gecikme süresi sabiti [s]	0.1
V_min Minimum valf konumu [p.u.]	-1
Rclose Maksimum valf kapatma hızı [p.u./s]	-99
V_max Maksimum valf konumu [p.u.]	1
Halat Maksimum valf açma hızı [p.u./s]	0.1

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

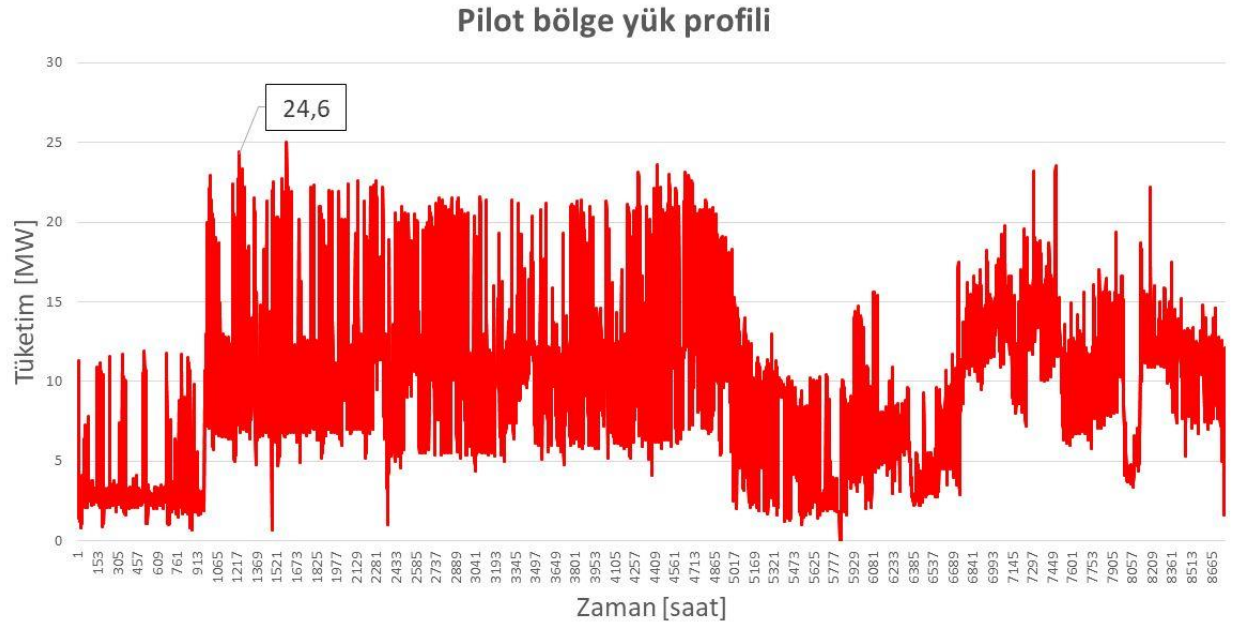
### 4.1. Dinamik Analizler

Elektrik iletiminde ve dağıtım sisteminde üretim noktası ile tüketici arasındaki aktif ve reaktif güç dengesinin korunması gerekmektedir. Bu denge, frekans ve gerilim seviyesi kontrol edilerek sağlanmaktadır. İzole ada modunda iken şebeke yükünde meydana gelecek değişikliklerde sistem frekansı ve gerilim değişir. Frekans yüksek oranda aktif güç değişimlerine, gerilim ise yüksek oranda reaktif güç değişimlerine bağlıdır. Tez kapsamında öncelikli olarak literatürde yapılan araştırmalar ve mevcut uygulamaların incelenmesi ile AKEDAŞ bölgesinde izole ada olarak çalışabilecek pilot bölge seçimi gerçekleştirilmiştir. İzole ada üzerindeki pilot bölge, yerel generatörler tarafından tamamen/kısmen tedarik edilen belirli bir miktar yük ve manevra amacıyla bazı anahtarlama noktaları gibi belirli sayıda kontrol edilebilir üretim santrallerinin bulunduğu bölge olarak tanımlanmaktadır. Pilot bölge seçimi sonrasında bu bölge üzerindeki konvansiyonel santrallere saha ziyaretleri düzenlenmiş ve santral görevlileri ile yapılan toplantılarda santrallerin özellikleri ve yetenekleri hakkında bilgiler edinilmiştir. Bu bilgi birikimi ve santrallerden temin edilen veriler ile gerçekleştirilecek olan analizler için şebeke modeli hazır hale getirilmiştir.

Gerçekleştirilen dinamik analizlerde; öncelikli olarak minimum ve maksimum yüklenme koşullarında izole ada santrallerin devreye alınması ve yüklerin devreye alınması incelenmiştir. Minimum ve maksimum yüklenme koşulları, pilot bölge modeli üzerine işlenen fiderlerin 1 yıllık tüketim profilleri incelenerek tespit edilmiştir(Şekil 4.1 ve 4.2). Ayrıca bu koşullarda yaşanabilecek olası ani yük değişimleri ve kısa devre koşulları detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan senaryolara ait detaylar aşağıda alt başlıklar altında açıklanmıştır.



**Şekil 4.1.** Minimum Yüklenme Koşullarında 380 TM Sanayi Fideri Yük Profili

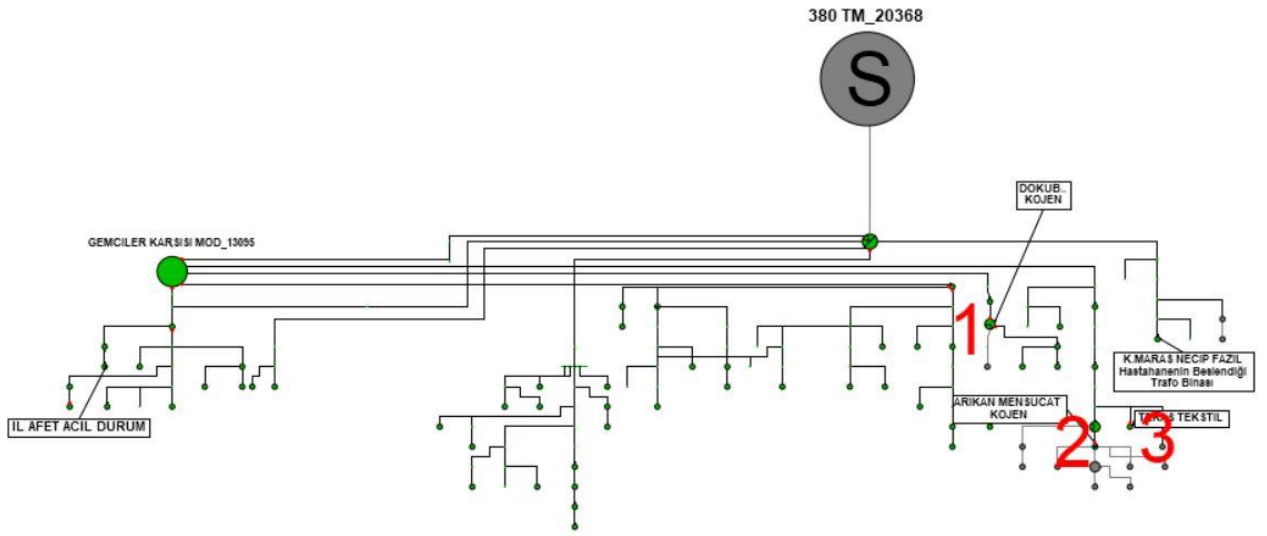


**Şekil 4.2.** Maksimum Yüklenme Koşullarında 380 TM Sanayi Fideri Yük Profili

#### 4.1.1. Santrallerin İzole Ada Modunda Devreye Alınması ve İzole Ada Şebekesinde Yapılacak Manevralar ile Yükünün Arttırılması

Pilot bölge üzerinde gerçekleştirilen dinamik analizlerde, bütün konvansiyonel santraller aktif yük paylaşım modunda (droop mod) çalışırken, izole adadaki şebekede yapılacak manevralar ile yüklenmesi sonrası, izole adanın aktif güç ve frekans değişimleri ve bu değişimlere santralin dinamik tepkileri incelenmiştir. Yüklenme analizlerinde Otomatik

Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) kayıtlarından alınan yıllık yük profilleri minimum ve maksimum yüklenme koşulları olmak üzere farklı senaryolarda incelenmiştir. Yapılan saha ziyaretlerinde edinilen tecrübe göz önünde bulundurularak dokuboy kojen santralının, sistem toparlanması (black start) bu santralde gerçekleştirilerek başlangıç noktası olarak belirlenmiştir. Sistem toparlanmasının ardından takip edilecek güzergah ile enerjilendirilecek kojen santraller sırası ile Şekil 4.3'te numaralandırılarak pilot bölge tek hat şemasında gösterilmektedir (1 - 3). Ayrıca Çizelge 4.1'de devreye alınan ve enerjilendirilen santraller olay numarası ile verilmiştir.



Şekil 4.3. Şebeke Modeli Üzerinde Santralleri Enerjilendirmek İçin Tanımlanan Olaylar

Çizelge 4.1. Santral Enerjilendirme Olay Çizelgesi

Olay Nr.	Gerçekleşen Olay	Devreye Alınan Merkez/Hat
1	Dokuboy kojen devreye alma (black start)	Santrali devreye alma
2	Arıkan kojen enerjilendirme	Gemciler MOD/AKSU 2_37586
3	Tekas kojen enerjilendirme	Gemciler MOD/AKSU 2_37586

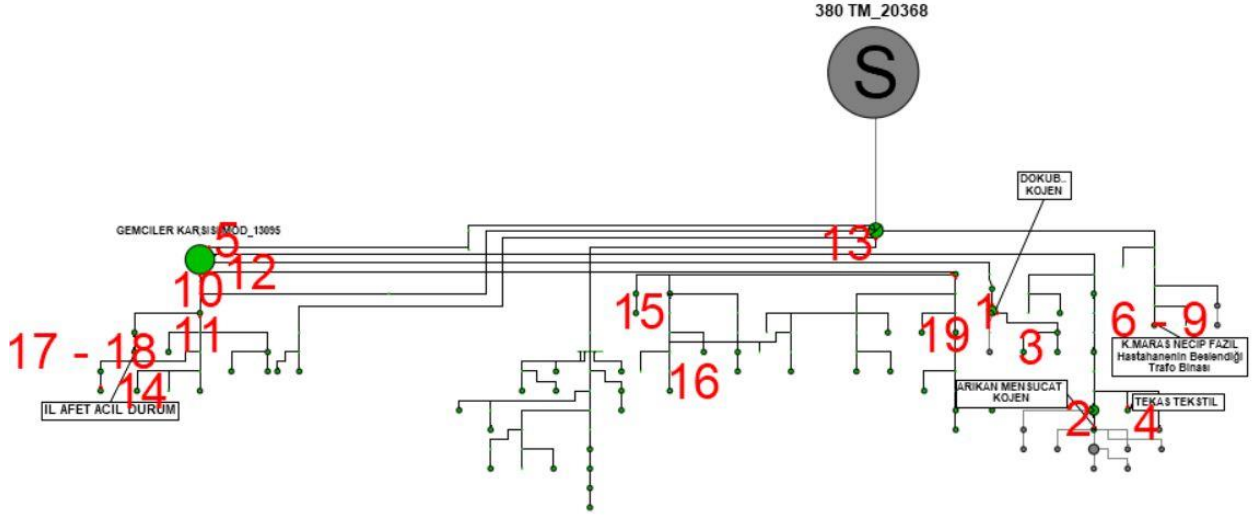
#### 4.1.2. Minimum Yüklenme Koşullarında Analizler

OSOS kayıtlarına göre bölgenin minimum yüklenmesinin Haziran ayında gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu dönemde minimum yüklenme koşullarında 19 aşamada gerçekleştirilen anahtarlama sonrası pilot bölge üzerindeki bütün konvansiyonel santraller izole ada modunda enerjilendirilmiş ve şebekenin 6,3 MW'lık bütün yükü bu mevcut santraller

tarafından kademeli olarak devreye alınarak enerji ihtiyacı büyük ölçüde karşılanmıştır. 19 aşamada gerçekleştirilen anahtarlama olayları şebeke modeli üzerinde Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Ayrıca, anahtarlama olayının gerçekleştirildiği ilgili hat, KÖK, DM, Çizelge 4.2'de verilmiştir.

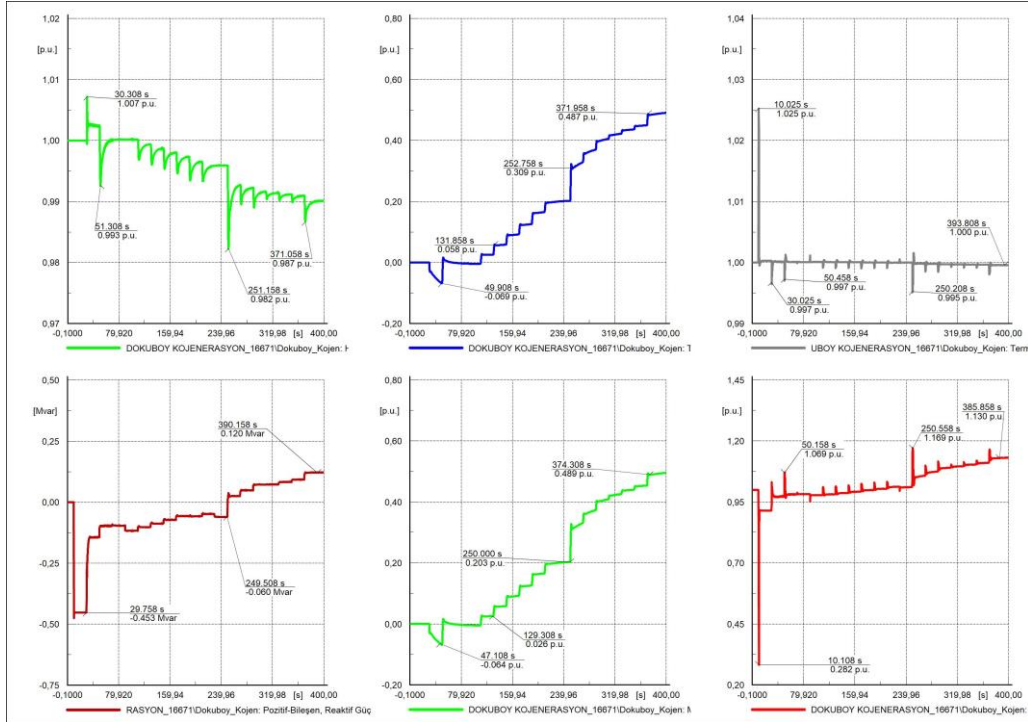
**Çizelge 4.2.** Minimum Yüklenme Koşullarında Gerçekleştirilen Olaylar

<b>Olay Sırası</b>	<b>Gerçekleşen Olay</b>	<b>Zaman</b>
1	Dokuboy_Devreye_Alma	10,
2	Arıkan_Enerjilendirme	30,
3	Dokuboy_Ic_Ihtiyac	50,
4	TEKAS_Enerjilendirme	70,
5	Hastahane_hattini_devreye_alma_gemciler	90,
6	Hastane_Trafo_Besleme_1	110,
7	Hastane_Trafo_Besleme_2	130,
8	Hastane_Trafo_Besleme_3	150,
9	Hastane_Trafo_Besleme_4	170,
10	AFAD_hattini_devreye_alma_gemciler	190,
11	EMPA_Un_EMPRA_cikisi	210,
12	GEMCILER KARSISI MOD_13095_BILKUR	230,
13	Hastahane_MOD_5A_Mado_cikisi	250,
14	KOTON_Besleme	270,
15	Bafa_Kılıç_Besleme	290,
16	Bilkur_Okul_Besleme	310,
17	EMPA_Tarım_1	330,
18	EMPA_Tarım_2	350,
19	Sulamar_Çıkış_Besleme	370,



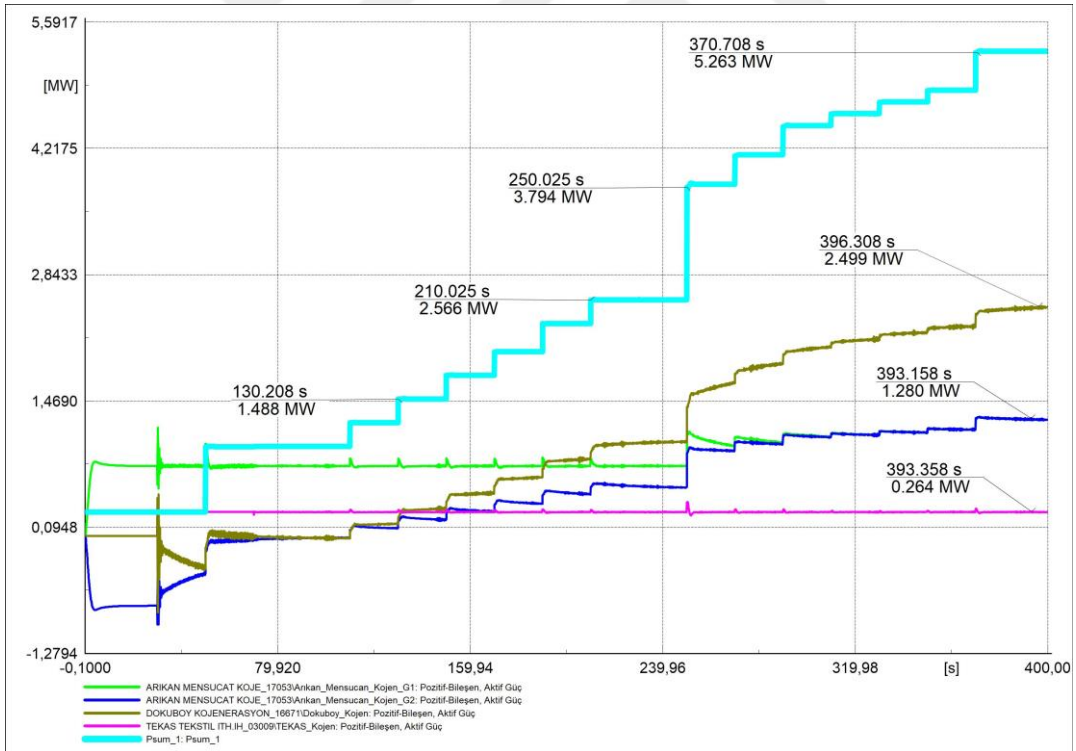
**Şekil 4.4.** Minimum Yüklenme Koşullarında Şebeke Modeli Üzerinde Tanımlanan Olaylar (Santral Ve Yük Devreye Alma)

Sistem toparlama üretim santrali olan Dokuboy kojenerasyon santralinin izole ada modundaki çıkış gücünde ve frekansındaki değişimler Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Her bir anahtarlama sonrası enerjilendirilen üretim santralleri ve devreye alınan yük değişimleri nedeniyle hız regülatörü türbin gücünü ve mekaniksel momentini izole adanın ihtiyacına göre ayarlamaktadır. Ayrıca, şebeke terminal geriliminde oluşan salınımlar sönümlenerek limitler içerisinde kalmaktadır.

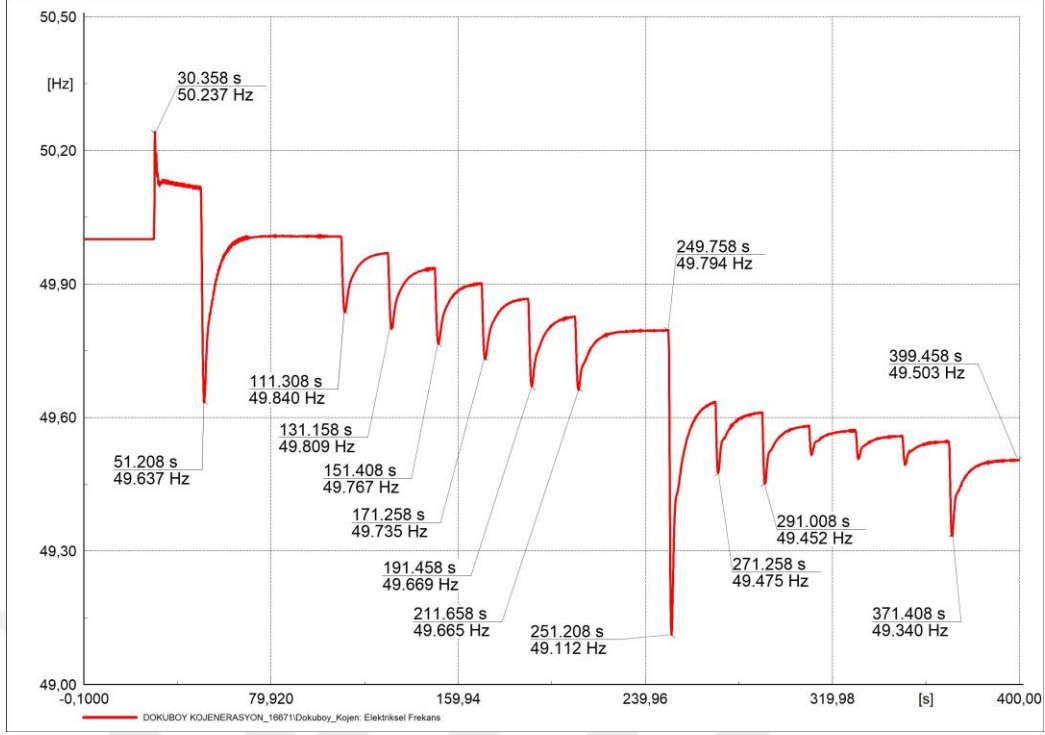


**Şekil 4.5.** Minimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Santral Çıkış Gücü Ve Terminal Gerilimindeki Değişimler

Şekil 4.6’da, pilot bölge üzerindeki üretim santrallerinin çıkış güçleri ve bütün santrallerin toplam çıkış gücü gösterilmektedir. Dokuboy kojen santrali sistem toparlanması ile devreye alınmasının ardından 0,616 MW’lık çıkış gücü üretmeye başlamaktadır. 70. saniyeye kadar bütün üretim santralleri sırası ile (Arıkan Mensucat1-2, TEKAS) devreye alınmaktadır. Santrallerin devreye alınması ile birlikte izole adanın toplam 6,3 MW’lık yükünün büyük kısmı konvansiyonel santraller (5,263 MW) tarafından beslediği görülmektedir. Üretim santrallerinin devreye alınmasının ardından şebekede öncelikli olarak Hastahane ve AFAD’ın gemciler üzerinden beslendiği hat devreye alınmıştır. Bununla beraber diğer mümkün olabilecek anahtarlamalar ile yükleri devreye alarak toplam izole adanın 6,3 MW’lık yükünün büyük kısmını üretim santralleri tarafından karşılanmıştır. Şekil 4.7’de, her bir yük alma sonrasında frekansta ani bir düşme yaşanmakta olup, santrallerin hız regülatörleri çıkış gücünü arttırarak frekansı tekrar belirli limitler aralığında kabul edilebilecek seviyelere getirmektedir. Minimum yüklenme koşullarında frekansın en fazla 49,112 Hz seviyesine düştüğü gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.6.** Minimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlamada Santral Aktif Gücü Değişimleri



**Şekil 4.7.** Minimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Frekanstaki Değişimler

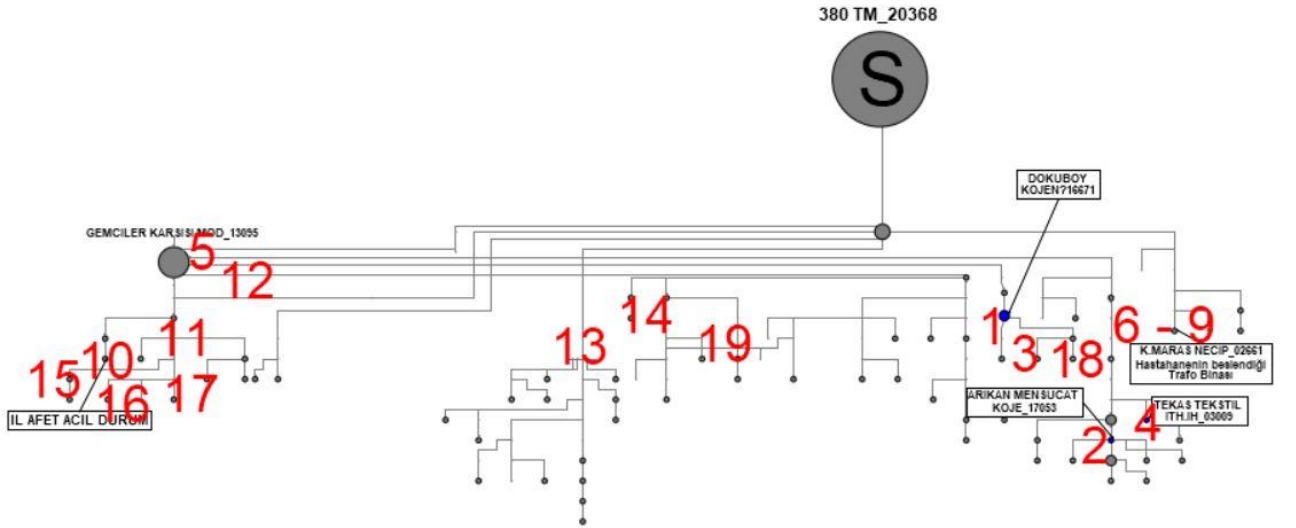
#### 4.1.3. Maksimum Yüklenme Koşullarında Analizler

OSOS kayıtlarına göre bölgenin maksimum yüklenmesinin Mart ayında gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu dönemde maksimum yüklenme koşullarında 19 aşamada gerçekleştirilen anahtarlama sonrasında pilot bölge üzerindeki konvansiyonel santraller izole ada modunda enerjilendirilmiş ve şebekenin 24,6 MW'lık yükünün 10,935 MW'ı santraller tarafından kademeli olarak devreye alınarak enerjilendirilmiştir. 19 aşamada gerçekleştirilen anahtarlama olayları şebeke modeli Şekil 4.8'de ve anahtarlama ile ilgili detaylar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu aşamalarda sistem toparlanması dokuboy kojen santralının izole ada modundaki çıkış gücü, mekanik moment, türbin hızı ve terminal gerilimindeki değişimler Şekil 4.9'da gösterilmektedir.

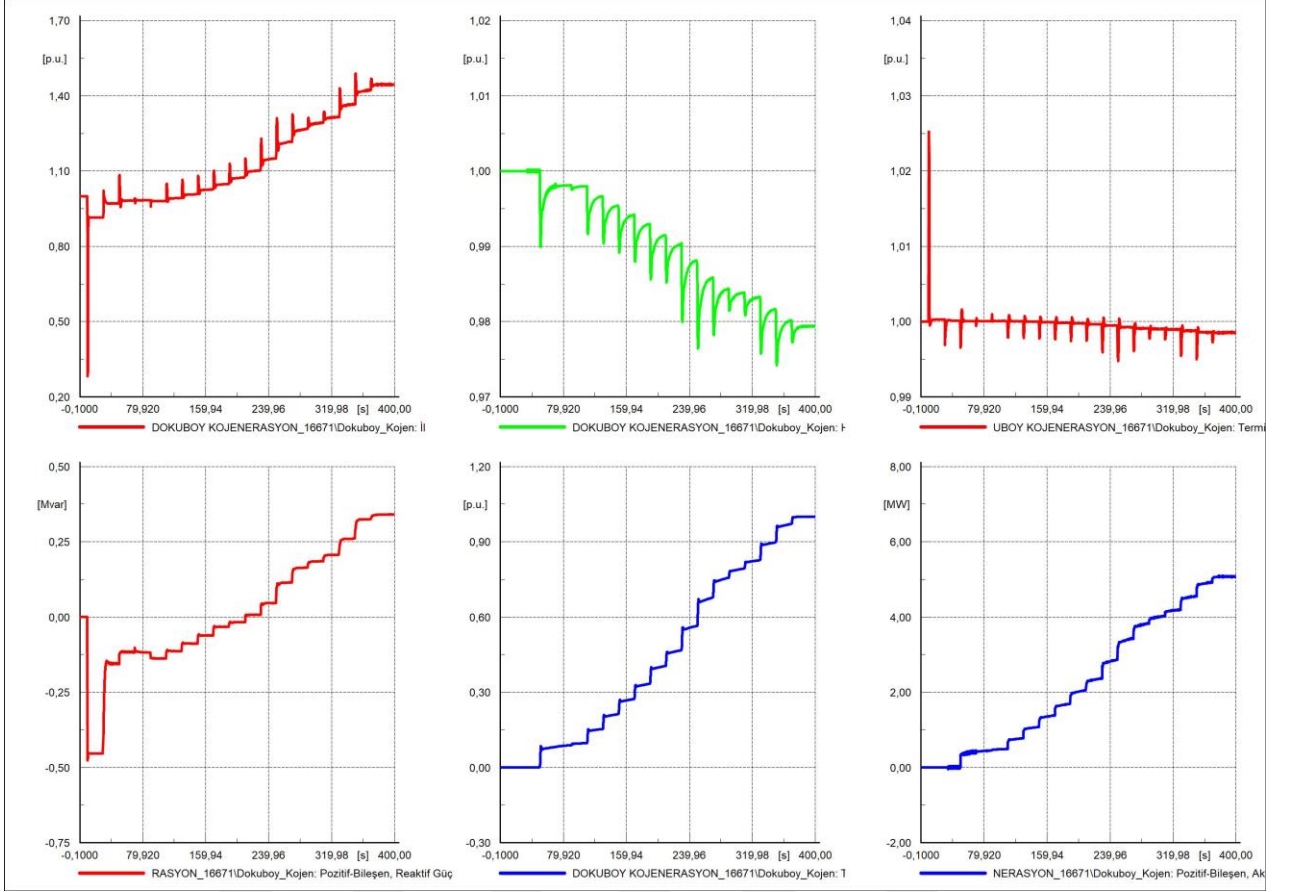
**Çizelge 4.3.** Maksimum Yüklenme Koşullarında Gerçekleştirilen Olaylar

Olay Sırası	Gerçekleşen Olay	Zaman
1	Dokuboy_Devreye_Alma	10
2	Arıkan_Enerjilendirme	30
3	Dokuboy_Ic_Ihtiyac_1	50
4	Tekas_Enerjilendirme	70

5	Hastahane_Hattini_Devreye_Alma_Gemciler	90
6	Hastane Besleme Hattı_1	110
7	Hastane Besleme Hattı_2	130
8	Hastane Besleme Hattı_3	150
9	Hastane Besleme Hattı_4	170
10	AFAD_Hattini_Devreye_Alma_Gemciler	190
11	EMPA_Un_EMPRA_Cikisi	210
12	Gemciler Karsısı Mod_13095_Bılkur	230
13	Hastahane_MOD_5A_Mado_Cikisi	250
14	Bafa_Kılıç_Besleme	270
15	Empa_Tarım_1	290
16	Empa_Tarım_2	310
17	Koton_Besleme	330
18	Dokuboy_Ic_Ihtıyac_2	350
19	Karacasu_Üniversite_Çıkışı	370



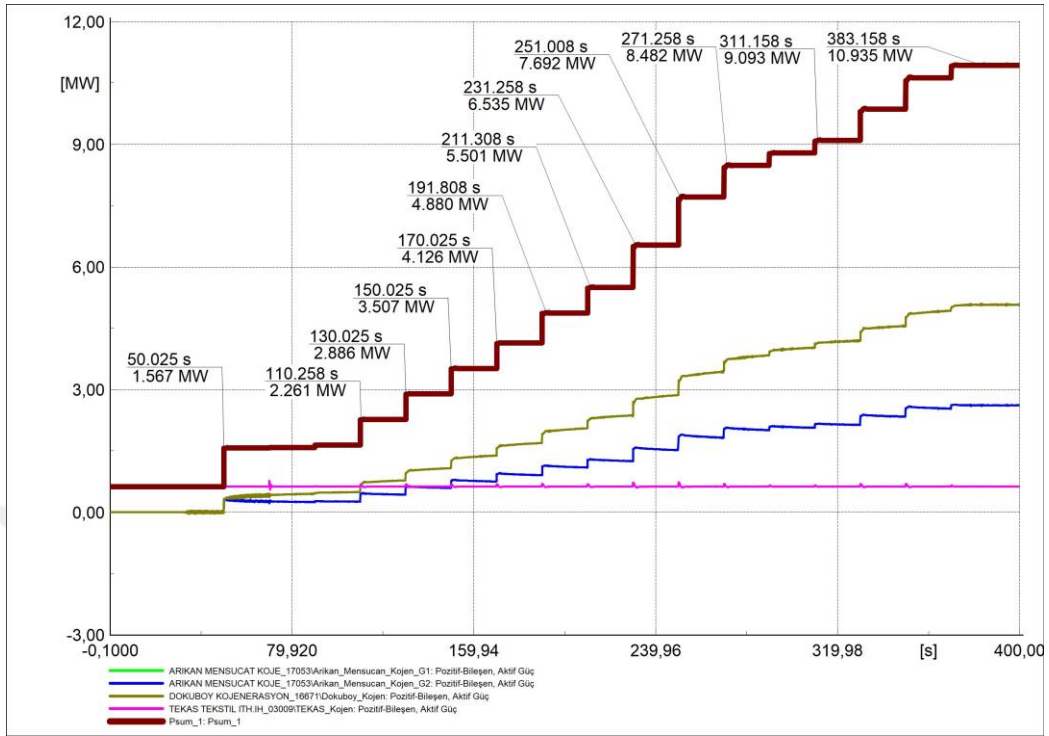
**Şekil 4.8.** Maksimum Yükleme Koşullarında Şebeke Modeli Üzerinde Tanımlanan Olaylar (Santral Ve Yük Devreye Alma)



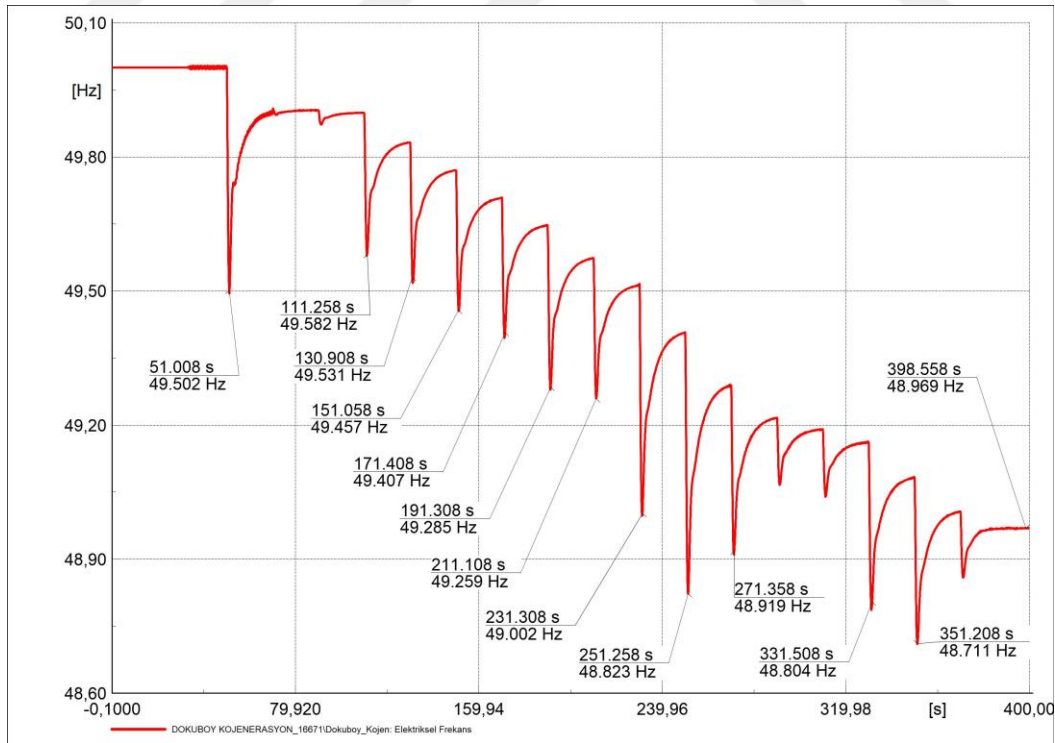
**Şekil 4.9.** Maksimum Yükleme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlama Sırasında Santral Çıkış Gücü Ve Terminal Gerilimindeki Değişimler

Şekil 4.10’da, pilot bölge üzerinde maksimum yüklenme koşullarında konvansiyonel santrallerinin çıkış güçleri ve toplam çıkış güçleri gösterilmektedir. Sistem toparlanması ile dokuboy konvansiyonel santrali başlangıçta 0,658 MW’lık bir üretim ile izole ada modunda çalışmaktadır. Diğer üretim santrallerinin ve yüklerin devreye alınmasından sonra izole adada 10,935 MW’lık yük konvansiyonel santraller tarafından maksimum yüklenme seviyesinde karşılanmaktadır. Minimum yüklenme koşullarından farklı olarak, maksimum yüklenme koşullarında izole adaya bu 19 adımdan sonra devreye alınacak yüklerin, santrallerin toplam Pmax değerini geçerek izole adanın kararsız kalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen analizler sonunda frekans değerinin 48,711 Hz seviyelerine kadar düşmektedir (Şekil 4.11). Maksimum yüklenme koşulları analizlerinde, izole adanın 1,5 MW’ı aşan adım (step) yük artışına maruz kaldığında frekansın 48 Hz seviyelerine yaklaştığı anlaşılmıştır. Bu sebepten dolayı devreye alınan hatlar üzerindeki bazı yükler devreden çıkartılmış ve 1,5 MW altı yüklerin devreye alınmasına dikkat edilmiştir. Analizlerde her ne kadar frekans hız regülatörü tarafından kontrol edilmiş ve nominal değer aralığına getirilmiş olsa da, frekanstaki bu ani düşmeler

santrallerdeki bazı koruma rölelerini (düşük frekans rölesi gibi) tetikleyerek santrallerin devre dışı kalmasına sebep olabilir.



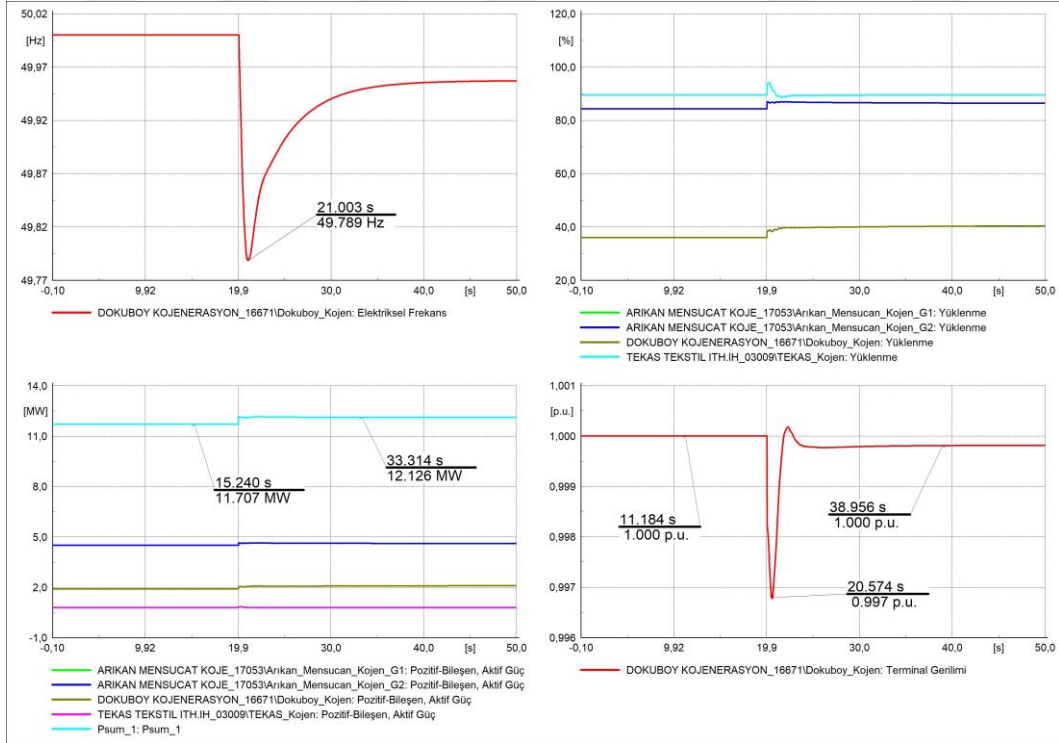
Şekil 4.10. Maksimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlamada Santral Aktif Gücü Değişimleri



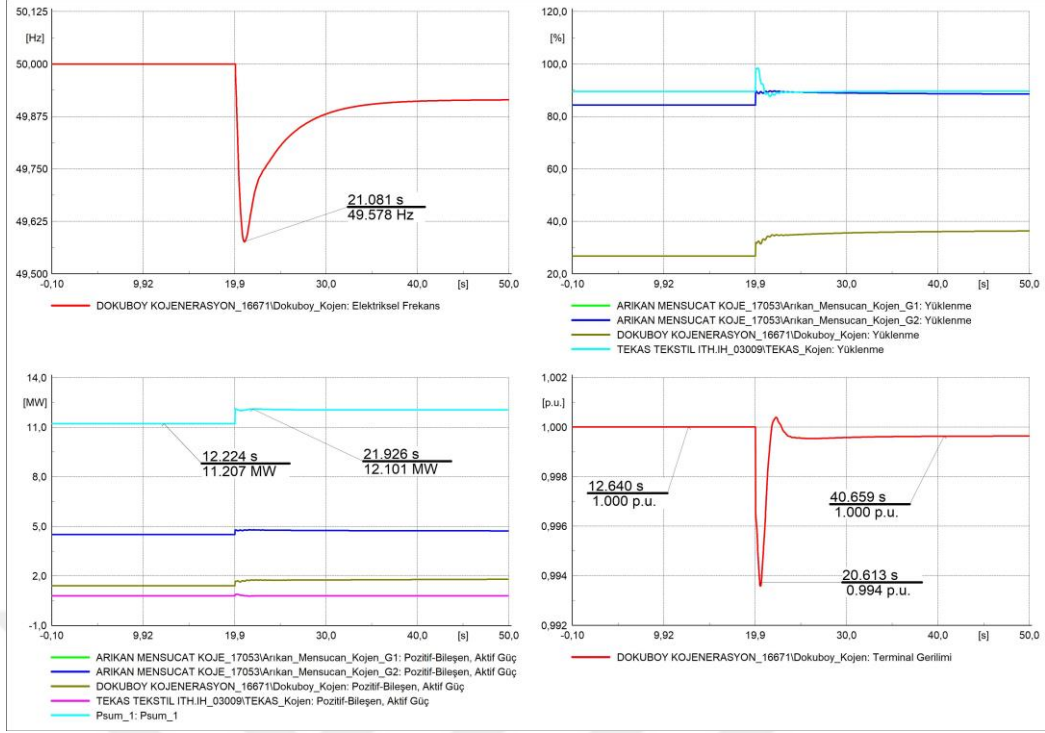
Şekil 4.11. Maksimum Yüklenme Koşullarında 19 Aşamalı Anahtarlamada Frekanstaki Değişimler

#### 4.1.4. Ani Yük Artış Analizleri

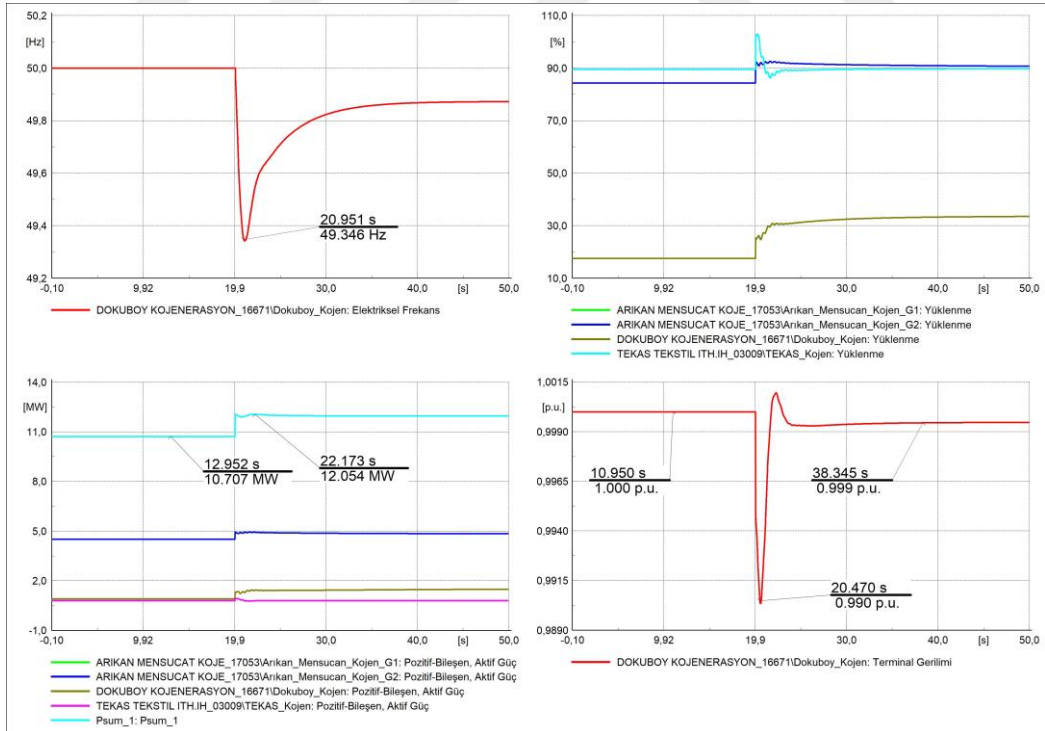
Ani yük artış analizlerinde, dağıtık üretim santrallerinin izole ada modunda çalışırken branşman yüklerindeki ani değişimlerdeki dinamik tepkileri incelenmiştir. Bu model üzerinde branşman yükleri 0,5 MW – 4 MW aralığında 0,5 MW'lık adım (step) değişimlerden oluşan 8 farklı senaryoda ve bütün üretim santralleri (konvansiyonel santraller ) aktif çıkış gücü üretirken analiz edilerek incelenmiştir. Bu analizler sonucunda 0,5 MW – 1,5 MW aralığında analiz edilen yük alımı senaryolarında frekansın en fazla 49,346 Hz seviyelerine kadar düştüğü ve santrallerin bu frekans değeri ile izole ada modunda çalışabilme yeteneğine sahip oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 4.12 - Şekil 4.14). Fakat gerçekleştirilen 2,0 MW ve 4 MW yük alma senaryolarında, frekans değişiminin 49 Hz'lerin altına indiği görülmektedir (Şekil 4.17 – Şekil 4.19). Bu frekans değerlerindeki ani düşüş alçak frekans rölelerinin ayar sınırını geçerek tetiklemesine yol açabilir. Gerçekleştirilen bu analizler sonucunda, konvansiyonel santrallerin izole ada modunda çalışırken maruz kalabileceği 1,5 MW üzerindeki adım (step) yük artışında frekans değişiminin riskli seviyelerde olduğu anlaşılmıştır. Gerçekleştirilen bu analizlere ilişkin sonuçlar Çizelge 4.4'te gösterilmektedir. Ayrıca, Şekil 4.20'de devreye alınan ani yük miktarına bağlı frekans değişim grafiği verilmiştir.



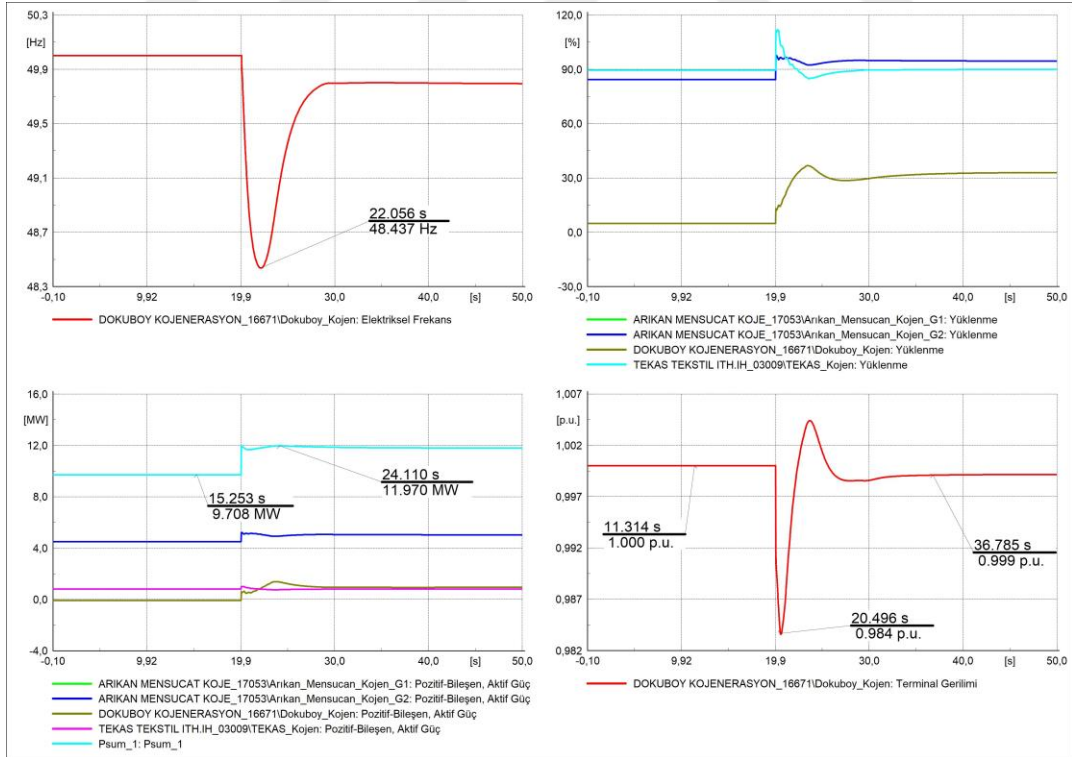
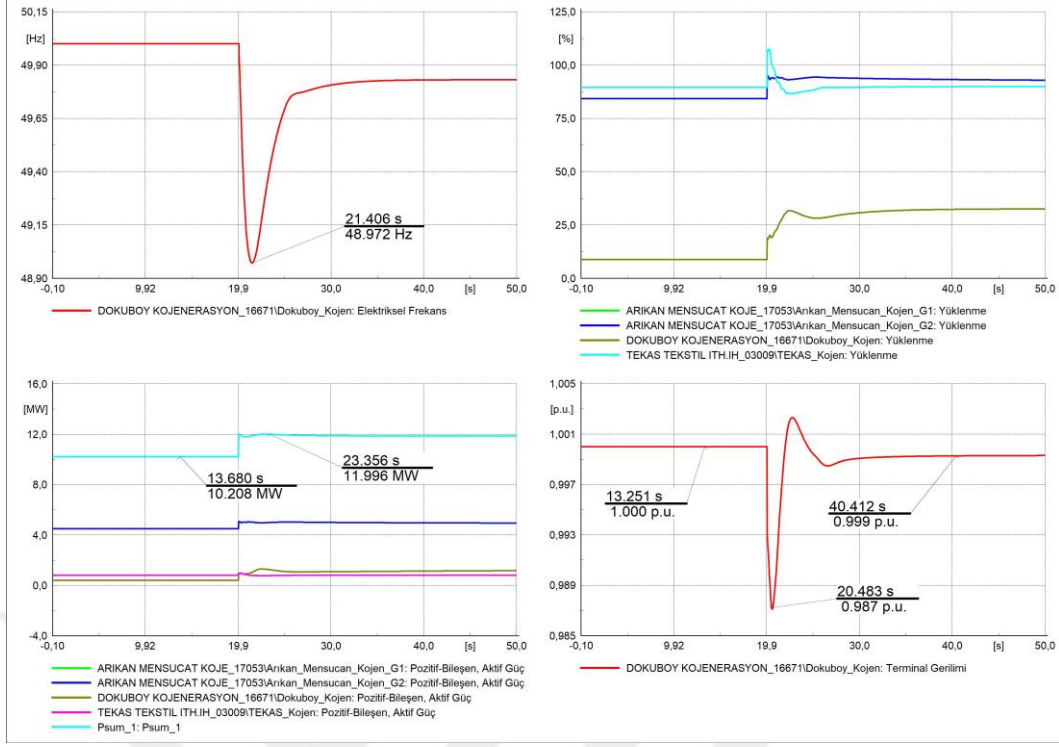
Şekil 4.12. 0,5 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi

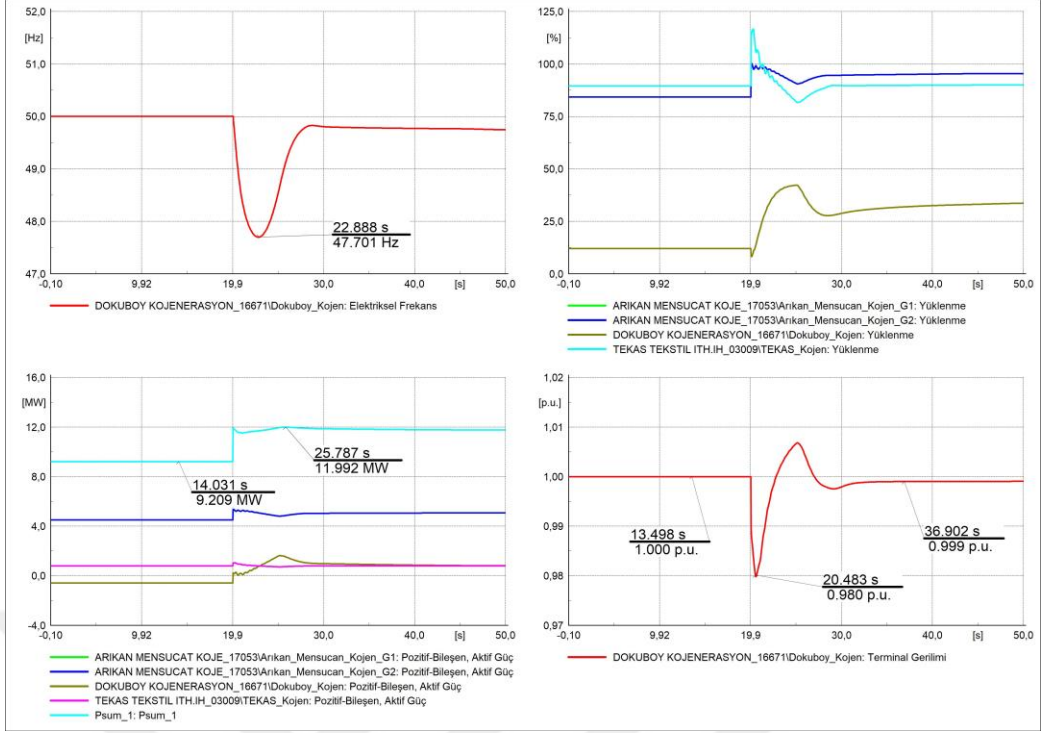


Şekil 4.13. 1 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi

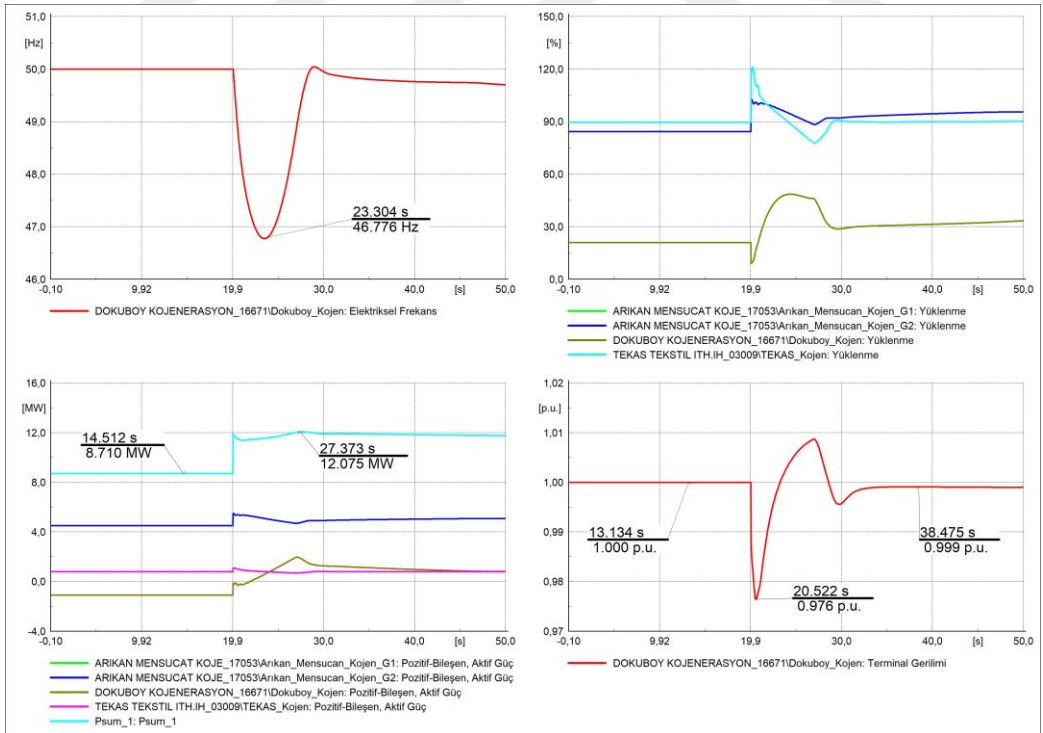


Şekil 4.14. 1,5 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi

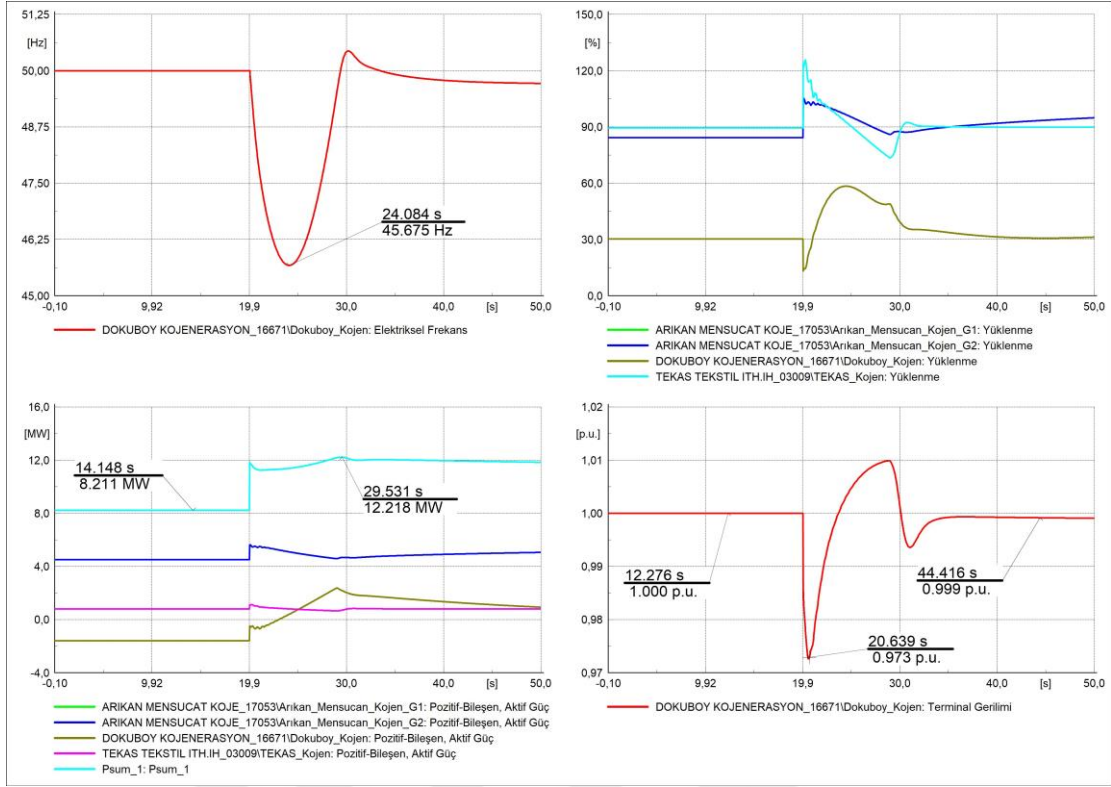




**Şekil 4.17.** 3 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi



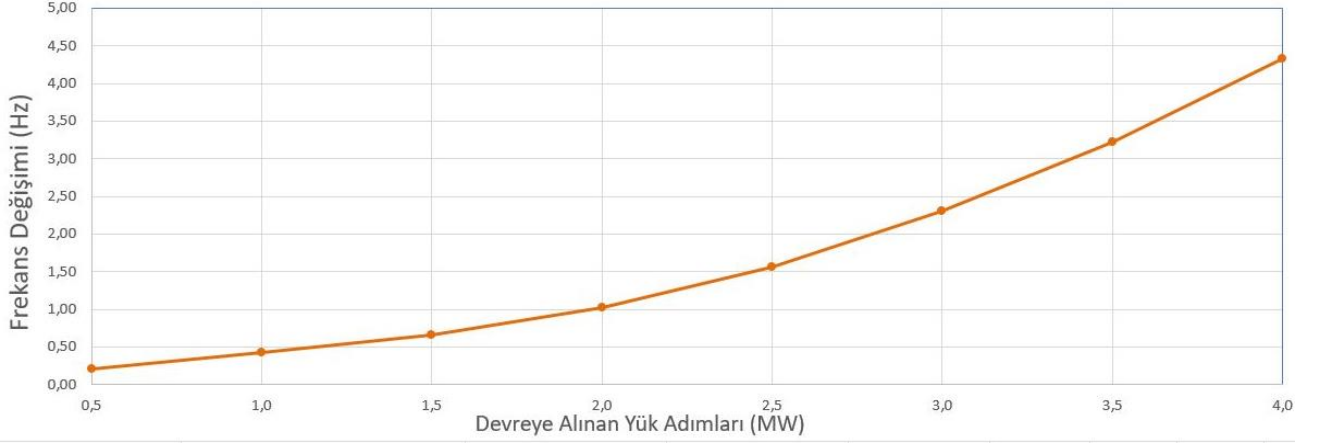
**Şekil 4.18.** 3,5 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi



**Şekil 4.19.** 4 MW'lık Adım (Step) Yük Değişimi Sonrası Santrallerin Frekans, Aktif Güç Ve Gerilim Değişimi

**Çizelge 4.4.** Ani Yük Artışına Bağlı Frekans Değişim Senaryoları Çizelgesi

Adım	Santral Yüklenmesi (MW)	Santral Yüklenmesi (%)	Adım (MW)	Toplam Yüklenme (MW)	Toplam Yüklenme (%)	Min Frekans (Hz)	Delta f (Hz)
1	11,5	90%	0,5	12	91%	49,79	0,21
2	11	88%	1	12	91%	49,58	0,42
3	10,5	87%	1,5	12	91%	49,35	0,65
4	10	85%	2	12	91%	48,97	1,03
5	9,5	84%	2,5	12	91%	48,44	1,56
6	9	82%	3	12	91%	47,70	2,3
7	8,5	81%	3,5	12	91%	46,78	3,22
8	8	79%	4	12	91%	45,68	4,32



**Şekil 4.20.** Devreye Alınan Yük Miktarına Bağlı Frekans Değişim Grafiği

#### 4.2. Pilot Bölge Mikro Şebeke Kontrolcü Ayarları

Pilot bölge üzerindeki konvansiyonel santrallerin ayar parametreleri açıklanmıştır. Bu parametreler, tez kapsamında detaylı olarak incelenen konvansiyonel santraller ve bağlı olduğu şebeke bölgesi için geçerlidir. Bölgenin izole olarak çalışmasından önce izole ada modu olarak ayarlanması gereken santral kontrolcü ayar parametreleri (Hız regülatörü ve ikaz sistemi) ve şebeke röle değerleri aşağıda verilmiştir. Bölgenin mikro şebeke çalışmasından önce aktif güç-frekans takip kabiliyetinin olması için ilgili fider üzerindeki santrallerdeki kontrolcü ayarlamaları kojenerasyon için belirlenen IEEE standartlarına uygun değerlerde ayarlanmalıdır.

Tez kapsamında pilot bölge üzerindeki konvansiyonel santrallerin izole ada modu koşullarında kararlı bir şekilde üretime devam edebilmesi için kontrolcülerin izole ada mod parametreleri, gerçekleştirilen simülasyonlar ve analizler ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, konvansiyonel santrallerin izole ada modu için ve Çizelge 4.5 ve 4.6'da belirtilen hız regülatörü ve ikaz sistemi parametreleri önerilmektedir.

**Çizelge 4.5.** İkaz Sistemi Önerilen Parametreler [41]

<b>İkaz Sistemi (IEEE Type IEEE T1 )</b>	
Tr Ölçüm Gecikmesi[sn]	0,02
Ka Kontrolör Kazancı [p.u.]	300
Ta Kontrolör Zaman Sabiti [sn]	0,03
Ke Uyarıcı Sabiti [p.u.]	1
Te Uyarıcı Zaman Sabiti [sn]	0,2
Kf Stabilizasyon Yolu Kazancı [p.u.]	0,05
Tf Stabilizasyon Yolu Zaman Sabiti [s]	1,5

**Çizelge 4.6.** Hız Regülatörü Önerilen Parametreler [41]

<b>Hız Regülatörü (gov_General)</b>		
	<b>Black-Start</b>	<b>Diğer</b>
	<b>Santrali</b>	<b>Santraller</b>
R Kalıcı Düşüş [p.u.]	0,02	0,04
Kpgov Regülatör Orantılı Kazanç	10	10
Kigov Regülatör İntegral Kazancı	2	2
Kidgov Regülatör Türev Kazancı	0	0
Tdgv Regülatör Türev Denetleyicisi		
Zaman Sabiti [s]	1	1
Ta Regülatör Zaman Sabiti [s]	0,4	0,4

#### **4.3. Pilot Bölge Mikro Şebeke Çalışma Şartları**

Elektrik dağıtım şebekelerinde acil koşullarda dağıtım şebekesine bağlı konvansiyonel santrallerin izole ada modunda şebekeyi beslemesi için gerekli aktif güç ve frekans kontrolüne yönelik eylem planı, eylem aşama sırasına göre açıklanmıştır. Eylem planı, tez kapsamında detaylı bir şekilde incelenen konvansiyonel santraller (Dokuboy, Arıkan, ve TEKAS kojen) ve konvansiyonel santrallerin bağlı olduğu pilot bölge için geçerli olup, “black-start” çalima özelliğine sahip konvansiyonel santral içeren başka fiderler için de benzer bir eylem planı geliştirilebilir. Bu plan, pilot bölgenin mikro şebeke koşullarında çalıştırılabilmesi için gerekli aktif güç- frekans ayarları gözlemlenerek oluşturulmuştur.

#### 4.3.1. Mikro Şebeke İçin Ön Hazırlık

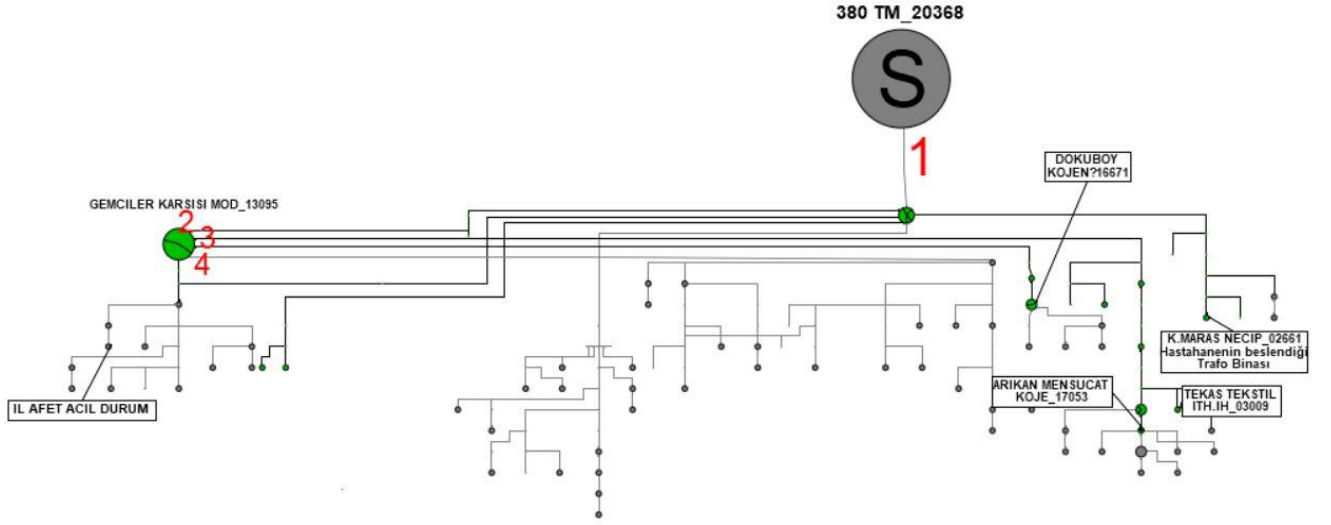
İzole ada işletme planının uygulamasında ilk adım, şebekede meydana gelen bir arızanın kalıcı ve uzun süreli olduğundan emin olmaktır. Böyle bir arıza sonrası üretim santralleri (dağıtım gömülü konvansiyonel) devre dışı kaldığında, dağıtım şirketinin arızanın sebebi ve tahmini giderilme zamanı ile ilgili bir ön değerlendirme yapması gerekir. Zira, kısa süreli kesintilerde (<4 saat) izole ada çalıştırılması önerilmemektedir. 4 saat sınırı belirlenirken, arıza olan bölgede SCADA olmadığı durumlar için izole ada besleme düzeneğinde gerekli değerlendirme ve toplam manevra süresinin 4 saati bulabileceği göz önüne alınmıştır. (Ülkesel “black-out”, aşırı yağışlı veya afet durumlarında 4 saati çok aşan kesintiler yaşanabilmektedir.) Bu süre, dağıtım şirketlerinin arıza tespiti ve üretim-tüketim akışını izleyebildiği SCADA/DMS sisteminin enerjisiz kalabilme durumu göz önünde bulundurularak, uzaktan erişimin mümkün olmadığı durum dikkate alınarak hesaplanmıştır. SCADA/DMS sistemlerinin enerjili ve gerekli müdahalelerin uzaktan yapılabildiği durumda 4 saatlik minimum kesinti süresi kriteri azaltılabilir.

#### 4.3.2. Mikro Şebeke İzolasyon İçin Açma Manevraları

Konvansiyonel santraller ve dağıtım şirketi işletmecileri tarafından şebekedeki arızanın uzun süreli (>4 saat) olduğu ve bu süreçte konvansiyonel santrallerin izole ada koşullarında çalışabileceği kararı verilirse, ikinci aşamada, dağıtım şirketi işletmecisi tarafından pilot bölgede gerekli manevralar yapılarak, izole ada besleme için ilk koşulların sağlanması gerekir. Seçilen pilot bölgede 380 TM Sanayi fiderinde yapılacak şebeke izolasyon amaçlı açma manevraları sırasıyla Şekil 4.21’de tekhat şeması üzerinde gösterilmiştir. Tekhat şemasında da görüleceği üzere, ilk manevra, üretim santrallerinin izole ada olarak besleyeceği fiderlerin dağıtım şirketinden izole edilmesidir. Şebeke izolasyonundan sonra gerçekleştirilecek anahtarlamalar Çizelge 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Şebeke İzolasyonu Manevralar Çizelgesi

No	Merkez	Hat/Anahtar	Olay
1	Gemciler Karşısı Mod_13095	Gemciler Kuplaj	Kapama
2	Gemciler Karşısı Mod_13095	Hastane Sanay1 CıkıS1_11744	Açma
3	Gemciler Karşısı Mod_13095	380tm Sanay1 1 Gırıs_00406	Açma
4	Gemciler Karşısı Mod_13095	Bılkur Yeni CıkıS1_42443	Açma



**Şekil 4.21.** Pilot Bölge Fiderlerinde Yapılacak Şebeke İzolasyon Amaçlı Manevralar

#### 4.3.3. Kojenerasyon Santralinin Devreye Alınması

Şebeke izolasyonu sonrası izole ada konvansiyonel santrallerden bir tanesi “black-start” yapmalıdır. Bu Bunun için, “black-start” yapma yeteneği olan konvansiyonel santralde “black-start” için gerekli iç ihtiyacın bir dizel generatör tarafından sağlanması gerekir. Pilot bölge üzerinde bu özelliklere sahip olan Dokuboy Kojen Santrali “black-start” santrali olarak belirlenmiştir. Black-start çalışmaya hazırlık kapsamında;

- Dizel generatörün yakıt seviyesinin uygun olduğu kontrol edilmelidir.
- Türbin-generatör hız regülatörü ve AVR kontrolcülerini, izole ada çalışma koşulları için uygun ayar değerlerine ayarlanmalıdır.

Pilot bölge örneğinde, black-start santraline ait dizel generatörü çalıştırdıktan sonra, SCADA, yağ pompaları, ikaz sistemi vb. iç ihtiyaç yüklerine enerji vermek dizel generatör anahtarı kapatılarak, dizel generatörünün beslenmesi altında türbin-generatör ikazlanarak senkron hıza getirilmelidir. Bu amaçla sırayla;

- Nominal hızın %60’ın, yani 50 Hz sistem için 30 Hz’e ulaşana kadar yavaş yavaş mekanik moment artırılır.
- Türbin hızı nominal hızının %60’ına geldikten sonra (steady state), ikaz sistemi enerjilendirilir ve AVR set değeri 1 p.u.’ya ayarlanır.
- Daha sonra, türbin nominal hızına ulaşana kadar mekanik moment yavaş yavaş artırılır.
- Türbin-generatör hızı nominal hıza gelince santral izole ada beslemeye hazırdır.

#### 4.3.4. Mikro Şebeke Üzerindeki Diğer Santrallerin Enerjilendirilmesi

Black-start santralının devreye alınmasının ardından izole ada üzerindeki diğer üretim santralleri mümkün olduğunca fazla yükü besleyebilmek için enerjilendirilmelidir. Fakat çok makineli senkron adalama sistemlerinde (Multi-Machine Synchronous Islanding) dikkat edilmesi gereken önemli hususların biri türbin-generatör gruplarının eylemsizlik momentidir (inertia).

Black-start generatörü olarak Dokuboy Kojen Santrali örneğinde, takip edilecek güzergah ile enerjilendirilecek konvansiyonel santraller Arıkan ve TEKAS santralleridir. Bu santraller Dokuboy enerjilendirildikten sonra Gemciler Karşısı Mod üzerinden enerjilendirilebilmektedir. Santrallerin enerjilendirilmesi esnasında izlenecek güzergah üzerinde bazı yükler mecbur olarak devreye alınmaktadır. Bütün santraller devreye alındığında izole ada şebeke üzerindeki üretim santralleri yüklerin bir kısmını beslemektedir.

#### 4.3.5. Mikro Şebeke Üzerindeki Diğer Yüklerin Enerjilendirilmesi

Pilot bölge santrallerinin özelinde izole adanın enerjilendirilmesi, Çizelge 4.8'deki 1-19 anahtarları üzerinden kapama işlemleri yapılarak gerçekleşir. İzole ada beslemesinde anahtarlama sırası ve anahtarlama sonrası enejilenecek olan yük miktarı kritik bir konudur. Anahtarların kapatılması sırasında, her adımda frekanstaki değişim (dinamik etkenler nedeniyle) kriteri göz önüne alınmalıdır (Şekil 4.22 ve 4.23). Pilot bölge konvansiyonel santrallerinin özelinde tespitler şu şekildedir:

- Pilot bölge üzerindeki tüm santrallerin enerjilendirilmesinden sonra santrallerin 1,5 MW'tan fazla adım (step) yük değişimine maruz kaldığında frekanstaki değişim 1 Hz'in üzerine çıkmaktadır. İzole ada besleme amaçlı ilk ve sonraki kapamalarda bu sınır göz önüne alınarak manevralar yapılmalıdır. Fakat maksimum yük koşullarında hastahane üzerinde 2,6 MW'lık yük mevcuttur. Bu yükün devreye alındığı anda frekansta maksimum 1,2 Hz'lik bir değişim yaşanabilir. Hastahane yükünü kritik yük olmasından ve önceliğinden dolayı devreye alma aşamasında izole ada frekansı 49,5 Hz'in üzerindedir. Sistem kararlılığının bozulmaması için Hastaneye ait 4 adet 1600 kVA'lık trafolar 4 adımda kademeli olarak devreye alınmıştır. Dolayısıyla 1,2 Hz'lik değişim yaşanmamış ve bunun sonucunda izole

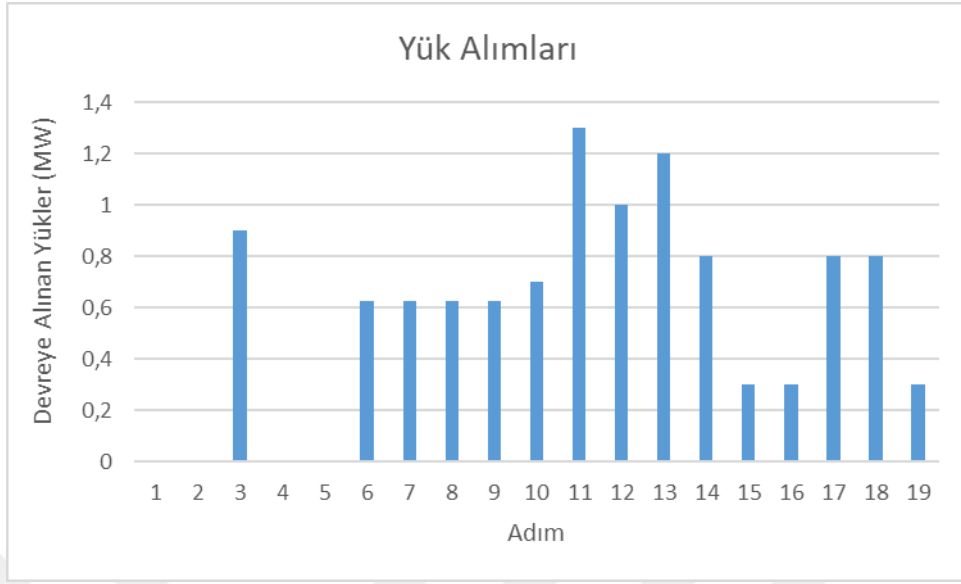
ada frekansı 49,4 Hz'in üzerinde kalarak kararlılığını devam ettirdiğini göstermektedir.

- Kapama manevraları sonrası enerjilendirilen bütün santrallerin besleyebileceği toplam yükün emre amade kapasitesini (bütün santrallerin toplam gücünü) geçmemesi gerekir. Pilot bölge gaz santrallerinin toplam güç kapasitesi 14,1 MW'tır.

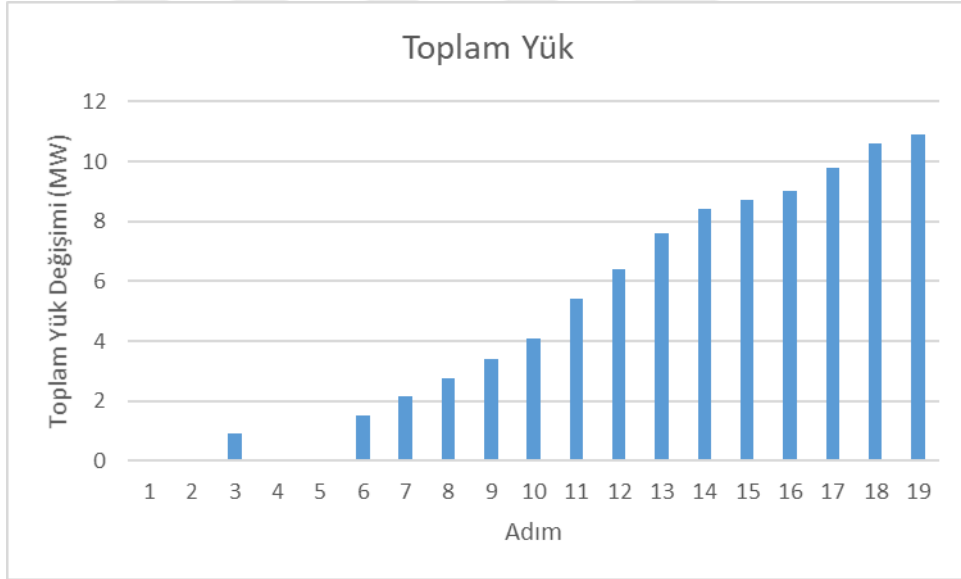
Pilot bölge santrallerinin izole ada çalışacağı dönemde uygunluk durumlarına ve dolayısıyla üretim kapasitesine göre izole adalar küçültülebilir. Burada kritik nokta, ilave her bir fider anahtarlama sırasında toplam yük değişiminin <1,5 MW olmasına (bütün santraller izole ada durumunda devredeyken) ve toplam beslenecek yük miktarının santrallerin toplam üretim kapasitesini geçmemesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

**Çizelge 4.8.** Santral ve Yük Devreye Alma Çizelgesi

Olay Sırası	Gerçekleşen Olay
1	Dokuboy_Devreye_Alma
2	Arıkan_Enerjilendirme
3	Dokuboy_Ic_İhtiyaç_1
4	TEKAS_Enerjilendirme
5	Hastahane_hattini_devreye_alma_gemciler
6	Hastane_Trafo_Besleme_1
7	Hastane_Trafo_Besleme_2
8	Hastane_Trafo_Besleme_3
9	Hastane_Trafo_Besleme_4
10	AFAD_hattini_devreye_alma_gemciler
11	EMPA_Un_EMPRA_cikisi
12	Gemciler_Karsısı_Mod_13095_Bilkur
13	Hastahane_MOD_5A_Mado_cikisi
14	Bafa_Kılıç_Besleme
15	EMPA_Tarım_1
16	EMPA_Tarım_2
17	KOTON Besleme
18	Dokuboy_Ic_İhtiyaç_2
19	Karacasu_Üniversite_Çıkışı



**Şekil 4.22.** Yük Alım Adımları



**Şekil 4.23.** Toplam Yük Dağılımı

#### 4.3.6. Mikro Şebeke Modundan Şebeke İşletme Moduna Geçilmesi

Şebekede arızanın giderilmesi sonrası izole ada modundan şebeke işletme moduna geçilmesi gerekir. Bu amaçla izlenmesi gereken adımlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Adım: Santrallerin devreden çıkması
  2. Adım: Santrallerin kontrolcü ayar set değerlerinin tekrar şebeke moduna dönüştürülmesi
  3. Adım: Koruma koordinasyon set ayar set değerlerinin tekrar şebeke moduna dönüştürülmesi
  4. Adım: Manevralar ile pilot bölgenin şebekeye aktarılması
  5. Adım: TEİAŞ ile koordine bir şekilde TM'den enerjileme yapılması
- Ardından dağıtım gömülü santraller devreye alınabilir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İzole ada işletme planının uygulamasında ilk adım, şebekede meydana gelen bir arızanın kalıcı ve uzun süreli olduğundan emin olmaktır. Böyle bir arıza sonrası üretim santralleri (dağıtıma gömülü konvansiyonel santraller) devre dışı kaldığında, dağıtım şirketinin arızanın sebebi ve tahmini giderilme zamanı ile ilgili bir ön değerlendirme yapması gerekir. Zira, kısa süreli kesintilerde (<4 saat) izole ada çalıştırılması önerilmemektedir. 4 saat sınırı belirlenirken, izole ada besleme düzeneği için gerekli değerlendirme ve toplam manevra süresinin 4 saati bulabileceği göz önüne alınmıştır. Bu süre, dağıtım şirketlerinin arıza tespiti ve üretim-tüketim akışını izleyebildiği SCADA/DMS sisteminin enerjisiz kalabilme durumu göz önünde bulundurularak, uzaktan erişimin mümkün olmadığı durum dikkate alınarak hesaplanmıştır. SCADA/DMS sistemlerinin enerjili ve gerekli müdahalelerin uzaktan yapılabildiği durumda 4 saatlik minimum kesinti süresi kriteri azaltılabilir.

Seçilen pilot bölge için izole ada besleme düzeneğine geçiş için önerilen eylem planının ana aşamaları:

1. Aşama – Ön Değerlendirme
2. Aşama – Fiderin şebekeden izolasyonu (açma manevraları) -
3. Aşama – Kojen santralin “black-start” ile devreye alınması
4. Aşama – Fider üzerindeki diğer üretim santrallerinin enerjilendirilmesi (kısmi enerjilendirme)
5. Aşama – Fider üzerindeki diğer yüklerin enerjilendirilmesi
6. Aşama – İzole ada modundan şebeke işletme moduna geçilmesi

Dikkat edilmesi gereken hususlardan öne çıkanlar:

- Santrallerin kontrolcü frekans ayar değerlerinin izole ada çalışma prensibine uygun bir şekilde set edilmesi gerekir.
- İzole ada beslemesi yapılacak olan fiderlerde yönlü rölelere ihtiyaç vardır ve ayar değerlerinin izole ada çalışma prensibine uygun bir şekilde set edilmesi gerekir.
- Pilot bölge üzerindeki tüm santrallerin enerjilendirilmesinden sonra santrallerin 1,5 MW’tan fazla adım (step) yük değişimine maruz kaldığında frekanstaki değişim 1 Hz’in üzerine çıkmaktadır. İzole ada besleme amaçlı ilk ve sonraki kapamalarda bu sınır göz önüne alınarak manevralar yapılmalıdır.

- Kapama manevraları sonrası enerjilendirilen bütün santrallerin besleyebileceği toplam yükün emre amade kapasitesini (bütün santrallerin toplam gücünü) geçmemesi gerekir. Pilot bölge gaz santrallerinin toplam güç kapasitesi 14,1 MW'tır.

Elektrik dağıtım şirketlerinin en önemli işlevlerinden bir tanesi, arızanın gerçekleştiği yeri en kısa sürede bulmak ve arızayı onarmaktır. Ayrıca dağıtım şebekesi üzerindeki enerjinin üretiminden tüketimine kadar bütün olaylar SCADA/DMS sistemleri aracılığı ile uzaktan izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Bu durum tez kapsamında değerlendirildiğinde, bölgenin enerjisiz kalması ile birlikte SCADA/DMS sisteminde enerjisiz kalarak dağıtım şirketi kontrolünden çıkmasına sebep olabilir. İzole ada sisteminde yüklerin devreye alınması aşamasında ilgili merkezlerdeki hatların kesintiden önceki yüklenme değerlerinin bilinmesi ve devreye alınabilecek maksimum yük değerini geçmemesi gerekmektedir. Bu amaçla pilot bölgedeki Gemciler, MADO, Hastane gibi kritik merkezlerin SCADA/DMS sistemine dahil edilmesi önerilmektedir.

Mevcut mevzuata göre, şebekede bir kesinti yapıldığı durumda dağıtıma gömülü santraller şebekeden ayrılmak zorundadır. Eylem planına uygun bir şekilde izole ada beslemesi sırasında, fabrikalardaki kojen santrallerin şebekeye verdikleri enerji miktarı abonlerin sayaçlarından geçecektir. Dolayısıyla, aboneler mevcut sözleşmeleri kapsamında bu enerji için bedel ödemiş olacaklardır. Bu ödenen bedel üzerinden fabrikalardaki santraller ile mahsuplaşma yapmak gerekir. Bu kapsamda santrallere, gerektiğinde izole ada modunda çalışmaları için ilave bir teşvik ödemesi de yapılabilir. Bu konular ilgili mevzuat düzenlemeleri kapsamında ele alınmalıdır.

Türkiye'deki konu ile ilgili mevcut yönetmelik ve tebliğlere göre, her ne kadar dağıtım şebekesine bağlı üretim santrallerinin izole ada beslemeye uygun bir şekilde tasarlanması gerekse de, "planlı" izole ada modunda çalışma ile ilgili kuralları içeren bir yönetmelik/tebliğ henüz mevcut değildir. Dolayısıyla, bu tez ilgili mevzuatın geliştirilmesi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Zira, Türkiye'de dağıtım şebekesine bağlı küçük ölçekli üretim santralleri "planlı" izole ada uygulaması için potansiyel birer adaydır ve tezde gerçekleştirilen çalışmalar göstermiştir ki, bir izole ada besleme karar ve uygulama süreci uygulandığı ve teknik kriterler sağlandığı sürece "planlı" izole ada besleme uygulaması yapılabilir.

İzole ada modundan üretim santrallerinin çalışabilmesi için gerekli temel teknik şartlar şu şekildedir:

- İzole adada senkron generatör içeren üretim santrali/santralleri bulunmalı,
- En az bir santralde şebeke toparlanma (black-start) özelliği olmalı,
- Ada bölgesi içerisinde yük olmalı (dağıtım şirketi tarafından şebekeden ayrılıp izole adaya tahsis edilecek şekilde),
- DÜ'nün hız regülatörü sistemi, P-F droop modunda çalışabilmelidir.

Yukarıda belirtilen maddeler izole ada sistemi için gereken ön şartlardır. Diğer bir kritik husus, sistemi ve üretim santrali operatörlerini izole ada çalışma koşullarında çalıştırmak için uygulanacak olan eylem planıdır. Tezde ele alınan pilot bölge üzerindeki santraller için tez çıktısı olarak geliştirilmiş olan bu eylem planı, üretim santrallerinin izole ada çalıştırılmasının uygulanabilir olduğu senaryolarıda içermelidir. Ayrıca, koruma sisteminin koordineli bir şekilde çalıştığına teyit edilmesi ve izole ada şeklinde çalışmaya alışık olmayan dağıtım şirketi işletmecilerinin can güvenliğine yönelik tedbirlerin alınması gerekir.

Bu tez kapsamında pilot bölge üzerinde gerçekleştirilen bilgisayar simülasyonlarına göre, yukarıda özetlenen ve detayları tezde açıklanan kriterler sağlandığı sürece, planlı bir izole ada beslemesi yapılabileceği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, “planlı” izole ada uygulamasına yönelik mevzuatsal düzenlemeler yapmak gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Abacı K., 2007. Gerilim Kararlılığı İyileştiricilerinin Çatallaşma ve Kaotik Analizleri, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [2] Thomson M. and Infield D.G., 2007. Network power-flow analysis for a high penetration of distributed generation, IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 3, pp. 1157–1162.
- [3] Ackermann T., Andersson G. and Söder L., 2001. Distributed generation: a definition, Electr. Power Syst. Res., vol. 57, no. 3, pp. 195–204.
- [4] Walling R.A., Saint R., Dugan R.C., Burke J. and Kojovic L.A., 2008. Summary of distributed resources impact on power delivery systems, IEEE Trans. Power Deliv., vol. 23, no. 3, pp. 1636–1644.
- [5] Türkay B., “Dağıtılmış Enerji Kaynakları İçeren Şebeke Tasarım Önerisi”, EMO, 2009.
- [6] Shuai, Z., Sun, Y., Shen, Z.J., Tian, W., Tu, C., Li, Y. ve Yin, X, “Microgrid Stability: Classification and a Review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 167-179, 2016.
- [7] Minchala-Avila, L.I., Garza-Castañón, L.E., Vargas-Martínez, A. ve Zhang, Y., “A Review Of Optimal Control Techniques Applied To The Energy Management And Control Of Microgrids”, Procedia Computer Science, 52, 780-787, 2015.
- [8] Hossain, E., Kabalci, E., Bayindir, R. ve Perez, R., “Microgrid Testbeds Around the World: State of Art”, Energy Conversion and Management, 86, 132-153, 2014.
- [9] Karavas, C-S., Kyriakarakos, G., Arvanitis, K.G. ve Papadakis, G., “A Multi-Agent Decentralized Energy Management System Based On Distributed Intelligence For The Design And Control Of Autonomous Polygeneration Microgrids”, Energy Conversion and Management, 103, 166-179, 2015.
- [10] Çetinbaş İ., Tamyürek B., Demirtaş M., “Optimal Design of a Microgrid with PV Generation and Energy Storage Unit to Reduce Electricity Cost in Eskişehir Osmangazi University Campus”, 2018.
- [11] Kocaman B., 2015. Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Mikro Şebekelerde Enerji Yönetimi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [12] Engin M., Fotovoltaik - rüzgâr hibrit enerji sistemlerinin İzmir koşullarında tasarımı ve denenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002, 120381.
- [13] Erdem Işık, Mustafa İnallı, Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtıma Sistemlerindeki Gelişmeler, Mühendis ve Makine, Cilt:46, Sayı:550
- [14] Martin Pehnt, Martin Cames, Corinna Fischer, Barbara Praetorius, Lambert Schneider, Katja Schumacher, Jan Peter Voss, Micro Cogeneration Towards Decentralized Energy Systems

- [15] [http://www.codeproject.eu/wpcontent/uploads/2011/04/CODE\\_CS\\_Handbook\\_Final.pdf](http://www.codeproject.eu/wpcontent/uploads/2011/04/CODE_CS_Handbook_Final.pdf), Erişim Tarihi: 10.08.2015
- [16] Emine Filoğlu, Türkiye’de Mikro Kojenerasyon, 2. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Bildirileri, 2011
- [17] <http://www.cogeneurope.eu>, Erişim Tarihi: 07.06.2021
- [18] Ömer Özdemir, Kojenerasyonun Enerji Verimliliğindeki Yeri, <http://geposb.com.tr/uploads/OmerOZDEMIRSunum.pdf>, Erişim Tarihi : 11.08.2015
- [19] <http://www.hmyoelk.sakarya.edu.tr/bilgifazlasi/kojenerasyon/4.htm>, Erişim Tarihi: 10.08.2015
- [20] Turkish Cogeneration and Clean Energy Technologies Association, Country Report Turkey 2013, November 2013
- [21] Kasım Zor, Ahmet Teke, Pistonlu Gaz Motorlarıyla Tahrik Edilen Kojenerasyon Sistemleri ile Yerde Enerji Üretimi, <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/126-pistonlu-gaz-motorlariyla-tahrik-edilen-kojenerasyon-sistemleri-ile-yerindeenerji-uretimi>, Erişim Tarihi: 11.08.2015
- [22] Engin Özdemir, Dağıtılmış Enerji Üretim Sistemlerinden Elektrik Üretimi Ve Şebeke Desteği Hizmetleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2007
- [23] Kundur P. et al., 2004. Definition and Classification of Power System Stability IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 3, pp. 1387–1401.
- [24] Eremia M. and Shahidehpour M., Eds., 2013. Handbook of electrical power system dynamics, Modeling, Stability, and Control. New Jersey: Wiley.
- [25] R. Das, V. Madani, F. Aminifar, J. McDonald, S. S. Venkata, D. Novosel, A. Bose, M. Shahidehpour, Distribution Automation Strategies: Evolution of Technologies and the Business Case," IEEE Transaction on Smart Grid, 2015.
- [26] J. Peralta, H. Iosfin, and X. Tang, "BC Hydro perspective on distribution islanding for customer reliability improvement," in Integration of Wide-Scale Renewable Resources Into the Power Delivery System, 2009 CIGRE/IEEE PES Joint Symposium, 2009, pp. 1-2.
- [27] F. Katiraei, C. Abbey, S. Tang, and M. Gauthier, "Planned islanding on rural feeders—utility perspective," in Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE, 2008, pp. 1-6.
- [28] <https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=YsW8TBT2QjI>=[Online]. Yıl:2021
- [29] J. Wang, L. M. Costa, B. M. Cisse, "From Distribution Feeder to MicroGrid: An Insight On Opportunities and Challenges", 2016.

- [30] IEEE, "IEEE 1547.3 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," ed. New York, NY, USA, 2003.
- [31] IEEE, "IEEE Std 1547.4 Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems," ed. New York, NY, USA, 2011.
- [32] C. Greacen, R. Engel, and T. Quetchenbach, "A guidebook on grid interconnection and islanded operation of mini-grid power systems up to 200 kw," 2013.
- [33] A. Ali, W. Li, R. Hussain, X. He, B. W. Williams, and A. H. Memon, "Overview of current microgrid policies, incentives and barriers in the European Union, United States and China," *Sustainability*, vol. 9, p. 1146, 2017.
- [34] B. Scharfetter and M. Van Dijk, "Legislation governing the implementation of small-scale hydropower projects for rural electrification in South Africa," *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 28, pp. 14-28, 2017.
- [35] W. J. Klunne, "Small hydropower in southern Africa-an overview of five countries in the region," *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 24, pp. 14-25, 2013.
- [36] V. P. Verma, V. Verma, and U. C. Rathore, "An Overview of Small Hydro Power Generation Scenario in India."
- [37] BCHydro, "Distribution power Generator Islanding Guideline accessed November 2010 from:<https://www.bchydro.com/content/dam/BCHydro/customer-ortal/documents/distribution/standards/ds-dgi-distribution-power-generator-islanding-guidelines.pdf>," 2006.
- [38] <https://www.epdk.org.tr/Detay/DownloadDocument?id=S7yyb1nS3aE> [Online].
- [39] J. Peralta, H. Iosfin, and X. Tang, "BC Hydro perspective on distribution islanding for customer reliability improvement," in *Integration of Wide-Scale Renewable Resources Into the Power Delivery System, 2009 CIGRE/IEEE PES Joint Symposium, 2009*, pp. 1-2.
- [40] Enginnering&Technology/Electrical Engineering, Module 6 - Power system stability, June 22, 2018
- [41] IEEE, "Guide for Synchronous Generator Modelling Practices and Applications in Power System Stability Analyses," Tech. Rep. 1110-2002, IEEE, 2002.
- [42] P. Kundur, N. J. Balu, and M. G. Lauby, *Power system stability and control vol. 7: McGraw-hill New York, 1994.*
- [43] Pietro Tumino, *Frequency Control in a Power System*, October 15, 2020
- [44] L.K. , *Frekans Kontrolü Uygulamalarının Özel Sektör Elektrik Santralleri İçin İncelenmesi*, Türkiye Şişecam, Levent, İstanbul
- [45] <https://www.geospatialworld.net/blogs/overview-of-gis-history/> Erişim Tarihi: 14.06.2021