

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİNİN BAĞLI OLDUĞU OG BARALAR İÇİN
REAKTİF GÜÇ DESTEK RÖLESİ ALGORİTMA TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa YILDIZ

OCAK 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİNİN BAĞLI OLDUĞU OG BARALAR İÇİN
REAKTİF GÜÇ DESTEK RÖLESİ ALGORİTMA TASARIMI

Mustafa YILDIZ

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 / 12 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 05 / 01 / 2024

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi F. Mehmet NUROĞLU

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Dağıtık Üretim Tesislerinin Bağlı Olduğu OG Baralar İçin Reaktif Güç Destek Rölesi Algoritma Tasarımı” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen, kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet NUROĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması sürecinde ihtiyaç duyulan şebeke verilerini edinmemde yardımcı olan Çoruh EDAŞ çalışanlarına ve özellikle Şirket Müdür Yardımcısı Emre AKYÜZ’e, Arsin OSB teknik sorumlusu Ali Osman AYDOĞDU’ya, üretim santrallerinin işletme müdürlerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecinde desteğini esirgemeyen ve zaman ayıran değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Hakkı MOLLAHASANOĞLU’na ve TEİAŞ 14. Bölge Müdürlüğüne bağlı Hopa İşletme ve Bakım Müdürü İbrahim YILDIZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararında arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Hayriye YILDIZ ve babam Ali YILDIZ’a, ayrıca çalışmalarında her zaman yanımda ve destekçi olan eşim Büşra YILDIZ’a ve biricik kızım Sümeyye Duha YILDIZ’a gösterdikleri sabır ve müsamaha için teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Mustafa YILDIZ

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dağıtık Üretim Tesislerinin Bağlı Olduğu OG Baralar İçin Reaktif Güç Destek Rölesi Algoritma Tasarımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet NUROĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/01/2024

Mustafa YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Literatür Araştırması	5
1.2. Aktif, Reaktif Güç ve Güç Faktörü	7
1.3. Dağıtım Şebekesi.....	8
1.3.1. Radyal Şebeke.....	11
1.3.2. Ring Şebeke	12
1.3.3. Ağ Şebeke	13
1.4. Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Yöntemleri.....	13
1.4.1. Statik VAR Kompanzasyon (SVC).....	14
1.4.2. Statik Senkron Kompansatör (STATCOM).....	15
1.4.3. Manyetik Kontrollü Reaktör (MCR).....	17
1.4.4. Senkron Makine Kullanımı	18
1.5. Dağıtık Üretim ve Enerji Kaynakları	19
1.6. Çapraz Bağlı Polietilen (XLPE) Yeraltı Kablo	23
1.7. Güç Akış Analizi	25
1.7.1. Newton Rapshon Metodu.....	26
1.7.2. Gauss Siedel Metodu	29
1.8. DIgSILENT Power Factory.....	30
1.9. Python Programlama Dili.....	30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	32
2.1. Arsin Transformatör Merkezinin Modellenmesi.....	33
2.2. Araklı 3/0 Fiderinin Modellenmesi	35

2.2.1.	Evra BES Dağıtık Üretim Tesisinin Modellenmesi	36
2.2.2.	Selimoğlu HES Dağıtık Üretim Tesisinin Modellenmesi	40
2.3.	OSB Fiderlerinin Modellenmesi	43
2.4.	Reaktif Güç Desteği Algoritması ve Akış Diyagramı	44
2.4.1.	Endüktif Reaktif Durumu İçin Akış Diyagramı ve Algoritma Oluşturulması	46
2.4.2.	Kapasitif Reaktif Durumu İçin Akış Diyagramı ve Algoritma Oluşturulması	48
2.5.	Çalışma Senaryoları	49
2.5.1.	1. Senaryo: Endüktif yönde $\tan\phi=0,20$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede değil	50
2.5.2.	2. Senaryo: Endüktif yönde $\tan\phi=0,20$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede	56
2.5.3.	3. Senaryo: Kapasitif yönde $\tan\phi=0,15$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede	61
2.5.4.	4. Senaryo: Kapasitif yönde $\tan\phi=0,15$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede değil	66
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
4.	ÖNERİLER.....	75
5.	KAYNAKLAR	77
6.	EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİNİN BAĞLI OLDUĞU OG BARALAR İÇİN REAKTİF GÜÇ DESTEK RÖLESİ ALGORİTMA TASARIMI

Mustafa YILDIZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet NUROĞLU
2024, 81 Sayfa, 15 Ek Sayfa

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte insanlığın elektrik enerjisine ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı karşısında sürdürülebilir bir insan hayatı için üretilen elektrik enerjisinin verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Elektrik şebekesindeki kalitenin artırılması ve teknik kayıpların düşürülmesi için üretim, iletim ve dağıtım şirketlerine sorumluluk düşmektedir.

Ülkemizin Doğu Karadeniz Bölgesi Orta Gerilim seviyesinden Enterkonnekte sisteme bağlı dağıtık üretim kaynakları bakımından oldukça zengindir. Bu tez çalışmasında bu zenginlikten istifade ederek şebekedeki reaktif güç kompanzasyonuna katkı sağlamak amaçlanmıştır. Bu amaçla OG barada reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirmek için reaktif güç destek röle algoritması (RGDR) geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında Arsin Transformatör Merkezinin OG-A barası ve bu baraya bağlı 31,5 kV Araklı 3/0 fideri ile OSB-2 fideri DİGSİLENT Power Factory güç sistemleri analiz programında modellenmiştir.

Geliştirilen algoritma ile şebekede mevcut olan Senkron Generatör, yedek olarak tesis edilmiş XLPE kablo gibi şebeke enstrümanlarının reaktif güç kabiliyetlerinden yararlanarak indirici merkezin OG barasında reaktif güç kompanzasyonu yapılmıştır. Bu sayede dağıtım şebekelerinde kompanzasyon için ihtiyaç duyulan reaktör, kondansatör vb. teçhizatların şebekede tesis edilmesi için gerekli olan maliyetlerin asgari seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dağıtık Üretim, XLPE Kablo, Reaktif Güç Kompanzasyonu, Reaktif Güç Destek Rölesi

Master Thesis

SUMMARY

A NOVEL REACTIVE POWER SUPPORT RELAY ALGORITHM FOR MV BUSBARS CONNECTED TO DISTRIBUTED GENERATION PLANTS

Mustafa YILDIZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Fatih Mehmet NUROĞLU
2024, 81 Pages, 15 Pages Appendix

With the increasing population and developing technology, humanity's need for electrical energy is increasing day by day. In the face of increasing energy demand, the electrical energy produced must be used efficiently for a sustainable human life. Generation, transmission and distribution companies are responsible for increasing the quality of the electricity network and reducing technical losses.

The Eastern Black Sea Region of our country is very rich in terms of distributed generation resources connected to the interconnected system at medium voltage level. In this thesis, it is aimed to contribute to the reactive power compensation in the network by utilizing this richness. For this purpose, a reactive power support relay algorithm (RPSR) has been developed to realize reactive power compensation at the MV busbar. Within the scope of the study, the MV-A busbar of Arsin Substation and the 31.5 kV Araklı 3/0 feeder and OSB-2 feeder connected to this busbar were modeled in DIgSILENT Power Factory power systems analysis program.

With the developed algorithm, reactive power compensation was made at the MV busbar of the download center by utilizing the reactive power capabilities of the network instruments such as Synchronous Generator, XLPE cable installed as backup. In this way, it is aimed to minimize the costs required for the installation of equipment such as reactors, capacitors, etc. needed for compensation in distribution networks.

Key Words: Distributed Generation, XLPE Cable, Reactive Power Compensation, Reactive Power Support Relay

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Akım, gerilim ve güçlerin fazör diyagramda gösterilmesi	8
Şekil 2. Radyal dağıtım şebekesi	11
Şekil 3. Ring dağıtım şebekesi.....	12
Şekil 4. Ağ dağıtım şebekesi.....	13
Şekil 5. SVC Devre Şeması	15
Şekil 6. Tek fazlı STATCOM devre şeması.	16
Şekil 7. MCR devre şeması.....	17
Şekil 8. Senkron kompanzatör devre şeması	18
Şekil 9. Geleneksel ve DÜ'ler ile değişen sistem yapısı.	20
Şekil 10. Dağıtık üretim enerji kaynakları ve teknolojiler.....	22
Şekil 11. XLPE kablo katmanlarını gösteren kesit görünümü.....	23
Şekil 12. 154 kV Arsin TM elektrifikasyon şeması.....	33
Şekil 13. DIgSILENT PF programında oluşturulan Arsin TM modeli	35
Şekil 14. Araklı 3/0 fideri CBS görüntüsü ve DIgSILENT PF modeli	36
Şekil 15. Evra BES OG tek hat şeması	38
Şekil 16. Evra BES'in dağıtım şebekesine bağlandığı noktadan itibaren DPF modeli	39
Şekil 17. EVRA BES Generatör Çalışma Eğrisi	40
Şekil 18. Selimoğlu HES OG tek hat şeması	41
Şekil 19. Selimoğlu HES'in dağıtım şebekesine bağlandığı noktadan itibaren DPF modeli.....	42
Şekil 20. Selimoğlu HES Çalışma Eğrisi.....	43
Şekil 21. Sistemin endüktif yönde olması durumunda akış diyagramı.....	46
Şekil 22. Sistemin kapasitif yönde olması durumunda akış diyagramı	48
Şekil 23. 1. Senaryo RGDR öncesi yük akış analizi.....	51
Şekil 24. DIgSILENT PF kod çalıştırma arayüzü	52
Şekil 25. 1. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi.....	53
Şekil 26. 2. Senaryo RGDR öncesi yük akış analizi.....	57
Şekil 27. 2. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi.....	59
Şekil 28. 3. Senaryo RGDR öncesi yük akış analizi.....	62
Şekil 29. 3. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi.....	64
Şekil 30. 4. Senaryo RGDR öncesi yük akış analizi.....	67

Şekil 31.	4. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi.....	69
-----------	---	----



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Trabzon ilinde Orta Gerilim seviyesinden bağılı lisanslı santraller	2
Tablo 2. Elektrik dağıtım şirketleri ve kapsadığı iller	9
Tablo 3. 31,5 kV Dağıtım şebekelerinde kullanılan bakır XLPE kabloların teknik özellikleri	24
Tablo 4. 31,5 kV Dağıtım şebekelerinde kullanılan alüminyum XLPE kabloların teknik özellikleri	25
Tablo 5. Güç akış analizinde değişkenler	26
Tablo 6. TIOBE endeksine göre en popüler ilk 15 programlama dili (Ocak, 2023)	31
Tablo 7. Araklı 3/0 fiderine bağılı dağıtım transformatörlerinin kurulu güce göre dağılımı	36
Tablo 8. Evra BES generatör etiket bilgileri	37
Tablo 9. Selimoğlu HES generatör etiket bilgileri	40
Tablo 10. OSB-2 fiderinde kullanılan 1x400/35 Alüminyum XLPE kablonun teknik özellikleri	44
Tablo 11. Endüktif durumda senkron makinelerin reaktif güç destek kademeleri	45
Tablo 12. Kapasitif durumda senkron makinelerin reaktif güç destek kademeleri	45
Tablo 13. Endüktif durum reaktif güç desteğı algoritması	47
Tablo 14. Kapasitif durum reaktif güç desteğı algoritması	49
Tablo 15. Çalışma senaryoları	49
Tablo 16. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri	50
Tablo 17. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki senkron makinelerin yüklenme durumu	50
Tablo 18. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonraki fider yükleri	52
Tablo 19. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu	53
Tablo 20. 1. Senaryo sonuç tablosu	55
Tablo 21. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri	56
Tablo 22. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önce senkron makinelerin yük durumu	56
Tablo 23. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra fider yükleri	58
Tablo 24. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu	58
Tablo 25. 2. Senaryo sonuç tablosu	60
Tablo 26. 3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri	61

Tablo 27.	3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önce senkron makinelerin yük durumu.....	62
Tablo 28.	3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra fider yükleri	63
Tablo 29.	3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu.....	63
Tablo 30.	3. Senaryo sonuç tablosu	65
Tablo 31.	4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri.....	66
Tablo 32.	4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önce senkron makinelerin yük durumu.....	67
Tablo 33.	4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra fider yükleri	68
Tablo 34.	4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu.....	68
Tablo 35.	4. Senaryo sonuç tablosu	70

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif Akım
A	: Amper
BES	: Biyoenerji Santrali
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CIGRE	: Uluslararası Büyük Elektrik Sistemleri Konseyi
DEK	: Dağıtık Enerji Kaynakları
DPF	: DIgSILENT Power Factory
DÜ	: Dağıtılmış Üretim
DÜK	: Dağıtılmış Üretim Kaynakları
EDAŞ	: Elektrik Dağıtım Şirketi
EİH	: Enerji İletim Hattı
ENH	: Enerji Nakil Hattı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HES	: Hidroelektrik Santrali
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
kVA	: Kilovolt Amper
L	: Endüktans
MCR	: Manyetik Kontrollü Reaktör
MVA	: Megavolt Amper
MVAR	: Megavolt Amper Reaktif
MW	: Megawatt
OG	: Orta Gerilim
P	: Aktif Güç
Q	: Reaktif Güç
RGD	: Reaktif Güç Desteği
RGDR	: Reaktif Güç Destek Röle Yazılımı
S	: Görünür Güç
SAIDI	: Ortalama Kesinti Süresi Endeksi
SAIFI	: Ortalama Kesinti Sıklığı Endeksi
STATCOM	: Statik Senkron Kompansatör
SVC	: Statik VAR Kompanzatör

TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
TM	: Transformatör Merkezi
V	: Gerilim
VA	: Volt Amper
W	: Watt
X	: Reaktans
XLPE	: Çapraz Bağlı Polietilen
YG	: Yüksek Gerilim
$\tan\varphi$	: Reaktif Güç/Aktif Güç
$\cos\varphi$	: Güç faktörü
Q_c	: $\tan\varphi$ 'nin istenilen değer aralığına gelmesi için ihtiyaç olan kapasitif reaktif yük miktarı
Q_e	: $\tan\varphi$ 'nin istenilen değer aralığına gelmesi için ihtiyaç olan endüktif reaktif yük miktarı
Q_k	: OSB-2 fiderine ait XLPE kablonun kapasitif reaktif yük kapasitesi
Q_{sc}	: Toplam endüktif reaktif güç destek miktarı
Q_{se}	: Toplam kapasitif reaktif güç destek miktarı

1. GENEL BİLGİLER

Dünya üzerindeki insan nüfusunun hızlı bir şekilde artması, teknoloji ve sanayideki gelişmeler her geçen gün elektrik enerjisine olan ihtiyacı arttırmaktadır. İnsanların ekonomik ve sosyal hayatta vazgeçilmez ihtiyaçlarından biri haline gelen elektrik enerjisi, dünya üzerinde konvansiyonel ve yeni nesil teknolojilerin bir arada kullanıldığı çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Yaşadığımız evrendeki kaynakların sınırlı olması ve her geçen gün artan talebi karşılamak ülkelerin elektrik enerjisi üretiminde ve tüketiminde gerekli önlemleri almasını zorunlu kılmaktadır. Enerji tüketimindeki tasarruf tedbirlerinin ve insanları bilinçlendirmenin tek başına yeterli olmayacağı, bu çalışmaların yanı sıra elektrik şebekesinde enerji kalitesini arttırma, hatların aşırı yüklenerek ısınması ve harmonik kaynaklı teknik kayıpları azaltma yönünde gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Elektrik enerjisinde kalite problemleri konusundaki çalışmalar genellikle gerilim dalgalanmaları, gerilim çökmeleri, geçici olaylar, enerji kesintisi, harmonikler ve reaktif güç kompanzasyonu üzerine yapılmaktadır. Elektrik güç sistemlerinde verimliliğin artması, enerji tasarrufunun sağlanması ve işletmeciliğin kolaylaştırılması için en önemli ve kolay sistem reaktif güç kompanzasyonudur (Engin, 2008). Reaktif güç kompanzasyonu güç sistemlerinin tasarlanması ve işletilmesinde önemli bir yere sahiptir. Kompanzasyon sistemlerinde genellikle şebekede istenmeyen fazla reaktif gücü reaktör bağlayarak, şebekenin ihtiyaç duyduğu reaktif gücü ise kondansatör bağlayarak sağlamaktır (Arifoğlu, 2002).

Dağıtık üretim uygulamaları; enerji tedariki, güvenilirliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için büyük öneme sahiptir (Jamian vd., 2017). Dağıtık üretim uygulamaları tüketicilerin enerji ihtiyaçlarını tüketim noktasına en yakın kendi üretim tesisinden karşılamasına imkan sağlamaktadır. Ayrıca arz güvenliğinin sağlanmasını dağıtık üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını sağlayacaktır (Andric vd., 2017). Doğu Karadeniz Bölgesi akarsu kaynakları bakımından zengin olup Orta Gerilim Seviyesinden enterkonnekte sisteme bağlı çok sayıda dağıtılmış üretim tesisi ülkemizin enerji arz güvenliğine katkı sağlamaktadır. Trabzon İlinde elektrik şebekesine OG'den bağlı 49 adet lisanslı dağıtık üretim tesisi bulunmakta olup bu tesislerin kurulu gücü 429,758 MW'dır. Tablo 1'de tesisler, kurulu güçleri, kaynak türü ve bulundukları bölgeler gösterilmektedir (URL-1, 2023).

Tablo 1. Trabzon ilinde Orta Gerilim seviyesinden bağı lisanslı santraller

Tesis adı	İlçe	Tesis Bilgileri		
		Tesis Türü	Kurulu Güç (MWm)	Kurulu Güç (MWe)
Yukarı Manahoz HES	Sürmene	Hidroelektrik	23,7	22,4
Tonya I-II HES	Maçka	Hidroelektrik	2,61	2,5
Yıldızlı HES	Ortahisar	Hidroelektrik	1,25	1,2
Arca HES	Of	Hidroelektrik	17,58	16,35
Derebaşı HES	Çaykara	Hidroelektrik	11,32	10,65
Manahoz HES	Sürmene	Hidroelektrik	7,35	7,08
Ataköy HES	Çaykara	Hidroelektrik	7,809	7,5
Çamlıkaya HES	Çaykara	Hidroelektrik	8,733	8,472
Balkodu II HES	Çaykara	Hidroelektrik	6,693	6,492
Balkodu I HES	Çaykara	Hidroelektrik	9,475	9,191
Güneşli II HES	Of	Hidroelektrik	12,6	12,38
Ataköy HES	Çaykara	Hidroelektrik	5,525	5,525
Kemerçayır HES	Of	Hidroelektrik	16,14	15,498
Üçanlar HES	Of	Hidroelektrik	12,593	11,939
Cuniş HES	Hayrat	Hidroelektrik	8,79	8,4
Günayşe HES	Köprübaşı	Hidroelektrik	9,2	9,1
Cevher I-II HES	Maçka	Hidroelektrik	17,06	16,36
Seydioğlu HES	Yomra	Hidroelektrik	2,34	2,28
Açma HES	Köprübaşı	Hidroelektrik	2,5	2,4
Çağlayan HES	Hayrat	Hidroelektrik	6,142	6
Araklı-3 HES	Araklı	Hidroelektrik	0,65	0,631
Esentepe HES	Çaykara	Hidroelektrik	16,2	15,88
Yanbolu HES	Arsin	Hidroelektrik	9,55	9,08
Yağmur HES	Sürmene	Hidroelektrik	9,194	8,946
Arısu HES	Maçka	Hidroelektrik	5,009	4,684
Köprübaşı HES	Köprübaşı	Hidroelektrik	8,195	7,949
Mavi HES	Maçka	Hidroelektrik	11,6	11,39

Tablo 1'in devamı

Üçharmanlar HES	Of	Hidroelektrik	17,44	16,64
Vizara Hes	Köprübaşı	Hidroelektrik	8,852	8,578
Araklı-I HES	Araklı	Hidroelektrik	15,36	14,911
Sukenarı HES	Maçka	Hidroelektrik	8,831	8,566
Ortaçağ HES	Araklı	Hidroelektrik	13,28	12,944
Selimoğlu HES	Arsin	Hidroelektrik	9,34	8,8
Köprüyanı HES	Maçka	Hidroelektrik	12,2	11,9
Karakaya HES	Maçka	Hidroelektrik	9,2	9,01
Çanakçı HES	Vakfikebir	Hidroelektrik	9,266	9,16
Işıklar (Visera) HES	Akçaabat	Hidroelektrik	1,04	1
Trabzon Rize Çöp Gazı Santrali	Sürmene	Biyokütle	4,353	4,239
Kuşluk HES	Araklı	Hidroelektrik	17,53	17
Oylum III HES	Sürmene	Hidroelektrik	5,628	5,46
Araklı Kaçkar HES	Sürmene	Hidroelektrik	3,975	3,856
Düzköy HES	Düzköy	Hidroelektrik	6,306	6,12
Evra BES	Araklı	Biyokütle	13,247	12,805
Ayvadere HES	Araklı	Hidroelektrik	1,3	1,25
Lale HES	Araklı	Hidroelektrik	6,65	6,5
Horyan HES	Araklı	Hidroelektrik	6,32	5,68
Dereiçi HES	Maçka	Hidroelektrik	7,05	6,77
Araklı-4 HES	Araklı	Hidroelektrik	9,18	8,91
Kadahor HES	Maçka	Hidroelektrik	9,75	9,362

Ülkemizin yüksek güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olması, gelişen teknoloji ile birlikte elektriksel güç sistemlerinde kullanılan teçhizatların veriminin artması, kullanıcıların kendi öz tüketimlerini karşılamak adına yaptıkları şebeke yatırımlarını arttırmış, bu durum son yıllarda birçok lisanssız üretim tesisinin de elektrik şebekesine entegre olmasını sağlamıştır.

Elektrik enerjisinin dağıtımında ve iletiminde yeraltı kablolu ve havai hatlar kullanılmaktadır. Havai hatlar izolasyon probleminden dolayı yerleşim yerlerine belirli

mesafelerde tesis edilmektedir. Yeraltı kablolarında ise yüzeylerini kaplayan yalıtkan tabaka bulunmasından dolayı havai hatlardaki mesafe problemi yoktur (Bak & da Silva, 2016). Havai hatların yıldırım, rüzgâr gibi hava olaylarından etkilenmesi, kuş vb. canlıların olası arıza riskini arttırması, bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde ağaçların enerji nakil hatlarına yaklaşılarak arıza meydana getirmesi gibi nedenlerden ötürü şebeke işletmecileri yeraltı kablolu tesislere yönelmektedir. Yeraltı kablolu tesis edilen şebekelerde SAIDI (Ortalama kesinti süresi endeksi) ve SAIFI (Ortalama kesinti sıklığı endeksi) endekslerinde iyileşme görülmektedir. Yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü son yıllarda şehir merkezi ve kalabalık alanlarda dağıtım şebekeleri yeraltına alınmakta, yeni tesis edilecek hatlarda yeraltından tesis edilmektedir. Yeraltına alınan veya yeni tesis edilirken yer altından tesis edilen OG tesisleri genelde işletme kolaylığı ve olası arızalarda kesinti süresini en aza indirmek için yedekli şekilde tesis edilmekte ve ihtiyaç duyulmaması halinde devreye alınmadan sıcak yedek olarak bekletilmektedir.

2022 yılı sonu itibariyle ülkemizin dağıtım şebekesinin %24'ünde yeraltı kablosu, %76'sında havai hatlı iletken kullanılmakta olup şebekedeki yeraltı kablosu kullanım oranı her geçen yıl artmaktadır (URL-2, 2023).

Gelişen teknoloji ile birlikte güç elektroniği elemanları ve reaktif güç tüketen cihazların şebekede kullanımı artmaktadır. Bu durum dağıtım şebekelerinde tesis edilen hatların aşırı yüklenmesine, güç kayıplarına ve gerilim düşümlerine sebep olmakta, şebekeye bağlanacak olan yeni tesisler için mevcut şebekenin yetersiz kalmasına ve yeni yatırım ihtiyacı oluşmasına sebep olmaktadır.

Bu tez çalışmasında dağıtım şebekeleri literatüründe ağırlıklı çalışılan konulardan biri olan dağıtık üretim tesislerinin reaktif güç destek kapasitelerinden yararlanarak reaktif güç kompanzasyonu yapmak hedeflenmiştir. TEİAŞ 14. Bölge Müdürlüğü (Trabzon) sorumluluk sahasında bulunan 154 kV Arsin Transformatör Merkezindeki OG-A barasına bağlı Evra BES ve Selimoğlu HES dağıtık üretim tesislerinin ve yedek olarak Arsin Organize Sanayi Bölgesi tarafından tesis edilmiş olan XLPE kabloların reaktif güç kapasitelerinden yararlanarak Reaktif Güç Destek Röle (RGDR) yazılımı geliştirilmiştir. Şebekedeki reaktif güç akışının endüktif veya kapasitif yönde olması durumu, "Endüktif reaktif durumu için algoritma ve akış diyagramı" ve "Kapasitif reaktif durumu için algoritma ve akış diyagramı" olmak üzere iki farklı algoritma ve akış diyagramı oluşturularak ele alınmıştır. Oluşturulan algoritma ve akış diyagramları yazılım aşamasında entegre edilmiştir. Oluşturulan RGDR yazılımı ile indirici merkezlerdeki OG baranın bağlı olduğu güç

transformatörünün alçak gerilim çıkışındaki aktif-reaktif güç akışı takip edilerek anlık olarak $\tan\phi$ (Reaktif Güç/Aktif Güç) değeri hesaplanmaktadır. $\tan\phi$ değerinin Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen değer aralığında olması durumunda şebekeye herhangi bir müdahalede bulunmadan sistemdeki yük akışı takip edilmektedir. $\tan\phi$ 'nin belirtilen değer aralığında olmaması durumunda ise baraya bağlı önceden belirlenmiş senkron makineler ve yedek olarak tesis edilmiş XLPE kablolardan reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi$ değerinin istenilen aralığa gelmesi sağlanmıştır. Çalışma kapsamında 154 kV Arsin TM'nin OG barası ve bu baraya bağlı 31,5 kV Arsin, 31,5 kV OSB-1, 31,5 kV OSB-2 ve 31,5 kV Araklı 3/0 fiderleri DIgSILENT Power Factory güç sistemleri analiz programı kullanılarak modellenmiştir.

Python programlama dilinin popülerliği ve DIgSILENT Power Factory güç akış analizi programı ile uyumlu olması RGDR yazılımının programlama dili olarak tercih edilmesinde önemli bir etken olmuştur.

1.1. Literatür Araştırması

Geleneksel dağıtım şebekelerinde gerilim regülasyonu ve reaktif güç kontrolü, dağıtık üretim içeren dağıtım sistemlerine göre daha basittir. Genel olarak indirici merkezdeki yük altında kademe değiştiricisi bulunan güç transformatörünün kademe ayarıyla oynanarak orta gerilim barasında gerilim seviyesi istenilen değerde sabitlenir. Şebekeye bağlanan anahtarlama şönt kapasitörlerle de reaktif güç kompanzasyonu yapılarak gerilim düşümü azaltılır (Barr & Majumder, 2014).

Geleneksel dağıtım şebekelerinde gerilim ve reaktif güç kontrolü, merkezi konvansiyonel üretim tesislerinden indirici merkezlere, indirici merkezlerden de güç transformatörleri vasıtasıyla orta gerilim dağıtım şebekesine doğru tek yönlü yük akışı olması durumuna göre tasarlanmıştır. Dağıtık enerji kaynaklarının dağıtım şebekesine entegre olması ile bu tasarım sistemi geçerliliğini kaybetmektedir. Şebekeye çeşitli noktalardan bağlanan dağıtık üretim tesisleri güç akışının yönünü değiştirerek gerilim profili ve reaktif güç kontrolünde etkili olmaktadır (Viawan & Karlsson, 2008).

Dağıtık üretim tesislerinin yük akışları sürekli olarak kontrol edilirse şebekedeki gerilim regülasyonuna olan negatif etkileri önlenabilir. Dağıtık üretim tesislerinin şebekenin ihtiyacı olan reaktif güce göre optimum reaktif güç çıkışının belirlenmesiyle birlikte sadece şebekenin gerilim profili değil aynı zamanda tüm sistemin enerji kalitesi artırılarak

performansı arttırılabilir. Dağıtık üretim tesislerinin dağıtım şebekelerine reaktif güç desteği ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır (Maknouninejad & Qu, 2014).

İletim sistemi ile dağıtım sisteminin irtibatlandığı nokta olan indirici transformatör merkezlerindeki OG baraların gerilim kontrolü ve baraya bağlı dağıtık üretim tesislerinin merkezi olarak birlikte kontrol edildiği çalışmalarda yapılmıştır (Bignucolo vd., 2008).

Dağıtım şebekesine yüksek oranda güneş enerji santrallerinin bağlı olması durumunda gerilim regülatörlerinin kademe ayar sayısını azaltmak için reaktif güç kompanzasyon yöntemi önerilen çalışmalar yapılmıştır (Agalgaonkar vd., 2013).

Dağıtık üretim tesislerinin reaktif güç destek kapasitesinden yararlanarak dağıtım şebekelerindeki reaktif güç ihtiyacının karşılanması literatürde ağırlıklı olarak çalışılan bir konudur (Baran & El Markabi, 2007).

MCSR'ler reaktif güç kompanzasyonu, güç kalitesinin iyileştirilmesi, gerilim kararlılığı ve akım/gerilim harmoniklerini azaltmak gibi birçok uygulama alanı bulunan çok fonksiyonlu cihazlardır (Karymov & Ebadian, 2007).

Akıllı şebekelerde güç kalitesinin iyileştirilmesi için statik VAR kompansatör (SVC) temelli Tristör kontrollük reaktör uygulaması denenmiş ve SVC uygulamalarının reaktif güç kompanzasyonu ve güç faktörü iyileştirilmesi için uygun maliyetli olduğu görülmüştür (Ilisiu & Dinu, 2019).

Tristör kontrollü seri kapasitör (TCSC) ve Statik VAR kompanzasyon sistemlerinin elektrik güç sistemlerine olan etkileri incelenmiştir. Söz konusu esnek alternatif akım iletim sistemi cihazlarının gerilim regülasyonu, reaktif güç dengesi ve güç aktarımı konularına önemli seviyede katkı sağladığı görülmüştür (Bozali vd., 2019).

Geleneksel reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin ani reaktif güç ihtiyacına cevap vermede yetersiz kalması nedeniyle SVC ve STATCOM elektrik güç sistemine paralel bağlanarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda sisteme STATCOM cihazının bağlanması durumunda kayıpların SVC sisteminin bağlandığı duruma göre azaldığı, maksimum yüklenme parametresinin ise arttığı gözlemlenmiştir (Tosun vd., 2011).

Marmaray metre istasyonu projesi kapsamında kullanılan XLPE kablunun uzun olmasından dolayı oluşan kapasitif reaktif enerjinin kompanze edilebilmesi için tesis edilen kompanzasyon sistemi incelenmiştir. Tren seferlerinin azaldığı gece saatlerinde aktif enerji tüketiminin azalması ile birlikte XLPE kablolarının kapasitif reaktif etkisi ön plana çıkmakta ve kompanzasyon edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle tüm istasyonlara endüktif/kapasitif özellikle kompanzasyon sistemi yapılmıştır. Kompanzasyon sistemlerinin referans değerleri

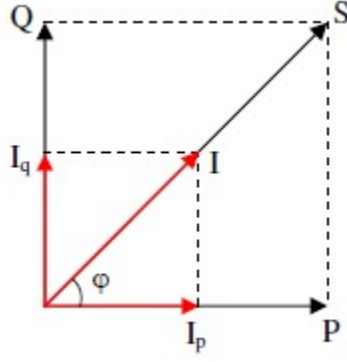
OG seviyesinden alması sağlanarak XLPE kablunun kapasitif reaktif etkisi ve sistemin tamamı istenilen seviyede kompanze edilmiştir (Sürmeli, 2014).

Orta gerilim dağıtım şebekelerindeki kompanzasyon sistemi MATLAB/Simulink programında modellenerek simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Orta gerilim seviyesinde yapılan kompanzasyonun alçak gerilim seviyesinde yapılan klasik kompanzasyon yöntemlerine nazaran bazı olumsuzluklara neden olduğu gözlemlenmiştir. Kademe değişimlerinin ani olarak gerçekleşmesi nedeniyle akım ve gerilim değerlerinde anlık olarak tehlikeli yükselmeler meydana geldiği görülmüştür. Çalışma sonucunda yük değişiminin hızlı ve anlık olmadığı durumlarda orta gerilim seviyesinden kompanzasyonun yapılmasının uygun olacağı, aksi durumlarda ise alçak gerilim seviyesinde yapılacak olan kompanzasyonun teknik ve ekonomik açıdan uygun olacağı öngörülmüştür (Yoldaş, 2011).

Dağıtım şebekelerinde kullanılan XLPE kabloların kapasitif etkisi üzerine yapılan bir başka çalışmada şebekedeki tüm kompanzasyon sistemlerinin devrede olmasına rağmen sistemin kapasitif reaktif yönde cezaya girdiği görülmüştür. Yapılan incelemelerde bu durumun XLPE kablunun kapasitif etkisinden dolayı meydana geldiği tespit edilmiştir. Söz konusu dağıtım şebekesindeki reaktif yüklerin kaynağı ve miktarı tespit edilerek kompanzasyon için ihtiyaç duyulan şönt reaktörün kapasitesi belirlenmiştir. Tesis çalışmalarından sonra şebekedeki kapasitif reaktif enerjisinin istenilen düzeyde kompanze edildiği ve cezai sınırların altında kaldığı görülmüştür (Angay, 2019).

1.2. Aktif, Reaktif Güç ve Güç Faktörü

Kullanıcıların elektrik şebekesinden çektiği akım, reaktif ve aktif olmak üzere iki ayrı bileşenden oluşur. Aktif akımın oluşturduğu güç, tüketici tarafından yararlı hale getirilir. Aktif güç aydınlatmada ışık akısı, motorlarda mekanik güce dönüşerek elektriğin faydalı hale dönüşmüş şeklidir. Elektromanyetik indüksiyon prensibine göre çalışan Motor, bobin, transformatör jeneratör gibi teçhizatlara gerekli manyetik akımı sağlayan mıknatıslanma akımına reaktif akım, çekilen güce de reaktif güç denir. Reaktif akım şebekeyi gereksiz yere yükler ve faydalı güce dönüşmez, gerilim düşümlerine ve kayıplara neden olur (Bayram, 2000).



Şekil 1. Akım, gerilim ve güçlerin fazör diyagramda gösterilmesi

Görünür güç ile aktif güç arasındaki açıya faz açısı denir. Bu açının kosinüs değerine de güç faktörü denir ve $\cos\varphi$ ile gösterilir.

Şekil 1’deki fazör diyagram referans alınarak görünür güç, aktif güç, reaktif güç, reaktif akım, aktif akım ve güç faktörü değerleri Denklem 1-6’da gösterilen formüllerle elde edilebilir.

$$S = P + jQ \quad (1)$$

$$P = S \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

$$Q = S \cdot \sin\varphi \quad (3)$$

$$I_p = I \cdot \cos\varphi \quad (4)$$

$$I_q = I \cdot \sin\varphi \quad (5)$$

$$\cos\varphi = P/S \quad (6)$$

1.3. Dağıtım Şebekesi

Ülkemizde elektrik enerjisinin kullanılması ilk olarak 1902 yılında Tarsus’ta tesis edilen hidroelektrik santral ile başlanmıştır. 1913 yılında ise yüksek güçlü ilk santral olan

İstanbul Silahtarağa termik santrali kurulmuştur. 1935 yılından itibaren ETİBANK, Elektrik İşleri Etüt İdaresi kurulmuş, sonrasında İller Bankası ve Devlet Su İşleri devreye girmiştir. 1950’li yıllara gelindiğinde üretim şebekesindeki gelişmeleri, iletim şebekesindeki gelişmeler takip etmiş ve enterkonnekte şebekenin omurgası oluşmaya başlamıştır. Bu yıllarda aynı zamanda devlet ve özel sektör tarafından üretim santralleri yapılarak işletilmeye başlanmıştır.

Artan tüketim ihtiyacı ve bu ihtiyacı karşılamaya yönelik devreye alınan tesisler ile birlikte elektrik hizmetinin ülke genelinde yaygınlaşması kurumsal bir yapıyı zorunlu kılmıştır. Bu zorunluluğun neticesinde 1970 yılında TEK (Türkiye Elektrik Kurumu) kurulmuştur. Bu sayede belediyeler ve İller Bankası dışında bütünlük sağlanmıştır. 1993 yılına kadar elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı TEK tarafından tek çatı altında yapılmaktaydı. 1993 yılında TEK, TEAŞ (Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.) ve TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) olmak üzere iki ayrı İktisadi Devlet Teşekkülüne ayrılmıştır (Özdemir, 2018).

2000 yılına kadar dağıtım şebekesi işletimi devlet tekelinde TEDAŞ tarafından yapılmaktaydı. Elektrik sektöründeki yapısal reform çalışmaları, Dünya bankasının talebi ve IMF’ye verilen niyet mektubunda elektrik üretim ve dağıtım şebekelerinin özelleştirilmesinin yer alması üzerine 3 Nisan 2004 tarihinde Özelleştirme Yüksek Kurulunun kararı ile TEDAŞ özelleştirme kapsamına alınmıştır (Resmi Gazete, 2004).

Dağıtım sektörünün özelleştirilmesi ile şebekenin kapasite artışı ve yenileme kaynaklı yatırım ihtiyacını özel sektör tarafından karşılanarak kamu bütçesi üzerindeki yükü hafifletmek, elektrik dağıtım hizmetinin yüksek kalitede ve sürekli olarak sağlanması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda TEDAŞ’ın özelleşme süreci 2013 yılında tamamlanarak EPDK tarafından Tablo 2’de belirtilen dağıtım şirketlerine 21 dağıtım bölgesi için, 21 ayrı dağıtım lisansı verilmiştir (URL-3, 2022).

Tablo 2. Elektrik dağıtım şirketleri ve kapsadığı iller

	Dağıtım Şirketi	Kapsadığı İller
1	Akdeniz EDAŞ	Antalya, Burdur, Isparta
2	Aras EDAŞ	Erzurum, Ağrı, Ardahan, Bayburt, Erzincan, Iğdır, Kars
3	Başkent EDAŞ	Ankara, Kırıkkale, Zonguldak, Bartın, Karabük, Çankırı, Kastamonu
4	Boğaziçi EDAŞ	İstanbul İli Avrupa yakası

Tablo 2'nin devamı

5	Çoruh EDAŞ	Trabzon, Giresun, Gümüşhane, Artvin, Rize
6	Çamlıbel EDAŞ	Sivas, Tokat, Yozgat
7	Dicle EDAŞ	Diyarbakır, Şanlıurfa, Mardin, Batman, Siirt, Şırnak
8	Fırat EDAŞ	Elazığ, Bingöl, Malatya, Tunceli
9	GDZ EDAŞ	İzmir, Manisa
10	Akedaş EDAŞ	Kahramanmaraş, Adıyaman
11	Anadolu Yakası EDAŞ	İstanbul Anadolu yakası
12	ADM EDAŞ	Aydın, Denizli, Muğla
13	Meram EDAŞ	Kırşehir, Nevşehir, Niğde, Aksaray, Konya, Karaman
14	Osmangazi EDAŞ	Eskişehir, Afyon, Bilecik, Kütahya, Uşak
15	Sakarya EDAŞ	Sakarya, Bolu, Düzce, Kocaeli
16	Toroslar EDAŞ	Adana, Gaziantep, Hatay, Mersin, Osmaniye, Kilis
17	Trakya EDAŞ	Edirne, Kırklareli, Tekirdağ
18	Uludağ EDAŞ	Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Yalova
19	Vangölü EDAŞ	Bitlis, Hakkari, Muş, Van
20	Yeşilirmak EDAŞ	Samsun, Amasya, Çorum, Ordu, Sinop
21	Kayseri ve Civarı ETAŞ	Kayseri

Tablo 2’de gösterildiği gibi Trabzon ilinin de içerisinde yer aldığı Doğu Karadeniz Bölgesindeki beş ilin dağıtım şebekelerinin sistem ve şebeke işletmeciliği Çoruh EDAŞ tarafından yapılmaktadır.

Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde dağıtım şebekesi, “İletim tesislerinin ve dağıtım gerilim seviyesinden bağlı üretim ve tüketim tesislerine ait şalt sahalarının bittiği noktadan sonraki nihayet direğinden itibaren, alçak gerilim seviyesinden bağlı tüketicilerin yapı bina giriş noktalarına kadar, bina giriş ve sayaç arası hariç, elektrik dağıtımını için teçhiz edilmiş tesis ve teçhizat ile dağıtım şirketince teçhiz edilen ya da devralınan sayaçlar” olarak tanımlanmıştır (Resmi Gazete, 2014).

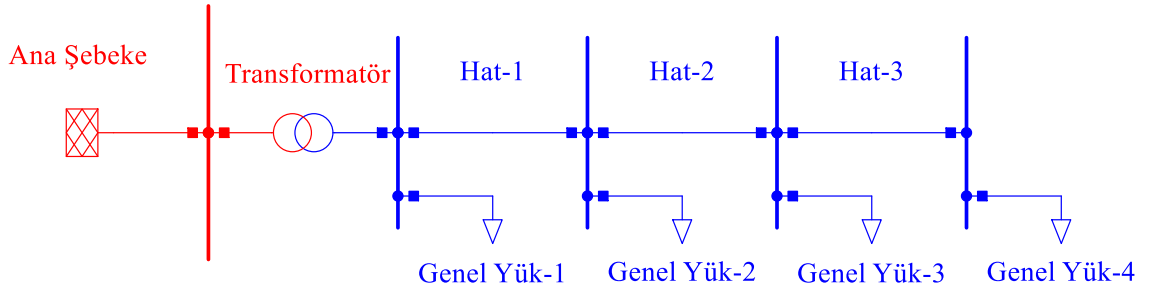
Ülkemizde dağıtım şebekesinde gerilim seviyeleri 34,5kV, 33kV, 31,5kV, 15,8kV, 10,5kV ve 6,3kV’tur (Resmi Gazete, 2014). Elektrik enerjisine olan ihtiyacın her geçen gün artması ile birlikte dağıtım şebekelerinin yüklenme oranları artmaktadır. Aşırı yüklenen şebekelerde ısı kayıpları ve gerilim düşümleri meydana gelmekte olup bu durum güç kalitesi

parametrelerine olumsuz yönde etki etmektedir. Ayrıca aşırı yüklenmeler şebekede kullanılan teçhizatların ömürlerini kısaltarak arıza olma olasılığını arttırmaktadır.

Yukarıda bahsedilen durumlar ve şebekedeki ekipmanların standardize edilmesi göz önüne alınarak dağıtım şebekelerindeki ara gerilim seviyeleri terk edilmektedir. Bu durum dağıtım şebekelerindeki işletme ve bakım faaliyetlerini de kolaylaştırmaktadır. Dağıtım şirketleri her yıl yatırım programlarında belirli miktarda bütçeyi gerilim dönüşümü projelerine ayırmaktadır. Ara gerilim seviyelerinin terk edilmesinin bir avantajı da şebekede kullanılan OG-OG (31,5kV/6,3kV vb.) gerilim dönüştürücü güç transformatörlerinin kullanımına ihtiyaç duyulmaması ve teknik kayıpların azalmasıdır.

1.3.1. Radyal Şebeke

Şehir, köy ve sanayi gibi alanlarda tek kaynak noktasından beslenen yapısı genel olarak ağaç dallarına benzeyen şebekelere radyal şebeke denir. Bu tarz şebeke sistemlerinde dağıtım transformatörünün tesis edileceği nokta seçilirken şebeke yükünün ağırlık merkezi dikkate alınır. Aboneleri besleyecek olan hatlar transformatör çıkış noktasından itibaren kalın kesitli seçilir, transformatörden uzaklaştıkça hat branşmanlara ayrılır ve taşıyacağı yükün kapasitesi azalacağından iletken kesiti de azaltılır. Şekil 2’de radyal dağıtım şebekelerinin genel yapısı gösterilmektedir.



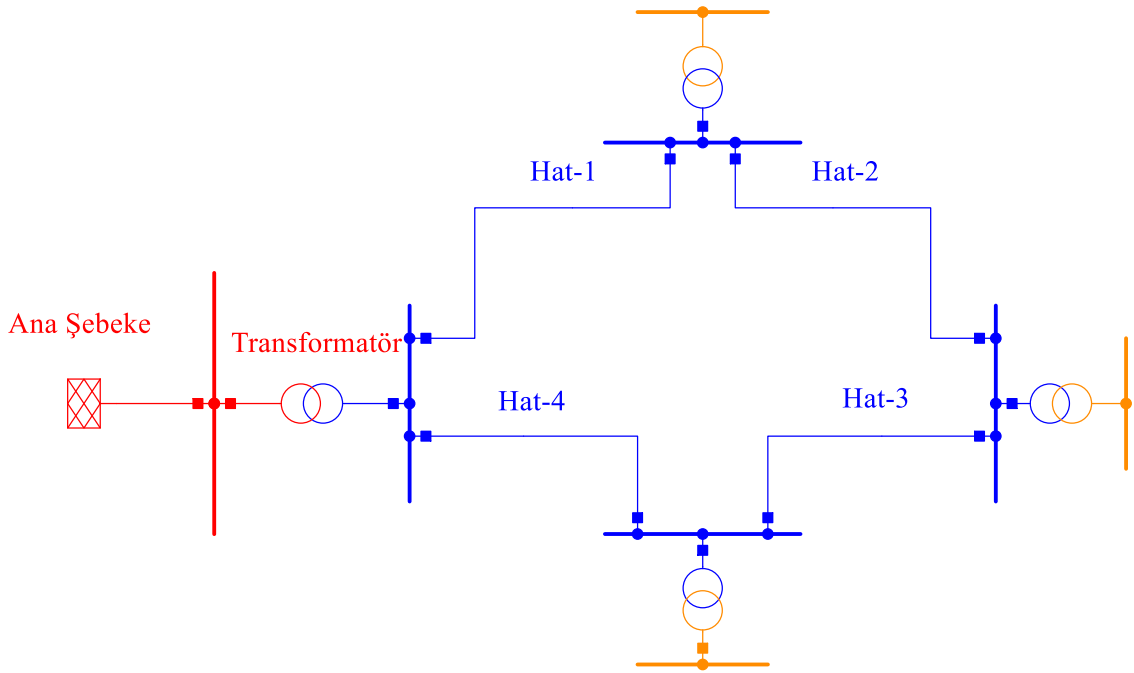
Şekil 2. Radyal dağıtım şebekesi

Radyal şebekelerin basit ve ucuz olması, şebeke enstrümanları ile gerilim regülasyonunun sağlanmasının kolay olması dağıtım şebeke mimarisi oluşturmada çok tercih edilmesini sağlamaktadır (Hartono vd., 2013). Planlama ve analiz edilmesi, koruma ve koordinasyonun sağlanması, arıza anında oluşacak olan düşük kısa devre akımları radyal şebekelerin avantajlı yönlerindendir. Ancak bu tarz şebekelerde arıza anında birçok noktanın

enerjisiz kalması ve alternatif olarak farklı bir noktadan beslenememesi düşük arz güvenliğine sebep olmaktadır.

1.3.2. Ring Şebeke

Ring şebeke, şehir, köy ve sanayi gibi alanlarda birden fazla kaynaktan beslenen ve sisteme bağlı transformatörlerin paralel çalışarak kapalı bir sistem oluşturduğu şebekelere denir. Bu şebeke sisteminde arıza olması durumunda arızalı bölge şebekenin geri kalanından izole edilerek tüm tüketicilerin enerjisiz kalmasının önüne geçilir. Transformatörler ve hatlar, olası arıza halinde normal işletme koşullarında beslediği yükten fazlasını üzerlerine alacağından şebekedeki iletken kesitleri her noktada aynı seçilir, bu durum ring şebeke yatırımlarının başlangıç ve işletme maliyetlerini arttırmaktadır. Şekil 3'te ring dağıtım şebekelerin genel yapısı gösterilmektedir.

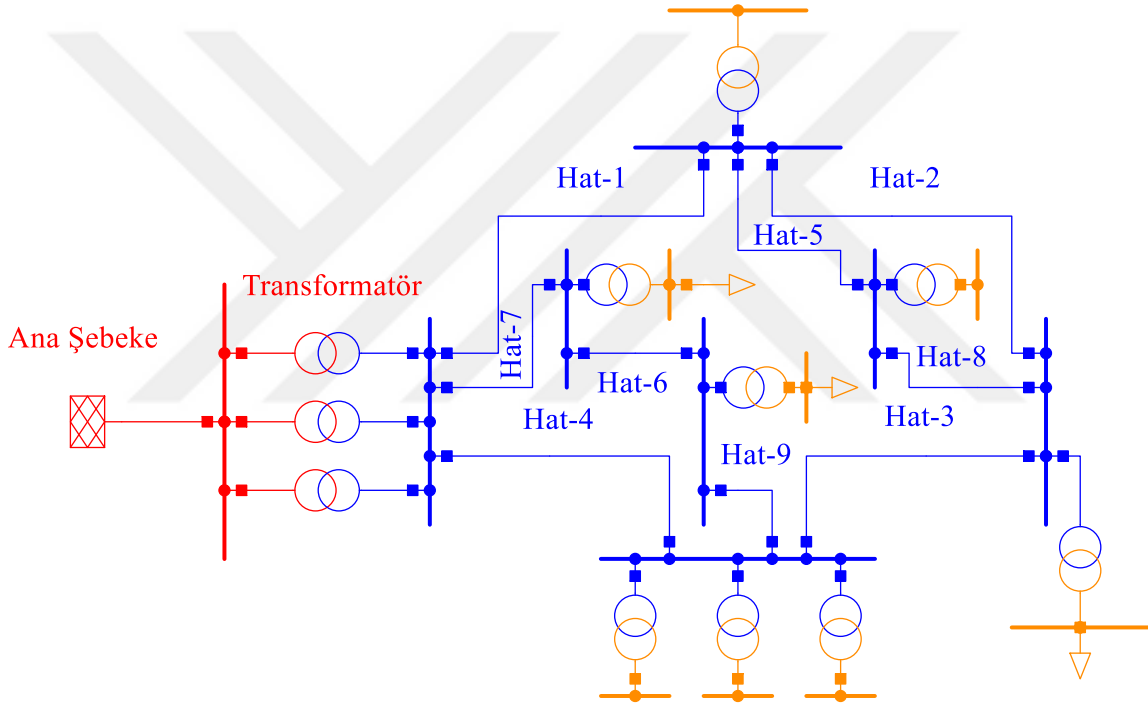


Şekil 3. Ring dağıtım şebekesi

Ring şebekelerde sistem birden fazla noktadan beslenebildiği için gerilim kararlılığı yüksek, güç kayıpları ise düşük olmaktadır. Radyal şebekelere göre daha kompleks yapıda olması koruma ve koordinasyonu zorlaştırmaktadır (Reed vd., 2012) Şebekedeki bakım çalışmalarında da enerji kesintisi gerektirmediğinden işletme ve bakım faaliyetlerini kolaylaştırmaktadır.

1.3.3. Ağ Şebeke

Kent merkezleri, kırsal kesim ve sanayi merkezlerinde uygulanabilen, müşterilerin birden fazla transformatör ile beslendiği ve besleyen dağıtım şebekesinin ağ gibi örülerek tesis edildiği şebekelere ağ şebeke denir. Herhangi bir arıza anında arızalı bölge izole edilerek şebekenin kalan kısmındaki kullanıcıların kesintiden etkilenmesi engellenebilir. Yüksek güçlü kullanıcılarında bağlantı yapabileceği sistemlerdir. Kısa devre akımlarının yüksek olması, işletme ve bakımının zor olması dezavantajlarındandır. Şekil 4'te ring şebekelerin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4. Ağ dağıtım şebekesi

1.4. Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Yöntemleri

Reaktif güç elektrik şebekesinin enerji kalitesini olumsuz yönde etkileyen problemlerden biridir. Şebekenin ihtiyacı olan reaktif gücün fazlası sistemin güç katsayısının düşmesine, verimliliğin düşmesine, kayıpların artmasına, şebekedeki transformatör ve hatların aşırı yüklenmesine bundan dolayı ısı kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Şebekeye bağlanacak olan yeni tesisler için ekstra yatırım maliyeti doğmaktadır. Tüm bu

olumsuzlukların önüne geçebilmek için sistemdeki endüktif ve kapasitif yüklerin dengelenmesine, şebekeye bağlı yüklerin ihtiyacı olan reaktif enerjinin belirli limitler dahilinde karşılanmasına reaktif güç kompanzasyonu denir (Gelen & Yalçınöz, 2009).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun yayınladığı “Elektrik Şebeke Yönetmeliğinin” reaktif güç kompanzasyonu kısmı Madde 14’te “İletim sistemine doğrudan bağlı tüketiciler ve dağıtım lisansına sahip tüzel kişiler tarafından; aylık olarak sistemden çekilen endüktif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı yüzde yirmiyi, aylık olarak sisteme verilen kapasitif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı ise yüzde on beşi geçemez.” denmektedir (Resmi Gazete, 2014). Bu durum dağıtım şirketleri için İndirici Merkezlerdeki transformatörlerin bağlı olduğu OG baradan çekilen reaktif gücün kompanze edilmesini zorunlu kılar. Aksi halde ekonomik yaptırımlar ile karşılaşılabilir.

Reaktif güç kompanzasyonunun faydaları;

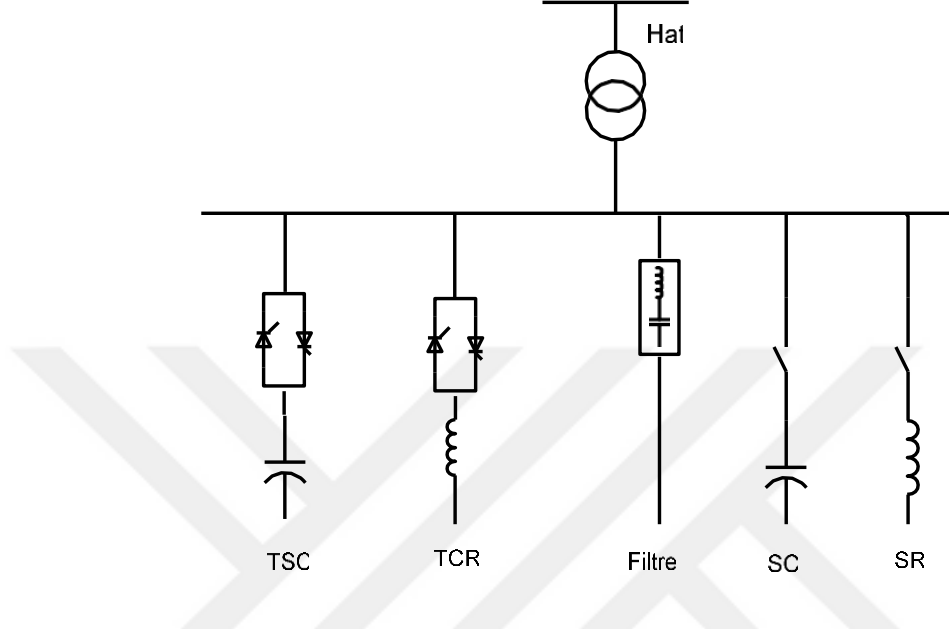
- Güç faktörü yükseltilerek şebekede bileşenlerinin daha verimli kullanılması sağlanır.
- Enerji kalitesizliğinden kaynaklı oluşabilecek arızaların önüne geçilebilir. Bu durum teçhizatların ömürlerini uzatıcı etki sağlar.
- Şebekeden çekilecek olan akımın azalmasıyla ısı kayıpları azalır.
- Şebekeden çekilecek aktif güç miktarının artmasıyla sistemin verimli kullanılması sağlanarak ekonomik kayıpların önüne geçilir.
- Reaktif güç tüketimi ile alakalı ceza ödenmesinin önüne geçilir.

1.4.1. Statik VAR Kompanzasyon (SVC)

Gelişen teknoloji ile birlikte şebekeden çekilen yük profili değişkenlik göstermekte olup eski nesil elektromekanik kompanzasyon sistemleri ile yüksek güçlü ve hızlı aktif olan yükleri kompanze etmesi mümkün değildir. Sistem ihtiyaçlarına istenilen seviyede ve hızlı bir şekilde cevap verilebilmesi için statik VAR kompanzasyon sistemleri geliştirilmiştir (Hartono vd., 2013). Yükleri ve voltaj regülasyonunu dengeleyerek titreşimi azaltma, çift ve tek harmoniklerin yanında ara harmoniklerin de filtrelenmesi gibi özellikleri de vardır.

Statik Var kompanzatörler tristör kontrollü elemanların kullanıldığı sistemlerdir. Tristör kontrollü reaktör (TCR), tristör anahtarlama kondansatör (TSC), tristör anahtarlama reaktör (TSR) gibi reaktif güç kontrol ekipmanları statik VAR kompanzasyon

sisteminin bir kısmını veya tamamını oluşturur. Statik VAR Kompanzasyon sistemleri maksimum reaktif ve kapasitif güç limitlerine ve bu limitler aralığında istenilen değeri sağlama özelliğine sahiptir (Bostancı, 2008).



Şekil 5. SVC Devre Şeması

SVC'lerin reaktif güç kompanzasyonunda kullanılması durumundaki devre şeması Şekil 5 'te gösterilmektedir.

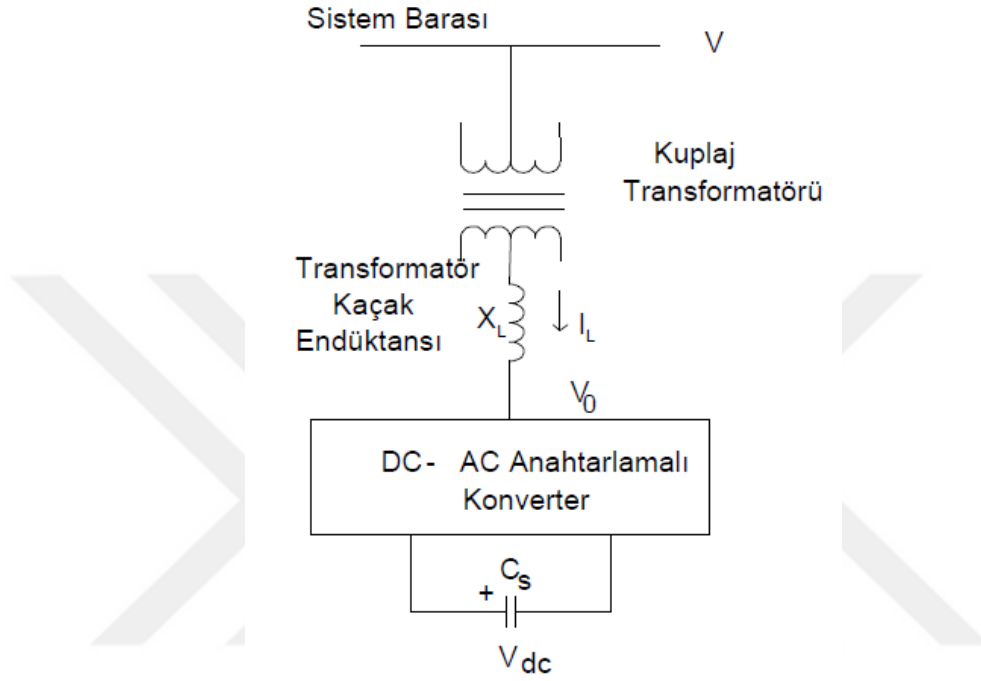
- Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)
- Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)
- Tristör Anahtarlama Reaktör (TSR)
- Tristör Kontrollü Faz Değiştirici (TCPV)
- Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC)
- Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör (FC-TCR) olmak üzere farklı tiplerde Statik VAR Kompanzatörler sistemleri bulunmaktadır (Gelen & Yalçınöz, 2009).

1.4.2. Statik Senkron Kompansatör (STATCOM)

STATCOM, gerilim kaynağı dönüştürücü (VSC) tabanlı şönt kompanzatör çeşididir. Endüktif veya kapasitif güç desteği sağlayabilen, SVC gibi çalışan statik senkron

generatördür. STATCOM düşük gerilim seviyelerinde Statik VAR Kompanzatöre göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

STATCOM'ların reaktif güç kompanzasyonunda kullanılması durumundaki devre şeması Şekil 6 'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Tek fazlı STATCOM devre şeması.

STATCOM, Bir doğru akım kaynağından beslenen invertör tarafından doğru akım enerjisi alternatif akıma çevirerek reaktans üzerinden şebekeye veren cihazlara denir. Elektrik sisteminin bazı parametrelerinin kontrollü bir şekilde değiştirilebilmesi için çıkış değerlerini değiştirebilme özelliğine sahip kompanzasyon elemanıdır (Hingorani & Gyugyi, 2000).

STATCOM sisteminin asıl fonksiyonu şebekedeki gerilim regülasyonunu sağlamak ve güç faktörünü iyileştirmektir. Bu işlemi şebekeden reaktif akım çekerek veya şebekeye reaktif akım vererek başarır. Bu çalışma prensibi senkron kompanzatör ile benzerdir. STATCOM un yapısında kuplaj transformatörü, Gerilim beslemeli dönüştürücü ve DA depolama kaynağı bulunmaktadır (Çöteli, 2006).

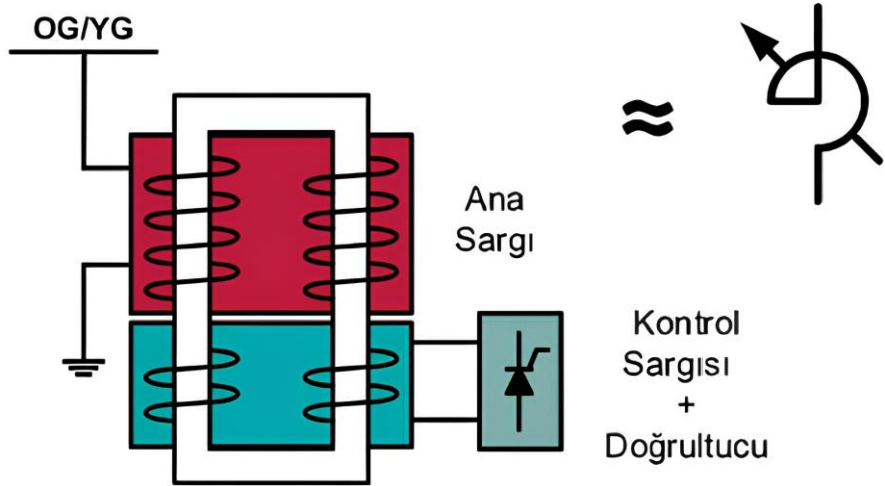
1.4.3. Manyetik Kontrollü Reaktör (MCR)

MCR'ler 90'lı yılların sonunda geleneksel şönt reaktörlerin şebekedeki reaktif güç kompanzasyonun da yetersiz kalması ve anahtarlama esnasında ortaya çıkan güç kalitesi problemleri nedeniyle geliştirilerek, sistemde kullanılmaya başlanmıştır (Oleksyuk vd., 2017).

MCR'ler step-up transformatörlere ihtiyaç duymadan direk olarak yüksek gerilim seviyelerine bağlanabilen doymuş reaktörlerdir. Nüvenin manyetik doyum prensibinden istifade ederek çalışırlar. DA mıknatıslanma akımı doğrultucu devresinden üretilir ve seviyesi kontrol edilebilir. Üretilen mıknatıslanma akımı MCR'nin kontrol sargısına uygulanarak nüvenin çalışma doyum noktası ihtiyaca göre değiştirilebilir. Bu uygulama ile MCR'nin ana sargısının endüktif süseptansı kontrol edilerek talep edilen reaktif güç desteği sağlanır (URL-4, 2023). MCR'ler FACTS cihazları sınıfındadır ve SVC sistemlerinde kullanılan TCR'nin alternatifi olarak kabul görmektedir (Bryantsev vd., 2010).

MCR'ler hızlı değişen reaktif güç ihtiyacına göre ayarlanabilir reaktif güç desteği sağlama, fliker problemlerini önleme gibi özelliklerinden dolayı sabit kondansatör bankları ile birlikte dağıtım şebekelerinde yoğunlukla kullanılmaktadır.

MCR'lerin reaktif güç kompanzasyonunda kullanılması durumundaki devre şeması Şekil 7 'de gösterilmektedir.

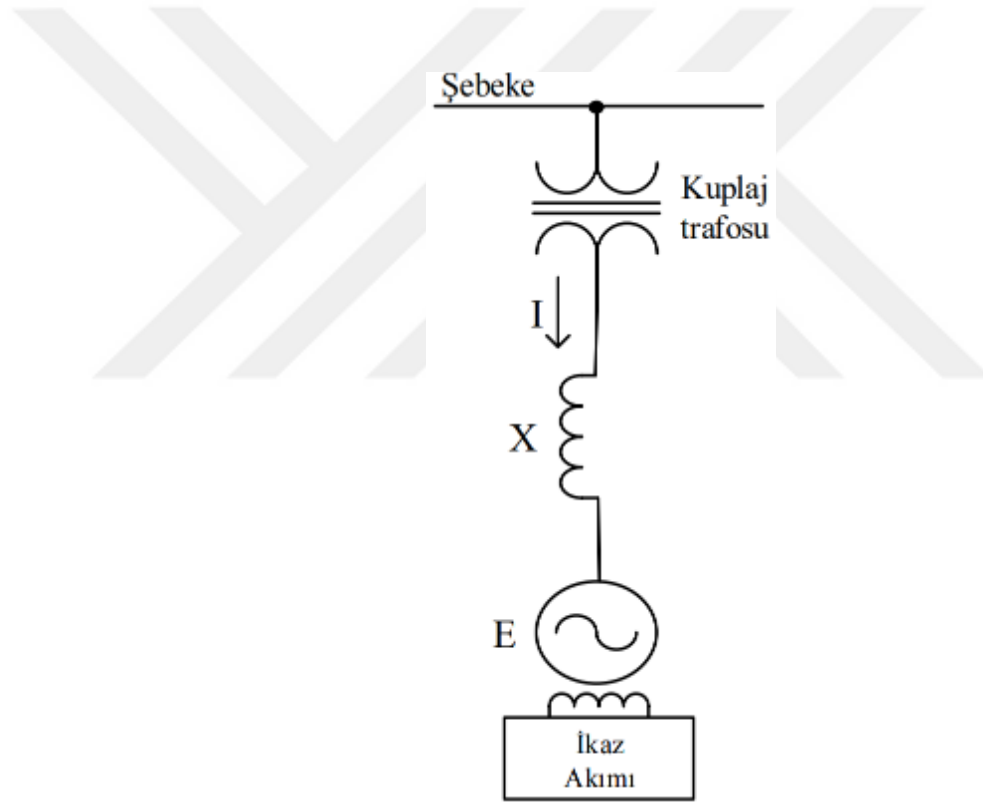


Şekil 7. MCR devre şeması.

1.4.4. Senkron Makine Kullanımı

Enterkonnekte sistemde bara gerilimlerinin istenilen değer aralığında tutulması için sisteme bağlı senkron makinelerin motor olarak çalıştırılarak, şebekeye reaktif güç vermesi veya sistemden reaktif güç çekmesine senkron kompanzasyon denir (Resmi Gazete, 2014). Senkron makineler de bu işlem uyarma akımı ayarlanarak yapılır. Ařırđ uyarılmış senkron makineler sisteme kapasitif reaktif enerji verirken, düşük uyarılmış senkron makineler ise sistemden endüktif reaktif enerji eker. Senkron makinelerin reaktif güç kapasiteleri ikaz akımı, armatr akımı ve ısınma sorunu ile sınırlıdır (Momoh & El Hawary, 1999).

Senkron makinelerin reaktif güç kompanzasyonunda kullanılması durumundaki devre şeması şekil 8 ‘de gösterilmektedir.



şekil 8. Senkron kompanzatör devre řemasđ

Senkron makine kullanımı g faktörünü düzeltmek için ideal bir yöntemdir. Ancak maliyetinin pahalđ olması nedeniyle genellikle yüksek gerilimli iletim şebekelerinde senkron makinelerin reaktif güç kabiliyetleri kullanılarak gerilim regülasyonu yapılmaktadır. Orta gerilim şebekelerinde ise genellikle statik kompanzasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Geleneksel dağıtım şebekelerinden yeni nesil dağıtık üretim içeren şebekelere geçişin en önemli avantajđ dinamik kompanzasyon için ihtiyaç duyulan senkron makinelerin dağıtım

şebekelerine entegre olmasıdır. Hazırlanan tezin asıl amaçları arasında kompanzasyon için ihtiyaç duyulacak ekonomik bütçenin şebekenin farklı noktalarında yatırıma dönüştürülmesi ve şebekede mevcut bulunan dinamik kompanzasyon ünitelerinin herhangi bir yatırım yapmadan reaktif güç kompanzasyonuna dahil edilmesidir.

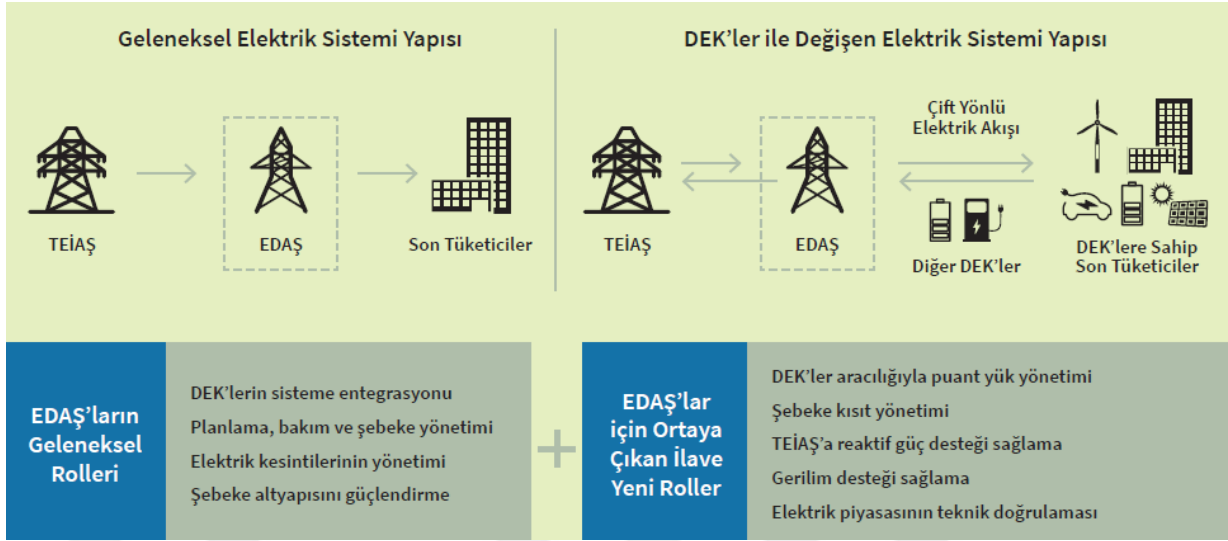
1.5. Dağıtık Üretim ve Enerji Kaynakları

Şebekede tüketicilerin enerji ihtiyacını hızlı bir şekilde karşılayabilecek üretimdir. Bazı kuruluşlar dağıtık üretim tanımını farklı şekilde yapmışlardır (Anwar & Pota, 2011).

EPRI dağıtık üretimi düşük kW seviyelerinden 50 MW'a kadar olan üretim olarak tanımlar. CIGRE'ye göre, 50-100 MW'tan az gücü olan üretim olarak adlandırılır (Ackermann vd., 2001). Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre dağıtım şebekesinden bağlı tüketiciye veya şebekeye destek sağlayan üretim santralleri olarak tanımlanır (IEA, 2002).

Dağıtık üretimin genel mantığı merkezi büyük güçlü üretim tesislerinin dışında, tüketim tesislerine yakın noktalarda düşük güçteki enerji üretim potansiyelini değerlendirerek üretim tesisleri kurarak merkezi üretim sistemlerinin üzerindeki baskıyı azaltmak, iletim hatlarındaki yüklenmeyi ve kayıpları azaltmaktır.

Dağıtık üretim tesislerinin mevcut dağıtım şebekesine bağlantı noktalarını tespit etmek ve yeni üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonunu sağlamak ciddi planlama ve organizasyon isteyen teknik bir konudur. Master düşünce yapısı ile dizayn edilecek olan dağıtım şebekeleri sayesinde olası hatalı planlamaların önüne geçilerek şebeke kalitesine maksimum katkı sağlanacaktır.



Şekil 9. Geleneksel ve DÜ'ler ile değişen sistem yapısı.

Şekil 9'da geleneksel elektrik sistemi yapısı ve dağıtık üretim tesislerinin şebekeye entegre olmasıyla birlikte değişen sistem yapısı gösterilmektedir. Dağıtık üretim tesislerinin şebekeye entegre olması, şebeke kısıt yönetimi, TEİAŞ'a reaktif güç desteği sağlama, gerilim regülasyonu ve dağıtık üretim tesisleri ile puant yük yönetimi gibi güncel konuların gündeme gelmesini sağlamıştır. Tez çalışması kapsamında da dağıtık üretim tesislerinin reaktif güç kabiliyetlerinden yararlanmak hedeflenmiştir (Aksoy vd., 2020)

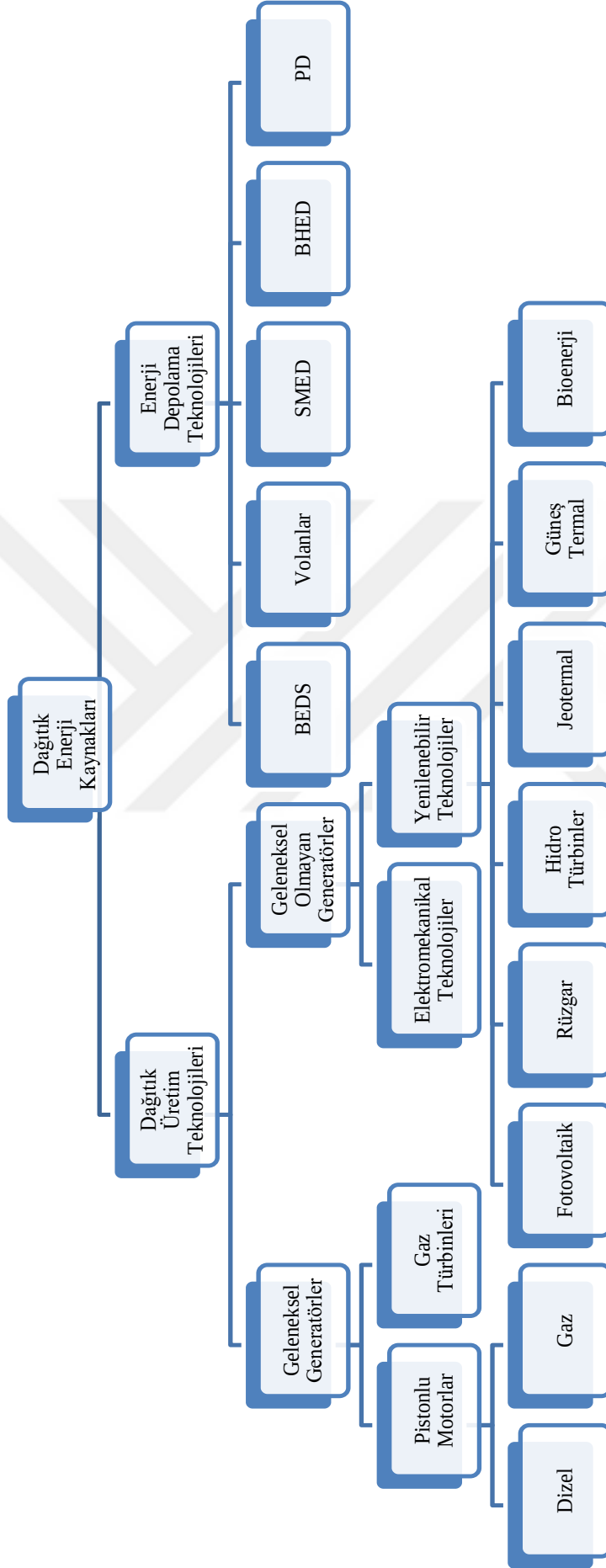
Dağıtık üretim tesisleri tüketim tesislerinin yakınında küçük ölçekli güç üreten santrallerden oluşmaktadır. Dağıtık üretimde yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere iki farklı sınıfta üretim kaynaklarını sınıflandırabiliriz. Güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga ve biyoyakıt gibi kaynaklar yenilenebilir dağıtık üretim kaynakları olarak, içten yanmalı motorlar, kombine çevrim, yanmalı türbinler, mikro türbinler ve yakıt hücreleri ise yenilenemez dağıtık üretim kaynakları olarak adlandırılır. Yenilenebilir Dağıtık Üretim tesisleri konvansiyonel kömüre dayalı üretim tesislerine göre minimum düzeyde karbondioksit ve sera gazı salarlar. Bu nedenle yenilenebilir Dağıtık Üretim tesislerin çevre dostudur (Zhang vd., 2022)

Dağıtım üretim enerji kaynakları ve teknolojileri Şekil 10'da gösterilmekte olup çalışma sistemlerine göre aşağıda belirtilen 10 ana başlık altında toplanabilir (Akorede vd., 2010).

- Küçük Hidro Türbinler,

- Biokütle,
- Fotovoltaik Sistemler,
- Gaz Türbinleri,
- Pistonlu Motorlar,
- Yakıt Hücreleri,
- Güneş Termal,
- Jeotermal,
- Rüzgar Enerjisi Dönüştürme Sistemleri,
- Birleşik Isı ve Enerji



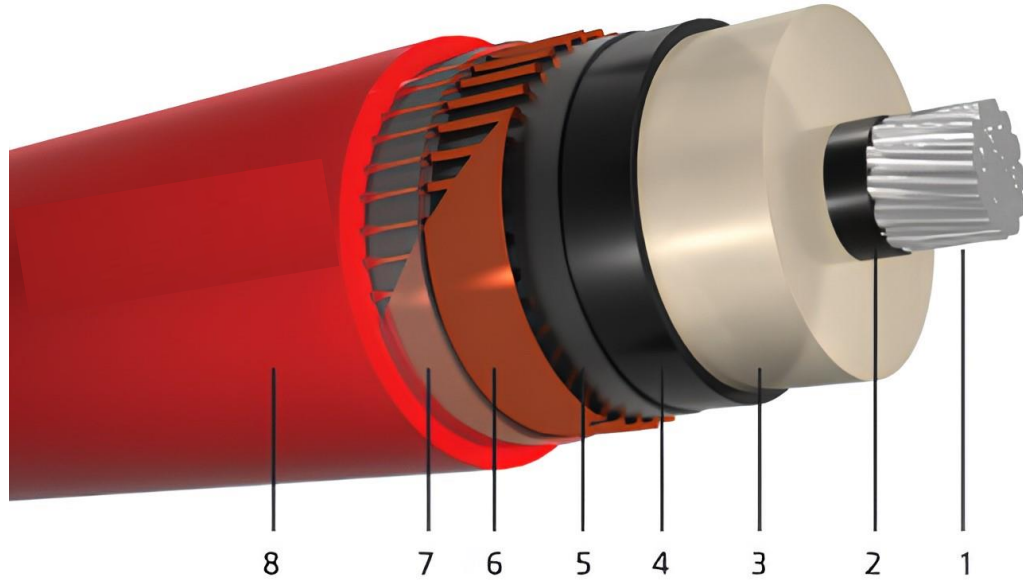


Şekil 10. Dağıtık üretim enerji kaynakları ve teknolojiler

1.6. Çapraz Bağlı Polietilen (XLPE) Yeraltı Kablo

Enterkonnekte sisteme bağlı iletim ve dağıtım şebekelerinde havai hatlar ve yeraltı kablosu kullanılmaktadır. Kısa devre akımlarının yüksek olduğu yerleşim yerlerinde ve sanayi bölgelerinde görsel kirliliğin önüne geçmek ve güvenlik amaçlı genellikle yeraltı kabloları kullanılmaktadır. Yeraltı kablolarının mekanik ve kimyasal dayanımları yüksek olup, doğa olaylarından etkilenmez ve arıza olasılığı havai hatlara göre düşüktür. Başlangıç aşamasında standartlara uygun tesis edilen yeraltı şebekeleri havai hatlı şebekelere nazaran daha maliyetli ancak daha uzun ömürlüdür (MEB, 2012).

Şekil 11’ de dağıtım şebekelerinde orta gerilim seviyesinde sıklıkla kullanılan XLPE kabloların katman yapısı gösterilmektedir.



Şekil 11. XLPE kablo katmanlarını gösteren kesit görünümü

Şekil 11’de verilen XLPE kablo kesitinde ilgili numaraların açıklamaları aşağıda belirtilmektedir:

1. Çok telli alüminyum iletken
2. İç yarı iletken
3. XLPE izolasyon
4. Dış yarı iletken

5. Yarı iletken bant
6. Bakır iletken
7. Polyester bant
8. PVC kılıf (URL-5, 2023).

Ülkemizde dağıtım şebekelerinde 31,5 kV gerilim seviyesinde kullanılan bakır ve alüminyum XLPE kabloların teknik özellikleri Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir (URL-5, 2023).

Tablo 3. 31,5 kV Dağıtım şebekelerinde kullanılan bakır XLPE kabloların teknik özellikleri

Normal kesit	Kablo dış çapı	Akım taşıma kapasitesi		Çalışma indüktansı	Çalışma kapasitesi	İletken DA direnci	Net ağırlık
mm ²	mm	Havada (A)	Toprakta (A)	mh/km	µf/km	Ohm/km	kg/km
1x35/16	33	169	165	0,69	0,12	0,524	1285
1x50/16	35	249	232	0,66	0,13	0,387	1460
1x70/16	36	308	284	0,63	0,14	0,268	1710
1x95/16	38	375	339	0,60	0,15	0,193	2025
1x120/16	40	430	385	0,59	0,17	0,153	2300
1x150/25	41	485	430	0,57	0,18	0,124	2705
1x185/25	43	554	484	0,55	0,19	0,0991	3100
1x240/25	45	653	559	0,53	0,21	0,0754	3700
1x300/25	48	739	627	0,51	0,23	0,0601	4360
1x400/35	52	842	701	0,49	0,25	0,0470	5400
1x500/35	55	965	786	0,48	0,27	0,0366	6485
1x630/35	60	1096	875	0,46	0,30	0,0283	7950

Alüminyum yeryüzünde en çok bulunan metallere aittir. Buna karşın bakır cevherlerinin az olması fiyatını her geçen gün arttırmaktadır. Alüminyumun bakır iletkene göre ucuz ve hafif olması son yıllarda orta gerilim ve alçak gerilim yeraltı dağıtım şebekelerinde kullanım oranını arttırmıştır.

Tablo 4. 31,5 kV Dağıtım şebekelerinde kullanılan alüminyum XLPE kabloların teknik özellikleri

Normal kesit	Kablo dış çapı	Akım taşıma kapasitesi		Çalışma indüktansı	Çalışma kapasitesi	İletken DA direnci	Net ağırlık
mm ²	mm	Havada (A)	Toprakta (A)	mh/km	µf/km	Ohm/km	kg/km
1x35/16	33	158	157	0,69	0,12	0,868	1060
1x50/16	34	193	180	0,66	0,13	0,641	1150
1x70/16	36	239	220	0,63	0,14	0,443	1290
1x95/16	37.5	290	264	0,60	0,15	0,320	1450
1x120/16	39	334	300	0,59	0,17	0,2530	1570
1x150/25	40.5	377	335	0,57	0,18	0,2060	1820
1x185/25	42.5	431	379	0,55	0,19	0,1640	2000
1x240/25	45	509	439	0,53	0,21	0,1250	2260
1x300/25	47.5	581	494	0,51	0,23	0,1000	2500
1x400/35	50.5	677	563	0,49	0,25	0,0788	2920
1x500/35	54	782	639	0,48	0,27	0,0605	3400
1x630/35	58.5	900	721	0,46	0,30	0,0469	3970

XLPE kablolar, içeriğinde kullanılan XLPE izolasyon katmanı ve alüminyum/bakır iletkenin, iki iletken levha arasında koyulan yalıtkan madde şeklinde olması, yapı itibarıyla kondansatöre benzemekte olup elektrik şebekesinde kapasitif etki oluşturmaktadır. Kapasitif etki genel olarak dağıtım şebekelerinde negatif bir durum olarak gözükmemekte ve kompanzasyon ihtiyacı hissedilmektedir. Tez çalışması kapsamında XLPE kablonun kapasitif etkisi endüktif yükleri kompanze etmede kullanılarak şebekenin reaktif güç kompanzasyonuna olumlu yönde katkı sağlanması hedeflenmiştir.

1.7. Güç Akış Analizi

Güç akış analizi, yeni tesis edilecek elektrik şebekelerinin planlanması, artan yük talebine karşı mevcut sisteme bağlanacak olana yeni üretim tesisleri ve bağlantı hatlarının planlanması açısından çok önemlidir. Sisteme bağlanacak olan transformatör merkezi,

dağıtım merkezi ve hatların kapasitenin belirlenmesinde ve konumlandırılmasında, elektrik şebekesindeki teknik kayıpların azaltılmasında hatların aşırı yüklenmesini engellemede ve şebekenin sayısal verilerinin yönetmeliklerde belirtilen aralıklarda olmasını sağlamada sistem ve şebeke işletmecisine yardımcı olur.

Geçmişten günümüze kadar elektrik güç sistemlerinde çeşitli güç akışı analizi metotları kullanılmıştır. Tüm bu metotlar içerisinde genel olarak Newton-Raphson, Gauss-Seidel ve Fast Decoupled metotları kullanılmaktadır (Anand & Balaji, 2015). Elektriksel güç sistemlerinde güç akışı hesaplamalarının yapılabilmesi için her baranın aktif güç, reaktif güç, faz açısı ve gerilimin genliğinin bilinmesi gerekmektedir (Krasniqi & Koka, 2011). Söz konusu parametrelerden en az iki tanesinin bilinmesi durumunda yük akışı analiz metotları diğer parametreleri çözümleyerek bulacaktır. Elektriksel güç sistemlerinde baralar generatör barası, yük barası ve serbest(salınım) bara olarak sınıflandırılır (Kothari & Nagrath, 2003). Yük bağlı baralarda aktif, reaktif güç bilinirken gerilimin genliği ve faz açısı hesaplanarak elde edilir. Generatör baralarında gerilimin genliği ve aktif güç bilinirken reaktif güç ve faz açısı hesaplanır. Salınım baralarında gerilimin genliği ve faz açısı bilinirken aktif-reaktif güç değerleri hesaplanır (Singhal, 2014).

Güç akış analizi metotlarında generatör, yük ve salınım baralarına ait bilinen ve hesaplanan değerler Tablo 5’de gösterilmektedir.

Tablo 5. Güç akış analizinde değişkenler

Bara Tipi	Bilinenler	Hesaplananlar
Generatör	Aktif Güç (P) Gerilimin Genliği (V)	Gerilimin Açısı (ϕ) Reaktif Güç (Q)
Yük	Aktif Güç (P) Reaktif Güç (Q)	Gerilimin Genliği (V) Gerilimin Açısı (ϕ)
Salınım	Gerilimin Genliği (V) Gerilimin Açısı (ϕ)	Aktif Güç (P) Reaktif Güç (Q)

1.7.1. Newton Rapshon Metodu

Newton-Rapshon Metodu quadratik yakınsama özelliğinden dolayı yük akışı denklemlerinin çözümünde, Gaus, Gauss Siedel gibi iteratif metotlara göre daha üstündür. Büyük çaplı elektriksel güç sistemleri için daha verimli ve uygulanabilir bir metottur. Güç

akış analizinde voltaj kontrollü baralar için gerilimin genliği ve aktif güç bilindiğinden denklemler kutupsal formda ifade edilir. En önemli özelliği ise sistemin büyüklüğünün iterasyon sayısından bağımsız olmasıdır. Newton-Rapshon metodu aşağıdaki formüllerle ifade edilebilir (Saadat, 1999).

i barası ve bu baraya bağlı hatlar referans alınarak Kirchhoff Akım Yasası'ndan Denklem 7 kutupsal formda elde edilir.

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + \delta_j \quad (7)$$

i barasındaki kompleks güç, Denklem 8 ile ifade edilir.

$$P_i - jQ_i = A = V_i I_i \quad (8)$$

Denklem 7 ve 8 kullanılarak Denklem 9 elde edilir.

$$P_i - jQ_i = (|V_i| \angle - \delta_i) \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + \delta_j \quad (9)$$

Kompleks gücün reel ve sanal kısmı ise Denklem 10 ve 11'deki gibi ifade edilebilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (10)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (11)$$

Kompleks gücün reel ve sanal kısmı bağımsız değişkenler içerir ve çözülecek olan denklem sistemini oluştururlar. Generatör baraları için P_i , yük baraları içinse P_i ve Q_i denklemleri kullanılır. Bu iki denklem başlangıç değeri civarında Taylor serisine açılarak ve yüksek dereceli terimler ihmal edilerek Denklem 12'de belirtilen şekilde lineer bir sisteme dönüştürülürler (Saadat, 1999).

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (12)$$

Aktif ve reaktif güçteki değişim oranıyla, gerilimin faz açısı ve gerilim genliğindeki değişim oranı arasındaki ilişkiyi Jacobian matrisi belirler. Jacobian matrisi aktif ve reaktif güç denklemlerinin genlik ve açı değişimlerinin kısmi türevlerinden oluşur Denklem 13 ile ifade edilir (Kaygusuz vd., 2012).

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (14)$$

Denklem 14 ile ifade edilen denklem sistemi, Denklem 15 ve Denklem 16'daki çözüm adımları ile hesaplanır.

$$\delta^{m+1} = \delta^m + \Delta \delta \quad (15)$$

$$|V|^{m+1} = |V|^m + \Delta V \quad (16)$$

Gerilim ve faz açısındaki değişim önceden belirlenmiş bir hata eşiğinden küçük oluncaya kadar m iterasyonu adımıyla devam ettirilir (Kaygusuz vd., 2012).

1.7.2. Gauss Siedel Metodu

Doğrusal olmayan matematiksel denklemlerin çözülebilmesi için kullanılan Gauss metodu referans alınarak Gauss-Siedel metodu geliştirilmiştir. Söz konusu metot n baralı bir elektriksel güç sisteminde hesaplanan yeni bara gerilimleri ile bir önceki iterasyonda elde edilen gerilim değerleri arasındaki farkın hesaplanarak hesaplanan değerlerin önceden belirlenen hata değerinden küçük olması durumunda hesaplamaların sonlandırılması esasına dayanır (Glover vd., 2012). Baraların güç ifadesinden yararlanılarak i . baranın akım ve gerilim değerleri Denklem 17-18’de ki gibi olur.

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*}, i = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[I_i - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{ik} V_k \right], i = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

Denklem 17’de I_i bara akımını, P_i bara aktif gücünü, Q_i bara reaktif gücünü ve V_i^* ise i barasına karşılık gelen en son hesaplanan gerilim değeri ifade etmektedir. Denklem 18’de ise, V_i^* bara gerilimini, Y_{ii} baraların öz admintansı, Y_{ik} i ve k baraları arası admitansı ve V_k ilgili bara için en son hesaplanan gerilim değerini veya ilgili bara için herhangi bir iterasyon yapılmamışsa tahmini gerilimi ifade etmektedir. Denklem 17, denklem 18’de yerine konulduğunda elde edilen denklem 19, bara gerilimlerinin her iterasyonunda kullanılır (Yeşilbudak vd., 2017).

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{ik} V_k \right], i = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

1.8. DIgSILENT Power Factory

DIgSILENT (Digital Simulator for Electrical Network) yazılımının geliştirilmesi 1976 yılında başlamıştır. DIgSILENT Power Factory yazılımı en gelişmiş çözüm algoritmaları ve veri tabanı ile güvenilir ve esnek sistem modelleme imkanı sağlayan güç sistemleri analiz aracıdır. Elektrik sistemlerinde şebeke analizlerinin yapılması için DIgSILENT firması tarafından hayata geçirilmiştir. Program sayesinde güç sistemleri ile ilgili yapılması karmaşık ve zorlayıcı olan birçok analiz yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları;

- Yük akışı ve arıza analizi
- Harmonik analizi
- Kısıtlılık analizi
- Koruma analizi
- Güvenilirlik analizi
- Optimal yük akışı ve üretim planlama
- Alçak gerilim şebeke analizi
- RMS ve EMT simülasyon
- IEC 60909 kısa devre analizi
- Dağıtım şebekelerinde optimizasyon analizidir (User Manuel, 2020).

1.9. Python Programlama Dili

Python 1990 yılında Guido Van Rossum tarafından Hollanda da geliştirilmeye başlanmıştır. Python 2.0 sürümü ile başlayıp güncellenmiştir. Günümüzde Python 3.11 sürümü kullanılmakta olup 3.12 ön izleme sürümü de bulunmaktadır. Hızlı kod yazılımı için zengin kütüphane seçenekleri ve modüllerinin olması işlevsellik açısından geniş bir çalışma ortamı sunmaktadır. Program dilinin basit ve anlaşılır sözdizimine sahip olması son yıllarda kullanımını yaygınlaştırmıştır. TIOBE Programlama Topluluğu Endeksine göre 2023 Ocak ayında en popüler 50 programlama dili arasında birinci seçilmiştir. Mobil uygulamaların geliştirilmesi, oyun geliştirme, yapay zeka ve web programlama alanlarında yoğunlukla kullanılmaktadır. Açık kaynak kod erişimine sahip olması da Python programlama dilinin tercih edilmesindeki en büyük etkenlerdendir (Sarı, 2023).

Programlama dillerinin günümüzdeki popülerliğini gösteren bir endeks olan TIOBE'ye göre en popüler 15 programlama dili Tablo 6'da gösterilmektedir (URL-6, 2023).

Tablo 6. TIOBE endeksine göre en popüler ilk 15 programlama dili (Ocak, 2023)

Sıra	Programlama Dili	Rating
1	Python	16.36%
2	C	16.26%
3	C++	12.91%
4	Java	12.21%
5	C#	5.73%
6	Visual Basic	4.64%
7	JavaScript	2.87%
8	SQL	2.50%
9	Assembly language	1.60%
10	PHP	1.39%
11	Swift	1.20%
12	Go	1.14%
13	R	1.04%
14	Classic Visual Basic	0.98%
15	MATLAB	0.91%

Python programlama dilinin popülerliği ve DİgSILENT Power Factory güç akış analizi programı ile uyumlu olması, tez çalışmaları kapsamındaki yazılımsal süreçte programlama dili olarak kullanılmasında önemli bir etken olmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında oluşturulan algoritma ile Transformatör Merkezlerinde OG baraya bağlı dağıtık üretim tesisleri ve XLPE kablolardan istifade ederek reaktif güç kompanzasyonu yapmak hedeflenmiştir. Geliştirilen algoritma TEİAŞ 14. Bölge Müdürlüğü (Trabzon) sorumluluk sahasında bulunan 154 kV Arsin Transformatör Merkezindeki Transformatör-A üzerinden enterkonnekte sisteme bağlanan OG-A barasına bağlı Evra BES ve Selimoğlu HES dağıtılmış üretim tesislerinin ve yedek olarak Arsin Organize Sanayi Bölgesi tarafından tesis edilmiş olan OSB-2 fiderine bağlı XLPE kablonun reaktif güç kapasitelerinden yararlanarak, Arsin TM'nin OG-A barasına uygulanmıştır.

Öncelikle 154 kV Arsin TM'nin OG-A barası ve Evra BES ile Selimoğlu HES'in bağlı olduğu Araklı 3/0 fiderine bağlı dağıtım şebekesinin tamamı modellenmiştir. Arsin (Fatih Kabin Yanı DM) fideri toplu yük olarak gösterilmiştir. OSB-1 ve OSB-2 çıkış fiderlerinin bağlı olduğu Arsin Organize Ana Kabin, Arsin TM modeli içerisinde gösterilmiş, fider yükü toplu yük olarak girilmiştir. Modellemelerin tamamı DIgSILENT Power Factory güç sistemleri analiz programında gerçekleştirilmiştir.

DIgSILENT Power Factory programında modellenen şebekede Arsin TM TR-A'nın orta gerilim tarafındaki aktif-reaktif güç verileri referans alınarak reaktif güç kontrolü yapmak için sistemin endüktif veya kapasitif durumda olması gözetilerek 'Endüktif Reaktif Durum' ve 'Kapasitif Reaktif Durum' algoritmaları ve bu algoritmalara ait akış diyagramları oluşturulmuştur.

Oluşturulan algoritmalarda Arsin TM' de bulunan TR-A'nın Orta Gerilim tarafındaki aktif-reaktif güç akışı takip edilerek anlık olarak $\tan\phi$ (Reaktif Güç/Aktif Güç) değeri hesaplanmaktadır. $\tan\phi$ değerinin istenilen değer aralığında olması durumunda şebekeye herhangi bir müdahalede bulunmadan sistemdeki yük akışı takip edilmektedir. $\tan\phi$ 'nin istenilen değer aralığında olmaması durumunda ise öncelikli olarak baraya bağlı OSB-2 fiderindeki XLPE kablonun reaktif güç kapasitesinden akabinde senkron makinelerin önceden belirlenmiş olan kademe ve limitler dahilinde reaktif güç kapasitelerinden yararlanılmıştır.

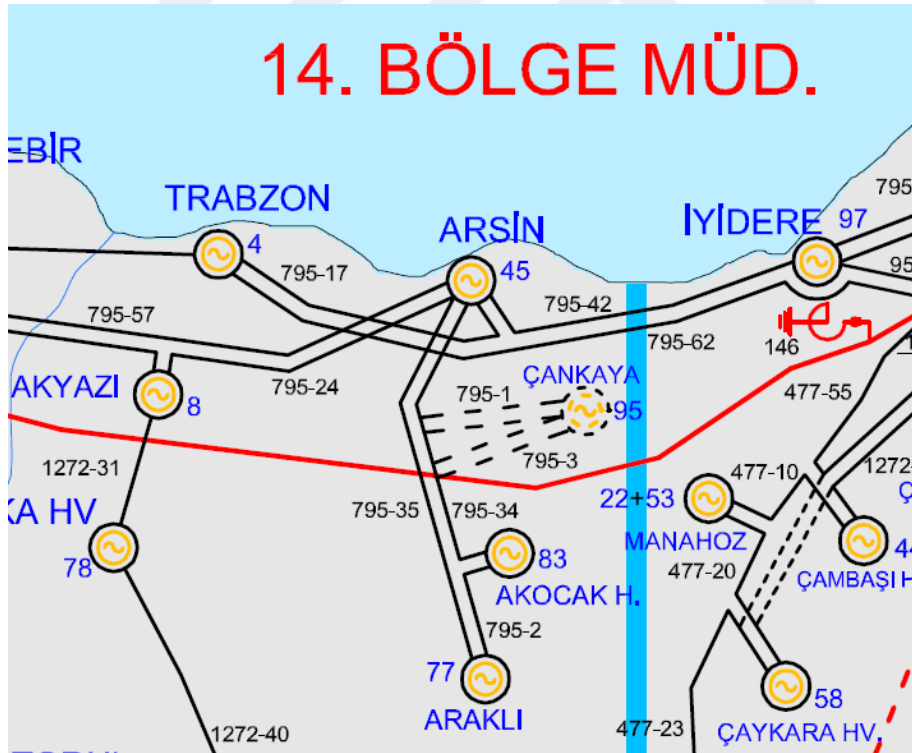
Tasarlanan sisteme uygun şekilde DIgSILENT Power Factory programı içerisinde Python programlama dilinde Reaktif Güç Destek Röle (RGDR) yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan yazılım ile birlikte dört ana başlık ve her ana başlıkta üç farklı yük durumu olmak üzere toplamda on iki farklı yük durumu için RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. Yük akış

analizleri fiderlere ait farklı gün ve saatlerdeki aktif ve reaktif güç bilgileri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sisteme olan katkısı Sonuçlar ve Tartışma kısmında irdelenmiştir.

2.1. Arsin Transformatör Merkezinin Modellenmesi

Arsin TM Şekil 12’de görüleceği üzere 6 adet Enerji İletim Hattı (EİH) ile enterkonnekte sisteme bağlı olup bu hatlar;

- 154 kV İyidere EİH
- 154 kV Trabzon EİH
- 154 kV Akyazı EİH
- 154 kV Araklı EİH
- 154 kV Akocak HES EİH
- 154 kV Vakfıkebir EİH’ dır.



Şekil 12. 154 kV Arsin TM elektrifikasyon şeması

Arsin TM’de iletim şebekesi ile dağıtım şebekesi arasındaki bağlantı nominal işletme gerilimleri 154/31,5 kV olan 50/62,5 MVA Transformatör A ve 50/62,5 MVA Transformatör

B olmak üzere toplamda 2 adet Güç Transformatörü ile sağlanmaktadır. Bu transformatörler üzerinden beslenen kullanıcılar ile 94 MW tüketim yönünde 45 MW üretim yönünde sistem kullanım ve bağlantı anlaşması bulunmaktadır. TM'deki 45 MW'lık üretim kapasitesi dağıtık üretim tesislerinden kaynaklanmaktadır.

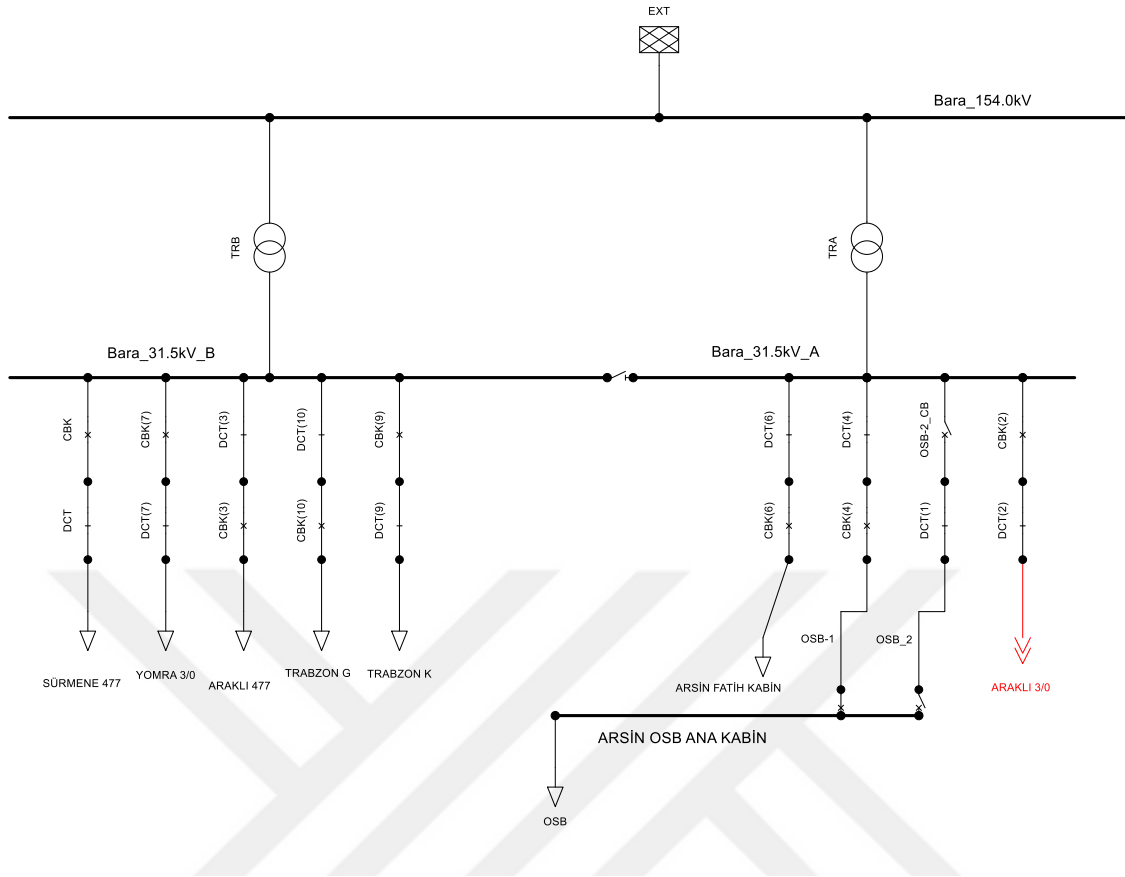
TR-A'nın bağlı olduğu OG-A barasında 2 adet Arsin OSB'ye tahsisli, 2 adet dağıtım şirketine tahsisli, aşağıda belirtildiği gibi, toplamda dört adet çıkış fideri bulunmaktadır.

- 31,5 kV OSB-1
- 31,5 kV OSB-2
- 31,5 kV Arsin(Fatih Kabin DM)
- 31,5 kV Araklı 3/0

TR-B'nin bağlı olduğu OG B barasında 5 adet dağıtım şirketine tahsisli çıkış fideri bulunmaktadır.

- 31,5 kV Yomra 3/0
- 31,5 kV Araklı 3/0
- 31,5 kV Trabzon Güney
- 31,5 kV Trabzon Kuzey
- 31,5 kV Sürmene 477

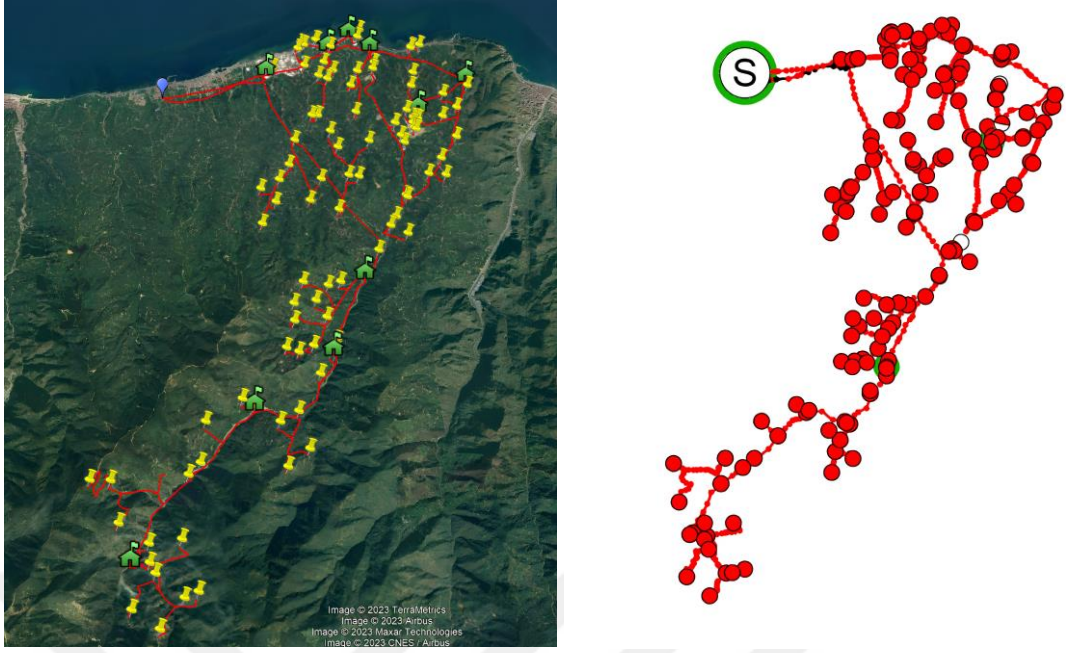
Araklı 3/0 fiderine bağlı transformatörlerin tamamı tez çalışması kapsamında modellenmiş olup, Arsin (Fatih Kabin), OSB-1 ve OSB-2 fiderleri genel yük olarak modellenmiştir. Tez çalışması kapsamında oluşturulan Arsin TM modeli Şekil 13'te gösterilmektedir.



Şekil 13. DIgSILENT PF programında oluşturulan Arsin TM modeli

2.2. Araklı 3/0 Fiderinin Modellenmesi

Şekil 14 'de Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) görüntüsü ve DIgSILENT Power Factory modeli bulunan Araklı 3/0 fideri Arsin ilçesinin bir kısmını ve Yanbolu vadisindeki köy şebekesini beslemektedir. Fidere bağlı güneş enerjisi santrali, biyoenerji santrali ve hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Tez çalışmasındaki modelleme ve analizlerde tüketim ve üretim yönünde kullanıcı çeşitliliği olması, aynı zamanda farklı üretim kaynağı içeren santraller (Biyoenerji, Hidroelektrik) olmasından dolayı Araklı 3/0 fideri tercih edilmiştir.



Şekil 14. Araklı 3/0 fideri CBS görüntüsü ve DIgSILENT PF modeli

Fidere bağlı dağıtım transformatörlerinin kurulu güç ve sayıları Tablo 7’de verilmiştir. Ek-1’de Araklı 3/0 fiderine bağlı tüm transformatörler paylaşılmıştır.

Tablo 7. Araklı 3/0 fiderine bağlı dağıtım transformatörlerinin kurulu güce göre dağılımı

Transformatör Gücü (kVA)	40	50	100	160	250	400	630	1600
Adet	1	13	41	17	15	12	3	2
Toplam Kurulu Güç (MVA)	21,11							

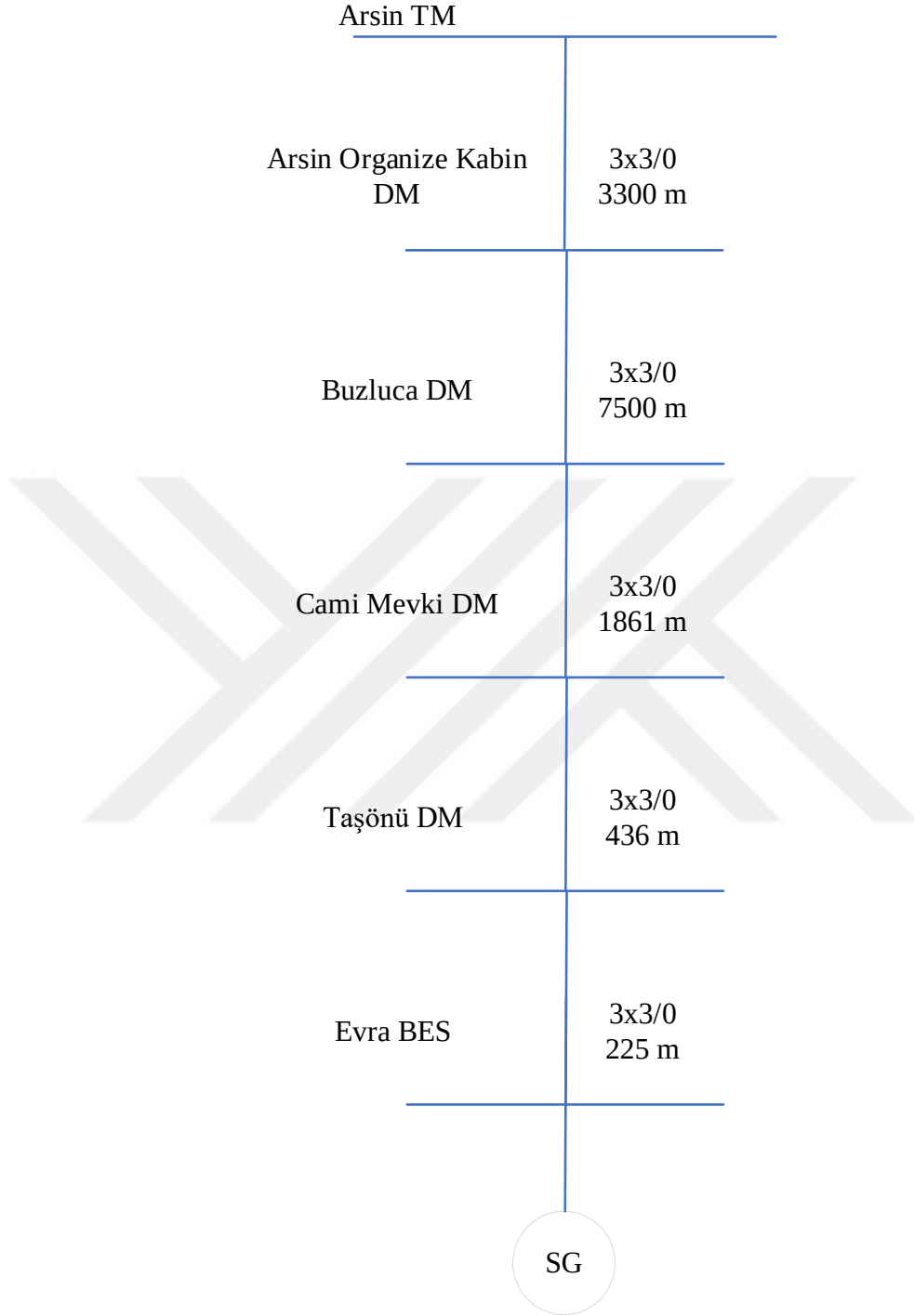
2.2.1. Evra BES Dağıtık Üretim Tesisinin Modellenmesi

Evra BES santrali Trabzon İli Araklı İlçesi Taşönü Mahallesi sınırları içerisinde tesis edilmiş olup Rize ve Trabzon illerinden toplanan katı çöp atıklarının kullanılmasıyla elektrik üretimi gerçekleştiren Biyoenerji santralidir. Kurulu gücü 12,805 MW olup tek ünite ile bu gücü sağlamaktadır. Tablo 8’de Evra BES’te kullanılan generatöre ait etiket bilgileri bulunmaktadır.

Tablo 8. Evra BES generatör etiket bilgileri

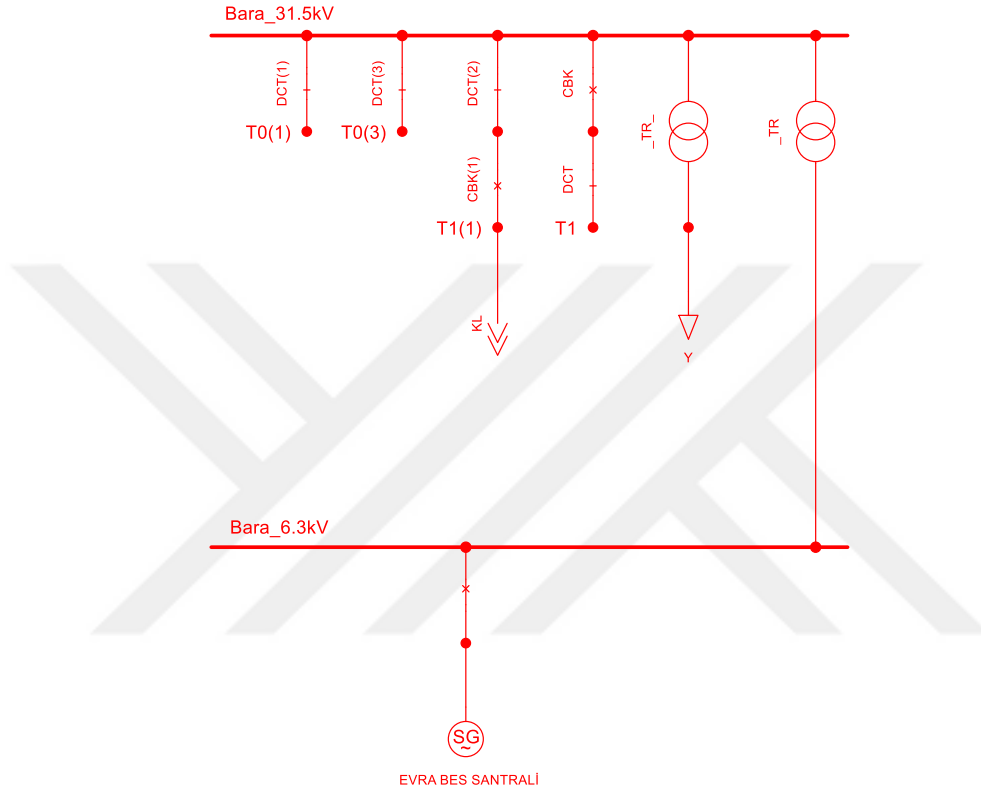
Çıktı Güç	16050 kVA	Tür	TD 172
Standart	IEC 60034	Üretim Yılı	2020
Faz Sayısı	3	Ağırlık	32500 kg
Kutup Sayısı	4	Frekans	50 Hz
Voltajı	6000 V	PF	0.9
Akım	1544 A	Stator Bağlantı Tipi	Star
Hız Limit	1800 d/d	İkaz Voltajı	213 V
Hız	1500 d/d	İkaz Akımı	514 A

Şekil 15'te OG tek hat şeması verilen Evra BES 225 metre 3(1x240) XLPE yeraltı kablosu ile Taşönü DM'ye, Taşönü DM 436 metre 3x3/0 AWG enerji nakil hattı ile Cami Mevki DM'ye, Cami Mevki DM'de 1861 metre 3x3/0 AWG iletken ile Buzluca DM'ye, Buzluca DM'de 7500 metre 3x3/0 AWG iletkenli ENH ile Arsin Organize Kabin DM'ye, Arsin Organize Kabin DM'de 3300 metre 3x3/0 AWG iletkenli ENH ile Arsin TM'nin OG barasına bağlanmaktadır.



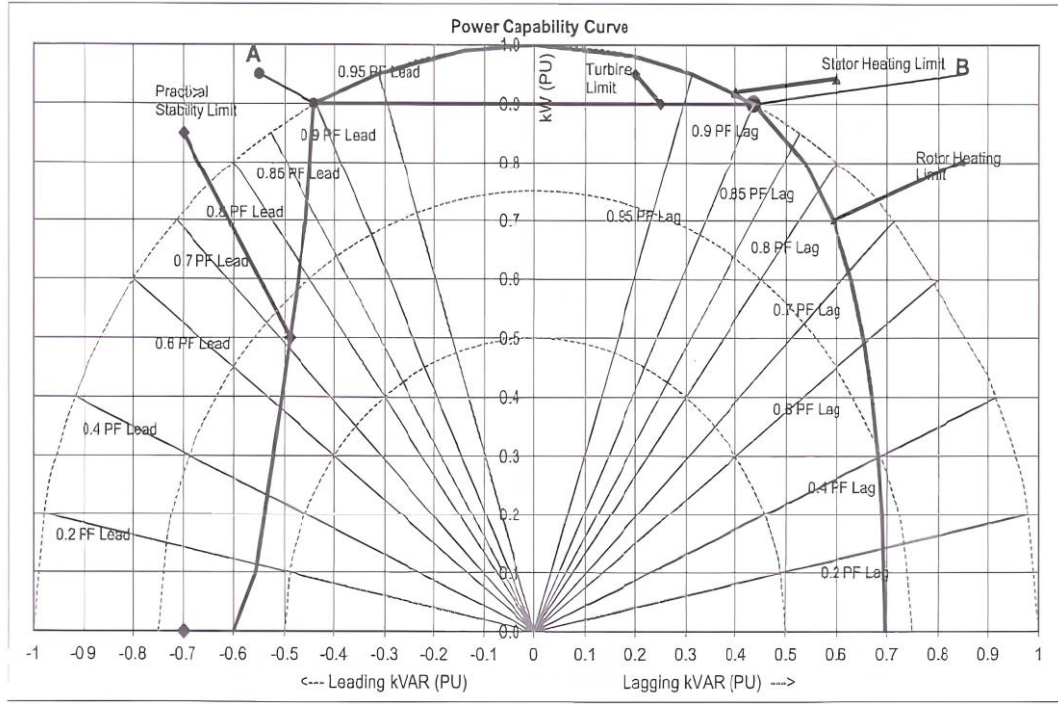
Şekil 15. Evra BES OG tek hat şeması

Evra BES'in dağıtım şebekesine bağlandığı nokta olan Evra BES DM barası ve generatör barasının DIgSILENT PF programında modellenmiş hali Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Evra BES'in dağıtım şebekesine bağlandığı noktadan itibaren DPF modeli

Senkron generatörler aşırı uyarım durumunda şebekeye reaktif güç verirler. Düşük uyarım durumunda ise şebekeden reaktif güç çekerler. Şekil 17'de EVRA BES'in çalışma eğrisi gösterilmektedir. Şekil 17' de gösterilen eğrinin sol tarafında kalan bölge düşük uyarım, sağ tarafında kalan bölge ise aşırı uyarım bölgesidir. Çalışma eğrisi bir generatörün aktif, reaktif güç çıkış limitlerini belirler. Tez çalışması kapsamında oluşturulan yazılım ile birlikte bu çalışma eğrisinin belirlediği limitler dahilinde senkron generatörden reaktif güç desteği sağlamak hedeflenmiştir.



Şekil 17. EVRA BES Generatör Çalışma Eğrisi

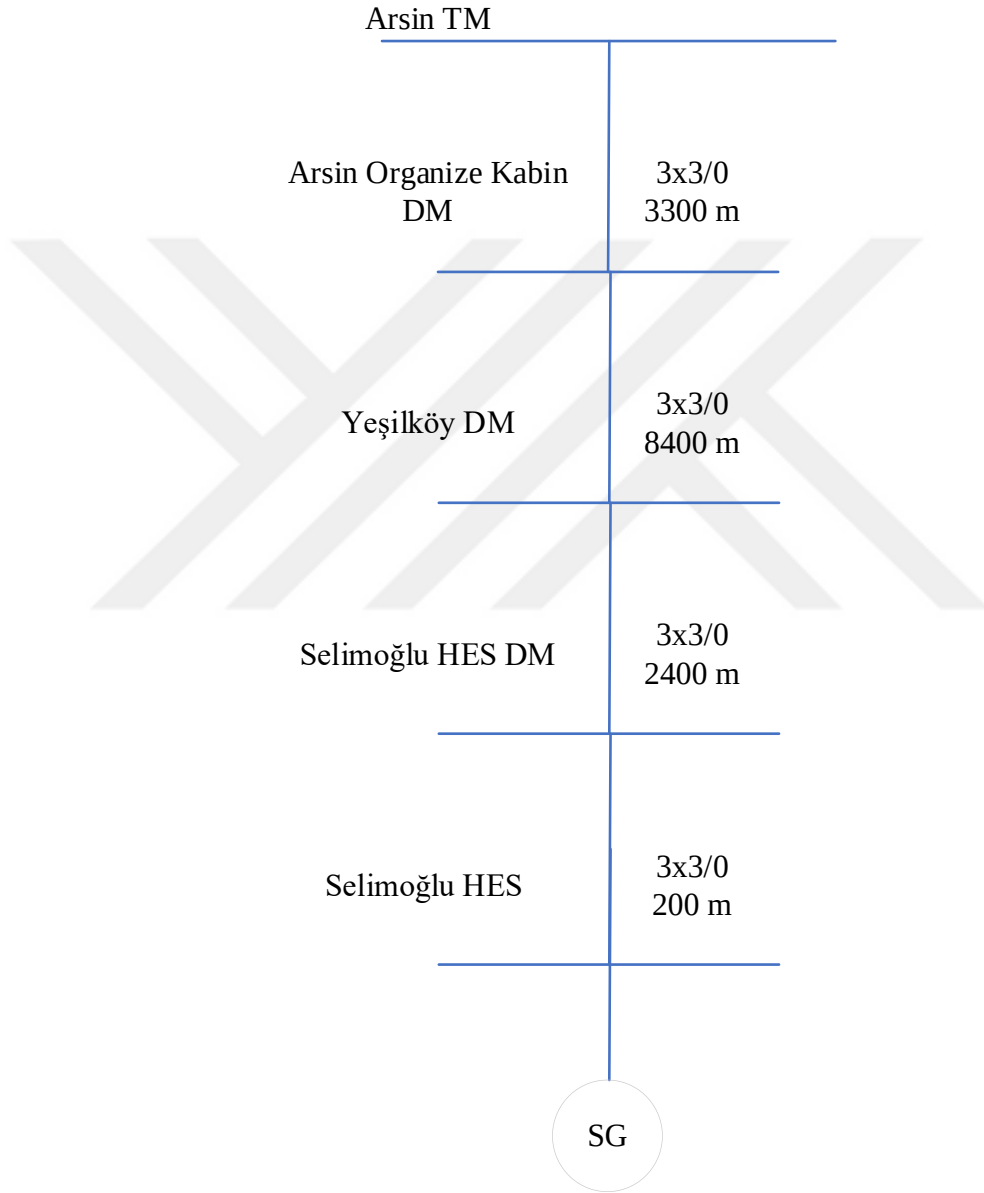
2.2.2. Selimoğlu HES Dağıtık Üretim Tesisinin Modellenmesi

Selimoğlu HES Trabzon İli Arsin İlçesi Yanbolu deresi üzerinde kurulu hidroelektrik santralidir. Kurulu gücü 8,8 MW olup 2 adet yatay eksenli Francis türbini bulunmaktadır (Aksoy, 2016). Tablo 9’da Selimoğlu HES’te kullanılan generatöre ait etiket bilgileri bulunmaktadır.

Tablo 9. Selimoğlu HES generatör etiket bilgileri

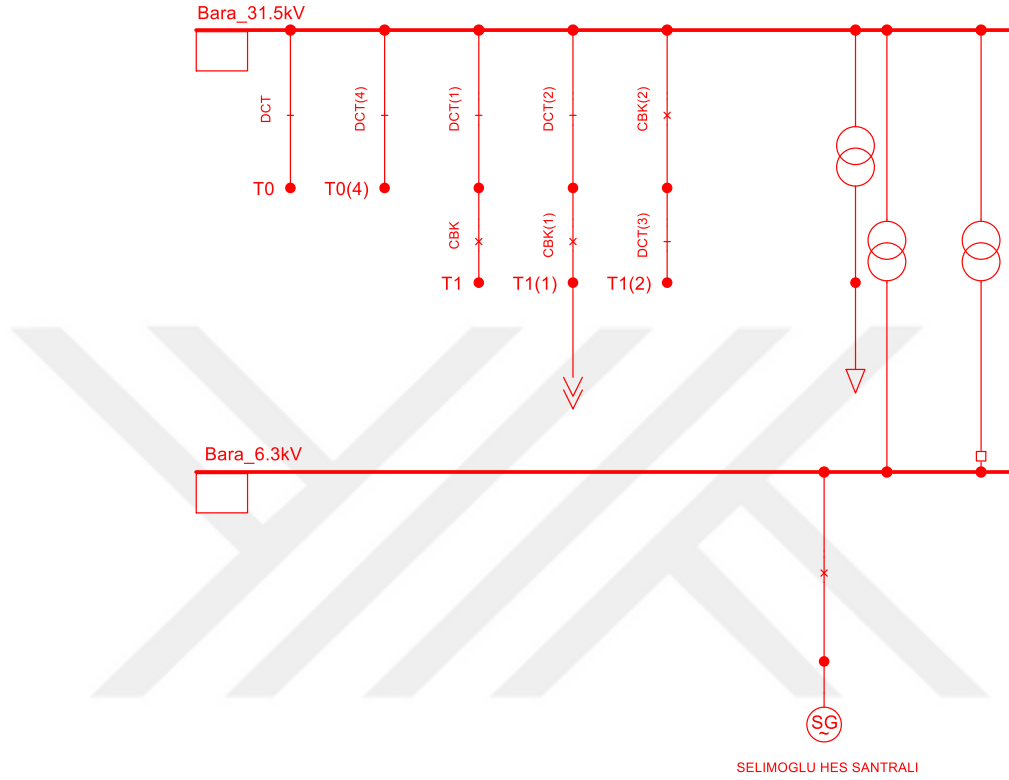
Çıkış Gücü	4527 kW	Tipi	LSA-900-X/8
Nominal Gerilim	6300 V	Verim	%97,73
Nominal Akım	461 A	Nominal Hız	750 rpm
$\cos\phi$	0,9	Ambalman Hızı	1065 rpm
Frekans	50 Hz	Ağırlık	24.350 kg
Üretim tarihi	28.10.2009	Faz sayısı	3
Frekans	50 Hz	Bağlantı	Y (Yıldız)
İkaz Voltajı	65 V	Yalıtım Sınıfı	H/B
İkaz Akımı	8.7 A	Fab. No.	3010000033

Şekil 18’te OG tek hat şeması verilen Selimoğlu HES 200 metre 3x3/0 AWG enerji nakil hattı ile Selimoğlu HES DM’ye, Selimoğlu HES DM’ 2400 metre 3x3/0 AWG enerji nakil hattı ile Yeşilköy DM’ye, Yeşilköy DM 8400 metre 3x3/0 AWG enerji nakil hattı ile Arsin Organize Kabin DM’ye, Arsin Organize Kabin DM’de 3300 metre 3x3/0 AWG iletkenli enerji nakil hattı ile Arsin TM’nin OG barasına bağlanmaktadır.



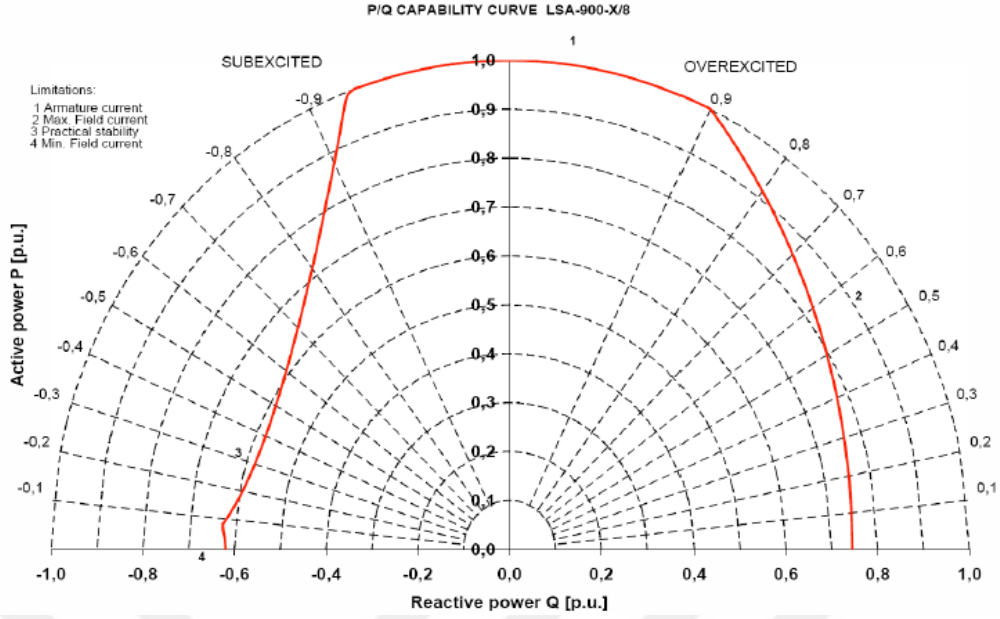
Şekil 18. Selimoğlu HES OG tek hat şeması

Selimoğlu HES'in dağıtım şebekesine bağlandığı nokta olan Selimoğlu HES DM barası ve generatör barasının DIgSILENT PF programında modellenmiş hali Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Selimoğlu HES'in dağıtım şebekesine bağlandığı noktadan itibaren DPF modeli

Şekil 20'de gösterilen eğrinin sol tarafında kalan bölge düşük uyartım, sağ tarafında kalan bölge ise aşırı uyartım bölgesidir. Çalışma eğrisi bir generatörün aktif, reaktif güç çıkış limitlerini belirler. Tez çalışması kapsamında oluşturulan yazılım ile birlikte bu çalışma eğrisinin belirlediği limitler dahilinde senkron generatörden reaktif güç desteği sağlamak hedeflenmiştir.



Şekil 20. Selimoğlu HES Çalışma Eğrisi

2.3. OSB Fiderlerinin Modellenmesi

Arsin TM'ye bağlı OSB-1 ve OSB-2 fiderleri Arsin TM'nin OG-A barasından 3(1x400)-Al XLPE kablo ile çıkış yapmakta olup 4239 metre uzaklıktaki Arsin Organize Ana Kabin giriş yaparak OG barasını beslemektedir. Arsin Organize Sanayi Bölgesindeki kullanıcıların tamamı bu iki fider üzerinden dağıtım şebekesine irtibat sağlamaktadır. Şebeke işletme esnasında OSB-1 fideri sürekli aktif durumda olup OSB-2 fideri, OSB-1 fiderinde herhangi bir arıza olması veya bakım durumunda devreye alınmaktadır. Bunun dışında yedek olarak boşta bekletilmektedir. Çalışma kapsamında yedek olarak boşta bekletilen OSB-2 fiderindeki XLPE kablonun kapasitif reaktif kapasitesinin şebeke kompanzasyonun da kullanılması hedeflenmiştir.

OSB-1 ve OSB-2 fiderleri Transformatör merkezinden çıkarak direk olarak Arsin Organize Ana Kabin gitmekte olup arada herhangi bir transformatör veya kabin olmadığından dolayı Şekil 13'de ki Arsin TM modelinin içerisine bara ve hat olarak eklenerek toplu yük girilmiştir.

Tablo 10. OSB-2 fiderinde kullanılan 1x400/35 Alüminyum XLPE kablunun teknik özellikleri

Normal kesit	Kablo dış çapı	Akım taşıma kapasitesi (A)		Çalışma indüktansı	Çalışma kapasitesi	İletken DA direnci	Net ağırlık
mm ²	mm	Havada	Toprakta	mH/km	µf/km	Ohm/km	kg/km
1x400/35	50.5	677	563	0.49	0.25	0.0788	2920

OSB-1 ve OSB-2 fiderlerinde kullanılan 1x400/35-Al XLPE kablunun teknik özellikleri Tablo 10’da gösterilmektedir (URL-5, 2023). Bu bilgiler ve aşağıdaki Denklem 20-23 yardımıyla OSB-2 fiderindeki XLPE kablunun kapasitif reaktif gücü bulunabilir.

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_C \quad (20)$$

$$U = \sqrt{3} \cdot I_C \cdot U_C \quad (21)$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c} \quad (22)$$

$$I_C = \frac{U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}{\sqrt{3}} \cdot L \quad (23)$$

Denklem 20-23 kullanılarak OSB-2 fiderine bağlı 4239 metre XLPE kablunun kapasitif reaktif gücü 331 kVAR olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_C değeri formülden görüleceği üzere XLPE kablunun maruz kaldığı gerilime göre değişiklik gösterebilir.

2.4. Reaktif Güç Desteği Algoritması ve Akış Diyagramı

Tez çalışması kapsamında oluşturulacak yazılım için öncelikle algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmada temel amaç Arsin TM’deki Transformatör-A’dan çekilen aktif ve reaktif güç verilerini takip ederek, reaktif güç/aktif güç oranının ($\tan\phi$) Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen oranların dışında olması durumunda önceden belirlenmiş OSB-2 fiderine ait XLPE kablo, Evra BES ve Selimoğlu HES’den reaktif güç

desteği almaktır. Senkron makinelerden kademeli şekilde reaktif güç desteği alınacak olup reaktif güç destek kademeleri ve miktarı Tablo 11 ve Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Endüktif durumda senkron makinelerin reaktif güç destek kademeleri

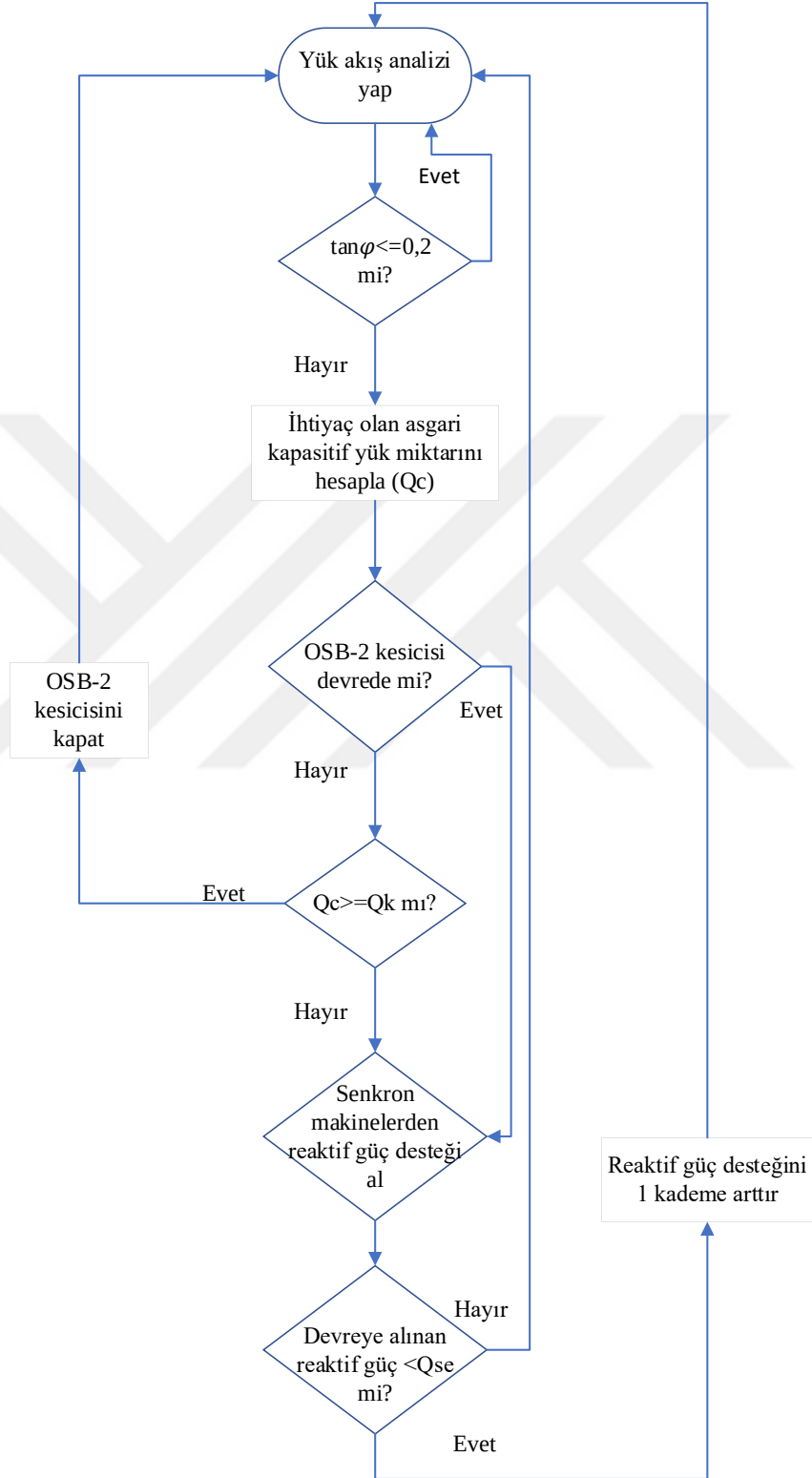
Senkron Makine	1.Kademe (kVAR)	2.Kademe (kVAR)	3.Kademe (kVAR)	Toplam RGD (kVAR)
Evra BES	+100	+100	+100	+300
Selimoğlu HES	+100	+100	+100	+300

Tablo 12. Kapasitif durumda senkron makinelerin reaktif güç destek kademeleri

Senkron Makine	1.Kademe (kVAR)	2.Kademe (kVAR)	3.Kademe (kVAR)	Toplam RGD (kVAR)
Evra BES	-100	-100	-100	-300
Selimoğlu HES	-100	-100	-100	-300

İki dağıtık üretim tesisi içinde her kademe 100 kVAR olacak şekilde 3 kademe endüktif yönde, 3 kademe kapasitif yönde olmak üzere kademeli reaktif güç destek mekanizması tasarlanmıştır. Planlanan kapasite ile endüktif durumda veya kapasitif durumda senkron makinelerden 600 kVAR’lık reaktif güç desteği, OSB-2 fiderine bağlı XLPE kablodan da yaklaşık olarak 331 kVAR’lık kapasitif reaktif güç desteği almak hedeflenmiştir. şebekenin reaktif güç tüketimi/üretimi açısından durumu, senkron makine sayısı gibi parametrelere göre kademe sayısı ve her kademedede devreye alınacak reaktif güç değerleri RGDR yazılımında istenildiği gibi ayarlanabilir. Bu tez çalışması kapsamında Tablo 11 ve Tablo 12’de belirtilen kademe değerleri kullanılarak çalışma senaryolarına uygulanmıştır.

2.4.1. Endüktif Reaktif Durumu İçin Akış Diyagramı ve Algoritma Oluşturulması



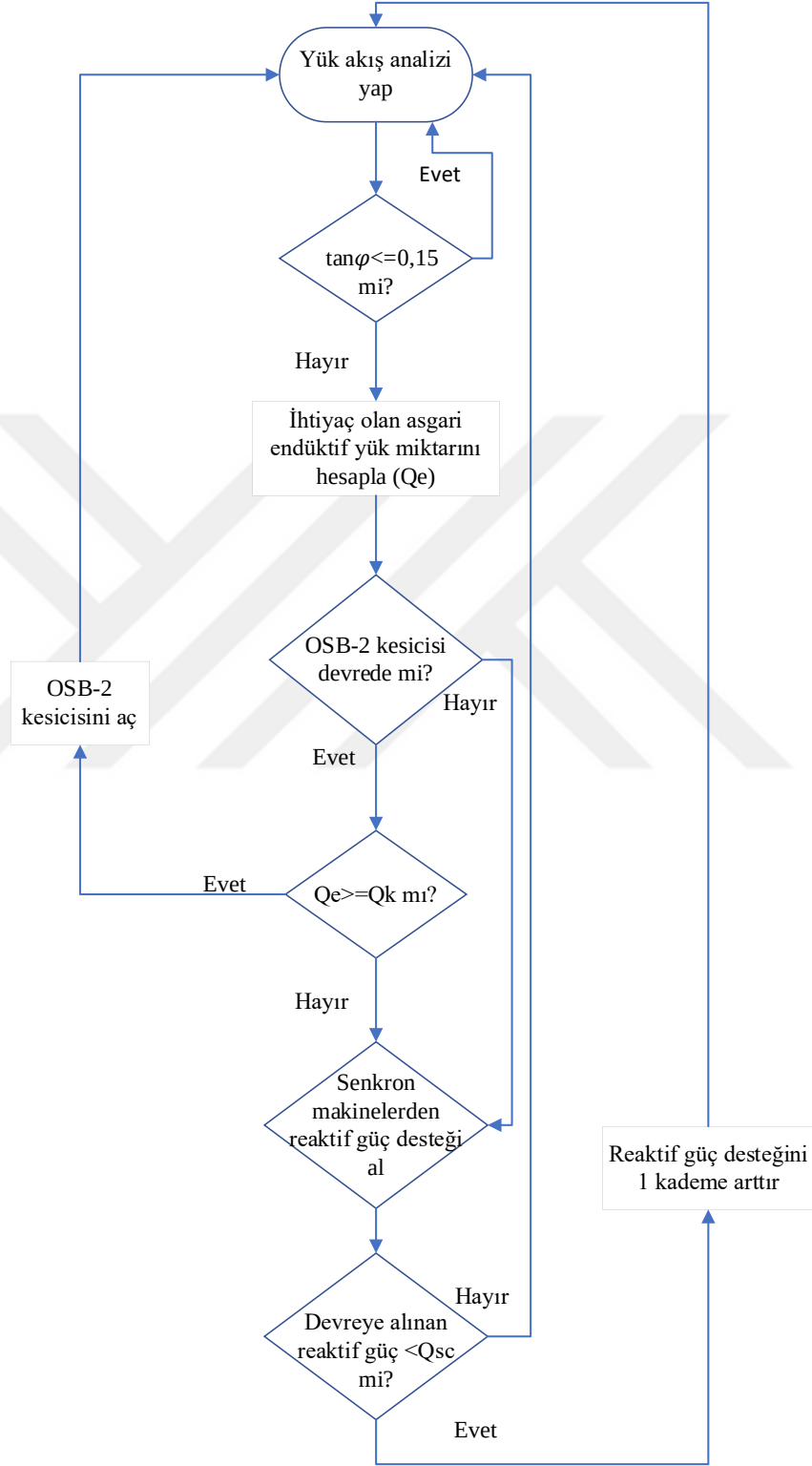
Şekil 21. Sistemin endüktif yönde olması durumunda akış diyagramı

Şekil 21’de Arsin TM Güç transformatörü A’nın alçak gerilim tarafından çekilen reaktif güç verileri ele alınarak sistemin endüktif yönde olması durumuna göre hazırlanmış olan akış diyagramı yer almaktadır. Akış diyagramının algoritması Tablo 13’de ifade edilmektedir.

Tablo 13. Endüktif durum reaktif güç desteği algoritması

Adım 1	Yük akış analizi yaparak sistemin yük durumu anlık olarak takip et.
Adım 2	Endüktif durum için $\tan\phi$ (Reaktif Güç/Aktif Güç) $\leq 0,2$ ise Adım 1’e git.
Adım 3	$\tan\phi > 0,2$ ise, $\tan\phi \leq 0,2$ olabilmesi için gerekli olan Q_c (İhtiyaç olan kapasitif yük) değerini hesapla
Adım 4	OSB-2 kesicisi devrede ise Adım 8 ‘e git
Adım 5	OSB-2 kesicisi devrede değilse ve $Q_c \geq Q_k$ mı hesapla
Adım 6	$Q_c < Q_k$ ise Adım 8’e git
Adım 7	$Q_c \geq Q_k$ ise OSB-2 kesicisini kapat Adım 1’e git
Adım 8	Senkron Makinelerden reaktif güç desteği al
Adım 9	Devreye alınan reaktif güç $\geq Q_{se}$ ise Adım 1’e git
Adım 10	Devreye alınan reaktif güç $< Q_{se}$ ise reaktif güç desteğini 1 kademe arttır Adım 1’e git.

2.4.2. Kapasitif Reaktif Durumu İçin Akış Diyagramı ve Algoritma Oluşturulması



Şekil 22. Sistemin kapasitif yönde olması durumunda akış diyagramı

Şekil 22’de Arsin TM Güç transformatörü A’nın alçak gerilim tarafından çekilen reaktif güç verileri ele alınarak sistemin kapasitif yönde olması durumuna göre hazırlanmış olan akış diyagramı yer almaktadır. Akış diyagramının algoritması Tablo 14’de ifade edilmektedir.

Tablo 14. Kapasitif durum reaktif güç desteği algoritması

Adım 1 Yük akış analizi yaparak sistemin yük durumu anlık olarak takip et.
Adım 2 Kapasitif durum için $\tan\varphi$ (Reaktif Güç/Aktif Güç) $\leq 0,15$ ise Adım 1’e git.
Adım 3 $\tan\varphi > 0,15$ ise, $\tan\varphi \leq 0,15$ olabilmesi için gerekli olan Q_e (İhtiyaç olan endüktif yük) değerini hesapla
Adım 4 OSB-2 kesicisi devrede değilse Adım 8 ‘e git
Adım 5 OSB-2 kesicisi devrede ise ve $Q_e \geq Q_k$ mı hesapla
Adım 6 $Q_e < Q_k$ ise Adım 8’e git
Adım 7 $Q_e \geq Q_k$ ise OSB-2 kesicisini aç Adım 1’e git
Adım 8 Senkron Makinelere reaktif güç desteği al
Adım 9 Devreye alınan reaktif güç $\geq Q_{sc}$ ise Adım 1’e git
Adım 10 Devreye alınan reaktif güç $< Q_{sc}$ ise reaktif güç desteğini 1 kademe arttır Adım 1’e git.

2.5. Çalışma Senaryoları

Tezin bu kısmında, Python programlama dilinde oluşturulan RGDR yazılımı dört ana senaryo ve bu ana senaryoların her birine ait 3 farklı yük durumuna göre Tablo 15’de belirtilen on iki farklı durum için DIGSILENT Power Factory programında çalıştırılmıştır. RGDR yazılımı çalıştırılmadan önceki ve çalıştırdıktan sonraki yük akışı verileri paylaşılmıştır.

Tablo 15. Çalışma senaryoları

	Sistem yönü	OSB-2 Kesicisi	$\tan\varphi$		
1. Senaryo	Endüktif	Açık	0,23	0,27	0,34
2. Senaryo	Endüktif	Kapalı	0,23	0,25	0,3
3. Senaryo	Kapasitif	Kapalı	0,18	0,22	0,25
4. Senaryo	Kapasitif	Açık	0,18	0,2	0,22

2.5.1. 1. Senaryo: Endüktif yönde $\tan\phi=0,20$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede değil

Bu çalışma senaryosunda Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün endüktif yönde OSB-2 fider kesicisi açık pozisyonda ve $\tan\phi=0,23$, $\tan\phi=0,27$, $\tan\phi=0,33$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. $\tan\phi=0,27$ senaryosunda RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider ve senkron makinelerle ait yük verileri Tablo 16 ve Tablo 17'te verilmiştir. DlgSILENT Power Factory programındaki yük akışı analiz verileri de Şekil 23 ve Şekil 25'de verilmiştir. $\tan\phi=0,23$ ve $\tan\phi=0,33$ senaryolarının sonuç verileri son kısımda üç farklı senaryonun verilerinin yer aldığı Tablo 20'ye eklenmiştir.

Tablo 16. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri

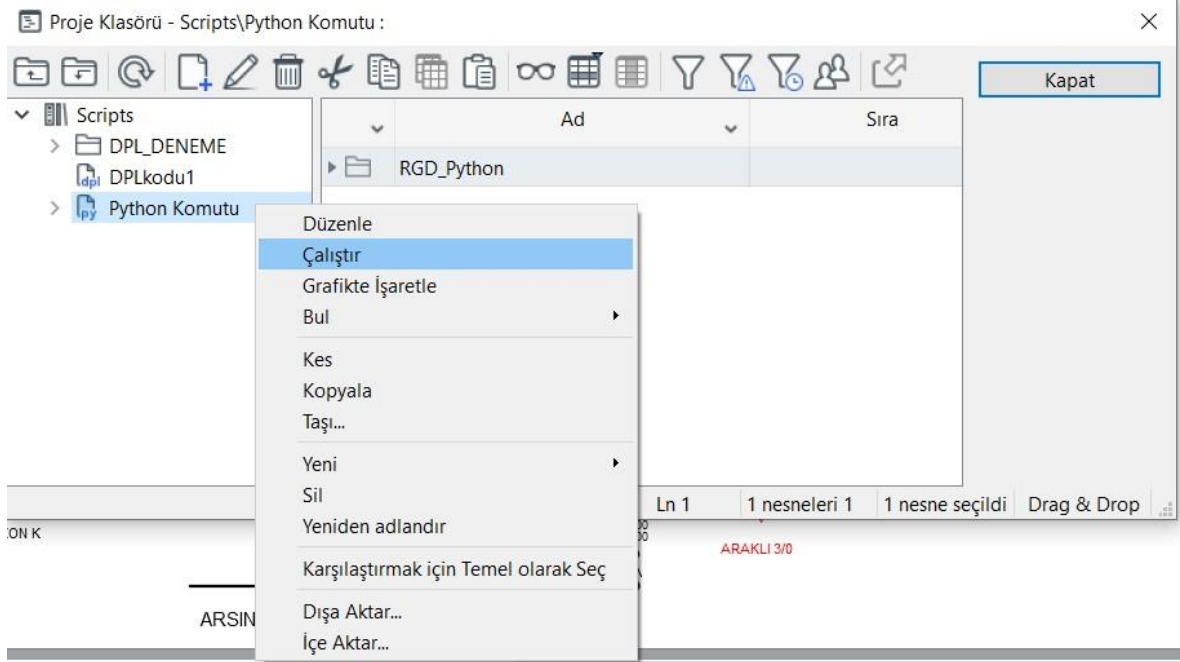
Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\phi$
Aktif güç (P) MW	4,985	6,113	0	0,989	-12,086	0,27
Reaktif güç (Q) MVAR	1,520	0,095	0	1,750	-3,365	
Görünür güç (S) MVA	5,202	6,113	0	2,01	12,546	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Açık	Kapalı	Kapalı	

RGDR yazılımı devreye girmeden önce OG-A barasının gerilimi 31,5 kV'tur. TR-A'dan çekilen aktif güç 12,086 MW, reaktif güç endüktif yönde 3,365 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,989 MW, reaktif güç 1,75 MVAR'dır. OSB-2 fideri devre dışı olup yüksüzdür. OSB-1 fiderinden çekilen aktif güç 6,113 MW, reaktif güç 0,095 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 4,985 MW, reaktif güç 1,52 MVAR'dır.

Tablo 17. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki senkron makinelerin yüklenme durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,036	2,524
Reaktif güç (Q) MVAR	-0,442	-0,37
Görünür Güç (S) MVA	4,06	2,551

Şekil 24’de gösterilen DIgSILENT PF programında “Data” sekmesindeki “Kodlar” kısmından Python kodlarıyla oluşturulan “RGD_Python” yazılımını çalıştırılmıştır. Python kodlarının DIgSILENT Power Factory programında nasıl çalıştırılacağına dair bilgi Ek-2’de, geliştirilen RGDR yazılımının kodları Ek-3’de, 1. Senaryodaki yük durumunda DIgSILENT Power Factory programında RGDR yazılımı çalıştırıldıktan sonra elde edilen sonuçlar Ek-4’de paylaşılmıştır. Detaylı bilgiye programın ana ekranında “Yardım” sekmesinde “Kodlama Referansları” kısmındaki “Python” dokümanından ulaşılabilir.



Şekil 24. DGSILENT PF kod çalıştırma arayüzü

RGDR yazılımı çalıştırılarak Evra BES'den 3 kademe, Selimoğlu HES'den 3 kademe reaktif güç desteği alınmış, OSB-2 fiderinde kesicisi kapatılarak XLPE kablonun kapasitif reaktif güç kabiliyetinden yararlanılmıştır. Reaktif güç desteğinden sonraki yük durumları Tablo 18 ve Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 18. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonraki fider yükleri

Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\phi$
Aktif güç (P) MW	4,985	6,113	0	0,986	-12,083	0,20
Reaktif güç (Q) MVAR	1,520	0,095	-0,332	1,140	-2,421	
Görünür Güç (S) MVA	5,212	6,113	0,332	1,507	12,324	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	

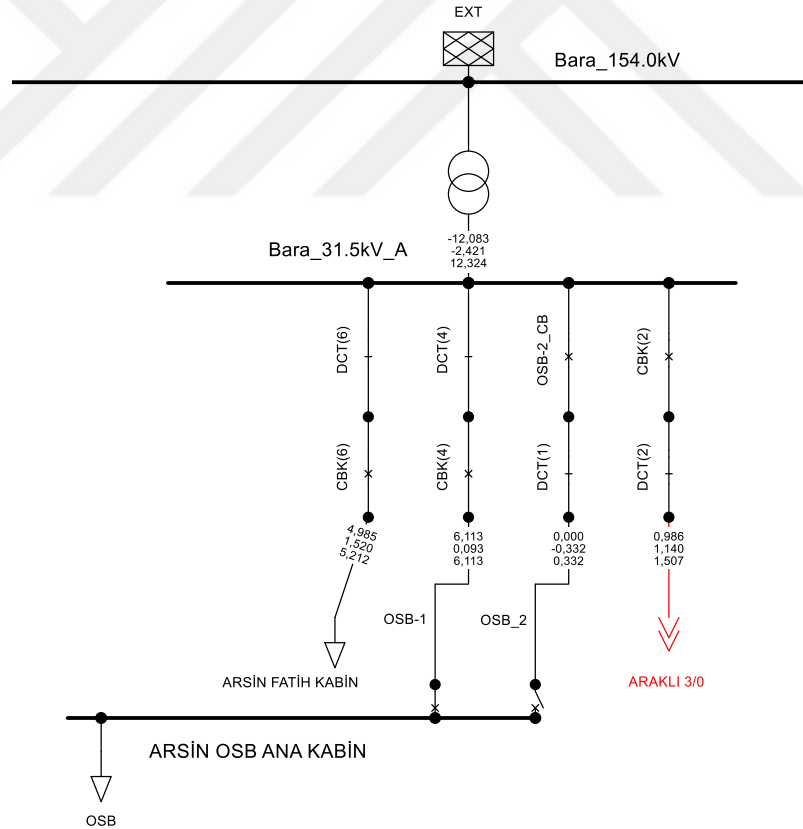
RGDR yazılımı devreye girdikten sonra OG-A barasının gerilimi 31,6 kV'dur. TR-A'dan çekilen aktif güç 12,083 MW, reaktif güç endüktif yönde 2,421 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,986 MW, reaktif güç 1,14 MVAR'dır. OSB-2 fideri boşta devreye alınmış olup 0,332 MVAR kapasitif reaktif güç üretmektedir. OSB-1 fiderinden

çekilen aktif güç 6,113 MW, reaktif güç 0,095 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 4,985 MW, reaktif güç 1,52 MVAR'dır.

Tablo 19. 1. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,036	2,524
Reaktif güç (Q) MVAR	-0,142	-0,07
Görünür Güç (S) MVA	4,038	2,525

Reaktif güç destek yazılımı devreye alındıktan sonraki DIgSILENT Power Factory programındaki yük akış analizi sonuçları Şekil 25'de gösterilmektedir.



Şekil 25. 1. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi

$\tan\varphi=0,27$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği ve XLPE kablodan 332 kVAR'lık reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 932 kVAR'lık kapasitif reaktif güç desteği alınarak $\tan\varphi=0,20$ seviyesine çekilmiştir.

$\tan\varphi=0,23$ ve $\tan\varphi=0,33$ olması durumlarında da RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. Üç farklı yüklenme durumu içinde RGDR yazılımı çalıştırılmadan önce ve sonra fider yük durumları, senkron makine yük durumları, devreye alınan reaktif güç destekleri ve $\tan\varphi$ değerleri Tablo 20'de gösterilmiştir.



Tablo 20. 1. Senaryo sonuç tablosu

Çalışma Senaryoları		Reaktif Güç Desteği Öncesi								Reaktif Güç Desteği Sonrası								Devreye alınan RGD		
		Fider ve Senkron Makineler								Fider ve Senkron Makineler								Evra BES	Selimoğlu HES	XLPE Kablo
		Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Evra BES	Selimoğlu HES	$\tan\phi$	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Evra BES	Selimoğlu HES	$\tan\phi$			
1	P (MW)	4,985	6,113	0	0,987	-12,085	4,036	2,524		4,985	6,113	0	0,987	-12,085	4,036	2,524				
	Q (MVAR)	1,24	0,094	0	1,445	-2,779	-0,142	-0,37	0,23	1,24	0,093	-0,332	1,445	-2,446	-0,442	-0,37	0,2	-	-	Devreye alındı
	S (MVA)	5,137	6,113	0	1,750	12,4	4,038	2,551		5,137	6,113	0,332	1,75	12,33	4,038	2,551		-	-	
2	P (MW)	4,985	6,113	0	0,989	-12,086	4,036	2,524		4,985	6,113	0	0,986	-12,083	4,036	2,524				
	Q (MVAR)	1,52	0,095	0	1,75	-3,365	-0,442	-0,37	0,27	1,52	0,095	-0,332	1,14	-2,421	-0,142	-0,07	0,2	1,2 ve 3. kademe	1,2 ve 3. kademe	Devreye alındı
	S (MVA)	5,202	6,113	0	2,01	12,546	4,06	2,551		5,212	6,113	0,332	1,507	12,324	4,038	2,525		1,2 ve 3. kademe	1,2 ve 3. kademe	
3	P (MW)	4,985	6,113	0	0,989	-12,086	4,036	2,524		4,985	6,113	0	0,986	-12,083	4,036	2,524				
	Q (MVAR)	2,32	0,096	0	1,751	-4,167	-0,442	-0,37	0,34	2,32	0,096	-0,332	1,141	-3,224	-0,142	-0,07	0,27	1,2 ve 3. kademe	1,2 ve 3. kademe	Devreye alındı
	S (MVA)	5,498	6,113	0	2,011	12,785	4,06	2,551		5,498	6,113	0,332	1,508	12,506	4,04	2,525		1,2 ve 3. kademe	1,2 ve 3. kademe	

2.5.2. 2. Senaryo: Endüktif yönde $\tan\phi=0,20$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede

Bu çalışma senaryosunda Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün endüktif yönde OSB-2 fider kesicisi kapalı pozisyonda ve $\tan\phi=0,23$, $\tan\phi=0,25$, $\tan\phi=0,3$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. $\tan\phi=0,23$ senaryosunda RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider ve senkron makinelerle ait yük verileri Tablo 21 ve Tablo 22'de verilmiştir. DİGSİLENT Power Factory programındaki yük akışı analiz verileri de Şekil 26 ve Şekil 27'da verilmiştir. $\tan\phi=0,25$ ve $\tan\phi=0,3$ senaryolarının sonuç verileri son kısımda üç farklı senaryonun verilerinin yer aldığı tabloya eklenmiştir.

Reaktif güç destek yazılımı devreye girmeden önceki şebeke verileri Tablo 21 ve Tablo 22'de gösterilmektedir.

Tablo 21. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri

Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\phi$
Aktif güç (P) MW	4,985	6,113	0	0,989	-12,085	0,23
Reaktif güç (Q) MVAR	1,58	0,094	-0,332	1,445	-2,787	
Görünür Güç (S) MVA	5,229	6,113	0,332	1,75	12,402	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	

RGDR yazılımı devreye girmeden önce OG-A barasının gerilimi 31,5 kV'dur. TR-A'dan çekilen aktif güç 12,085 MW, reaktif güç endüktif yönde 2,787 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,989 MW, reaktif güç 1,445 MVAR'dır. OSB-2 fideri boşta enerjili olup sadece 0,332 MVAR kapasitif reaktif güç üretmektedir. OSB-1 fiderinden çekilen aktif güç 6,113 MW, reaktif güç 0,094 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 4,985 MW, reaktif güç 1,58 MVAR'dır.

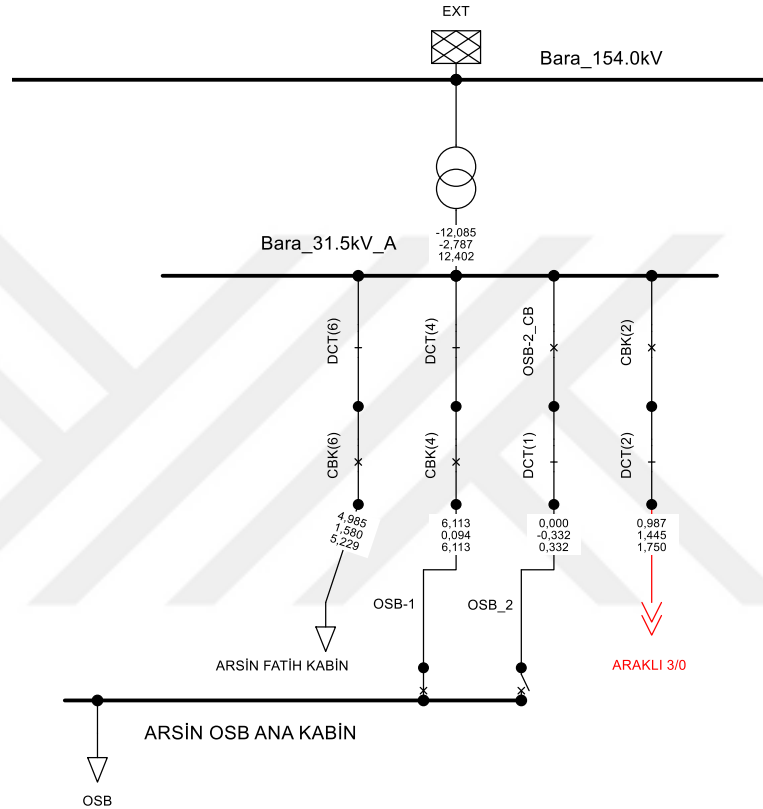
Tablo 22. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önce senkron makinelerin yük durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,036	2,524
Reaktif güç (Q) MVAR	-0,142	-0,37

Tablo 22'nin devamı

Görünür Güç (S) MVA	4,03	2,55
---------------------	------	------

Reaktif güç destek yazılımını devreye alınmadan önceki DIgSILENT Power Factory programındaki yük akış analizi sonuçları Şekil 26'de gösterilmektedir.



Şekil 26. 2. Senaryo RGDR öncesi yük akış analizi

Şekil 24'de gösterilen DIgSILENT PF programında "Data" sekmesindeki "Kodlar" kısmından Python kodlarıyla oluşturduğumuz "RGD_Python" yazılımını çalıştırılmıştır.

RGDR yazılımını çalıştırılarak Evra BES'den 1 kademe, Selimoğlu HES'den 3 kademe reaktif güç desteği alınmıştır. Reaktif güç desteğinden sonraki yük durumları Tablo 23 ve Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 23. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra fider yükleri

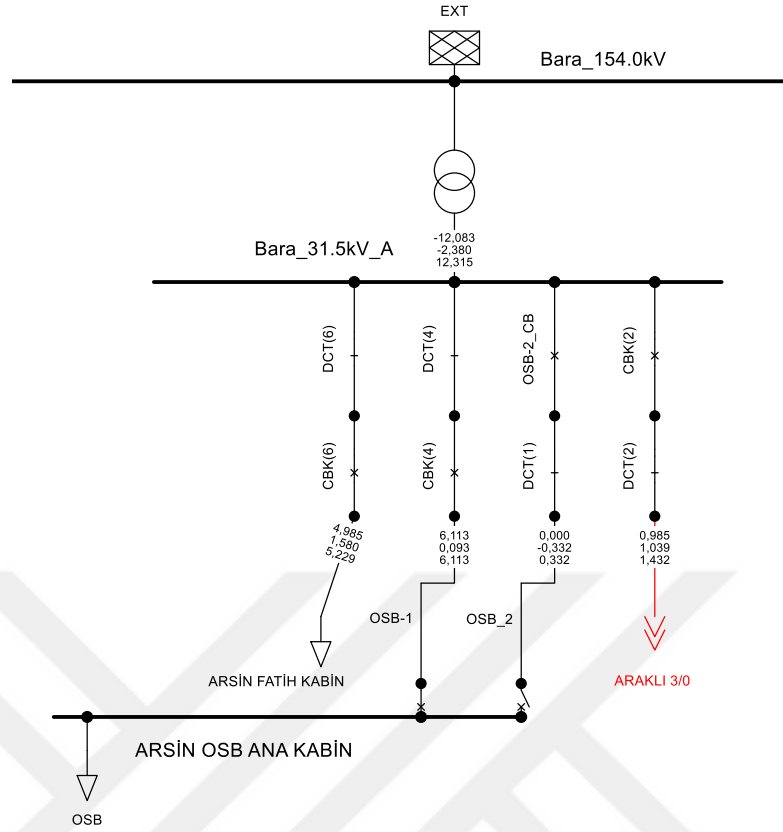
Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\phi$
Aktif güç (P) MW	4,985	6,113	0	0,985	-12,083	0,20
Reaktif güç (Q) MVAR	1,58	0,093	-0,332	1,039	-2,38	
Görünür Güç (S) MVA	5,229	6,113	0,332	1,432	12,315	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	

RGDR yazılımı devreye girdikten sonra OG-A barasının gerilimi 31,6 kV'dur. TR-A'dan çekilen aktif güç 12,083 MW, reaktif güç endüktif yönde 2,38 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,989 MW, reaktif güç 1,03 MVAR'dır. OSB-2 fideri boşta enerjili olup 0,332 MVAR kapasitif reaktif güç üretmektedir. OSB-1 fiderinden çekilen aktif güç 6,113 MW, reaktif güç 0,093 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 4,985 MW, reaktif güç 1,58 MVAR'dır.

Tablo 24. 2. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,036	2,524
Reaktif güç (Q) MVAR	-0,04	-0,07
Görünür Güç (S) MVA	4,03	2,52

Reaktif güç destek yazılımı devreye alındıktan sonraki DIgSILENT Power Factory programındaki yük akış analizi sonuçları Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 27. 2. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi

$\tan\phi=0,23$ olması durumunda RGD yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 100 kVAR (1 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 400 kVAR'lık kapasitif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,20$ seviyesine çekilmiştir.

$\tan\phi=0,25$ ve $\tan\phi=0,30$ olması durumlarında da RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. Üç farklı yüklenme durumu içinde RGDR yazılımı çalıştırılmadan önce ve sonra fider yük durumları, senkron makine yük durumları, devreye alınan reaktif güç destekleri ve $\tan\phi$ değerleri Tablo 25'de gösterilmiştir.

Tablo 25. 2. Senaryo sonuç tablosu

Çalışma Senaryoları	Reaktif Güç Desteği Öncesi								Reaktif Güç Desteği Sonrası								Devreye alınan RGD			
	Fider ve Senkron Makineler								Fider ve Senkron Makineler											
	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Eytra BES	Selimoglu HES	$\tan\phi$	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Eytra BES	Selimoglu HES	$\tan\phi$	Eytra BES	Selimoglu HES	-	
1	P (MW)	4,985	6,113	0	0,989	-12,085	4,036	2,52	0,23	4,985	6,113	0	0,985	-12,083	4,036	2,52	0,2	1. kademe	1,2 ve 3. kademe	-
	Q (MVAR)	1,58	0,094	-0,332	1,445	-2,787	-0,142	-0,37		1,58	0,093	-0,332	1,039	-2,38	-0,04	-0,07				
	S (MVA)	5,229	6,113	0,332	1,75	12,402	4,038	2,55		5,229	6,113	0,332	1,432	12,315	4,036	2,52				
2	P (MW)	4,985	6,113	0	0,989	-12,086	4,036	2,52	0,25	4,985	6,113	0	0,986	-12,083	4,036	2,52	0,2	1,2 ve 3. kademe	1,2 ve 3. kademe	-
	Q (MVAR)	1,570	0,094	-0,331	1,749	-3,082	-0,442	-0,37		1,57	0,093	-0,332	1,140	-2,471	-0,142	-0,07				
	S (MVA)	5,226	6,113	0,331	2,01	12,473	4,06	2,55		5,226	6,113	0,332	1,507	12,333	4,038	2,52				
3	P (MW)	4,985	6,113	0	0,989	-12,086	4,035	2,52	0,3	4,985	6,113	0	0,986	-12,083	4,035	2,52	0,27	1,2 ve 3. kademe	1,2 ve 3. kademe	-
	Q (MVAR)	2,1	0,095	-0,331	1,75	-3,615	-0,442	-0,37		2,1	0,094	-0,332	1,141	-3	-0,142	-0,07				
	S (MVA)	5,409	6,113	0,331	2,01	12,615	4,06	2,55		5,409	6,113	0,332	1,508	12,451	4,038	2,52				

2.5.3. 3. Senaryo: Kapasitif yönde $\tan\varphi=0,15$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede

Bu çalışma senaryosunda Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün kapasitif yönde OSB-2 fider kesicisi kapalı pozisyonda ve $\tan\varphi=0,18$, $\tan\varphi=0,22$, $\tan\varphi=0,25$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. $\tan\varphi=0,18$ senaryosunda RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider ve senkron makinelerle ait yük verileri Tablo 26 ve Tablo 27'de verilmiştir. DİGSILENT Power Factory programındaki yük akışı analiz verileri de Şekil 28 ve Şekil 29'da verilmiştir. $\tan\varphi=0,22$ ve $\tan\varphi=0,25$ senaryolarının sonuç verileri son kısımda üç farklı senaryonun verilerinin yer aldığı tabloya eklenmiştir.

Reaktif güç destek yazılımı devreye girmeden önceki şebeke verileri Tablo 26 ve Tablo 27' de gösterilmektedir.

Tablo 26. 3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri

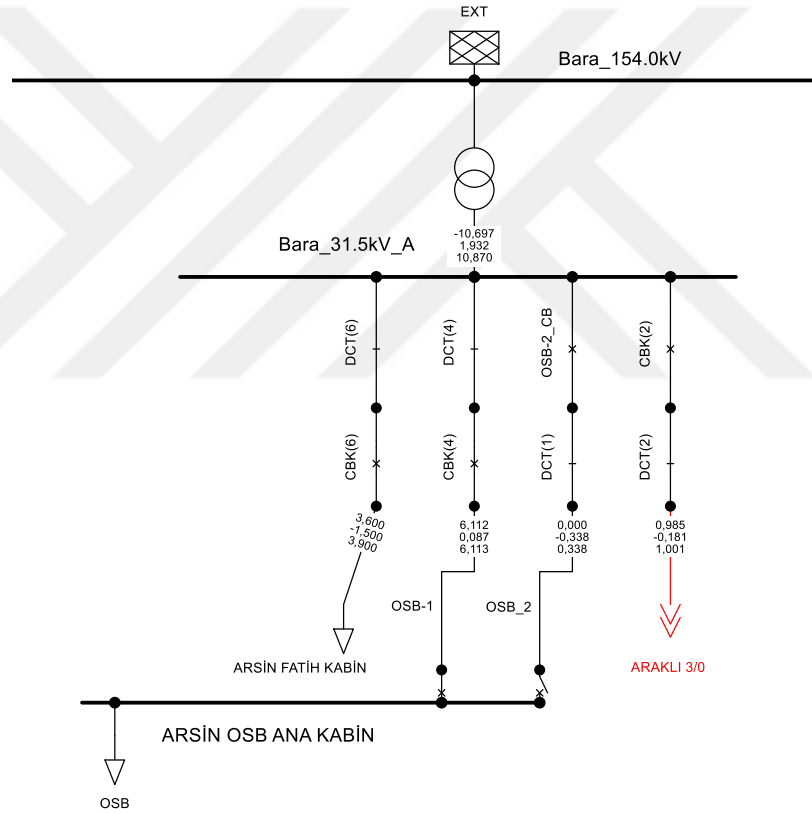
Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\varphi$
Aktif güç(P) MW	3,6	6,112	0	0,985	-10,697	0,18
Reaktif güç (Q) MVAR	-1,5	0,087	-0,338	-0,181	1,962	
Görünür Güç (S) MVA	3,9	6,113	0,338	1,001	10,87	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	

RGDR yazılımı devreye girmeden önce OG-A barasının gerilimi 31,7 kV'dur. TR-A'dan çekilen aktif güç 10,697 MW, reaktif güç kapasitif yönde 1,962 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,985 MW, reaktif güç 0,181 MVAR'dır. OSB-2 fideri boşta enerjili olup 0,338 MVAR kapasitif reaktif güç üretmektedir. OSB-1 fiderinden çekilen aktif güç 6,112 MW, reaktif güç 0,087 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 3,6 MW, reaktif güç 1,5 MVAR'dır.

Tablo 27. 3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önce senkron makinelerin yük durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,035	2,52
Reaktif güç (Q) MVAR	0,6	0,5
Görünür Güç (S) MVA	4,08	2,57

Reaktif güç destek yazılımı devreye alınmadan önceki DIgSILENT Power Factory programındaki yük akış analizi sonuçları Şekil 28’de gösterilmektedir.



Şekil 28. 3. Senaryo RGDR öncesi yük akış analizi

Şekil 24’de gösterilen DIgSILENT PF programında “Data” sekmesindeki “Kodlar” kısmından Python kodlarıyla oluşturduğumuz “RGD_Python” yazılımı çalıştırılmıştır.

RGDR yazılımı çalıştırılarak Selimoğlu HES’den 3 kademe reaktif güç desteği alınmıştır. Reaktif güç desteğinden sonraki yük durumları Tablo 28 ve Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 28. 3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra fider yükleri

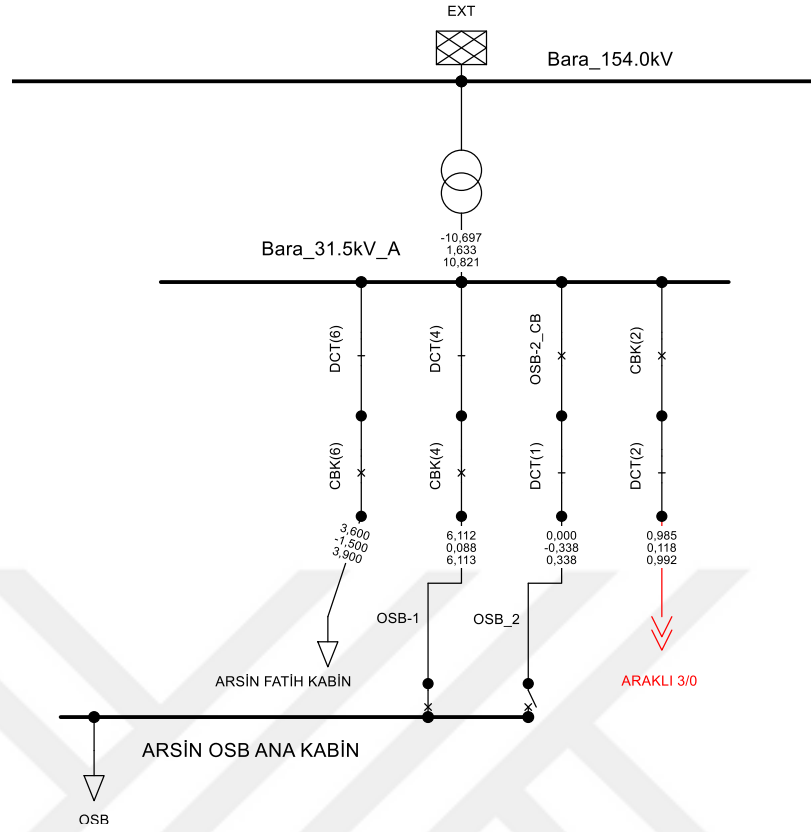
Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\phi$
Aktif güç (P) MW	3,6	6,112	0	0,985	-10,697	0,15
Reaktif güç (Q) MVAR	-1,5	0,087	-0,338	0,118	1,633	
Görünür Güç (S) MVA	3,9	6,113	0,338	0,992	10,821	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Kapalı	

RGDR yazılımı devreye girdikten sonra OG-A barasının gerilimi 31,7 kV'dur. TR-A'dan çekilen aktif güç 10,697 MW, reaktif güç kapasitif yönde 1,633 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,985 MW, reaktif güç 0,118 MVAR'dır. OSB-2 fideri boşta enerjili olup 0,338 MVAR kapasitif reaktif güç üretmektedir. OSB-1 fiderinden çekilen aktif güç 6,112 MW, reaktif güç 0,087 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 3,6 MW, reaktif güç 1,5 MVAR'dır.

Tablo 29. 3. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,035	2,52
Reaktif güç (Q) MVAR	0,6	0,2
Görünür Güç (S) MVA	4,08	2,53

Reaktif güç destek yazılımı devreye alındıktan sonraki DIgSILENT Power Factory programındaki yük akış analizi sonuçları Şekil 30'da gösterilmektedir.



Şekil 29. 3. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi

$\tan\phi=0,18$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 300 kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,15$ seviyesine çekilmiştir.

$\tan\phi=0,22$ ve $\tan\phi=0,25$ olması durumlarında da RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. Üç farklı yüklenme durumu içinde RGDR yazılımı çalıştırılmadan önce ve sonra fider yük durumları, senkron makine yük durumları, devreye alınan reaktif güç destekleri ve $\tan\phi$ değerleri Tablo 30'da gösterilmiştir.

Tablo 30. 3. Senaryo sonuç tablosu

Çalışma Senaryoları		Reaktif Güç Desteği Öncesi								Reaktif Güç Desteği Sonrası								Devreye alınan RGD		
		Fider ve Senkron Makineler								Fider ve Senkron Makineler								Evrta BES	Selimoğlu HES	XLPE Kablo
		Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Evrta BES	Selimoğlu HES	$\tan\phi$	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Evrta BES	Selimoğlu HES	$\tan\phi$			
1	P (MW)	3,6	6,112	0	0,985	-10,697	4,035	2,52	0,18	3,6	6,112	0	0,985	-10,697	4,035	2,52	0,15	-	1,2 ve 3. kademe	-
	Q (MVAR)	-1,5	0,087	-0,338	-0,181	1,932	0,6	0,5		-1,5	0,088	-0,338	0,118	1,633	0,6	0,2				
	S (MVA)	3,9	6,113	0,338	1,001	10,87	4,08	2,57		3,9	6,113	0,338	0,992	10,821	4,08	2,53				
2	P (MW)	3,4	6,112	0	0,986	-10,498	4,035	2,52	0,22	3,4	6,112	0	0,985	-10,497	4,035	2,52	0,15	1. kademe	1,2 ve 3. kademe	Devreden çıkarıldı
	Q (MVAR)	-1,6	0,087	-0,338	-0,478	2,31	0,7	0,7		-1,6	0,088	0	-0,082	1,594	0,6	0,4				
	S (MVA)	3,758	6,113	0,338	1,096	10,754	4,09	2,62		3,758	6,113	0	0,988	10,618	4,08	2,55				
3	P (MW)	3,4	6,112	0	0,986	-10,498	4,035	2,52	0,25	3,4	6,112	0	0,985	-10,497	4,035	2,52	0,16	1,2 ve 3. kademe	1,2 ve 3. kademe	Devreden çıkarıldı
	Q (MVAR)	-1,9	0,086	-0,336	-0,479	2,632	0,7	0,7		-1,9	0,087	0	0,118	1,695	0,4	0,4				
	S (MVA)	3,895	6,113	0,336	1,096	10,823	4,09	2,62		3,895	6,113	0	0,992	10,633	4,05	2,55				

2.5.4. 4. Senaryo: Kapasitif yönde $\tan\varphi=0,15$ 'den büyük ve OSB-2 fider kesicisi devrede değil

Bu çalışma senaryosunda Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün kapasitif yönde OSB-2 fider kesicisi açık pozisyonda ve $\tan\varphi=0,18$, $\tan\varphi=0,22$, $\tan\varphi=0,25$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. $\tan\varphi=0,18$ senaryosunda RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider ve senkron makinelerle ait yük verileri Tablo 31 ve Tablo 32'de verilmiştir. DİGSILENT Power Factory programındaki yük akışı analiz verileri de Şekil 30 ve Şekil 31'de verilmiştir. $\tan\varphi=0,22$ ve $\tan\varphi=0,25$ senaryolarının sonuç verileri son kısımda üç farklı senaryonun verilerinin yer aldığı tabloya eklenmiştir.

Reaktif güç destek yazılımı devreye girmeden önceki şebeke verileri Tablo 31 ve Tablo 32'de gösterilmektedir.

Tablo 31. 4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önceki fider yükleri

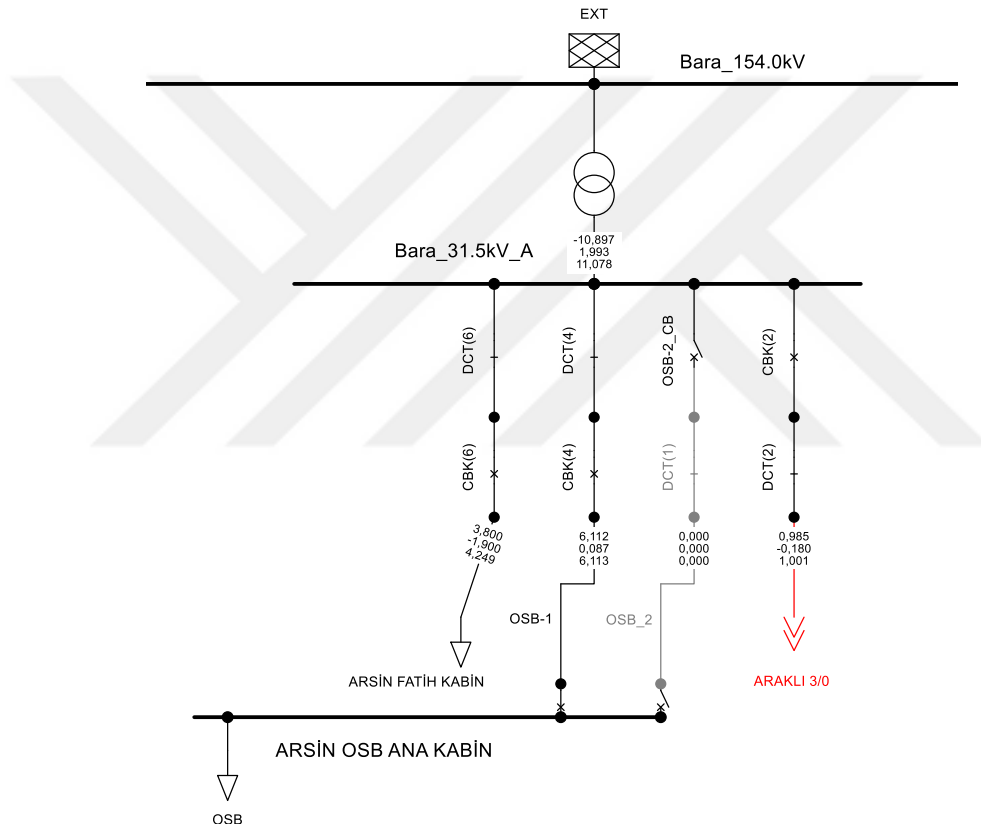
Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\varphi$
Aktif güç (P) MW	3,8	6,112	0	0,985	-10,897	0,18
Reaktif güç (Q) MVAR	-1,9	0,087	0	-0,181	1,993	
Görünür Güç (S) MVA	4,249	6,113	0	1,001	11,078	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Açık	Kapalı	Kapalı	

RGDR yazılımı devreye girmeden önce OG-A barasının gerilimi 31,7 kV'dur. TR-A'dan çekilen aktif güç 10,897 MW, reaktif güç kapasitif yönde 1,993 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,985 MW, reaktif güç 0,181 MVAR'dır. OSB-2 fideri devre dışı olup yüksüzdür. OSB-1 fiderinden çekilen aktif güç 6,112 MW, reaktif güç 0,087 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 3,8 MW, reaktif güç 1,9 MVAR'dır.

Tablo 32. 4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girmeden önce senkron makinelerin yük durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,035	2,52
Reaktif güç (Q) MVAR	0,5	0,6
Görünür Güç (S) MVA	4,06	2,59

Reaktif güç destek yazılımı devreye alınmadan önceki DIgSILENT Power Factory programındaki yük akış analizi sonuçları Şekil 30’da gösterilmektedir.



Şekil 30. 4. Senaryo RGDR öncesi yük akış analizi

Şekil 24’de gösterilen DIgSILENT PF programında “Data” sekmesindeki “Kodlar” kısmından Python kodlarıyla oluşturduğumuz “RGD_Python” yazılımını çalıştırılmıştır.

RGDR yazılımı çalıştırılarak Evra BES’den 1 kademe, Selimoğlu HES’den 3 kademe reaktif güç desteği alınmıştır. Reaktif güç desteğinden sonraki yük durumları Tablo 33 ve Tablo 34’de verilmiştir.

Tablo 33. 4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra fider yükleri

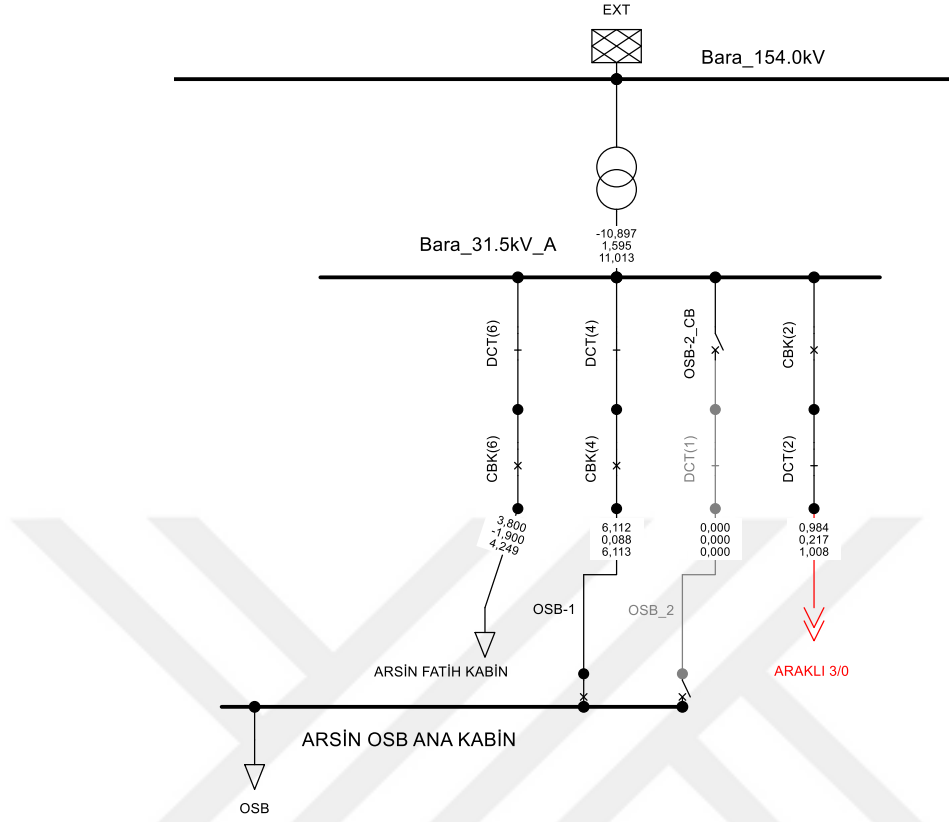
Fider	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı 3/0	TR-A	$\tan\phi$
Aktif güç (P) MW	3,8	6,113	0	0,984	-10,897	0,15
Reaktif güç (Q) MVAR	-1,9	0,088	0	0,217	1,595	
Görünür Güç (S) MVA	4,424	6,113	0	1,008	11,013	
Kesici Pozisyonu	Kapalı	Kapalı	Açık	Kapalı	Kapalı	

RGDR yazılımı devreye girdikten sonra OG-A barasının gerilimi 31,7 kV'dur. TR-A'dan çekilen aktif güç 10,897 MW, reaktif güç kapasitif yönde 1,595 MVAR'dır. Araklı 3/0 fiderinden çekilen aktif güç 0,984 MW, reaktif güç 0,217 MVAR'dır. OSB-2 fideri devre dışı olup yüksüzdür. OSB-1 fiderinden çekilen aktif güç 6,113 MW, reaktif güç 0,088 MVAR'dır. Arsin fiderinden çekilen aktif güç 3,8 MW, reaktif güç 1,9 MVAR'dır.

Tablo 34. 4. Senaryo RGDR yazılımı devreye girdikten sonra senkron makinelerin yük durumu

Senkron Makine	Evra BES	Selimoğlu HES
Aktif güç (P) MW	4,035	2,52
Reaktif güç (Q) MVAR	0,4	0,3
Görünür Güç (S) MVA	4,05	2,53

Reaktif güç destek yazılımı devreye alındıktan sonraki DIgSILENT Power Factory programındaki yük akış analizi sonuçları Şekil 31'de gösterilmektedir.



Şekil 31. 4. Senaryo RGDR sonrası yük akış analizi

$\tan\phi=0,18$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 100 kVAR (1 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 400 kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,15$ seviyesine çekilmiştir.

$\tan\phi=0,20$ ve $\tan\phi=0,22$ olması durumlarında da RGDR yazılımı çalıştırılmıştır. Üç farklı yüklenme durumu içinde RGDR yazılımı çalıştırılmadan önce ve sonra fider yük durumları, senkron makine yük durumları, devreye alınan reaktif güç destekleri ve $\tan\phi$ değerleri Tablo 35'de gösterilmiştir.

Tablo 35. 4. Senaryo sonuç tablosu

Çalışma Senaryoları		Reaktif Güç Desteği Öncesi								Reaktif Güç Desteği Sonrası								Devreye alınan RGD		
		Fider ve Senkron Makineler								Fider ve Senkron Makineler								Evrta BES	Selimoglu HES	tanφ
		Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Evrta BES	Selimoglu HES	tanφ	Arsin	OSB-1	OSB-2	Araklı3/0	TR-A	Evrta BES	Selimoglu HES	tanφ			
1	P (MW)	3,8	6,112	0	0,985	-10,897	4,035	2,52	0,18	3,8	6,113	0	0,984	-10,897	4,035	2,52	0,15	1.kademe	1,2 ve 3. kademe	-
	Q (MVAR)	-1,9	0,087	0	-0,18	1,993	0,5	0,6		-1,9	0,088	0	0,217	1,595	0,4	0,3				
	S (MVA)	4,249	6,113	0	1	11,078	4,06	2,59		4,424	6,113	0	1,008	11,013	4,05	2,54				
2	P (MW)	3,7	6,112	0	0,986	-10,798	4,035	2,52	0,20	3,7	6,112	0	0,985	-10,797	4,035	2,52	0,15	1,2 ve 3. kademe	-	
	Q (MVAR)	-1,9	0,087	0	-0,379	2,192	0,6	0,7		-1,9	0,088	0	0,218	1,595	0,3	0,4				
	S (MVA)	4,159	6,113	0	1,056	11,018	4,08	2,62		4,159	6,113	0	1,008	10,914	4,04	2,55				
3	P (MW)	3,7	6,112	0	0,986	-10,799	4,035	2,52	0,22	3,7	6,112	0	0,985	-10,799	4,035	2,52	0,16	1,2 ve 3. kademe	-	
	Q (MVAR)	-1,9	0,086	0	-0,577	2,39	0,7	0,8		-1,9	0,087	0	0,018	1,794	0,4	0,5				
	S (MVA)	4,159	6,113	0	1,142	11,06	4,09	2,65		4,159	6,113	0	0,985	10,945	4,05	2,57				

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında geliştirilen Reaktif Güç Destek Röle (RGDR) yazılımı 4 ana senaryo ve her bir senaryo için üç farklı yük durumu olmak üzere on iki farklı yük durumunda çalıştırılmış ve sonuçlar aşağıda incelenmiştir.

Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün endüktif yönde, OSB-2 fider devrede değilken ve $\tan\phi=0,23$, $\tan\phi=0,27$ ve $\tan\phi=0,34$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- $\tan\phi=0,23$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, OSB-2 fiderine bağlı XLPE kablodan 332 kVAR'lık kapasitif reaktif destek alınarak $\tan\phi=0,20$ seviyesine çekilmiştir.
- $\tan\phi=0,27$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği ve XLPE kablodan 332 kVAR'lık reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 932 kVAR'lık kapasitif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,20$ seviyesine çekilmiştir.
- $\tan\phi=0,34$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği ve XLPE kablodan 332 kVAR'lık reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 932 kVAR'lık kapasitif reaktif güç desteği alınmasına rağmen reaktif güç destek kapasitesi yetersiz kalarak $\tan\phi=0,27$ seviyesine çekilebilmiştir.

RGDR yazılımı şebekede öngörülen kompanzasyon işlevini gerçekleştirmiştir. Bu işlev hem senkron makinelerin reaktif güç kademeleri ve hem de XLPE kablunun kapasitif kabiliyeti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha önceden belirlenen toplam kompanzasyon gücü her durumda yeterli gelmemiştir. Çalışma durumlarına bakıldığında $\tan\phi=0,23$ ve $\tan\phi=0,27$ durumlarında ihtiyaç duyulan reaktif güç desteği sağlanabilirken, $\tan\phi=0,34$ durumunda ise ihtiyaç duyulan reaktif güç toplam kompanzasyon gücünden büyük olduğu için yeterli kompanzasyon sağlanamamıştır. Bu durumda RGDR yazılımı içerisindeki senkron makine destek miktarı ve kademeleri artırılarak gerekli kompanzasyon sağlanabilir. Bu değişiklik yapılırken senkron makinelerin çalışma eğrileri ve reaktif güç desteği verme kabiliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün endüktif yönde, OSB-2 fider kesicisi kapalı pozisyonda, $\tan\phi=0,23$, $\tan\phi=0,25$ ve $\tan\phi=0,3$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- $\tan\phi=0,23$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 100 kVAR (1 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 400 kVAR'lık kapasitif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,20$ seviyesine çekilmiştir.
- $\tan\phi=0,25$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 600 kVAR'lık kapasitif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,20$ seviyesine çekilmiştir.
- $\tan\phi=0,3$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 600 kVAR'lık kapasitif reaktif güç desteği alınmasına rağmen reaktif güç destek kapasitesi yetersiz kalarak $\tan\phi=0,25$ seviyesine çekilebilmiştir.

RGDR yazılımı şebekede öngörülen kompanzasyon işlevini gerçekleştirmiştir. Bu işlev senkron makinelerin reaktif güç kademeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OSB-2 fider kesicisi kapalı olduğundan dolayı XLPE kablonun kapasitif kabiliyeti şebekedeki endüktif yükü kompanze etmektedir, Bu senaryoda RGDR yazılımı kompanzasyon amaçlı XLPE kablonun kapasitif reaktif kabiliyetinden yararlanmamıştır. Daha önceden belirlenen toplam kompanzasyon gücü her durumda yeterli gelmemiştir. Çalışma durumlarına bakıldığında $\tan\phi=0,23$ ve $\tan\phi=0,25$ durumlarında ihtiyaç duyulan reaktif güç desteği sağlanabilirken, $\tan\phi=0,30$ durumunda ise ihtiyaç duyulan reaktif güç toplam kompanzasyon gücünden büyük olduğu için yeterli kompanzasyon sağlanamamıştır. Bu durumda RGDR yazılımı içerisindeki senkron makine destek miktarı ve kademeleri artırılarak gerekli kompanzasyon sağlanabilir. Bu değişiklik yapılırken senkron makinelerin çalışma eğrileri ve reaktif güç desteği verme kabiliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün kapasitif yönde OSB-2 fider kesicisi kapalı pozisyonda ve $\tan\phi=0,18$, $\tan\phi=0,22$, $\tan\phi=0,25$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- $\tan\phi=0,18$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 300

kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,15$ seviyesine çekilmiştir.

- $\tan\phi=0,22$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 100 kVAR (1 kademe) reaktif güç desteği Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda senkron makinelerden 400 kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınmıştır, XLPE kablonun devreden çıkarılmasıyla da 332 kVAR'lık kapasitif reaktif güç servis harici edilmiş $\tan\phi=0,15$ seviyesine çekilmiştir.
- $\tan\phi=0,25$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda senkron makinelerden 600 kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınmıştır, XLPE kablonun devreden çıkarılmasıyla da 332 kVAR'lık kapasitif reaktif güç servis harici edilmiş olmasına rağmen reaktif güç destek miktarı yetersiz kalarak $\tan\phi=0,16$ seviyesine çekilebilmiştir.

RGDR yazılımı şebekede öngörülen kompanzasyon işlevini gerçekleştirmiştir. Bu işlev hem senkron makinelerin reaktif güç kademeleri ve hem de XLPE kablonun kapasitif kabiliyeti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha önceden belirlenen toplam kompanzasyon gücü her durumda yeterli gelmemiştir. Çalışma durumlarına bakıldığında $\tan\phi=0,18$ ve $\tan\phi=0,22$ durumlarında ihtiyaç duyulan reaktif güç desteği sağlanabilirken, $\tan\phi=0,25$ durumunda ise ihtiyaç duyulan reaktif güç toplam kompanzasyon gücünden büyük olduğu için yeterli kompanzasyon sağlanamamıştır. Bu durumda RGDR yazılımı içerisindeki senkron makine destek miktarı ve kademeleri artırılarak gerekli kompanzasyon sağlanabilir. Bu değişiklik yapılırken senkron makinelerin çalışma eğrileri ve reaktif güç desteği verme kabiliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Arsin TM TR-A'dan çekilen reaktif gücün kapasitif yönde OSB-2 fider kesicisi açık pozisyonda ve $\tan\phi=0,18$, $\tan\phi=0,20$, $\tan\phi=0,22$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- $\tan\phi=0,18$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 100 kVAR (1 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 400 kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,15$ seviyesine çekilmiştir.

- $\tan\phi=0,2$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 600 kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınarak $\tan\phi=0,15$ seviyesine çekilmiştir.
- $\tan\phi=0,22$ olması durumunda RGDR yazılımı çalıştırılmış, Evra BES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği, Selimoğlu HES'den 300 kVAR (3 kademe) reaktif güç desteği alınmıştır. Toplamda 600 kVAR'lık endüktif reaktif güç desteği alınmasına rağmen reaktif güç desteği yetersiz kalarak $\tan\phi=0,17$ seviyesine çekilebilmiştir.

RGDR yazılımı şebekede öngörülen kompanzasyon işlevini gerçekleştirmiştir. Bu işlev hem senkron makinelerin reaktif güç kademeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OSB-2 fider kesicisi kapalı olduğundan dolayı XLPE kablunun kapasitif kabiliyeti şebekedeki endüktif yükü kompanze etmektedir, Bu senaryoda RGDR yazılımı kompanzasyon amaçlı XLPE kablunun kapasitif reaktif kabiliyetinden yararlanmamıştır. Daha önceden belirlenen toplam kompanzasyon gücü her durumda yeterli gelmemiştir. Çalışma durumlarına bakıldığında $\tan\phi=0,23$ ve $\tan\phi=0,25$ durumlarında ihtiyaç duyulan reaktif güç desteği sağlanabilirken, $\tan\phi=0,30$ durumunda ise ihtiyaç duyulan reaktif güç toplam kompanzasyon gücünden büyük olduğu için yeterli kompanzasyon sağlanamamıştır. Bu durumda RGDR yazılımı içerisindeki senkron makine destek miktarı ve kademeleri arttırılarak gerekli kompanzasyon sağlanabilir. Bu değişiklik yapılırken senkron makinelerin çalışma eğrileri ve reaktif güç desteği verme kabiliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Tez çalışmasının en büyük motivasyonlarından biri olan şebekede kompanzasyon için gerekli tesis maliyetlerinin önüne geçilerek şebeke enstrümanlarının efektif şekilde kullanılması RGDR yazılımı ile sağlanmıştır. Arsin TM OG-A barasında reaktif güç kompanzasyonu başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir.

4. ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada öncelikle dağıtım şebekesine bağlı dağıtık üretim tesislerinin ve yedek olarak tesis edilmiş XLPE kabloların reaktif güç kapasitelerinden faydalanarak, indirici merkezin OG barasında reaktif güç kompanzasyonu yapmayı sağlayan algoritma ve yazılım geliştirilmiştir.

$\tan\phi$ değerinin istenilen aralığa çekilemediği senaryolar model üzerinde senkron makinelerden alınacak reaktif güç desteğinin kademe sayıları ve kademe değerleri değiştirilerek RGDR yazılımı veya geliştirilecek farklı algoritmalar denenebilir.

Çalışma kapsamında Arsin TM'de sadece OG-A barası referans alınarak yazılım geliştirilmiştir. OG-A ve OG-B baralarına aynı anda reaktif güç desteği verecek farklı bir model tasarlanabilir. Bu modelde her iki baraya bağlı tüm şebeke enstrümanları kullanılacak şekilde algoritma ve yazılım geliştirilerek röle tasarlanabilir. Ayrıca OG-A ve OG-B baralarının birleşik olduğu durum da ayrıca incelenerek farklı durumlar için oluşturulan yazılım denenebilir.

Farklı indirici merkezlerin karakteristik özellikleri ve şebeke verileri değerlendirilerek senkron makinelerden alınacak reaktif güç desteği, kademe sayıları ve kademe değerleri ayarlanabilir. Bu çalışma ve benzeri çalışmalar referans alınarak daha ileri seviyede indirici merkezlerin orta gerilim baralarına bağlı yeni tip kompanzasyon röleleri tasarlanabilir.

Ülke genelinde reaktif güç kaynaklı EDAŞ'ların cezai duruma düştüğü Transformatör Merkezlerinin şebeke yapısı ayrıca incelenerek, cezaya giren her transformatör merkezi özelinde farklı modeller geliştirilebilir, bu çalışma ve benzeri çalışmaların problemi ortadan kaldırmaya yönelik sağladığı katkı incelenebilir. Ayrıca dağıtık üretimin yoğun olmadığı tüketim ağırlıklı yük profili olan ve reaktif güç kompanzasyon problemlerinin yaşandığı EDAŞ bölgelerinde talep tarafının kontrol edilerek aktif, reaktif güç dengesinin sağlandığı farklı algoritmalar geliştirilebilir.

Dağıtım şebekesindeki dağıtık üretim tesislerinin reaktif güç desteği ile ilgili yeni bir elektrik piyasası oluşturulabilir. Üretim tesisleri sadece ürettikleri aktif güç üzerinden değil, sisteme sağladıkları reaktif güç desteğinden de oluşturulan piyasa yardımıyla ekonomik kazanç elde edebilir. Bu durumda özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde yoğun olarak bulunan nehir tipi hidroelektrik santraller feyezan dönemi dışında azalan ekonomik kazançlarını arttırabilir.

Bu tez çalışmasında dağıtık üretim tesislerinin reaktif gücü oluşturulan yazılım ile kontrol edilmesi hedeflenmiştir. Aynı şekilde dağıtım şebekelerinde merkezi bir ünite ile hem gerilim regülasyonu hem reaktif güç desteğinin kontrol edildiği daha ileri seviye algoritma ve yazılım çalışmaları yapılarak farklı röle modelleri tasarlanabilir.

Çalışmaların sadece EDAŞ odaklı değil, TEİAŞ'a bağlı yüksek gerilim seviyesindeki kritik baralarda da olası reaktif güç desteği ihtiyacında RGDR yazılımı ve benzeri uygulamalarla dağıtım şebekesine gömülü dağıtık üretim tesislerinden reaktif güç desteği alması sağlanabilir.

Önümüzdeki yıllarda dağıtım şebekesine hızla entegre olacak olan elektrikli araç sarj istasyonlarının şebekede reaktif güç yönünden oluşturacağı etkiler incelenerek farklı algoritma ve modeller geliştirilebilir.

5. KAYNAKLAR

- Engin, B. (2008). Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Arifoğlu, U. (2002). Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi. Alfa Yayınları, İstanbul, 464s.
- Jamian, J. J., Aman, M. M., Baharuddin, M. A., Mokhtar, A. S., & Abdullah, M. N. (2017). Minimizing reverse current flow due to distributed generation via optimal network reconfiguration. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 25(4), 3132-3142.
- Andrić, I., Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J., Lacarrière, B., Le Corre, O., Hu, J., Harmsen, R., Crijns-Graus, W. (2017). 604-610 1876-6102 Peer-review under responsibility of the organizing committee of CPESE . Energy Procedia, 141.
- URL-1. (2023, Eylül 10). Lisanslı Üretim Tesisleri: www.epdk.gov.tr adresinden alınmıştır.
- Bak, C. L., & da Silva, F. F. (2016). High voltage AC underground cable systems for power transmission—A review of the Danish experience, part 1. Electric Power Systems Research, 140, 984-994.
- URL-2. (2023, Ağustos 15). Elektrik Piyasası 2022 Yılı Piyasa Gelişim Raporu: www.epdk.gov.tr adresinden alınmıştır.
- Barr, J., & Majumder, R. (2014). Integration of distributed generation in the volt/var management system for active distribution networks. IEEE Transactions on Smart Grid, 6(2), 576-586.
- Viawan, F. A., & Karlsson, D. (2008). Voltage and reactive power control in systems with synchronous machine-based distributed generation. IEEE transactions on power delivery, 23(2), 1079-1087.
- Maknouninejad, A., & Qu, Z. (2014). Realizing unified microgrid voltage profile and loss minimization: A cooperative distributed optimization and control approach. IEEE Transactions on Smart Grid, 5(4), 1621-1630.
- Bignucolo, F., Caldon, R., & Prandoni, V. (2008). Radial MV networks voltage regulation with distribution management system coordinated controller. Electric power systems research, 78(4), 634-645.
- Agalgaonkar, Y. P., Pal, B. C., & Jabr, R. A. (2013). Distribution voltage control considering the impact of PV generation on tap changers and autonomous regulators. IEEE Transactions on Power Systems, 29(1), 182-192.
- Baran, M. E., & El-Markabi, I. M. (2007). A multiagent-based dispatching scheme for distributed generators for voltage support on distribution feeders. IEEE Transactions on power systems, 22(1), 52-59.

- Karymov, R. R., & Ebadian, M. (2007). Comparison of magnetically controlled reactor (MCR) and thyristor controlled reactor (TCR) from harmonics point of view. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 29(3), 191-198.
- Ilisiu, D., & Dinu, E. D. (2019). Modern reactive power compensation for smart electrical grids. In 2019 22nd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS) (pp. 353-357). IEEE.
- Bozali, B., Öztürk, A., & Tosun, S. (2018). Güç Sisteminin Kararlılığını İyileştirecek Facts Cihazlarının Bağlantı Noktalarının Belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 123-134.
- Tosun, S., Öztürk, A., Yalçın, M. A., Döşoğlu, K., & Güvenç, U. (2011). Güç sisteminde SVC ve STATCOM denetleyici etkilerinin incelenmesi. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) (pp. 287-292).
- Sürmeli B. (2014). Marmaray Bc1 Projesi Kapasitif/Endüktif Kompanzasyon Sistemi. *EMO Elektrik Mühendisliği Dergisi*. 541(1), 56-58.
- Yoldaş, M. (2011). Orta Gerilim Dağıtım Sistemlerinde Reaktif Güç Kompanzasyon Tekniklerinin İncelenmesi. YÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Angay M. N. (2019). İşletme Halindeki Iğdır Üniversitesi Dağıtım Şebekesinin Yer Altı Elektrik Kablolarında Kapasitif Etkinin İncelenmesi ve Şönt Reaktör Tesisi. İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Iğdır.
- Bayram, M. (2000). Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu. Birsan Yayınevi.
- Özdemir, N. (2018). Cumhuriyet Dönemi Enerji Politikaları Çerçevesinde Türkiye Elektrik Kurumu. AÜ Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Resmi Gazete. (2004). ÖYK, 2004/22 Sayılı Kararı, R.G. 25422.
- URL-3. (2022, Aralık 20). Elektrik Dağıtım Şirketleri ve Sorumlu Oldukları İller: www.tedas.gov.tr adresinden alınmıştır.
- Resmi Gazete. (2014). Elektrik Şebeke Yönetmeliği. 18-19. Resmi Gazete Sayısı, 29013.
- Hartono, B. S., Budiyo, Y., & Setiabudy, R. (2013). Review of microgrid technology. In 2013 international conference on QiR (pp. 127-132). IEEE.
- Reed, G. F., Grainger, B. M., Sparacino, A. R., Kerestes, R. J., & Korytowski, M. J. (2012). Advancements in medium voltage DC architecture development with applications for powering electric vehicle charging stations. In 2012 IEEE Energytech (pp. 1-8). IEEE.
- Gelen, A., & Yalçınöz, T. (2009). Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC) Ve Tristör Anahtarlama Reaktör-Tabanlı Statik VAR Kompanzator (TSR-Tabanlı SVC) PI İle Kontrolü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2).

- Bostancı, A. (2008). Statik VAR Kompanzasyon Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Hingorani, N. G., & Gyugyi, L. (2000). Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Sidhartha Panda and NP Padhy, "Robust power system stabilizer design using particle swarm optimization technique". International Systems, IEEE Press, New York.
- Çöteli, R., (2006). STATCOM ile Güç Akış Kontrolü. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Oleksyuk, B. V., Tulsy, V. N., & Palis, S. (2017). Magnetically controlled shunt reactors as sources of current and voltage harmonics. IEEE Transactions on Power Delivery, 33(4), 1818-1824.
- URL-4. (2023, Ağustos 20). Manyetik Kontrollü Reaktör <https://www.endoks.com> adresinden alınmıştır.
- Bryantsev, A., Bryantsev, M., Bazylev, B., Dyagileva, S., Negryshev, A., Karymov, R., ... & Smolovik, S. (2010). Power compensators based on magnetically controlled shunt reactors in electric networks with a voltage between 110 kV and 500 kV. In 2010 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA) (pp. 239-244). IEEE.
- Momoh J.A. & El-Hawary M.E. (1999). Electric Systems, Dynamics, and Stability with Artificial Intelligence Applications (Power Engineering (Willis)) CRC Press.
- Anwar, A., & Pota, H. R. (2011, September). Loss reduction of power distribution network using optimum size and location of distributed generation. In AUPEC 2011 (pp. 1-6). IEEE.
- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation: a definition. Electric power systems research, 57(3), 195-204.
- International Energy Agency, Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets, 2002.
- Aksoy H., Sarı A. C., Aydın R. A., Pato Z. & Jahn A. (2021, Mart 1). Yenilenebilir Dağıtık Enerji Üretiminin Şebeke ve Piyasa Entegrasyonu: <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/05/SHURA-2021-05-Yenilenebilir-Dagitik-Enerji-Uretimini-Sebeke-ve-Piyasa-Entegrasyonu.pdf> adresinden alınmıştır.
- Zhang, D., Shafiullah, G. M., Das, C. K., & Wong, K. W. (2022). A systematic review of optimal planning and deployment of distributed generation and energy storage systems in power networks. Journal of Energy Storage, 56.
- Akorede, M. F., Hizam, H., & Pouresmaeil, E. (2010). Distributed energy resources and benefits to the environment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), 724-734.

- Millî Eğitim Bakanlığı. (2012) Elektrik-Elektronik Teknolojisi Yeraltı Enerji Hatları. Ankara: MEGEP Yayınları.
- URL-5. (2023, Ağustos 15). XLPE Kablo Ürün Kataloğu: <https://www.vatan.com.tr/upl/vatan-katalog-web.pdf> adresinden alınmıştır.
- Anand, R., & Balaji, V. (2015). Power flow analysis of simulink IEEE 57 bus test system model using PSAT. Indian Journal of Science and Technology, 8(23), 1.
- Krasniqi I. & Koka A. (2011). Power flow analysis: Simulation for different buses of a system. Journal of Institute Alb-Shkenca, 4, 178-187.
- Kothari D.P. & Nagrath I.J. (2003). “Modern Power System Analysis”, 3rd Ed., New Delhi, India: McGraw Hill Education Private Limited, 184-239.
- Singhal K. (2014, May). “Comparison between load flow analysis methods in power system using MATLAB”, International Journal of Scientific & Engineering Research, 5, 1412-1419.
- Saadat, H. (1999). Power Systems Analysis: McGraw-Hill Primis Custom Publishing, Boston.
- Kaygusuz A., Gül O., Alagöz B. (2012). Yenilenebilir Dağıtık Üretim Koşullarının Güç Sistemlerinin Yük Akışına Etkilerinin Analizi. 2(4), 77-85.
- Glover J.D., Sarma M.S. & Overbye T.J. (2012). “Power System Analysis and Design”, 5th Ed., Stamford, USA; Cengage Learning, 294-354.
- Yeşilbudak, M., Ermiş, S., & Bayındır, R. (2017). Farklı Baralara Sahip Güç Sistemlerinde Yük Akışı Analiz Metotlarının Karşılaştırılması. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 5(3), 237-246.
- User Manual, (2020). Digsilent Powerfactory 20. Digsilent GmbH.
- Sarı,C. (2023). Python Programlama Dili Kullanılarak Günlük Maksimum Yağış Verilerinin Trend Ve Risk Analizleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- URL-6. (2023, Eylül 10). TIOBE Endeksine Göre En Popüler Elli Programlama Dili: <https://www.drdatastats.com/tiobe-endeksine-gore-en-populer-ilk-50-programa-dili-2023-ocak/> adresinden alınmıştır.
- Aksoy, A, (2016) Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Arsin Trafo Merkezi ve Radyal Dağıtım Şebekesine Etkileri. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

6. EKLER

Ek-1 Araklı 3/0 Fiderine Bağlı Transformatörler

YOLUSTU TR 1	SELIMOĞLU HES SANTRALI	OZEL A101 DEPO TR	FINDIKLI GODENEZ CAMI YANI TR
YOLUSTU DERE TR	OZEL YESILYALI SU POMPASI TR	ORNEK KOYU TR	FINDIKLI DERE TR
YESILYALI YAYLACIK TR	OZEL YESILCE SU DEPOSU TR	OGUZ KOYU TR 2	FINDIKLI CAKICILAR TR
YESILYALI TOKI KABIN	OZEL YANTAS TAS OCAGI TR 2	OGUZ KOYU DERE TR	EVRA BES SANTRALI
YESILYALI OTELLER TR	OZEL YANTAS TAS OCAGI TR 1	KUZGUNCUK TR 2	DILEK KOYU TEMEL TR
YESILYALI HIDROMEK YANI TR	OZEL YANBOLU HES REGULATOR ALANI TR	KUZGUNCUK KABIN	DILEK KOYU OKUL TR
YESILYALI FATİH KABIN	OZEL YALIBOYU MEHMET AYDIN ISYERI TR	KUZGUNCUK ESENTEPE TR	CUMHURİYET MAH KOCLAR TR
YESILYALI FATİH HALEZELLER TR	OZEL WESAM INS TR	KARSIYAKA TR	CUBUKLU SEMİZLER TR
YESILKOY TR 4	OZEL VATAN CAY TR	ISIKLI TR 4	CUBUKLU SAMLI TR
YESILKOY TR 3	OZEL TASONU KATI ATIK TESİSİ KABIN	ISIKLI MERKEZ CAMI YANI TR	CUBUKLU KARAAGAC TR
YESILKOY TR 2	OZEL SU POMPASI TR	ISIKLI KOYU TR 3	CUBUKLU DERE SU DEPOSU TR
YESILKOY KABIN	OZEL SELIMOĞLU HES REGULATÖR ALANI TR	ISIKLI BAYRAMOĞLU TR	CUBUKLU CATAK TR
YESILCE TR 3	OZEL KUZGUNCUK SU DEPOSU TR	HALEZERLER SU DEPOSU TR	CICEKLI KOYU TR 2
YESILCE TR 1	OZEL KOMPEN KABIN	GUNEYCE KOYU SULA TR	CICEKLI CAMI YANI TR
YESILCE CAMI YANI TR	OZEL IBNI SINA IOO TR	GUNEYCE KALMUK TR	BUZLUCA TR
YENIKOY DERE TR	OZEL HIDROMEK TR	GUNEYCE HANNOS TR	BUZLUCA SOK YUKARI MAH TR2
YENIKOY CAMI TR	OZEL EVRA ENERJİ TR	GUNEYCE DERE TR	BASDURAK MISIRLI TR
YAVUZ SELİM TR 3	OZEL EVRA ENERJİ ARITMA TESİSİ KABIN	GUNEYCE CAVUSLU TR	ATAYURT OKUL USTU TR
YAVUZ SELİM TR 2	OZEL CUMHURİYET SU DEPOSU TR	GOLGELİK TR	ATAYURT MODUL TR
YAVUZ SELİM TR 1	OZEL CUBUKLU KOYU ÇELİK KAPI TR	GOLGELİK ANISA TR	ATAYURT MEMİSLER TR
YALIBOYU TR 3	OZEL CSK YOL INS TR	FINDIKLI TEPE TR	ATAYURT LADAS TR
YALIBOYU SAHİL TR	OZEL BEKTASOĞLU LOJİSTİK KABIN	FINDIKLI MUHTAR TR	ATAYURT KABIN 1
YALIBOYU ALEMDARLAR TR 2	OZEL AYTEMİZ TR	FINDIKLI MATEŞAH TR	ATAYURT CAMI YANI TR
TASONU TR 2	OZEL ARSİN MESLEKİ VE TEKNİK AND LİSESİ	FINDIKLI KOCLAR TR	ATAYURT AZOLA TR
TASONU TR 1	OZEL ALİBEYOĞLU İNŞAAT TR	FINDIKLI GODENEZ TR 2	ATAYURT ANDENİK TR
SENKAYA TR	OZEL ALBAYRAK BETON SANTRALI TR	FINDIKLI GODENEZ SU DEPOSU TR	ARAKLI ORTAKOY TR

Ek-2 DiGSILENT Power Factory Python dökümanı

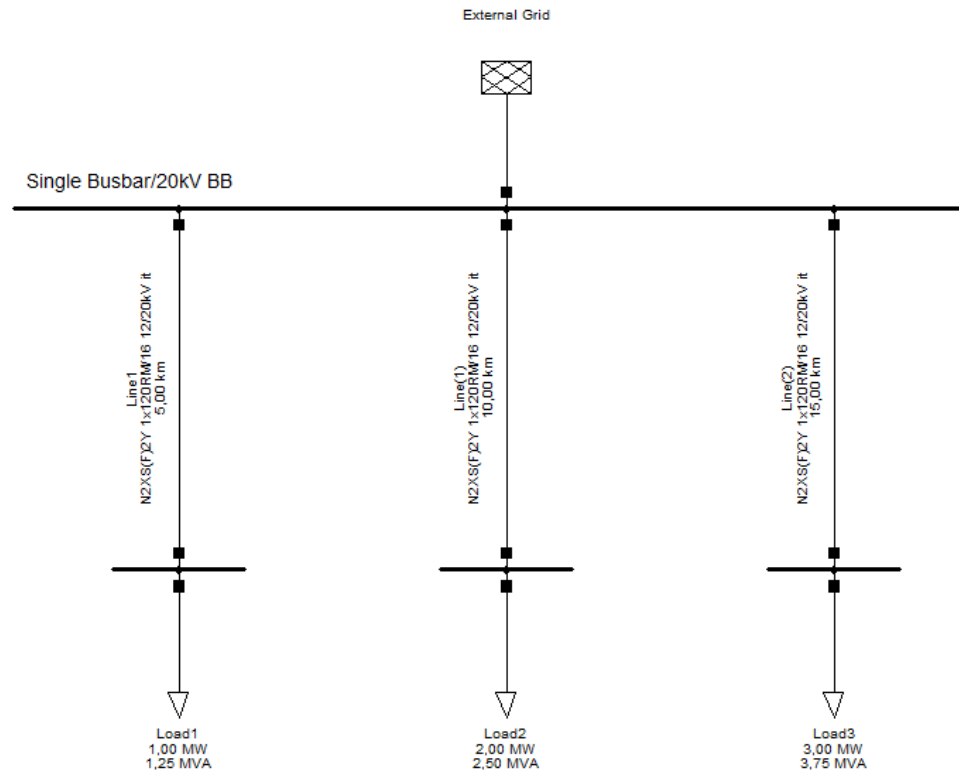
1. Introduction

This is a short step-by-step tutorial that attempts to get the user started in writing and running Python scripts. Before going through this tutorial, the user should already have a basic grasp of PowerFactory handling and performing simple tasks such as load flows and short circuit simulations.

Python is not directly installed on host computer by installing PowerFactory . This means user have to install Python separately. Details on Python installation you may find in PowerFactory user Manual.

1.1 Creating a small sample Project

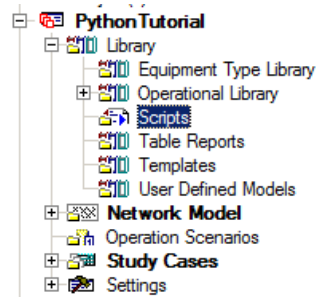
Firstly, we will create a small sample project. Create a new project and draw the following simple 20kV network using line types from the global library:



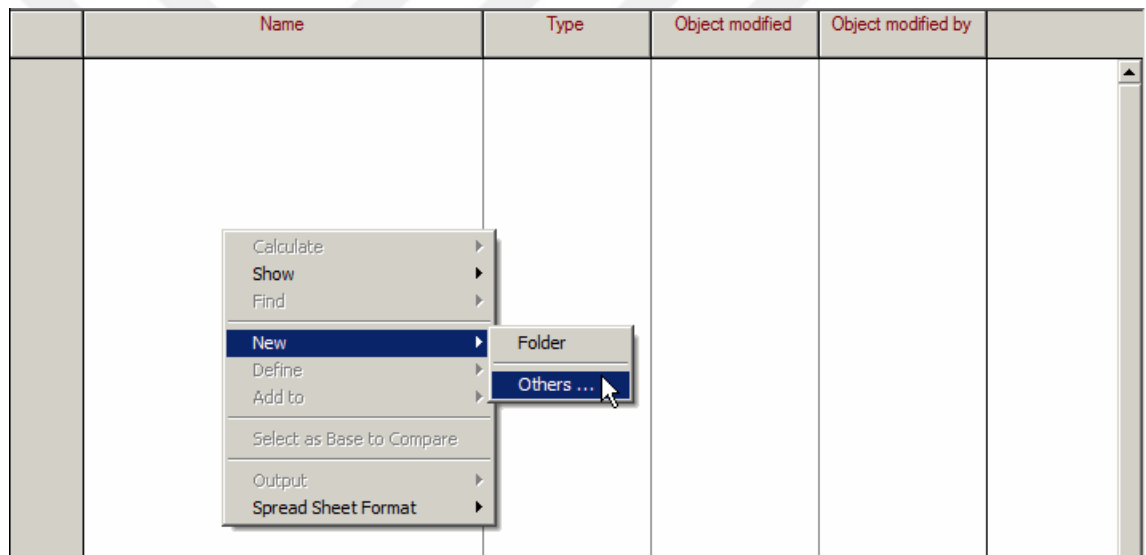
Run a load flow to make sure the model works.

1.2 Create Python command object

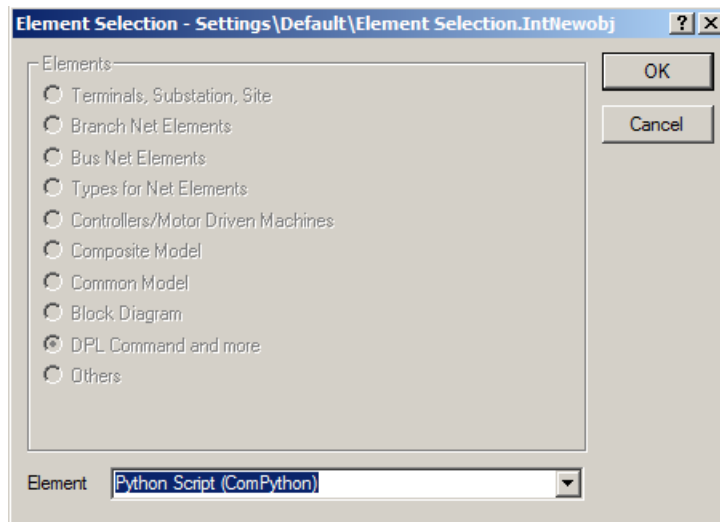
- Go to the scripts folder of the project library:



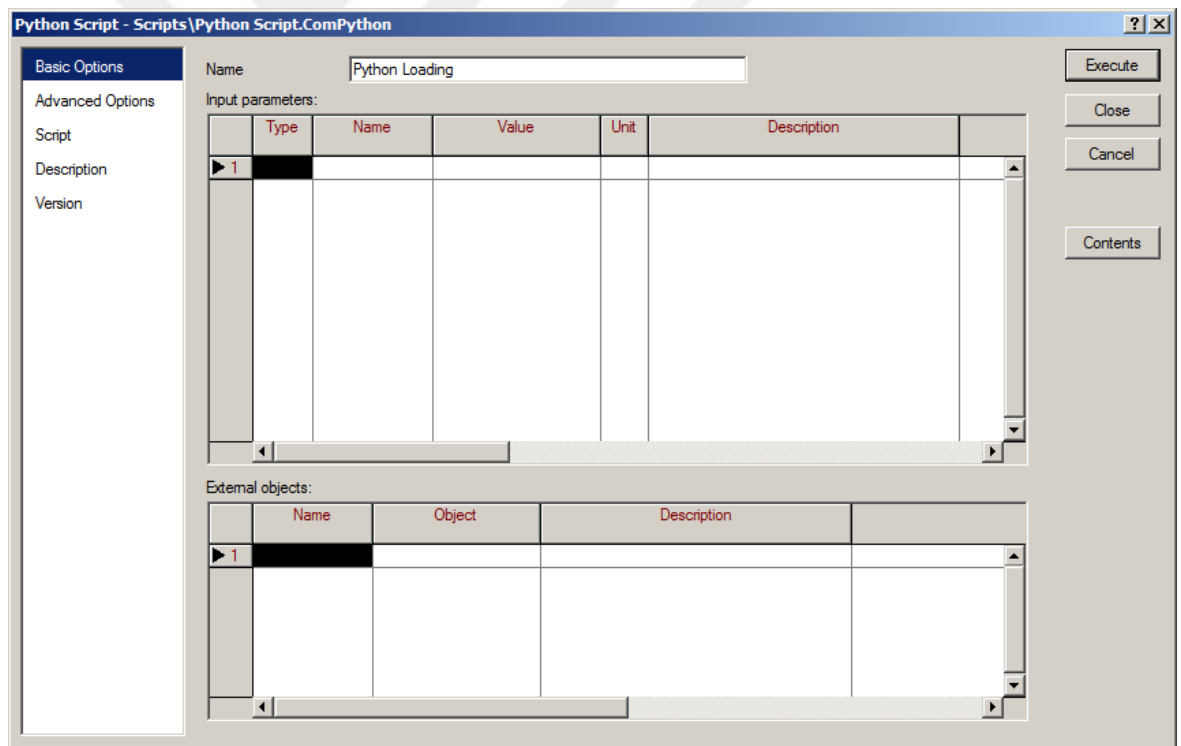
- Right-click anywhere in the data window and select New → Others. . .



- Select “Python Script (ComPython)” and press OK:



- Call the script “Python Loading”:

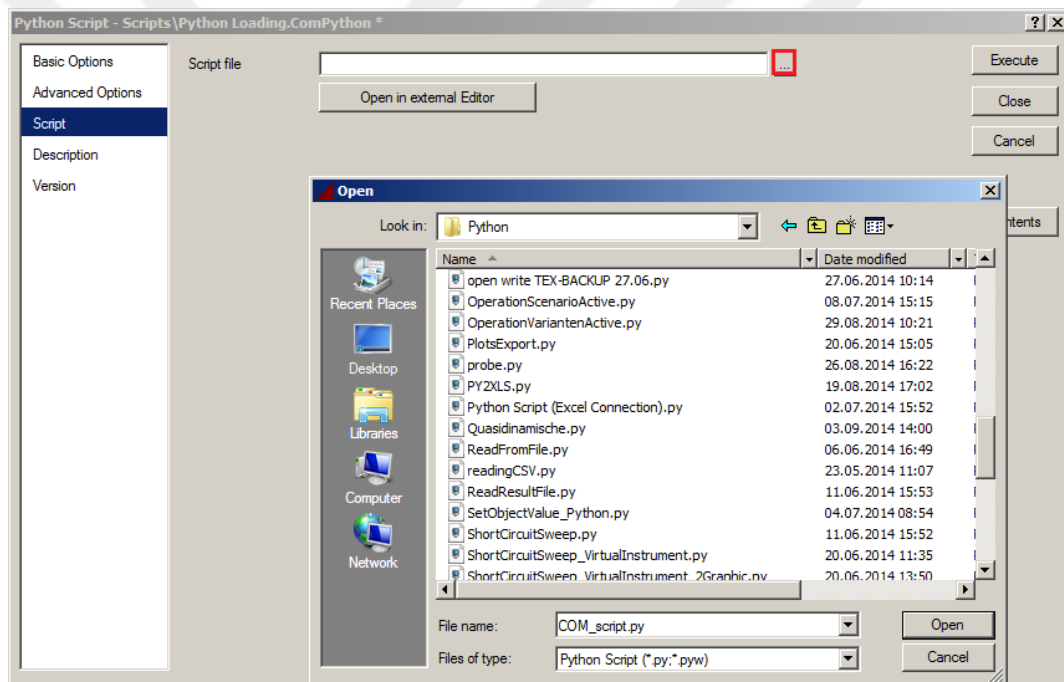


1.3 Write to Python script

In contrast to DPL, Python command object ComPython does not contain the script's code, it

only links the Python script file .py. It stores only the file path of the script and not the code itself.

- Click on the “Script” tab in the Python command object.
- By selecting the button “. . .”, a new pop-up window will appear. The user can select the .py file where his Python script is saved (if not already existing a new .py file may be created).



1.3.1 How to start a Python script

To allow Python to have access to PowerFactory , “powerfactory” module must be imported:

```
import powerfactory
```

The “powerfactory” module interfaces with the PowerFactory API (Application Programming

Interface). This solution enables a Python script to have access to a comprehensive range

of data available in PowerFactory :

- All objects
- All attributes (element data, type data, results)
- All commands (load flow calculation, etc)
- Most special built-in functions (DPL functions)

To gain access to the PowerFactory environment the command `GetApplication()` must be added:

```
app=powerfactory.GetApplication()
```

1.4 Example

We will now write a Python script that will execute a load flow and print out the name of each line and its corresponding loading in the output window. Type the following code into the script

file:

```
import powerfactory #importing of pf module
app=powerfactory.GetApplication() #Calling app Application object
ldf=app.GetFromStudyCase('ComLdf') #Calling ldf Command object (ComLdf)
ldf.Execute() #executing the load flow command

# Get the list of lines contained in the project
Lines=app.GetCalcRelevantObjects('*.ElmLne')
for line in Lines: #get each element out of list
    name=line.loc_name # get name of the line
    value=line.GetAttribute('c:loading') #get value for the loading
#print results
app.PrintPlain('Loading of the line: %s = %.2f %%' %(name,value))
```

- Link the .py script file and the Python command object (see section 1.3)
- Click “Save” and then “Execute”. The following results should be seen in the output window:

```

DIgSI/info - Python Script 'Python Loading' started
DIgSI/info - Element 'External Grid' is local reference in separated area of '1'
DIgSI/info - Calculating load flow...
DIgSI/info - -----
DIgSI/info - Start Newton-Raphson Algorithm...
DIgSI/info - load flow iteration: 1
DIgSI/info - load flow iteration: 2
DIgSI/info - Newton-Raphson converged with 2 iterations.
DIgSI/info - Load flow calculation successful.
DIgSI/info - -----
DIgSI/info -      Report of Control Condition for Relevant Controllers
DIgSI/info - -----
DIgSI/info - Control conditions for all controllers of interest are fulfilled.
Loadiang of the line: Line1 = 9.86 %
Loadiang of the line: Line2 = 19.91 %
Loadiang of the line: Line3 = 30.35 %
DIgSI/info - Python Script 'Python Loading' successfully executed
DIgSI/info - DPL Program 'DPLscript' started
DIgSI/info - DPL program 'DPLscript' successfully executed

```



Ek-3 RGDR Yazılımı

$Q_k=0.332$ #MVAR boştaki xlpe kablonun kapasitif yükü.

$Q_{se}=0.3$ #MVAR Senkron makinenin sağlayacağı maksimum endüktif yük değeri.

$Q_{sc}=-0.3$ #MVAR Senkron makinenin sağlayacağı maksimum kapasitif yük değeri.

$Q_{sekad}=0.1$ #100 kVAR Endüktif Yük.

$Q_{skad}=0.1$ #100 kVAR Kapasitif Yük.

$endsinir=0.2$ #Endüktif Sistemde Maksimum Reaktif Güç/Aktif Güç Oranı.

$kapsinir=-0.15$ #Kapasitif Sistemde Maksimum Reaktif Güç/Aktif Güç Oranı.

`kesici_rgd=['SELIMOGLU_KESICI_RGD','EVRA_BES_KESICI_RGD']`

`generator_rgd=['SELIMOGLU HES SANTRALI','EVRA BES SANTRALI']`

`generator_qsm=[0,0]`#Selimoglu Hes ve Evra Besin devreye aldığı reaktif yük.

`Reaktif_G=0`

`app=powerfactory.GetApplication()`

`app.ClearOutputWindow()`

`def yukakisi():`#Güç akışı analizi yapma.

`ldf=app.GetFromStudyCase('ComLdf')`

`app.PrintPlain('Güç Akış Analizi Yapılıyor...')`

`ldf.Execute()`

`def Trafoyuku():`

#Transformatörün alçak gerilim tarafındaki yük durumu çekip yazdırma, sistemin reaktif yön tayini yapma, tanfi hesaplama.

`Trafolar=app.GetCalcRelevantObjects('10000011128169_TRA.ElmTr2')#`

`adet=len(Trafolar)`

`Yuklenme=Trafolar[0].GetAttribute('c:loading')`

`Aktif_G=Trafolar[0].GetAttribute('m:P:buslv')`

`Reaktif_G=Trafolar[0].GetAttribute('m:Q:buslv')`

`name=Trafolar[0].loc_name`

`app.PrintPlain('Trafonun Yüklenmesi: %s = %.2f%%' % (name, Yuklenme))`

`app.PrintPlain('Trafonun Aktif Gücü: %s = %.2f MW' % (name, Aktif_G))`

`app.PrintPlain('Trafonun Reaktif Gücü: %s = %.2f MVar' % (name, Reaktif_G))`

```

sistemend = Reaktif_G < 0
tanfi =round (Reaktif_G / Aktif_G,2)
if sistemend:
    app.PrintPlain('Sistem Endüktif Yönde')
else:
    app.PrintPlain('Sistem Kapasitif Yönde')
app.PrintPlain('tanfi= %.2f ' % (tanfi))
return Reaktif_G,Aktif_G,sistemend,tanfi

```

```

def qc_hesapla(Reaktif_G,Aktif_G,endsinir):
#ihtiyaç duyulan kapasitif reaktif gücü hesaplama, yazdırma.
    qc=Aktif_G*endsinir-Reaktif_G
    app.PrintPlain('qc= %.3f MVAR ' % (qc))
    return qc

```

```

def qe_hesapla(Reaktif_G,Aktif_G,kapsinir):
#ihtiyaç duyulan endüktif reaktif gücü hesaplama, yazdırma.
    qe=Aktif_G*kapsinir-Reaktif_G
    app.PrintPlain('qe= %.3f MVAR ' % (qe))
    return qe

```

```

def kablo_devreye_al(devreye_al):
# Kesici pozisyon bilgilerini çekip açma-kapama verme.
    kablo_devrede_mi=0
    Kesiciler=app.GetCalcRelevantObjects('OSB-2_CB.ElmCoup')
    for Kesici in Kesiciler: #
        name=Kesici.loc_name #
        value=Kesici.GetAttribute('on_off')
        #print results
        app.PrintPlain('%s kesicisi %d konumunda' %(name,value))
        if Kesici.IsClosed()==0 and devreye_al==1:
            app.PrintPlain('Xlpe kablo devreye alınıyor...')
            Kesici.Close()

```

```

    kablo_devrede_mi=1
    if Kesici.IsClosed()==1 and devreyeye_al==0:
        app.PrintPlain('Xlpe kablo devreden çıkarılıyor...')
        Kesici.Open()
        kablo_devrede_mi = -1
    value = Kesici.GetAttribute('on_off')
    app.PrintPlain('%s kesicisi %d konumunda' % (name, value))
    return kablo_devrede_mi

```

```

def senkron_gen_gerg(reaktif_yon):
    # Generatorlerin kesici pozisyon bilgilerini, yük bilgilerini çekip,yazdırma, reaktif güç
    # desteği alma.
    i=0
    for i in range(len(kesici_gerg)):
        Kesici= app.GetCalcRelevantObjects(kesici_gerg[i]+'ElmCoup')[0]
        kname = Kesici.loc_name #
        value = Kesici.GetAttribute('on_off')
        app.PrintPlain('%s kesicisi %d konumunda' % (kname, value))
        if value==1 and generator_qsm[i]<Qse and generator_qsm[i]>Qsc:
            SyncM = app.GetCalcRelevantObjects(generator_gerg[i]+'ElmSym')[0]
            sname = SyncM.loc_name
            app.PrintPlain('%s Senkron Generatoru Devrededir' % (sname))
            value = SyncM.GetAttribute('c:loading')
            value2 = SyncM.GetAttribute('m:P:bus1')
            value3 = SyncM.GetAttribute('m:Q:bus1')
            app.PrintPlain('Loading of the SyncM: %s = %.2f %%' % (sname, value))
            app.PrintPlain('Aktif Güç of the SyncM: %s = %.2f MW' % (sname, value2))
            app.PrintPlain('Reaktif Güç of the SyncM: %s = %.2f MVar' % (sname,
            value3))

            SyncM.qgini= SyncM.qgini+0.1*reaktif_yon
            generator_qsm[i]=generator_qsm[i]+0.1*reaktif_yon

```



```

app.PrintPlain('%s adlı generator 0.1 MVAR reaktif yük desteği alındı, toplam
reaktif güç desteği= %.2f MVAR,Generatorun yeni reaktif gücü=%.2f % (sname,
abs(generator_qsm[i]),SyncM.qgini))

```

```

break

```

```

time.sleep(5)#5 saniye bekleme

```

```

yukakisi())#Başlangıçta yük akışının yapılması.

```

```

Reaktif_G,Aktif_G,sistemend,tanfı=Trafoyuku())#Yukakısı sonrası ilgili trafonun
bilgilerinin çekilmesi.

```

```

if sistemend:#Sistemin endüktif yönde olması durumunda yapılacak işlemler.

```

```

    if tanfı>endsinir:#tanfı andüktif sınırın üzerinde mi?

```

```

        qc = qc_hesapla(Reaktif_G, Aktif_G, endsinir)#Üzerindeyse ihtiyacım olan
kapasitif yük miktarını hesapla.

```

```

        if qc >= Qk:#İhtiyacım olan kapasitif güç mevcut kabloun kapasitif yük
kapasitesinden büyükse boştaki xlpe kabloyu devreye al.

```

```

            if not kablo_devreye_al(1): senkronen_rgd(1)#kablo devredeyse senkron
generatordenden rgd al.

```

```

            else:senkronen_rgd(1)#ihtiyacım olan kapasitif yük kabloun kapasitif
yükünden düşükse senkron generatordenden rgd al.

```

```

        else:#sistemin kapasitif yönde olması durumunda yapılacak işlemler.

```

```

            if tanfı < kapsinir: # tanfı kapasitif sınırın üzerinde mi?

```

```

                qe = qe_hesapla(Reaktif_G, Aktif_G, kapsinir) # Üzerindeyse ihtiyacım olan
endüktif yük miktarını hesapla.

```

```

                if qe<=Qk*-1:#İhtiyacım olan endüktif güç miktarı mevcut kabloun kapasitif
yük kapasitesinden büyükse boştaki xlpe kabloyu devreden çıkar.

```

```

                    if not kablo_devreye_al(0)=-1:senkronen_rgd(-1)#kablo devrede değilse
senkron generatordenden rgd al.

```

```

                    else:senkronen_rgd(-1)

```

Ek-4 1. Senaryo RGDR yazılımı ile Güç Akış Analizi Sonucu

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 20.13 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.09 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -3.36 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.28

qc= 0.947 MVAR

OSB-2_CB kesicisi 0 konumunda

Xlpe kablo devreye alınıyor...

OSB-2_CB kesicisi 1 konumunda

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 19.98 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.09 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -3.03 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.25

qc= 0.615 MVAR

OSB-2_CB kesicisi 1 konumunda

OSB-2_CB kesicisi 1 konumunda

SELIMOGLU_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

SELIMOGLU HES SANTRALI Senkron Generatoru Devrededir

Loading of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = 28.99 %%

Aktif Güç of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = 2.52 MW

Reaktif Güç of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = -0.37 MVar

SELIMOGLU HES SANTRALI adlı generator 0.1 MVAR reaktif yük desteği alındı,

toplam reaktif güç desteği= 0.10 MVAR, Generatorun yeni reaktif gücü=-0.27

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 19.94 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.09 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -2.93 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.24

qc= 0.512 MVAR

OSB-2_CB kesicisi 1 konumunda

OSB-2_CB kesicisi 1 konumunda

SELIMOGLU_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

SELIMOGLU HES SANTRALI Senkron Generatoru Devrededir

Loading of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = 28.85 %%

Aktif Güç of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = 2.52 MW

Reaktif Güç of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = -0.27 MVar

SELIMOGLU HES SANTRALI adlı generator 0.1 MVAR reaktif yük desteği alındı,
toplam reaktif güç desteği= 0.20 MVAR,Generatorun yeni reaktif gücü=-0.17

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 19.90 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.09 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -2.83 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.23

qc= 0.410 MVAR

OSB-2_CB kesicisi 1 konumunda

OSB-2_CB kesicisi 1 konumunda

SELIMOGLU_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

SELIMOGLU HES SANTRALI Senkron Generatoru Devrededir

Loading of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = 28.75 %%

Aktif Güç of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = 2.52 MW

Reaktif Güç of the SyncM: SELIMOGLU HES SANTRALI = -0.17 MVar

SELIMOGLU HES SANTRALI adlı generator 0.1 MVAR reaktif yük desteği alındı,
toplam reaktif güç desteği= 0.30 MVAR,Generatorun yeni reaktif gücü=-0.07

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 19.85 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.08 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -2.73 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.23

qc= 0.308 MVAR

SELIMOGLU_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

EVRA_BES_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

EVRA BES SANTRALİ Senkron Generatoru Devrededir

Loading of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = 31.71 %%

Aktif Güç of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = 4.04 MW

Reaktif Güç of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = -0.44 MVar

EVRA BES SANTRALİ adlı generator 0.1 MVAR reaktif yük desteği alındı,
toplam reaktif güç desteği= 0.10 MVAR,Generatorun yeni reaktif gücü=-0.34

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 19.81 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.08 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -2.62 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.22

qc= 0.207 MVAR

SELIMOGLU_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

EVRA_BES_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

EVRA BES SANTRALİ Senkron Generatoru Devrededir

Loading of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = 31.63 %%

Aktif Güç of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = 4.04 MW

Reaktif Güç of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = -0.34 MVar

EVRA BES SANTRALİ adlı generator 0.1 MVAR reaktif yük desteği alındı,
toplam reaktif güç desteği= 0.20 MVAR,Generatorun yeni reaktif gücü=-0.24

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 19.78 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.08 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -2.52 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.21

qc= 0.105 MVAR

SELIMOGLU_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

EVRA_BES_KESICI_RGD kesicisi 1 konumunda

EVRA BES SANTRALİ Senkron Generatoru Devrededir

Loading of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = 31.58 %%

Aktif Güç of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = 4.04 MW

Reaktif Güç of the SyncM: EVRA BES SANTRALİ = -0.24 MVar

EVRA BES SANTRALİ adlı generator 0.1 MVAR reaktif yük desteği alındı,
toplam reaktif güç desteği= 0.30 MVAR, Generatorun yeni reaktif gücü=-0.14

Güç Akış Analizi Yapılıyor...

Trafonun Yüklenmesi: 10000011128169_TRA = 19.74 %%

Trafonun Aktif Gücü: 10000011128169_TRA = -12.08 MW

Trafonun Reaktif Gücü: 10000011128169_TRA = -2.42 MVar

Sistem Endüktif Yönde

tanfi= 0.20

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa YILDIZ, 2010-2011 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2014 yılında bu bölümden mezun oldu. Askerlik hizmetini tamamlamasının ardından 2015 yılının Temmuz ayında Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. (Trabzon)'de proje mühendisi olarak göreve başladı. 2015-2019 yılları arasında Trabzon şehir şebekesi ve köy şebekesinde birçok projenin hazırlanmasında, 2018 yılında Trabzon İlinin Elektrik Dağıtım Şebekesinin Master Plan ve Projesinin hazırlanmasında görev aldı. 2019 yılında Çoruh EDAŞ'tan ayrılarak Türkiye Elektrik İletim A.Ş 14. Bölge Müdürlüğü (Trabzon)'da İşletme ve Bakım Mühendisi olarak göreve başlamış olup halen görevini sürdürmektedir. 2022 yılı kasım ayı itibariyle lisansız üretim komisyon başkanlığı görevini yürütmektedir.