

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE GERİLİM DÜŞÜMÜ PROBLEMİNE ÇÖZÜM
ÖNERİLERİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ

Barış Can TOYGUN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2022

T.C.
BANDIRMA ONYEDİEYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE GERİLİM DÜŞÜMÜ PROBLEMİNE ÇÖZÜM
ÖNERİLERİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ

Barış Can TOYGUN

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2022

ONAY

Barış Can TOYGUN tarafından hazırlanan “**Dağıtım Şebekelerinde Gerilim Düşümü Problemine Çözüm Önerileri: Balıkesir Örneği**” adlı tez çalışması 22/08/2022 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN

(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE

(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU

(Üye)

İmza

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Dağıtım Şebekelerinde Gerilim Düşümü Problemine Çözüm Önerileri: Balıkesir Örneği**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 15/08/2022

Barış Can TOYGUN
İmza

ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler ve nüfus artışı gibi sebeplerle enerji arzına yönelik engellenemez bir artış yaşanmaktadır. Enerji tüketiminin gelişmişlik seviyesi ile eşdeğer kabul edildiği, kişi başına düşen enerji sarfiyatının modern çağın gerekliliklerine karşılık geldiği günümüzde bu enerji arzının sağlıklı ve kaliteli sağlanabilmesi açısından tüketiciler ile üreticiler arasındaki köprüyü kurma yükümlüğü bulunan Elektrik Dağıtım Şirketleri'ne önemli görev ve sorumluluklar atfedilmektedir. Kaliteli enerji arzı için kesintisiz ve stabil gerilim değerinin sürekli olarak kullanıcılara sağlanması beklenmektedir. Teoride enerji kalitesinin parametreleri bu şekilde tanımlanmış olsa da pratikte sabit bir gerilim değerinin kullanıcılara ulaştırılması mümkün değildir. Özellikle şebekeye bağlı yük değişkenliği sebebiyle bazı bölgelerde gerilim düşümleri yaşanması kaçınılmaz bir durumdur. Bu kapsamda gerilim düşümünün önlenmesi ve daha sağlıklı enerji arzının sağlanabilmesi için çeşitli yöntemlerin araştırıldığı bu çalışmada, ülkemizde pek de yaygın olarak kullanılmayan orta gerilim regülatörü üzerine çalışılarak hem teknik hem de ekonomik açıdan başarılı sonuçlar elde edilebileceği ispatlanmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN'e şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem Vasfiye Toygun, babam Fethi Toygun' a, yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Sabire Toygun'a, varlığı ile motivasyon kaynağı olan oğlum Asrın Fethi Toygun'a teşekkür ederim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ/DOKTORA TEZİ

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE GERİLİM DÜŞÜMÜ PROBLEMİNE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ

Barış Can TOYGUN

**Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN

Ağustos 2022, 56 sayfa

Enerji nakil hatlarında her geçen gün meydana gelen yük artışına bağlı olarak zaman içerisinde hatlardaki teknik kayıplar da artmaya başlamakta ve bu durum gerilim düşümlerine yol açmaktadır. Bunun neticesi olarak da nihai kullanıcının ihtiyaç duyduğu sabit gerilim seviyesi sağlanamamakta ve çeşitli problemler yaşanmaktadır. Bu gibi durumlarda enerji hattının yenilenmesi, ilave hat çekilmesi veya gerilim regülatörü kullanımı gibi çözüm yolları uygulanmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Balıkesir ili, Erdek/Narlı-Marmara Adası – Saraylar Mevkii arasındaki elektrik dağıtım hattında meydana gelen gerilim düşümü problemi için çözüm önerileri getirilmiş ve bu öneriler maliyet ve uygunluk bakımından incelenmiştir. Sistemden alınan ölçümler ile sistemin Matlab/Simulink modeli oluşturulmuş ve bu değerler simülasyon ortamında elde edilerek modelin doğruluğu ortaya konmuştur. Devamında sistem modelinde en yüksek gerilim düşümü olan Saraylar Kök-1 hücresine gerilim regülatörü yerleştirilerek regülatör vasıtasıyla yük gerilimindeki gerilim yükselmesi ortaya konmuştur. Ayrıca sistemdeki denizaltı, havai hat ve deniz hattı ile beraber havai hattın yenilenmesi

senaryoları da incelenmiştir. İncelenen senaryolar neticesinde hattaki Saraylar bölgesinde meydana gelen gerilim düşümü probleminin çözümü için en etkin yöntemin orta gerilim regülatörü kullanımı olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Güç sistemi, gerilim regülasyonu, gerilim düşümü, gerilim regülatörü



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

SOLUTION SUGGESTIONS TO THE VOLTAGE DROP PROBLEM IN DISTRIBUTION GRIDS: BALIKESİR CASE STUDY

Barış Can TOYGUN

Bandırma Onyedi Eylül University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Evren ISEN

August 2022, 56 pages

Due to the increase in the load on the installed power transmission lines, the technical losses on the lines start to increase over time and this leads to voltage drops. As a result of this, the constant voltage level required by the end user cannot be provided and various problems are experienced. In such cases, solutions such as renewing the power line, installing an additional line or using a voltage regulator are applied. Within the scope of this thesis, solution proposals for the voltage drop problem occurred in the electricity distribution line between Erdek/Narlı-Marmara Island - Saraylar in Balıkesir province, and these proposals were examined in terms of cost and convenience. With the measurements taken from the system, the Matlab/Simulink model of the system was created and these values were obtained in the simulation environment and the accuracy of the model was demonstrated. Afterwards, a voltage regulator was placed in the Saraylar Kök-1 cell, which has the highest voltage drop in the system model, and the voltage increase in the load voltage was provided by means of the regulator. In addition, the scenarios for the renewal of the submarine line, overhead line and submarine line with overhead line in the

system were also examined. As a result of the scenarios examined, it has been revealed that the most effective method for the solution of the voltage drop problem in the Saraylar region on the line is the use of medium voltage regulator.

Keywords: Power system, voltage regulation, voltage drop, voltage regulator



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	X
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜÇ KALİTESİ	5
2.1 Güç Kalitesi Parametreleri	5
2.1.1 Frekans	5
2.1.2 Etkin Gerilim Değeri	6
2.1.3 Gerilim Olayları.....	7
2.1.3.1 Gerilim Düşmesi (Sag)	7
2.1.3.2 Gerilim Yükselmesi (Swell)	8
2.1.3.3 Geçici Durumlar (Transient).....	8
2.1.3.4 Gerilim Kesintisi (Interruption)	8
2.1.4 Gerilim Dengesizliği	9
2.1.5 Titreşim	10
2.1.6 Harmonikler	10
2.2 Ulusal Orta Gerilim Seviyede Sınır Değerler	11
2.2.1 Tedarik Sürekliliği.....	11
2.2.2 Teknik Kalite	12
2.3 Gerilim Regülasyonu	13
2.3.1 Gerilim Düşümü	14

2.3.2	Gerilim Yükselmesi	14
2.3.3	Gerilim Regülasyonu Çözümleri.....	15
2.3.3.1	Boşta Kademe Değiştirici.....	15
2.3.3.2	Yükte Kademe Değiştirici (OLTC).....	15
2.3.3.3	Şönt Kapasitör ve Reaktör	16
2.3.3.4	Oto trafo	17
2.3.3.5	İndüksiyon Regülatörü	18
2.3.3.6	Otomatik Gerilim Regülatörü.....	18
2.3.4	Gerilim Dengesizliği Çözümleri	21
2.4	Gerilim Regülatörü Bağlantı Şekilleri	21
2.4.1	Tek Fazlı Bağlantı.....	21
2.4.2	Yıldız Bağlantı	22
2.4.3	Kapalı Üçgen Bağlantı	23
2.4.4	Açık Üçgen Bağlantı	24
2.5	Kontrol Sistemi	25
2.5.1	Düz/Ters Çalışma	26
2.5.2	Çift Yönlü Çalışma	26
2.5.3	Reaktif Güce Bağlı Çift Yönlü Çalışma.....	26
2.5.4	Ters Durumda Nötr veya Konum Koruma.....	27
2.5.5	Kojenerasyon Çalışma	27
3.	GERİLİM REGÜLASYONU İÇİN ÖRNEK BİR UYGULAMA: MARMARA ADASI ENERJİ NAKİL HATTI	28
3.1	Marmara Adası Enerji Nakil Hattı.....	28
3.2	Marmara Adası Gerilim Düşümü Problemi	30
3.3	Çözüm Önerileri	31
3.3.1	Senaryo 1: Denizaltı Kablosunda Kesit Artışı	31
3.3.2	Senaryo 2: Havai Hat İletken Kesit Artışı	35

3.3.3	Senaryo 3: Denizaltı ve Havai Hat İletken Kesit Artışı	38
3.3.4	Senaryo 4: Orta Gerilim Regülatör Kullanımı	40
3.3.4.1	Sabit Giriş Gerilimi Altında Yük Değişimi	47
3.3.4.2	Sabit Yük Altında Gerilim Değişimi	49
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ	53
5.	KAYNAKLAR	54
	ÖZGEÇMİŞ	57



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2-1: Etkin Gerilim Değeri [13]	6
Şekil 2-2: Gerilim Olaylarının Genliği.....	7
Şekil 2-3:Yükte kademe değiştirici ve prensip şeması	16
Şekil 2-4: Marmara DM’de kullanılan kapasitörler ve reaktörler	17
Şekil 2-5: Tek faz ve üç faz oto trafo çalışma prensibi.....	17
Şekil 2-6: İndüksiyon Regülatör.....	18
Şekil 2-7: Otomatik Gerilim Regülatörü Yapısı	19
Şekil 2-8: Otomatik gerilim regülatörünün yapısı	20
Şekil 2-9: a) Doğru Bağlantı ve b) Ters Bağlantı şeması	20
Şekil 2-10: a) Tek fazlı bağlantı şeması b) Tek hat şeması	21
Şekil 2-11: a) Yıldız bağlantı b) Fazör diyagramı	22
Şekil 2-12: Zemine monteli uygulama örneği	22
Şekil 2-13: Direk tipi uygulama örneği.....	23
Şekil 2-14: a) Kapalı üçgen bağlantı şeması b) Fazör diyagramı.....	23
Şekil 2-15: Kapalı üçgen uygulama örneği.....	24
Şekil 2-16: a) Açık üçgen bağlantı şeması b) Fazör diyagramı	24
Şekil 2-17: Açık üçgen bağlantı uygulama örneği	25
Şekil 2-18: Gerilim kontrolü sistemi	25
Şekil 3-1: Marmara Adası OG dağıtım şeması	29
Şekil 3-2 : Narlı TM ile Marmara Adası mermer ocakları arası OG tek hat şeması.....	30
Şekil 3-3: Saraylar KÖK-1 Giriş Gerilimi Analizör Görüntüleri.....	31
Şekil 3-4: Erdek İlhan köy ile Marmara Adası arasındaki denizaltı kablosu güzergahı	32
Şekil 3-5: Erdek (Narlı) TM ile Çalmanyoz KÖK arası 3x(1x240) mm ² XLPE projesi	33
Şekil 3-6: Çalmanyoz KÖK-Saraylar KÖK-2 arası 3x477 MCM iletkenli ENH’a dönüştürülmesi	35
Şekil 3-7: 3x(1x240) mm ² XLPE denizaltı kablosu çekilmesi Çalmanyoz KÖK Saraylar ENH’nın 3x477 MCM iletkenli ENH’a dönüştürülmesi.....	38
Şekil 3-8: Regülatörsüz sistemin Simulink devre şeması	43
Şekil 3-9: Hattın π devre modeli.....	43

Şekil 3-10: Simulink π devre modeli bloğu parametreleri	43
Şekil 3-11: Regülatör kullanılan sistemin Simulink modeli	45
Şekil 3-12: Regülatör Simulink modeli	46
Şekil 3-13: Regülatörde yer alan transformatörün parametreleri	46
Şekil 3-14: Erdek_Narlı_TM gerilim değişimi.....	47
Şekil 3-15: Yük gücü değişimi	47
Şekil 3-16: Gerilim seviyesi değişimi.....	48
Şekil 3-17: Regülatör kademe değişimi	48
Şekil 3-18: Yük gücü değişimi	50
Şekil 3-19: Erdek_Narlı_TM gerilim değişimi.....	50
Şekil 3-20: Gerilim seviyesi değişimi.....	51
Şekil 3-21: Regülatör kademe değişimi	52

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2-1: Enterkonnekte sisteme senkron bağlı sistemler	6
Tablo 2-2: Enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı olmayan sistemler	6
Tablo 2-3: Gerilim Düşmesi.....	8
Tablo 2-4:Gerilim Kesintisi	9
Tablo 2-5:Harmonik Limitleri [13].....	11
Tablo 2-6: Kesinti sayı ve süreleri [13]	12
Tablo 2-7: Teknik kalite sınır değerleri [13]	13
Tablo 3-1: Denizaltı kablosu koordinat Listesi.....	32
Tablo 3-2: Denizaltı kablosunun 3x240 mm ² XLPE' ye yükseltilmesi halinde gerilim düşümü hesabı	34
Tablo 3-3: Çalmanyoz KÖK-Saraylar KÖK-2 arası ENH' ın 3x477 MCM olması halindeki keşif tablosu.....	36
Tablo 3-4: Çalmanyoz KÖK-Saraylar KÖK-2 arası ENH'nın 3x477 MCM'e yükseltilmesi halinde gerilim düşümü hesabı.....	37
Tablo 3-5: Hem denizaltı kablosu hem de havai hattın kesit artışı sonrası gerilim düşümü hesabı	39
Tablo 3-6: Erdek_Narlı TM ve Saraylar Kök-1 gerilim ve akım değerleri	41
Tablo 3-7: OG Regülatör Üreticilerinin Akım, Gerilim ve Güç Limitleri.....	42
Tablo 3-8: Kablo ve iletken parametreleri	44
Tablo 3-9: Saraylar Kök-1 Hücre gerilimi gerçek ölçüm ve simülasyon değerleri.....	44
Tablo 3-10: Regülatör giriş ve çıkış gerilim değerleri.....	49
Tablo 3-11: Regülatör giriş ve çıkış gerilim değerleri.....	51

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
I_L	: Yük Akımı (A)
LVUR	: NEMA Gerilim Dengesizliği İndisi (%)
M	: Hat Sayısı
N	: Zaman Periyodu, (Yıl)
PLT	: Platform (Denizaltı Kablosu Giriş ya da Çıkış Platformu)
P_{lt}	: Uzun Dönem Fliker
P_{st}	: Kısa Dönem Fliker
PVUR	: IEEE Gerilim Dengesizliği İndisi, (%)
R	: Direnç, (Ohm)
U_n	: Nominal Gerilim, (V)
V	: Hat Sonu Gerilimi, (V)
V_-	: Negatif Sıra Bileşen
V_+	: Pozitif Sıra Bileşen
V_0	: Hat Başı Gerilimi, (V)
V_a	: A Fazı Gerilimi, (V)
$V_{a\ b}$	: A-B Fazları Arası Gerilimi, (V)
V_b	: B Fazı Gerilimi, (V)
V_{bc}	: B-C Fazları Arası Gerilimi, (V)
V_c	: C Fazı Gerilimi, (V)
V_{ca}	: C-A Fazları Arası Gerilimi, (V)
V_{ort}	: 3 Faz Gerilim Ortalaması, (V)
VUF	: IEC Gerilim Dengesizliği İndisi, (%)
X	: Hat Reaktansı, (Ohm)
ΔV	: Birim uzunluktaki gerilim düşümü, (V)

Kısaltmalar

Açıklama

A	: Amper (Elektrik Akım Birimi)
AC	: Alternatif Akım

AG	: Alçak Gerilim
ANSI	: Amerikan Ulusal Standart Estitüsü
AWG	: American Wire Gauge (Amerikan İletken Standardı)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ENG	: Enerji Nakil Hattı
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
LVR	: Line Voltage Regulator (Hat Gerilim Regülatörü)
MCM	: Mega Circular Mile (Mega Dairesel Çap)
NEMA	: National Electrical Manufacturers Association (Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği)
OG	: Orta Gerilim
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Uzaktan İzleme ve Kontrol Sistemi)
SVC	: Static Var Compensator (Sabit Reaktif Kompansatörü)
SVR	: Step Voltage Regulator (Kademeli Gerilim Regülatörü)
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TM	: Trafo Merkezi
UEDAŞ	: Uludağ Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
V	: Volt (Elektrik Gerilim Birimi)
YG	: Yüksek Gerilim

1. GİRİŞ

Son zamanlarda yaşanan sanayi ve teknoloji alanındaki gelişmelerle birlikte hem gündelik hayatta hem de endüstriyel imalatla toplumların enerji ihtiyacı inanılmaz derecede artış göstermiştir. Özellikle elektrik enerjisinin tüketimindeki artış seviyesi aynı zamanda toplumların gelişmişlik seviyesinin de bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Hal böyle iken tüketimin karşılanabilmesi için doğal olarak enerji üretiminde de artışlar meydana gelmektedir. 2018 ve 2019 yıllarına ait üretim verileri incelendiğinde Türkiye’deki lisanslı kurulu gücün %2,13 artarak 84.957,72 MW olduğu görülmektedir. Fosil yakıtlara ait mevcut rezervlerin hızla tükeniyor olması ve bu kaynakların doğaya verdiği zararlar göz önünde bulundurulduğundan, dünyada alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin de hızla arttığı görülmektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı en yaygın alternatif enerji kaynakları olduğu bilinmektedir. 2018 yılında Türkiye’de güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin kurulu gücü 81,66 MW iken 2019 yılında bu değerin %107,81 artışla 169,70 MW’ a ve rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin ise 2018 yılında 6.942,27 MW iken 2019 yılında %8,33 artışla 7.520,33 MW güce ulaştığı görülmektedir [1]. Güneş enerjisinin kurulu güç bakımından rüzgâr enerjisinin gerisinde kalmasına rağmen, evsel, çatı tipi uygulamalardan devasa güneş tarlalarına kadar birçok yaygın uygulamaları bulunmakta ve bu uygulamalar da hızla artmaktadır [2-4]. Elektrik üretimindeki çeşitliliği arttırmak ya da kaynakların arttırılması tek başına enerji ihtiyacının karşılanması için yeterli değildir. Kurulu güç açısından bakıldığında bölgenin enerji ihtiyacındaki yükselişinin toplam kaynak gücü ile karşılanabileceği düşünülse de bölgedeki enerji nakil hatlarının taşıma kapasiteleri o enerjiyi taşımaya ya da dağıtmaya yetmeyebilir. Enerji nakil hattının envanterleri olan yeraltı kabloları, iletkenler ve trafoların güç kapasiteleri ile tüketim noktasındaki enerji ihtiyaçlarının uyumsuz olması halinde enerji nakil hatlarında gerilim düşümleri yaşanmakta ve bahse konu bölgeler planlandığı gibi beslenememektedir. Özellikle bölgedeki çok yüksek güçlü tüketicilerin bulunuyor olması ve bu tüketicilerin eş zamanlı olarak devreye girmeleri halinde tüketicilerde gerilim düşmeleri yaşanmaktadır. Bu hususta gerilim düşümünün engellenmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır [5].

Enerji nakil hatlarında yaşanan problemlerin çözümü açısından bahse konu hatlar için bir modelleme yapılması ve bu modelin simülasyon programları vasıtasıyla çalıştırılarak, çözüme yönelik yöntemlerin daha etkin ve hızlı bir şekilde geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla

literatürde çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin modellenmesi için MatlabGui kullanılarak bir ara yüz geliştirilmiştir. Sisteme ait parametreler bu ara yüze girilerek sistemin çalışma anı için elektriksel büyüklükleri hesaplanabilmektedir [6]. Sakarya ilinde bulunan 380/154 kV elektrik iletim hattının Matlab/Simulink programı ile modellenen ve bu model sayesinde simüle edilmiş kısa devre arızalarının durumları incelenmiştir [7]. Bir başka çalışmada Kastamonu iline ait enerji dağıtım ve iletim sistemi Simulink ortamında modellenmiş, sistem arıza durumları ile sistem performansı simülasyon ortamında incelenerek sunulmuştur [8]. Ankara bölgesi için yapılan bir çalışmada da iletim hatlarının DigSILENT programı ile modellendiği ve kısa devre arızaları anında koruma rölelerinin devre dışı kalması, arızayı tespit edememesi ya da kesicinin devreyi açmaması gibi olası durumlarda arızanın sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir [9]. Yüksek güçteki reaktif yüklerin bulunduğu ve faz-faz kısa devre arıza durumlarının incelenmesi ile ilgili bir diğer çalışmada ise, Kuzeybatı Anadolu güç sistemine ait 13 baralık sistemin Powerworld yazılımı kullanılmak suretiyle modellendiği görülmüştür [10].

Brezilya’da yapılan bir çalışmada dağıtım sistemine gömülü üretim santrallerinin dağıtım şebekelerine etkileri incelenmiş ve gerilim regülasyonu üzerindeki sonuçları analiz edilmiştir [21]. Bir başka çalışmada, Amerika’da artan güneş santralleri ile birlikte dağıtım şebekesinde yaşanan gerilim dalgalanmalarının engellenmesi için üretim santralleriyle kademe değiştiriciler (OLTC) arasında bir koordinasyon mekanizması kurmak suretiyle üç aşamalı bir haberleşme sistemi sayesinde gerilim regülasyonunun sağlanması hedeflenmiştir. Bu aşamalardan ilki yüke bağlı kademe değiştiriciler için uygun yerlerin belirlenmesi, ikincisi OLTC’ler ile koordine çalışacak akıllı inverterlerin tasarlanması, üçüncüsü ise yapay zeka yöntemiyle inverter, OLTC, kapasitör ya da reaktör gibi şebekenin ihtiyacı olan mekanizmanın devreye girmesini sağlayacak haberleşme ünitesinden oluşmaktadır [22]. Bir diğer çalışma ile gerilim ayar noktasının yeniden yapılandırılması yaklaşımı ile tahminleme metodu kullanılarak yük altında kademe değiştiricilerin aktif bir şekilde yönetilmesi incelenmiş ve regülasyonun OLTC’ler sayesinde yapıldığı görülmüştür [23]. Bir başka çalışmada AG seviyesinde çalışan otomatik gerilim regülatörleri (AVR) incelenmiş ve çalışma prensibi hakkında fikir edinilmiştir [24]. Trafoların AC giriş gerilimlerini değiştirerek tüketiciye daha stabil bir gerilim sağlamak üzere PSIM programı ile yapılan simülasyon incelenmiştir [25]. Başka bir çalışmada gerilim düzenlemesi üzerine trafo merkezi tasarımı, güç kalitesinin ölçülmesi, regülatörün fizibilitesi, kullanım esnekliği ve verimliliği tartışılmıştır. Matematiksel formülleri ve modellemeleri incelenerek

meydana çıkan grafikler diğer tasarımlarla karşılaştırılmıştır [26]. Yine PSIM programı ile simüle edilen bir başka çalışmada alçak gerilim seviyesinde 9 kademeli otomatik gerilim regülatörü üzerine çalışılmış, -40 V ile +40 V aralığında iyileştirme sağladığı ve yaklaşık %18'lik bir skalada verim elde edildiği görülmüştür [27]. Başka bir makalede gerilim düşme nedenlerinin sınıflandırılması, kısa devre anında oluşan gerilim değişimleri ve bu değişikliklerin topraklama ile etkilerinin azaltılması üzerine çalışılmıştır. MATLAB ile oluşturulan sistem modeli ile gerçek veriler kıyaslanmış ve topraklamanın gerilim dengesizliklerinin önüne geçmek için önemli bir katkısı olduğu sonucuna varılmıştır [28]. İncelenen bir başka makalede bir mikrodenetleyici ile elektronik olarak kontrol edilebilen, memristör tabanlı gerilim regülatörleri üzerine çalışma yapıldığı görülmüştür [29].

Bir diğer çalışmada Sırbistan'ın Belgrad şehrinde orta gerilim dağıtım şebekesi modellenmiştir. Bu modellemenin içerisine arıza göstergeleri, yerel otomasyonlar ve uzaktan kumandalı SCADA kontrol merkezleri yerleştirilerek olası kısa devre senaryolarında şebekenin gerilim değerlerindeki davranışlar incelenmiştir [30]. PSCAD/EMDTC programı kullanılarak yapılan bir çalışmada ise şebekelerin en ciddi problemlerinden biri olan gerilim düşmeleri ve güç kalitesi sorununun çözümü için devreye seri bağlı dinamik gerilim iyileştiricileri (DGI) üzerine çalışıldığı görülmüştür. Bu çalışma ile DGI ile tespit ve çözüm noktasında başarılı sonuçlar elde edildiği anlaşılmıştır [31].

Yapmış olduğumuz bu çalışmada da Balıkesir ili, Erdek/Narlı-Marmara Adası – Saraylar Mevkii arasındaki elektrik dağıtım hattına ilişkin sistem modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bahse konu bu modelleme için Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. Erdek ilçesinde bulunan Narlı Trafo Merkezinden 34,5 kV gerilim değerindeki 1,7 km uzunluğundaki 3x477 MCM iletkenli enerji nakil hattı ile çıkarak 11,71 km boyunca 3x120+95 mm² XLPE zırlı denizaltı kablosu ile devam etmektedir. Marmara Adası'nda ilk olarak denizaltı kablosu çıkış platformuna giren hat 5,2 km uzunluğundaki 3x477 MCM havai iletken ile Marmara Dağıtım Merkezini (DM) beslemekte ve devamında ada içerisinde gerekli noktalara dallanmaktadır. Marmara DM'den 3x477 MCM iletkenli 5,2 km uzunluğundaki enerji nakil hattı (ENH) Çalmanyoz KÖK'e girdi çıktı yapmakta ve 3x3/0 AWG iletkenli ENH olarak sırasıyla Saraylar KÖK-1 ve Saraylar KÖK-2'yi beslemektedir. Saraylar KÖK-1 ve Saraylar KÖK-2 ise Marmara Adası'nda yük yoğunluğunun bulunduğu, maden ocaklarının dal budak şebekelerle branşman aldığı kesicili ölçü koruma kabinleridir. Dağıtım şebekesinin modellemesi bu verilere göre yapılmış ve sonrasında Erdek/Narlı Trafo Merkezi girişindeki analizörden alınan gerçek ölçüm verileri kullanılarak

sistem Matlab/Simulink ortamında modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen değerler ile DM ve KÖK binalarındaki gerçek ölçüm yapılan noktalardaki gerilimler birbiri ile karşılaştırılarak modellemenin doğruluğu ortaya konmuştur. Şebekenin yüklenme anlarındaki puant zamanı hat sonunda bulunan yüksek güçlü tüketicilerin olduğu noktalarda, analizör verilerinden alınan gerçek ölçüm değerlerinden bilindiği üzere beklenen gerilim düşümlerinin simülasyonda da karşımıza çıktığı tespit edilmiştir. Böylece simülasyonu tamamlanmış olan hat modelinin Marmara Adasında yaşanan gerilim düşümü probleminin çözümü için de kullanımının uygun olduğu anlaşılmıştır.

Daha sonrasında hat sonunda yaşanan gerilim düşümünün engellenmesi için incelenen çeşitli kaynaklardan en uygun olanının Otomatik OG Regülatör kullanımı olduğuna karar verilmiş ve çalışma bu doğrultuda ilerlemiştir.

2. GÜÇ KALİTESİ

Güç kalitesi; Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'ne (IEEE) göre “Bir hassas alıcının çalışma şekline uygun olarak, performansını olumsuz etkilemeyecek şekilde o alıcıya elektriksel güç sağlayarak, korunmasını gerçekleştirmektir [11].” olarak tanımlanmıştır. Bazı kaynaklara göre elektrik şebekesinin güvenilirliği, bazılarına göre ise sadece gerilim kalitesi olarak ele alınmaktadır. Nihai kullanıcıya ait yüklerin ya da şebekeye bağlı ekipmanların performansında ve ekonomik kullanım ömründe azalma yaşanmasını engellemek için tanımlanmış elektriksel parametre ve limitler güç kalitesinin sınırlarını oluşturmaktadır. Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından da ülkemizde güç kalitesine ilişkin sınırlar belirlenmekte, bu sınırların ihlali halinde ilgili elektrik dağıtım şirketlerine cezai yaptırımlar uygulanmaktadır. Bu sebeple dağıtım şirketleri güç kalitesini ölçmek ve belli periyodlarla raporlayarak EPDK tarafından belirlenen sınırlarda kaldığını ispatlamak zorundadır.

2.1 GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİ

Teknik kalite olarak da bilinen güç kalitesi Türkiye için IEC 61000-4-30 standardı ile belirlenmektedir. Bu standart aslında Avrupa normu olan TS EN 50160 standardı baz alınarak, bu standardın ülkemiz için uyarlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu parametreler; frekans, etkin gerilim değeri, gerilim düşümleri, aşırı gerilimler, harmonikler, gerilim dengesizliği, fliker, transient, çentik, gürültü, dalga şekli bozulumu, gerilim dalgalanmaları, uzun süreli kesintiler gibi bazı parametreler içerisinden ilgili standartlar gereğince dağıtım şirketleri tarafından uyulması yükümlülüğü bulunanlar aşağıda tanımlanmıştır.

2.1.1 Frekans

Uluslararası bir ölçü birimi olan hertz (Hz) cinsinden ölçülen frekans, alternatif akımdaki sinyalin bir saniyedeki tekrarlanma sayısıdır. Üretim santrallerindeki alternatörlerin dairesel hareketi sebebiyle sinüzoidal şeklindeki dalga formunda oluşan sinyalin yön değiştirme hızı olarak da tanımlayabileceğimiz frekans değeri ülkemizde 50 Hz olarak kabul edilmiştir. Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği'nde belirtildiği üzere şebeke frekansının TEİAŞ tarafından 49,8-50,2 Hz aralığında kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Enterkonnekte bir sistemde kararlı çalışma olanaklarının sağlanabilmesi için frekansın kabul edilebilir limitler içerisinde kalması gerekmektedir. Üretim santrallerinin sisteme aktardığı güç miktarına ve tüketicilerin güç taleplerine göre şebeke frekansı değişkenlik gösterebilir. Bu değişkenliğin limitleri de TS EN 50160 standardında, normal şartlarda 10 sn. boyunca ölçülen temel frekansın ortalama değerleri aşağıdaki Tablo 2-1 ve Tablo 2-2’de tanımlanmıştır [12].

Tablo 2-1: Enterkonnekte sisteme senkron bağlı sistemler

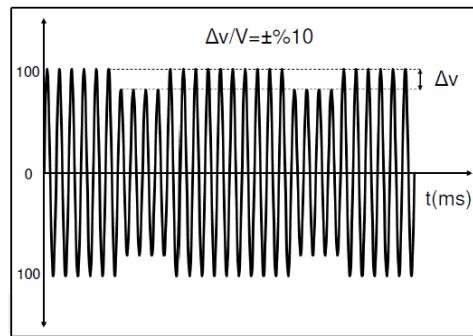
Frekans	Frekans Aralığı	İzin Verilen Süre
-50 Hz $\pm$ % 1	49,5 Hz...50,5 Hz	bir yılın %99,5’ i boyunca
-50 Hz + %4 - %6	(47 Hz...52 Hz)	her zaman (%100)

Tablo 2-2: Enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı olmayan sistemler

Frekans	Frekans Aralığı	İzin Verilen Süre
-50 Hz $\pm$ % 2	(49 Hz...51 Hz)	bir haftanın %99,5’ i boyunca
-50 Hz $\pm$ % 15	(42,5 Hz...57,5 Hz)	her zaman (%100).

2.1.2 Etkin Gerilim Değeri

Kesintili periyotlar haricinde genliğin $\pm$ %10 değerleri arasında kalması gerekmektedir. Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği gereği normal çalışma şartları altında orta gerilim seviyesinin, TS EN 61000-4-30’da belirtilen kriterlere göre ölçülen gerilim değerinin onar dakikalık ortalamaları için en az %99’unun nominal etkin gerilim değerinin en fazla $\pm$ %10 aralığında, tamamının ise nominal etkin gerilim değerinin en fazla $\pm$ %15 aralığında değişebilmesine EPDK tarafından müsaade edilmektedir [13]. Şekil 2-1’de etkin gerilim değeri gösterilmiştir.



Şekil 2-1: Etkin Gerilim Değeri [13]

Gerilim düşmelerinin büyüklüğü arızaya olan mesafe, hat ve kablo kesitleri, arızasız durumda korumanın çalışması, koruma deresini tetiklemeyen kopmuş / açmış iletkenler ve operatör müdahalesi faktörleri ile saptanabilir [14].

Tablo 2-3: Gerilim Düşmesi

Standart	Genlik	Süre	Uygulanabilirlik
EN 50160	<%1-%90	10 ms - 1 dak.	AG ve OG (<35 kV)
EEE Std 1151-1995	<%10 - % 90	10 ms - 1 dak.	AG,OG,YG
IEEE Std 1250-1995	Gerilim Düşmesi	10 ms - birkaç saniye	AG,OG,YG

2.1.3.2 Gerilim Yükselmesi (Swell)

Nominal gerilimin %10 fazlası bir genliğe, 10ms ile 1 dakika arasındaki bir süreçte ulaşması olayına gerilim yükselmesi denmektedir. AG seviyesindeki kullanıcılar için nötr iletkeninin kopması veya kondansatörlerin devreye girmesi ve OG seviyesinde büyük güçteki yüklerin aniden sistemden çıkması veya yıldırım darbe gerilimi gibi olaylar sebebiyle şebekede gerilim yükselmeleri oluşmaktadır [32].

2.1.3.3 Geçici Durumlar (Transient)

Yarım periyot olan 10ms'den daha az sürede meydana gelmiş ve sonlanmış gerilim sapmaları TS EN 50160 standardında tanımlanmamış ve bu olaylar geçici durum (transient) olarak kabul edilmiştir. Genel olarak yıldırım düşmesi ya da sistemsel manevralar sebebiyle meydana geldiği bilinmektedir. Bu durumun yaratacağı olumsuz etkileri önleyebilmek için sahada çoğunlukla aşırı gerilim yükselmesi olayına karşı tedbirler alınmakta ve koruma elemanları kullanılmaktadır [12].

2.1.3.4 Gerilim Kesintisi (Interruption)

Şebekeye ait nominal gerilim değerinin normal çalışma genliğinin %5 ve aşağısında bir seviyeye düşmesi olayının 1 dakikadan uzun sürmesi hali EN 50160 ve IEEE standartlarında kesinti olarak tanımlanmaktadır. 1-3 dakika arası kısa kesinti, 3 dakikadan uzun süreli kesintiler ise uzun kesinti olarak kabul edilmektedir. Tablo 2-4'te gerilim kesintileri gösterilmiştir.

Tablo 2-4:Gerilim Kesintisi

Standart	Tanım	Genlik	Süre	Uygulanabilirlik
EN 50160	Kısa Kesinti	<%1	< 3 d	AG ve OG (<35 kV)
IEEE Std 1159-1995	Anlık Kesinti	<%10	10 ms - 3d	AG,OG,YG
IEEE Std 1250-1995	Ani Kesinti	Gerilimin tamamen gitmesi	10 ms-0,5 s	AG,OG,YG
	Anlık Kesinti		10 ms-2 s	AG,OG,YG

2.1.4 Gerilim Dengesizliği

Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA), IEEE ve IEC gerilim dengesizliği için farklı tanımlarda bulunmuş ve bu farkları çeşitli yöntemlerle formüle etmiştir.

Bunlardan NEMA standardı dengesizlik oranını LVUR indisi ile tanımlanarak,

$$LVUR\% = \frac{\text{Maks} \left[|V_{ab} - V_{ort}|, |V_{bc} - V_{ort}|, |V_{abca} - V_{ort}| \right]}{V_{ort}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem (2.1)' de ifade edilen V_{ort} ,

$$V_{ort} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3} \quad (2.2)$$

şeklinde hesaplanır. Denklem (2.2)'de fazlar arası gerilimler kullanılmaktadır.

IEEE standartlarında gerilim dengesizliği PVUR indisi ile ifade edilmiş ve hat gerilimleri yerine faz gerilimleri kullanılmıştır;

$$PVUR\% = \frac{\text{Maks} \left[|V_a - V_{ort}|, |V_b - V_{ort}|, |V_c - V_{ort}| \right]}{V_{ort}} \cdot 100 \quad (2.3)$$

şeklinde formüle edilmiştir. Denklem (2.3)'te ifade edilen V_{ort} denklem (2.2) ile hesaplanmaktadır. Ortalama gerilim

$$V_{ort} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3} \quad (2.4)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Denklem (2.4)'te faz gerilimleri kullanılmaktadır.

IEC standardı ise VUF indisi kullanılarak dengesizlik tanımında simetrik bileşenleri kullanılmıştır. Buna göre denklem (2.5)' teki gibi bu oran,

$$V_{UF(\%)} = \frac{V_-}{V_+} \cdot 100 \quad (2.5)$$

olarak formüle edilmiştir. Burada (V_-) negatif sıra bileşeninin genliği, (V_+) pozitif sıra bileşeninin genliğini ifade etmektedir [20].

2.1.5 Titreşim

Özellikle aydınlatma ekipmanlarında hissedilen fliker, gerilim sinyallerindeki kırışma olarak ifade edilmektedir. Bu kırışmanın önüne geçilmesi, tüketicinin daha sağlıklı bir aydınlatma sistemi kullanabilmesi açısından şebekenin kararlı halde tutulması büyük önem arz etmektedir.

$\Delta V/V$ değişimiyle formüle edilen fliker IEC 61000-4-15 standardında kısa dönem fliker ve uzun dönem fliker olarak 2 farklı şekilde tanımlanmıştır. Bir haftalık ölçüm periyodunda her on dakikada bir alınan ölçüm değerinin %95'inin kısa dönem fliker için 1'den küçük veya eşit, uzun dönem fliker için ise 0,8'den büyük veya eşit olması beklenmektedir. 12 kısa dönem fliker 1 uzun dönem flikeri oluşturur.

2.1.6 Harmonikler

Güç sistemlerinin güvenilir biçimde çalışabilmesi için tasarım ve işletme aşamasında bazı etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu etkenlerden biri de güç kalitesini belirleyen parametrelerden olan nonlinear karakteristikli elemanların meydana getirdiği harmoniklerdir. Bu nonlinear elemanlar, iletim ve dağıtım sistemlerinde ciddi harmonik kirliliğe sebep olmakta ve tüketiciye verilen enerji kalitesini olumsuz etkilemektedir [15].

Dönüştürücüler, güç elektroniği elemanları, ark fırınları gibi nonlinear yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin nonsinüzoidal olmasına yani harmonik distorsiyona neden olabilirler. Güçleri düşük bile olsa yine de gerilimin dalga şekli bozulmaktadır. Sinüzoidal gerilimli günümüz şebekelerinde, gerilim-akım karakteristiği lineer olmayan bazı yükler, şebekeden zamana göre sinüzoidal olmayan akımlar çekerler. Akımlar, şebekedeki seri empedanslar üzerinde sinüzoidal olmayan gerilim düşümleri yaparlar. Bunun sonucunda sinüzoidal kaynak geriliminden sinüzoidal olmayan şebeke gerilim düşümlerinin çıkartılması ile oluşan alıcı uçlardaki gerilim de artık sinüzoidal olmayacaktır [16].

Bir haftalık ölçüm periyodu boyunca tüm harmonik gerilim değerlerinin 10 dakikalık ortalamalarının %95'inin Tablo 2-5'teki değerlere eşit veya daha az olması istenmektedir.

Tablo 2-5:Harmonik Limitleri [13].

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'ün Katları Olmayan		3'ün Katları Olanlar			
Harmonik Sırası	Sınır Değer	Harmonik Sırası	Sınır Değer	Harmonik Sırası	Sınır Değer
h	%	h	%	h	%
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2	-	-	-	-
19	1,5	-	-	-	-
23	1,5	-	-	-	-
25	1,5	-	-	-	-

2.2 ULUSAL ORTA GERİLİM SEVİYEDE SINIR DEĞERLER

Türkiye’de Dağıtım şirketlerini bu hususta kontrol altına alan ve sınır değerleri belirleyen EPDK tarafından “Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği” çıkarılmıştır. Bu yönetmelikle hem “Tedarik Sürekliliği Kalitesi” hem de “Teknik Kalite” açıkça tanımlanmıştır.

2.2.1 Tedarik Sürekliliği

Dağıtım şirketlerinin, tüketiciler için mümkün olan en ekonomik şartlarla ve olabildiğince

en az kesinti süresi ve sıklığı ile enerji arzını sağlama kapasitesine tedarik sürekliliği denilmektedir. Kesintiler;

1-Kaynağına Göre: İletim seviyesinde, dağıtım orta gerilim seviyesinde ve dağıtım alçak gerilim seviyesinde,

2-Süresine Göre: Uzun kesinti (üç dakikadan uzun süren kesinti) ve kısa kesinti (üç dakikadan az süren kesinti)

3-Sebebine Göre: Mücbir sebepli, güvenlik amaçlı, dışsal sebepli ve işletmeci kaynaklı

4-Bildirim Durumuna Göre: Bildirimli (kesinti yapılacağı en az 48 saat öncesinden nihai tüketicilere bildirilmiş, bakım amaçlı yapılan planlı kesintiler) ve bildirimsiz kesintiler olmak üzere 4 kategoride sınıflandırılmaktadır.

Bu sınıflandırmalar sonucunda yaşanan kesintilerin sıklığı ve süreleri için yapılan değerlendirmeler doğrultusunda Tablo 2-6'daki değerlerin aşılması halinde dağıtım şirketleri kullanıcılara tazminat ödemekle yükümlüdür.

Tablo 2-6: Kesinti sayı ve süreleri [13]

Eşik Değer Adı	Kesinti Sınıfı	İmar Alanı İçindeki Kullanıcılar İçin		İmar Alanı Dışındaki Kullanıcılar İçin	
		AG	OG	AG	OG
ESURE (Saat)	Bildirimsiz	48	24	72	36
ESAYI (Kez)		56	56	72	72
ESURE (Saat)	Bildirimli	24	16	32	24
ESAYI (Kez)		6	4	8	6

2.2.2 Teknik Kalite

EPDK tarafından yayımlanmış olan Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği gereği teknik kalite ölçümü IEC 61000-4-30'a göre Class A sınıfı ölçü cihazlarıyla yapılması ve EN 50160 standartlarında belirlendiği şekilde raporlanması zorunlu kılınmıştır. 1 hafta boyunca kaydedilen gerilim değerlerine ilişkin 10 dakikalık ölçüm ortalamalarının %95'inin uygun olması istenmektedir. Harmonik bozulmalar ve uzun süreli kırpışmalar Tablo 2-7'deki değerler doğrultusunda EPDK tarafından incelenmektedir. [33]

Tablo 2-7: Teknik kalite sınır değerleri [13]

Güç Kalitesi Parametresi	Kabul Edilebilir Sınır Değerler	Ölçüm Aralığı	İzleme Periyodu	Kabul Seviyesi
Etkin Gerilim Değeri (AG)	-%10 ile + %10 arası	10 dk.	1 hafta	%95
Etkin Gerilim Değeri (AG)	-%15 ile + %10 arası	10 dk.	1 hafta	%100
Gerilim Dengesizliği (AG)	%3	10 dk.	1 hafta	%95
Gerilim Dengesizliği (AG)	%2	10 dk.	1 hafta	%95
Toplam Harmonik Bozulma	%8	10 dk.	1 hafta	%95
Harmonik Gerilimler	EN50160 Harmonik Standartları	10 dk.	1 hafta	%95
Uzun Süreli Kırpışma	≤ 1	2 saat	1 hafta	%95
Gerilim Çökmesi	-	10 ms.	Tüm ölçümlerde	-

2.3 GERİLİM REGÜLASYONU

Teorik olarak ideal bir elektrik şebekesinden enerji alan tüm tüketicilere kesintisiz ve sabit gerilimde enerji arzı sağlanması beklenmektedir ancak bunu pratikte uygulamak imkânsızdır. Üzerinden akım geçen trafolar, iletkenler ve tüketicilerin devreye aldığı dengesiz yükler sebebiyle hat boyunca gerilim düşümleri yaşanmaktadır.

Elektrikli cihazlar belirli bir gerilim aralığında çalışmak üzere tasarlandığı için aşırı veya düşük gerilimde çalıştıklarında performansları düşmekte, ömürleri kısalmakta, hatta zarar görerek arızalanmaktadır. İlaveten bir çok ekipman, gerilim düşümünde daha düşük güç faktöründe çalışma ihtiyacı duymaktadır. Bu da şebekeden daha fazla akım çekilmesi ile hat ve transformatörlerin daha fazla ısınmasına sebep olurken malzeme ömürlerinin de kısalmasına neden olmaktadır [17]. Gerilim seviyesindeki değişimi referans değere getirme işlemine gerilim regülasyonu denilmektedir. Gerilim regülasyonunu, gerilim düşümü ve gerilim yükselmesi olarak 2 farklı kategoride özetlenebilir.

2.3.1 Gerilim Düşümü

Dağıtım şirketleri enerji arzını sağlarken tüketiciye bağlantı noktasındaki gerilim düşümü değerini en düşük düzeyde tutmaya özen gösterir. Hem enerji kalitesinin bir göstergesi olması hem de yasal zorunluluk aralığında bulunması gereken gerilim değeri için EN 50160 standardında sağlanması hem tüketici hem de dağıtım şirketi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple yük yoğunluğunun olduğu ve gerilim düşümü problemlerinin yaşandığı uzun hatlar için dağıtım şirketleri gerekli tedbirleri almalıdır.

Genellikle trafo merkezlerindeki kaynak trafolarla kademe ayarı yapmak ya da gerilim düşümü yaşanan hatlarda faz dengelemesi ya da yük bölmek suretiyle gerilim düzenlenmeye çalışılsa da bu işlemlerin yetersiz kaldığı durumlarda yeni yatırım yapma ihtiyacı doğmaktadır. Kademe ayarı ile aynı gücü daha yüksek gerilim seviyesinde iletmek de izolatörlerin ya da diğer elektriksel malzemelerin yalıtım seviyesini riske sokmakta ve arıza olasılığını arttırmaktadır.

Gerilim düşümünü önlemek için kullanılan;

- Dinamik gerilim yenileyici
- Aktif seri kompensatör
- Statik kompensatör (STATCOM)
- Solid-state (Katı hal) yönlendirme anahtarı (SSTS)
- Sabit UPS ile enerji depolama
- Yedek besleme sistemleri (BSES)
- Ferro-rezonans transformatörü
- Motor jeneratör setleri
- Sabit VAR kompensatör (SVC)

gibi alternatif yöntemler de bulunmaktadır [18].

2.3.2 Gerilim Yükselmesi

Güneş, rüzgâr, jeotermal ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması ile dağıtım sistemine dağınık şekilde bağlanan dağıtık üretim santrallerinin sayısı son dönemlerdeki teknolojik gelişmelerle birlikte oldukça artmıştır. Genellikle yerleşim yerlerinden uzakta mücavir alan dışına kurulan bu santraller, kırsal olarak nitelendirdiğimiz düşük kesitteki

radyal hatlara bağlandığından, bu hatlardaki yük yoğunluğunun az olması sebebiyle bağlantı noktalarında aşırı gerilim yükselmelerine sebep olmaktadır.

2.3.3 Gerilim Regülasyonu Çözümleri

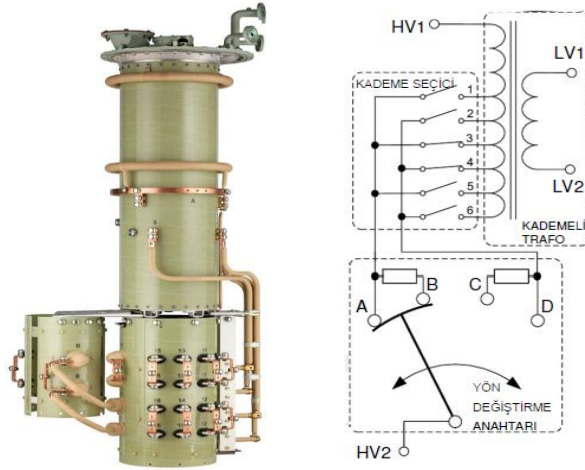
Şebekedeki gerilimin aşırı yükselmesini ya da aşırı düşmesini engellemek ve sistemi daha kararlı bir şekilde çalıştırabilmek dağıtım şirketlerinin en önemli görevleri arasında yer almaktadır. Ekonomik, teknik ya da mevzuat sebepli gerekçelerle yeni bir şebeke yatırımı yapılamıyorsa enerji kalitesini arttırmak için geriye tek çözüm olarak gerilim regülasyonu kalmaktadır. Gerilim regülasyonu çeşitli donanımlar ile gerçekleştirilebilmektedir.

2.3.3.1 Boşta Kademe Değiştirici

Dağıtım sistemine bağlı trafoların OG tarafında manuel olarak gerekli değişikliklerin yapılması suretiyle AG tarafındaki gerilim değerinin ayarlanmasını sağlar. TEDAŞ'ın malzeme teknik şartnameleri gereği tüm trafolarda 5 ya da 6 kademeli olarak bulunan, sadece enerjisiz ortamda kademe değişimine imkan sağlayan mekanik ekipmanlardır.

2.3.3.2 Yükte Kademe Değiştirici (OLTC)

Genel olarak TEİAŞ'a ait trafo merkezlerinde YG/OG (154/36 kV) ya da dağıtım şirketleri tarafından indirici merkezlerde kullanılan OG/OG (36/15,8-6,3 kV) güç trafolarında bulunan ekipmanlardır. Güç trafolarındaki kademe sargılarının yük altında ve enerjili ortamda değişikliğini yaparak nominal şebeke gerilimini verecek şekilde istenen regülasyonun yapılmasını sağlar. Ancak her gerilim dalgalanması yaşandığında kademe değiştirmek pratikte çok da mümkün değildir. Çünkü güç trafosundan beslenen her dağıtım trafosunda gerilim izleme ve kontrol işlemi yapılması gerekmektedir. Ayrıca herhangi bir güç trafosunda en sık arızalanan ekipman kademe değiştiricilerdir. Yükte kademe değiştiricilerin prensip şeması Şekil 2-3'te görülmektedir.



Şekil 2-3:Yükte kademe değıştirici ve prensip şeması

2.3.3.3 Şönt Kapasitör ve Reaktör

Tam olarak istenen seviyede bir regölasyon sağlayamasa da şebeke gerilimindeki reaktif gücün dengelenmesi ile hat kayıplarını minimum seviyeye indirerek bir nebze gerilim düzenlemesi yapılabilmektedir. Ancak şebeke işletmecisinin sürekli kontrol altında tutması gereken bir sistemdir. Ani değışimlerde müdahale edilebilmesi mümkün olmamakla birlikte dağıtım şirketlerinin TEİAŞ'a karşı sorumlu olduğu %15'lik kapasitif oran ve %20'lik reaktif oran sınırlarını aşma sorunu yaratarak cezai işlem uygulanmasına sebebiyet verebilir. Bu sebeple sistemin stabil işletilebilmesi için gerekli olan reaktif dengenin bozulmaması gerekmektedir. Optimum lokasyon bulunarak ve sürekli ölçüm–müdahale döngüsü içerisinde devreye alınıp çıkarıldığı takdirde gerilimlerde değışiklik sağlanabilir.

Şekil 2-4'te görüldüğü üzere Marmara Dağıtım Merkezi'nde de kapasitör ve reaktör kullanılmaktadır.

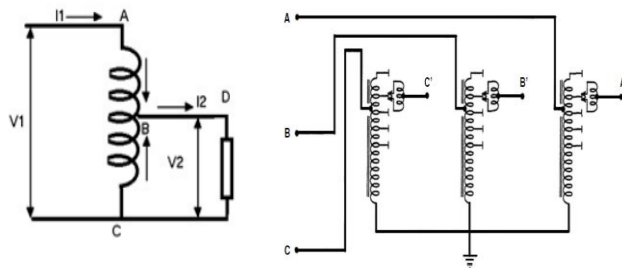


Şekil 2-4: Marmara DM’de kullanılan kapasitörler ve reaktörler

2.3.3.4 Oto trafo

Primer ve sekonder sargıları birbirine seri bağlı olan tek bir sargıdan oluşan oto trafolarla gerilim dönüşümü bu tek sargı üzerinden gerçekleştirilir. Aynı gücü yakalayan küçük boyutları, bobin sayısının daha az olması ve işçiliğin daha uygun olması sebebiyle daha ekonomiktir. Çok uçlu olarak üretilen oto trafolar bu sayede birçok kademe seçeneğine olanak sağlar. Böylece talep edilen gerilim değerinin ayarlanması mümkün olur.

380 kV’luk Keban Barajı’na ait iletim hattının 154 kV’luk sisteme bağlanması örneğinde olduğu gibi birçok yüksek gerilimli sistemlerin birbirine bağlanması esnasında oto trafolar kullanılmaktadır. Ancak oto trafoların kısa devre gerilimleri çok küçük olduğundan kısa devre akımları oldukça büyük seviyededir. Bu sebeple paralel bağlanmaları çok zordur. Şekil 2-5’te oto trafoların bağlantı şemaları görülmektedir.



Şekil 2-5: Tek faz ve üç faz oto trafo çalışma prensibi

2.3.3.5 İndüksiyon Regülatörü

Gerilim regülasyonu için kullanılabilen bir diğer yöntem de indüksiyon regülatörleridir. Yük akımı etkisiyle primer ve sekonder sargıların nüve ile arasında açısız faz farkı oluşturarak indüklenen gerilimlerin vektörel toplamına bağılı olarak çıkış voltajının sıfırdan belli bir maksimum değere kadar değişebileceğı elektrikli makinalara indüksiyon regülatörü denmektedir.

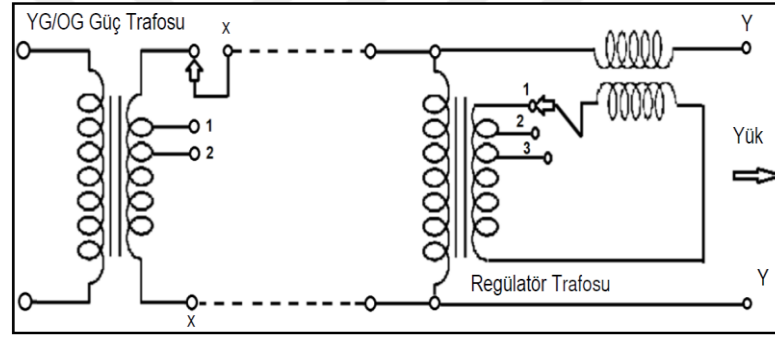
Regülatörde bulunan hareketli sargının elle yada uzaktan kontrollü motor vasıtasıyla döndürölmesi suretiyle açi farkı oluşması sağlanmaktadır. Bu şekilde faz gerilimleri arasındaki vektörel toplam üzerinden gerilim ayarı yapılmaktadır. Şekil 2-6’da bu regülatörün genel yapısı görölmektedir.



Şekil 2-6: İndüksiyon Regülatör

2.3.3.6 Otomatik Gerilim Regülatörü

Şekil 2-7’de iç yapısı ve çalışma prensibi görölen otomatik gerilim regülatörü (step voltage regulator); primer sargısı hatta paralel, sekonder sargısı ise seri bağlanarak giriş gerilim değerine göre sisteme bağılı kontrol elemanları sayesinde gerekli dönüştürme oranını hesaplayarak şebekeye sekonderden vermesi gereken gerilim değerini belirleyerek ihtiyaç olan regülasyonu sağlayan elektrik makinalarıdır.



Şekil 2-7: Otomatik Gerilim Regülatörü Yapısı

Otomatik gerilim regülatörleri çalışma mantığı oto trafolarla benzerdir. Ancak oto trafolarla otomatik kademe değişikliği ile üç faz aynı anda ayarlanırken gerilim regülatörlerinde her faz ayrı ayrı kontrol edilerek regülasyon sağlanmaktadır. Böylelikle şebekedeki mesken gibi tek faz bağlı yükler için dahi çözüm üretilmiş olur.

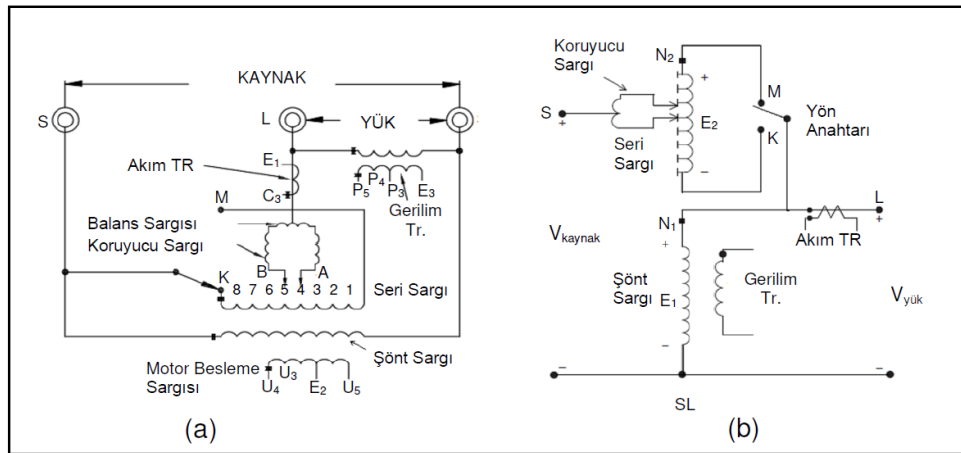
36 kV'luk orta gerilim hatlarında kullanılabilen, yük yoğunluğu ya da hat uzunluğu sebebiyle oluşan hat kayıplarını engelleyen ve dağıtım sistemine gömülü olan üretim santralleri sebebiyle meydana gelen gerilim skalasını daha stabil bir hale getirmek için kullanılan elektrik makinalarıdır. Sekonder çıkıştan aldığı gerilim değerini belirlenmiş olan referans değeri ile karşılaştırarak primer sargılar üzerinden kademesini otomatik olarak belirlemek suretiyle çalışan ve hatta seri bağlı bu sargılarla hattın gerilim değerini azaltan ya da arttıran bu makinalar çoğunlukla tek fazlı olarak üretilmiş olmasına rağmen, ihtiyaca göre 2 veya 3 tanesi birlikte kullanılarak regülatör bankı halinde de kullanıma olanak sağlamaktadır.

Şekil 2-8'de görüleceği üzere otomatik gerilim regülatörleri 3 ana bölümden oluşmaktadır. 1. bölüm sargıların yer aldığı oto trafo bölümü, 2. bölüm kontrol panellerinin bulunduğu ölçü ünitesi ve 3. bölüm de ayar yapılabilmesini sağlayan kademe anahtarıdır.



Şekil 2-8: Otomatik gerilim regülâtörünün yapısı

Uluslararası standartlara göre (IEEE C57.15-2009) tasarlanan ve tip testleri gerçekleştirilen gerilim regülâtörleri bağlantı şekline göre Doğru Bağlantı (A tipi) ve Ters Bağlantı (B Tipi) olmak üzere 2 farklı şekilde üretilmektedir [20]. Doğru bağlı regülâtörler $\pm\%10$ kadar ayar yapılabilmesine imkan tanırken, ters bağlı regülâtörler $+\%10$ ile $-\%8,3$ aralığında ayar yapılabilme olanağı sunmaktadır. Günümüzde 1 adet merkez referans kademesi, 16 yükseltici ve 16 alçaltıcı kademe olmak üzere en fazla 33 kademesi bulunan regülâtörler üretilmektedir. Merkez kademe göz ardı edildiğinden bu regülâtörler 32 kademeli regülâtör olarak anılmaktadırlar. Şekil 2-9’da regülâtörün doğru ve ters bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 2-9: a) Doğru Bağlantı ve b) Ters Bağlantı şeması

2.3.4 Gerilim Dengesizliği Çözümleri

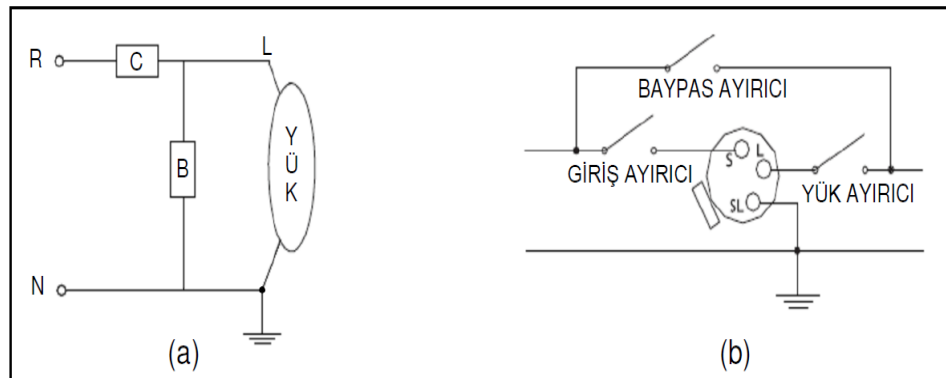
Teknik kalite göstergelerinden biri olan gerilim dengesizliğinin çözümü için en efektif yöntem gerilim regülatörü kullanmaktır. Her faz için ayrı ayrı regülasyon sağlanabiliyor olması sebebiyle oto trafolarla göre daha verimli bir sonuç elde edilebilmektedir. Bu şekilde EN 50160 standardına uygun ve teknik açıdan yeterli bir gerilim arzı sağlamak mümkün olmaktadır.

2.4 GERİLİM REGÜLATÖRÜ BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

Tek fazlı ya da 3 fazlı olmak üzere iki farklı şekilde üretilen gerilim regülatörleri için piyasada en çok kullanılan türleri tek fazlı olanlardır. Bu yüzden dağıtım şebekelerinde 3 faz için farklı kombinasyonlarda bir araya getirilen çok sayıda tek fazlı regülatör bankları oluşturularak kullanılmaktadır. Tek fazlı bağlantı, yıldız bağlantı, kapalı üçgen bağlantı ve açık üçgen bağlantı olmak üzere 4 farklı şekilde sisteme bağlanabilen gerilim regülatörleri istenen seviyede gerilim regülasyonu sağlar.

2.4.1 Tek Fazlı Bağlantı

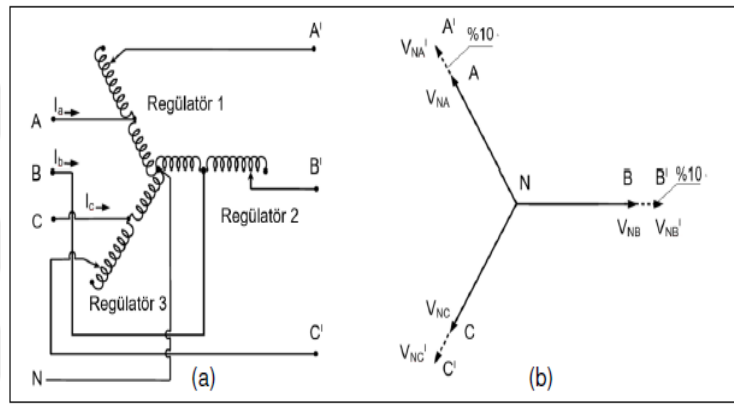
Yaygın olarak tek ünite halinde imal edilen gerilim regülatörleri Şekil 2-10'daki tek faz üzerinden bağlantı yapılmak suretiyle, enerji nakil hattına seri bağlanan sargılar üzerinden giriş ile çıkış arasındaki gerilim regülasyonunu düzenler.



Şekil 2-10: a) Tek fazlı bağlantı şeması b) Tek hat şeması

2.4.2 Yıldız Bağlantı

Üç adet gerilim regülatörünün hatta yıldız şeklinde bağlanarak oluşturulan bu sistemde yıldız noktası üzerinden topraklama yapılıyor olması ve gerilim seviyesinin faz gerilimini aşmıyor olması sebebiyle izolasyon ve güvenlik açısından daha kullanışlıdır. Her bir faz için giriş ve toprak arasında faz gerilimi düzenlenebildiğinden, 3 fazın da dengelemesi ayrı ayrı yapılabildiğinden en verimli bağlantı şekli yıldız bağlantıdır. Bu sayede $\pm\%10$ regülasyon skalası yakalanmaktadır. Şekil 2-11’de gerilim regülatörünün yıldız bağlantısı ve fazör diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2-11: a) Yıldız bağlantı b) Fazör diyagramı

Regülatörlerde trafolarla olduğu gibi küçük güçlerde (hafif ağırlıkta) olanlar için direk tipi ya da büyük güçlerde (ağır yükte) olanlar için düz zeminde yere oluşturulan kaideye monteli olacak şekilde iki farklı uygulama ile karşımıza çıkmaktadır. Bu uygulamalara ilişkin görseller Şekil 2-12 ve Şekil 2-13’te mevcuttur.



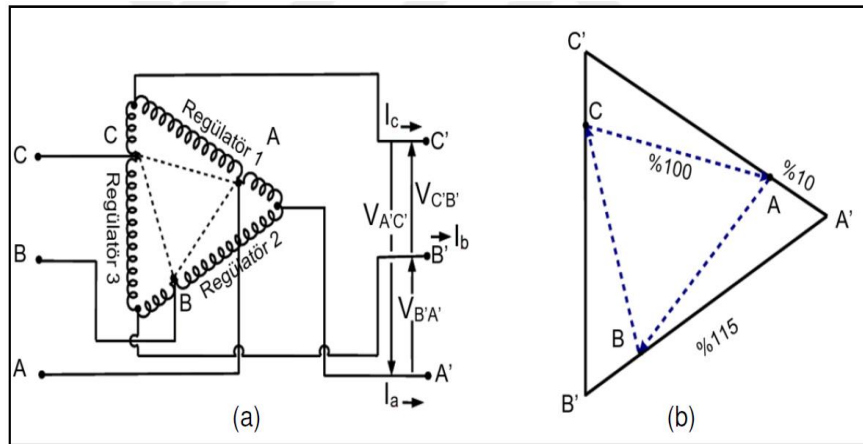
Şekil 2-12: Zemine monteli uygulama örneği



Şekil 2-13: Direk tipi uygulama örneği

2.4.3 Kapalı Üçgen Bağlantı

Genellikle işletme topraklaması ya da nötr topraklamasının bulunmadığı şebekelerde kullanılan kapalı üçgen bağlantı üç adet regülatörün üçgen şeklinde bağlanmasıyla kullanılmaktadır. Yıldız bağlantıda olduğu gibi her faz için $\pm\%10$ gerilim ayarlaması sağlanmakta ancak bu değer üçgen bağlantı olduğu için faz-faz arası alındığından $\pm\%15$ skalasında kabul edilmektedir. Bağlantı şekli her bir regülatörün girişi fazlar arasında olacak şekilde tasarlanır. Giriş gerilimini ölçerek değerlendirme yapan regülatör yalnızca tek bir çıkış fazında gerilimini düzenler, ancak sistemde nötr olmadığı için tek fazdaki gerilim değişimi diğer fazları da etkilemektedir. Kapalı üçgen bağlantılarda giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasında 30° faz farkı oluşmaktadır. Şekil 2-14 ve Şekil 2-15'te kapalı üçgen bağlantısı ve fazör diyagramı gösterilmiştir.



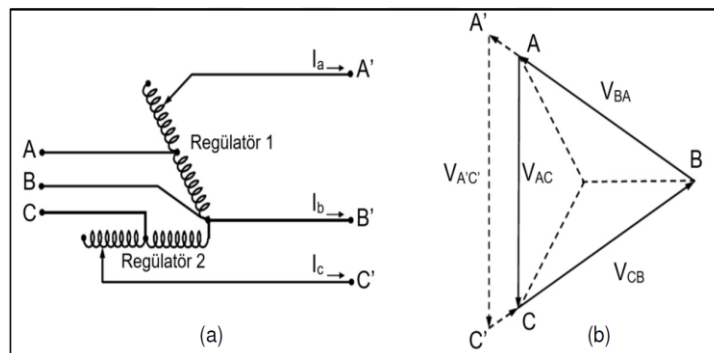
Şekil 2-14: a) Kapalı üçgen bağlantı şeması b) Fazör diyagramı



Şekil 2-15: Kapalı üçgen uygulama örneği

2.4.4 Açık Üçgen Bağlantı

Üç fazlı sistem için iki adet regülatör kullanılarak oluşturulan Şekil 2-16'da görülen bağlantı şekliyle diğer bağlantılara göre 1 adet az regülatör kullanılmasını sağlayan bu sistemde hem yer açısından hem de maliyet açısından tasarruf sağlanmaktadır. Kapalı üçgen bağlantıda olduğu gibi açık üçgen bağlantı da işletme topraklaması ya da nötr hattı olmayan sistemlerde kullanılmakta ve $\pm\%10$ aralığında gerilim düzenlemesi sağlamaktadır. Bağlanan iki regülatör için de fazlardan biri ortak kullanımda olduğundan gerilim referansı bu ortak kullanılan faz üzerinden alınır ve üç faz üzerinde de regülasyon sağlanmış olur. Bir faz için ayarlama yapıldığında diğer fazlar da bundan etkilendiği için sistemde yalnızca dengeli yük olması halinde bu bağlantı şekli kullanılabilir.



Şekil 2-16: a) Açık üçgen bağlantı şeması b) Fazör diyagramı

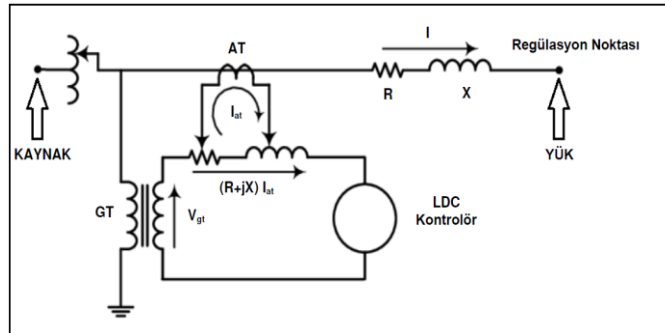
Bir fider üzerinde %10'dan daha fazla bir iyileştirme ihtiyacı doğması halinde, yükün dengeli olması şartıyla belirli aralıklarla birden çok noktaya daha az maliyetle kurulum imkanı sağlayabildiği için yatırım maliyetinin azalması gibi çok büyük bir avantajı bulunmaktadır. Şekil 2-17'de açık üçgen bağlı OG regülatörün uygulama örneğine yer verilmiştir.



Şekil 2-17: Açık üçgen bağlantı uygulama örneği

2.5 KONTROL SİSTEMİ

Bir OG regülatör için en kritik ünite kontrol sistemidir. Bu sebeple regülasyonun doğru ve istenen seviyede yapılabilmesi için elektriksel parametrelerin ölçülmesi, analiz edilmesi ve gerekli kademe değişikliğinin otomatik olarak hızlıca yapılabilmesi gerekmektedir. Bu elektriksel parametreler için ise giriş ve çıkış gerilimleri, yük akımının niceliği, akış yönü ve karakteristiğinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. İçerisinde bağlı bulunan akım trafoları ve gerilim trafoları vasıtasıyla yapılan ölçümlerin analiz edilerek referans değerlerle kıyaslama yapılması ve ölçülen değer ile istenen değer arasındaki pozitif ya da negatif değerın kapatılması için bir bakıma gerilim düşümü kompanzasyonu yapılması sağlanmaktadır. Şekil 2-18'de gerilim düşümünün kompanze edilebilmesi adına çalışan bu sistemin kontrol yapısı görülmektedir.



Şekil 2-18: Gerilim kontrolü sistemi

Bu kontrol sistemindeki en önemli detay gerilim düşümüne sebep olan hat empedansını ve akım yönünü tespit edebilmektir. Şebekeye bağlı dağıtık üretim santrallerinin hat yükünün üzerinde bir değere çıkması halinde akım yönü ters döneceğinden, hat akımı ve regülatör üzerindeki gerilim değeri de artacaktır. Dolayısı ile akım arttıkça gerilimin düşeceği gibi düz mantıkla işleyen sistemlerden farklı olarak enerjinin akış yönünü belirleyerek regülatörün çıkışından ölçüm alınmasını sağlayan ve dolayısı ile sistemin sonsuz döngüye girerek sürekli gerilimin yükseltilmesini engelleyen bir yapının kurulmasını sağladığı için kontrol ünitesi bir OG gerilim regülatörünün en önemli parçalarından biridir.

Kontrol ünitesinin yazılımsal destekle farklı çalışma şekillerine göre tasarlanabilmesi mümkündür. Şebekedeki uygulama şekline göre düz, ters, çift yönlü, reaktife göre çift yönlü, ters durumda nötr kalma, ters durumda konum koruma ve kojenerasyon çalışma gibi durumlarda kullanılabilir.

2.5.1 Düz/Ters Çalışma

Orta gerilim regülatörleri için düz çalışma şekline göre yüke doğru, ters çalışma şekline göre de kaynağa doğru enerji akış yönünün tek yönlü olarak bağlandığı sistemlerdir.

2.5.2 Çift Yönlü Çalışma

Genel olarak dağıtım şebekesine farklı noktalardan bağlı üretim santrallerinin bulunduğu fiderlerde kullanılan, yükün ve üretim gücünün değişkenlik göstermesi sebebiyle her iki akım yönünde de regülasyon yapma kabiliyeti bulunan çalışma şeklidir.

2.5.3 Reaktif Güce Bağlı Çift Yönlü Çalışma

Şebekeye bağlı dağıtık üretim santrallerinin sabit bir güç faktöründe çalışabilmesi için şebekeden reaktif güç çekerek şebekeye aktif güç vermesi durumunda yük akışına göre karar vererek sistemi regüle etmesi için programlanmış bağlantı şeklidir.

2.5.4 Ters Durumda Nötr veya Konum Koruma

Yük akışının ters yönlü olması durumunda gerilim regülatörünün mevcut konumunu değiştirmemesi ya da nötr (sıfır kademesi) konumuna gelerek beklemesi talep edildiği takdirde kullanılan çalışma şeklidir. İhtiyaca göre programlanarak öncelikle kontrol sistemi yük akış yönünü tespit eder ve regülatör konumunu bu program doğrultusunda belirler.

2.5.5 Kojenerasyon Çalışma

Normal şartlarda iç ihtiyaç enerjisinin karşılanması amacıyla kullanılan kojenerasyon tesisler zaman zaman üretim fazlası olması halinde şebekeye de enerji vermektedir. Gerilim regülatörünün şebekeye doğru olan yük akışını herhangi bir yön değişikliği yapmaksızın regülasyon işlemine devam etmesi, belirlenen sınırlardaki ters yük akışına müsaade edecek şekilde tasarlanması haline kojenerasyon çalışma denmektedir.

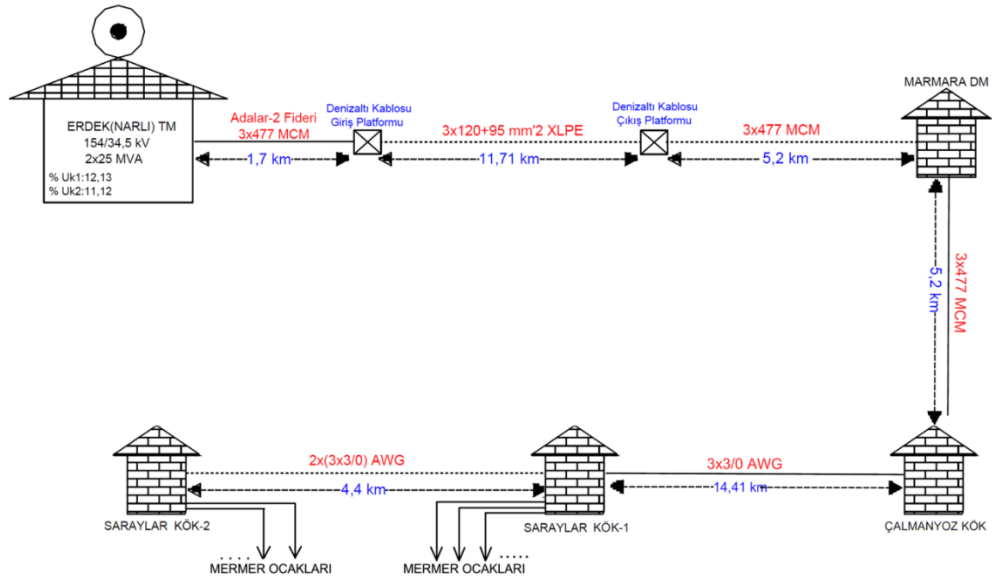
3. GERİLİM REGÜLASYONU İÇİN ÖRNEK BİR UYGULAMA: MARMARA ADASI ENERJİ NAKİL HATTI

Bu çalışmada Balıkesir İlinde bulunan Marmara Adasının enerji ihtiyacını karşılayan dağıtım şebekesi, sistemdeki mevcut envanterler kullanılarak Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Erdek/Narlı Trafo Merkezinden başlayarak Marmara Adası Saraylar Mevkiindeki hat sonu yüklerine kadar şebeke üzerindeki veriler kullanılarak oluşturulan bu model ile ara noktalar dahil tüm sistemin yüklenme anındaki tepki ve performans değerleri ölçülerek mevcut analizör verileri ile karşılaştırılmıştır. Erdek İlçesinde bulunan 154/34,5 kV'luk Narlı TM' den 1,7 km uzunluğundaki 3x477 MCM havai iletkenli enerji nakil hattı ile çıkan dağıtım şebekesi devamında deniz altından 3x120+95 mm² XLPE kablo ile 11,71 km boyunca devam etmektedir. Marmara Adası'nda 5,2 km uzunluğunda 3x477 MCM havai iletkenli ENH ile Marmara DM'ye ulaşmakta ve devamında ada içerisinde gerekli noktalara dallanmaktadır. Marmara DM'den çıkan 5,2 km uzunluğundaki 3x477 MCM iletkenli ENH beslenen Çalmanyoz KÖK'ten çıkan 14,41 km uzunluğundaki 3x3/0 AWG iletkenli ENH ile beslenen Saraylar KÖK-1'den çıkan 4,4 km uzunluğundaki 3x30 AWG iletkenli ENH ile beslenen Saraylar KÖK-2'de UEDAŞ'a ait dağıtım şebekesi son bulmaktadır. Enerji nakil hattının modellenmesi bu verilere göre yapılmış ve sonrasında Erdek İlçesinde bulunan Narlı Trafo Merkezi'nin girişinde bulunan analizörlerdeki gerçek ölçüm verileri kullanılarak sistemin simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçların analizörlerden alınmış olan gerçek ölçüm değerleri ile karşılaştırması yapılacak ve modellenmenin doğruluğu ispatlanmaya çalışılacaktır. Yüklenme durumunda hat sonunda yer alan yüksek güçlü yüklerin olduğu noktalarda gerçek ölçümlerden bilindiği üzere beklenen gerilim düşümlerinin simülasyon verilerinde de ortaya çıkıp çıkmayacağı gözlemlenmiş ve böylece simülasyonu yapılmış olan enerji nakil hattının doğru modellenip modellenmediği ve yapılan modelinin gerilim düşümü probleminin çözümünde kullanımının uygun olup olmayacağı tespit edilmiştir.

3.1 MARMARA ADASI ENERJİ NAKİL HATTI

Balıkesir ilinin bir ilçesi olan ve Marmara Denizi'nin güneybatısında yer alan 117,18 km² yüz ölçümüne sahip Marmara Adası, Gökçeada'dan sonra Türkiye'nin en büyük ikinci adası olup, Marmara Bölgesi'nde bulunan en büyük ada olma özelliğini taşımaktadır. Yerleşik nüfusu

29

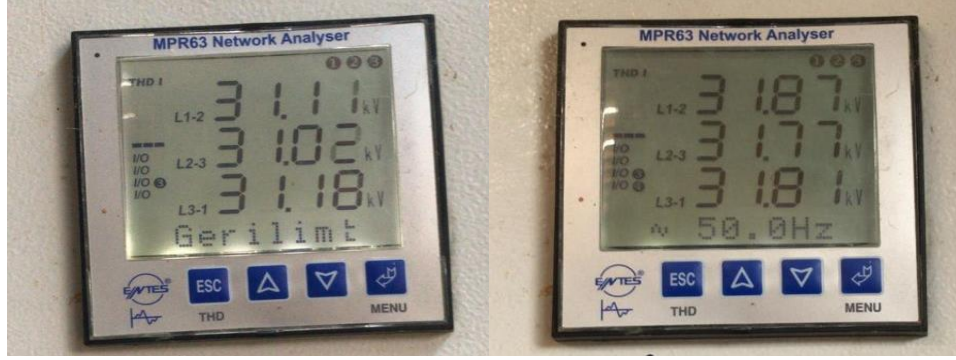


Şekil 3-2 : Narlı TM ile Marmara Adası mermer ocakları arası OG tek hat şeması

Marmara Adası, kara ile bağlantısı olmadığından Erdek ilçesinin Narlı köyündeki TEİAŞ' a ait 154/34,5 kV indirici trafo merkezinden beslenmekte olup, kaynak olarak kabul ettiğimiz bu noktaya yaklaşık olarak 13,4 km mesafededir. Dağıtım şebekesine ilişkin harita üzerine işlenmiş coğrafi bilgi sistemi (CBS) görüntüsü Şekil 3-1'de ve tek hat şeması Şekil 3-2'de görülmektedir. Adadaki yük yoğunluğunun olduğu Mermer ocakları, Saraylar KÖK-1 ve Saraylar KÖK-2 noktalarından branşman alarak sisteme bağlı olup modelleme de bu noktalardan sisteme dâhil olan toplu güç olarak ele alınmıştır.

3.2 MARMARA ADASI GERİLİM DÜŞÜMÜ PROBLEMİ

Enerji nakil hattı'nın coğrafi koşullar sebebiyle optimum seviyeden uzun olması ve özellikle maden ocaklarının ihracat dönemlerinde eş zamanlı çalışmasından kaynaklı olarak karakteristik yüklerinin hat sonunda toplu olarak devreye girmesinin etkisiyle oluşan yük dengesizlikleri bölgede gerilim düşümlerine ve dalgalanmalara sebep olmaktadır. Erdek TM'den çıkan 34,5 kV'luk gerilim değerinin Saraylar KÖK-1'de 31 kV'a kadar düştüğü KÖK binasındaki analizörlerden görülmektedir. Nihai tüketicilere ulaşana kadar gerilim değerinin 30 kV'lar seviyesine kadar düşmesi, abonelere zaman zaman sağlıklı enerji arzı sağlanamaması sebebiyle dağıtım şirketi tarafından çözüm arayışı içerisine girilmiştir. Saraylar KÖK-1'de bulunan giriş hücresinin üzerindeki analizör görüntüleri Şekil 3-3'te verilmiştir.



Şekil 3-3: Saraylar KÖK-1 Giriş Gerilimi Analizör Görüntüleri

Hem enerji kalitesinin sağlanması hususundaki yasal yükümlüğün yerine getirilmesi hem de müşteri memnuniyetinin artırılması için gerilim seviyesinin stabil hale getirilmesi zaruri olduğundan yaşanan gerilim düşümlerinin önüne geçebilmek için alternatif çözümler düşünülmüştür.

3.3 ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Gerilim düşümünü oluşturan parametreler yük, mesafe ve hat kesiti olduğundan, yükü ve mesafeyi değiştiremeyeceğimiz için yapılabilecek tek şey hat kesitini arttırmak olacaktır. Hat kesitini arttırmak için ise havai hatta kesit artışı, denizaltı kablosunda kesit artışı ve hem havai hatta hem de denizaltı kablosunda kesit artışı olmak üzere senaryolar üzerinde uygulamalar yapılarak durum değerlendirmeleri yapılmıştır.

3.3.1 Senaryo 1: Denizaltı Kablosunda Kesit Artışı

Erdek TM'den çıkan mevcut 3x120 mm² XLPE denizaltı kablosunun gerilim düşümüne etkisi incelendiğinde gerilim düşümünün %3,103'lük kısmının 11,7 km'lik denizaltı kablodan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Bu sebeple en uygun güzergâh seçilerek 3x(1x240) mm² XLPE denizaltı kablosu tesis edilebilmesi için gerekli etüt çalışması yapılmıştır. Yeni güzergâh için denizdeki en kısa mesafe olan Erdek İlçesi'ne ait İlhanköy ile Marmara Adasındaki Gündoğdu ve Topağaç Köyleri arasındaki Şekil 3-4'teki bölge seçilmiştir. Seçilen bu bölge aynı zamanda Çalmanyoz KÖK'e yakın bir nokta olduğundan denizaltı çıkışından sonra KÖK binasına giriş için gerekli havai hat maliyetini de azaltacaktır.



Şekil 3-4: Erdek İlhanıköy ile Marmara Adası arasındaki denizaltı kablosu güzergahı

Yeni güzergâh belirlendikten sonra bilirkşi çalışması yapılarak deniz altındaki zemin etüt edilmiş ve kablo sermeye mani bir durum tespit edilmemiştir. Buna göre 3x(1x240) mm² XLPE kesitli hat Autocad proje çizim programı kullanılarak Şekil 3-1'deki koordinatlar doğrultusunda projelendirilmiştir. Denizaltı kablosunun projesine ilişkin çizim Şekil 3-5'te gösterilmektedir.

Tablo 3-1: Denizaltı kablosu koordinat Listesi

NOKTA	KOORDİNAT		MESAFE
ERDEK-İLHANKÖY	40° 30' 40,79" N	27° 42' 00,63" E	0
SOME-1	40° 30' 49,83" N	27° 41' 36,45" E	633,92
SOME-2	40° 31' 28,79" N	27° 40' 52,66" E	2217
SOME-3	40° 32' 35,85" N	27° 39' 44,54" E	4834
SOME-4	40° 32' 41,67" N	27° 39' 43,02" E	5017
SOME-5	40° 33' 57,80" N	27° 38' 22,18" E	8039
SOME-6	40° 34' 15,68" N	27° 38' 05,17" E	8720
SOME-7	40° 34' 28,46" N	27° 37' 48,47" E	9277
SOME-8	40° 34' 47,99" N	27° 37' 31,24" E	10003
MARMARA ADASI	40° 34' 53,54" N	27° 37' 34,04" E	10186



Şekil 3-5: Erdek (Narlı) TM ile Çalmanyoz KÖK arası 3x(1x240) mm² XLPE projesi

Projelendirilen denizaltı kablosu özel bir malzeme olduğundan TEDAŞ birim fiyat kitapçığında ya da EPDK nezdinde herhangi bir poz numarası bulunmamakta, dolayısı ile malzemenin birim fiyatı bilinmemektedir. Bu sebeple bahse konu hattın tesis edilebilmesine ilişkin keşif çıkarılamamış olup, imalatçı firmadan bahse konu kablo için alınan \$4.849,00 tutarındaki teklife istinaden Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası güncel döviz kuru olan 17,4581 üzerinden 84.654.326,9 TL olarak 3x(1x240) mm² XLPE denizaltı kablosunun tesis edilebileceği tespit edilmiştir [34].

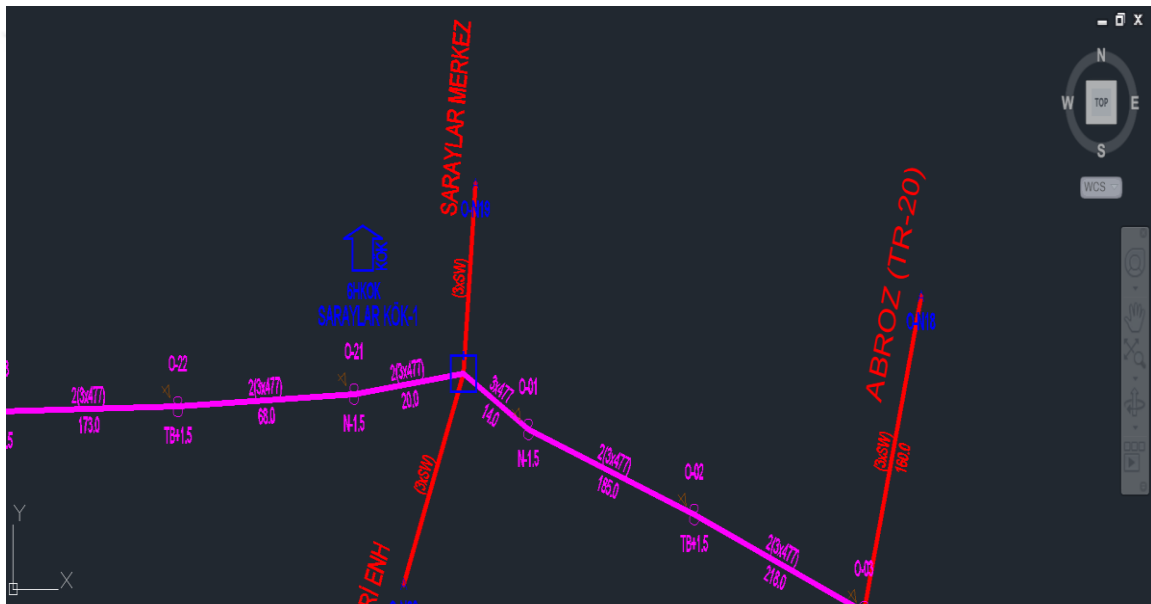
Yalnızca denizaltı kablosunda kesit artışı yapılması halinde bölgede yaşanan gerilim düşümü probleminin çözülüp çözölemeyeceği incelenmiştir. 3x(1x240) mm² XLPE denizaltı kablosu ile şebekede yaşanacak olan gerilim düşümü hesabı Tablo 3-2’de görüleceği üzere %13,17 olacak ve EPDK Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği’nde belirtilen %10 üst limit gerilim düşümü değerini sağlayamadığı için problemin çözümü için yetersiz kalacaktır.

Tablo 3-2: Denizaltı kablosunun 3x240 mm² XLPE' ye yükseltilmesi halinde gerilim düşümü hesabı

NARLI TM-MARMARA DENİZALTI KABLOSU 3x240 XLPE OLDUĞUNDA GERİLİM DÜŞÜMÜ HESABI												
KESİT	3x477		240 XLPE		3x477		3x477		3x3/0		3x3/0	
BRANŞMAN NOKTALARI		PLT-1		PLT-2		Marmara DM		ÇALMANYOZ		SARAYLAR-1		SARAYLAR-2
Hat uzunluğu (Km)	1,7	↓	11,71	↓	5,2	↓	5,2	↓	14,41	↓	4,4	↓
BRANŞMAN YÜKÜ (KVA)		0		0		2000		0		8000		6000
HAT YÜKLERİ (KVA)		16000		16000		16000		14000		14000		6000
BRANŞMAN TRAFO SAYISI		0		0		28		3		54		42
DİVERSİTE %		80		80		80		80		80		80
DİVERSİTELİ GÜÇLER		12800		12800		12800		11200		11200		4800
K		0,255		0,146		0,255		0,255		0,397		0,397
%er = $L \times N \times K \times 10^{-4}$		0,555		2,188		1,697		1,485		6,407		0,838
C		0,1		0,063		0,1		0,1		0,282		0,282
$D_p = N^2 \times L \times C \times 10^{-6}$		27,8528		120,87		85,197		65,229		509,74		28,588
%P = $(dP/N) \times 125$		0,272		1,18		0,832		0,728		5,689		0,744
TOPLAM YÜK = %er = 13,17 Güç kaybı = 837,4768 %P = 9,445												

3.3.2 Senaryo 2: Havai Hat İletken Kesit Artışı

34,5 kV’luk dağıtım şebekelerinde kullanılan en yüksek kesit 3x477 MCM olduğundan denizaltı kablosu çıkış platformu ile Çalmanyoz KÖK arasındaki mevcut 10,4 km mesafedeki 3x477 MCM iletkenli ENH’da herhangi bir kesit artışı yapılabilmesi teknik açıdan mümkün değildir. Bu sebeple Çalmanyoz KÖK ile 3x3/0 AWG iletkenli ENH’nın 3x477 MCM’e çevrilerek kesit artışı yapılmasına ilişkin Autocad proje çizim programı kullanılarak hazırlanan proje doğrultusunda gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Çalmanyoz KÖK’ten çıkan Saraylar ENH’nın projesine ilişkin görüntü Şekil 3-6’da görülmektedir.



Şekil 3-6: Çalmanyoz KÖK-Saraylar KÖK-2 arası 3x477 MCM iletkenli ENH'a dönüştürülmesi

3x3/0 AWG iletkenli 18,1 km’lik havai hattın 3x477 MCM’e kesit artışı yapılmasının gerilim düşümüne etkisi incelenmiş ve Tablo 3-4’te verilmiştir. Bahse konu kesit artışına ilişkin keşif bedeli de 2021 TEDAŞ birim fiyatları doğrultusunda hesaplanarak Tablo 3-3’te verilmiştir. Ancak gerilim düşümü hesabına göre yalnızca havai hatta kesit artışı yapılmasının bölgedeki problemi tek başına çözmeye yeterli olmadığı ve halen daha şebekenin 16 MW’lık tam kapasite yüke ulaşması halinde EPDK tarafından belirlenen kalite standartlarını sağlamadığı, gerilim düşümünün %10’un altına indirilemediği görülmüştür.

Tablo 3-3: Çalmanyoz KÖK-Saraylar KÖK-2 arası ENH' ın 3x477 MCM olması halindeki keşif tablosu

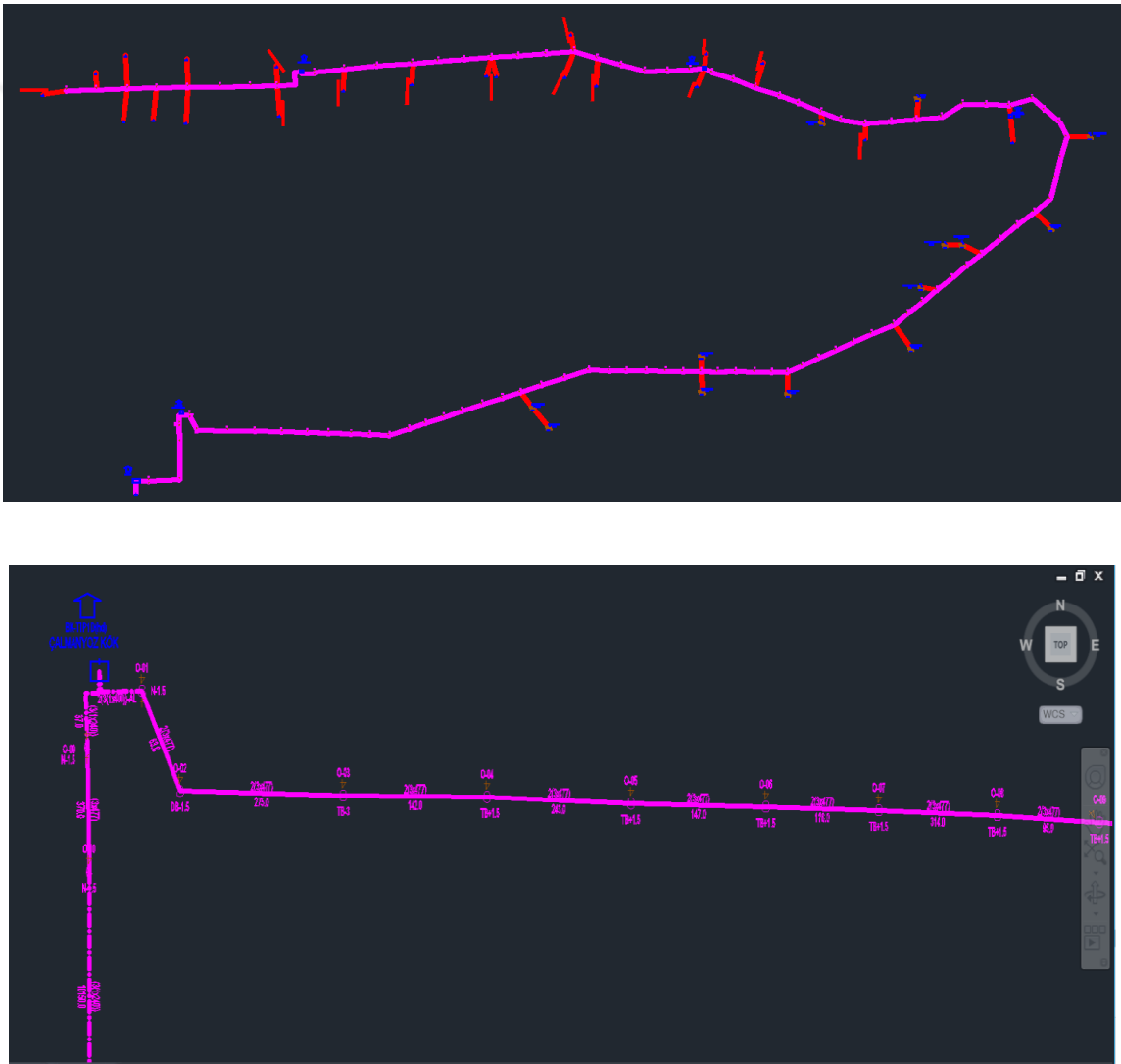
POZ NO	MALZEME VEYA İŞİN CİNSİ	ÖLÇÜ	MİKTAR	MALZEME (TL)	TOPLAM MALZEME BEDELİ	MONTAJ (TL)	TOPLAM MONTAJ BEDELİ (TL)	TOPLAM BEDEL (MALZEME+ MONTAJ) (TL)	DEMONTAJ MİKTARI	DEMONTAJ (SÖKME) (TL)	TOPLAM DEMONTAJ BEDELİ (TL)	TOPLAM BEDEL (TL)
5	GALVANİZ DİREKLER, TRAVERSLER ve KONSOLLAR											
	Büyük Aralıklı Hava Hattı Direkleri	Kg.	206038	4,152884	855.651,91	10,79065	2.223.283,94	3.078.935,86	107421	2,65616	285.327,36	3.364.263,22
14	ÇELİK-ALUMİNYUM İLETKENLER											
	ÇELİK-ALUMİNYUM İLETKENLER	Kg.	16788	12,497464	209.807,43	7,918677	132.938,75	342.746,18	26062	6,192173	161.380,41	504.126,59
17	METAL OKSİT (ZNO) PARAFUDR											
	30-36 kV 5-10 kA	Adet	6	134,910512	809,46	181,083708	1.086,50	1.895,97	3	72,795385	218,39	2.114,35
24.4	KESİCİLİ ÇIKIŞ HÜCRELERİ											
	36 kV, A, kA(Nominal-kısa devre akım değerinde)	Adet	1	18588,172942	18.588,17	2267,215171	2.267,22	20.855,39	0	0	0,00	20.855,39
36	DEMİR İMALAT											
	Demir Malzeme	Kg.	70	1,64951	115,47	6,109168	427,64	543,11	0	0	0,00	543,11
38	YERALTI KABLO KANALLARI											
	Tuvanen Malzemeli Kaplamasız Kablo Kanalı Yapılması	m^3	43	0	0,00	217,174282	9.338,49	9.338,49	0	0	0,00	9.338,49
39.3	ALÜMİNYUM YERALTI KABLolarI											
	1x400ş+ 25 mm^2 - 20,3/35 kV ALÜMİNYUM KABLO	Metre	639	57,985128	37.052,50	9,927398	6.343,61	43.396,10	0	0	0,00	43.396,10
40.1	DAHİLİ ve HARİCİ TİP KABLO BAŞLIKLARI											
	Tek Damarlı Kablolar için - 20,3 / 35 kV HARİCİ TİP	Adet	12	76,867166	922,41	76,414403	916,97	1.839,38	0	0	0,00	1.839,38
	Tek Damarlı Kablolar için - 20,3 / 35 kV DAHİLİ TİP	Adet	12	53,424718	641,10	65,424541	785,09	1.426,19	0	0	0,00	1.426,19
					1.123.588,44		2.377.388,22	3.500.976,66			446.926,16	3.947.902,83

Tablo 3-4: Çalmanyoz KÖK-Saraylar KÖK-2 arası ENH'nın 3x477 MCM'e yükseltilmesi halinde gerilim düşümü hesabı

ÇALMANYOZ KÖK' TEN ÇIKAN SARAYLAR ENH'nın 3x477 MCM OLMASI HALİNDE GERİLİM DÜŞÜMÜ HESABI												
KESİT	3x477		120 XLPE		3x477		3x477		3x477		3x477	
BRANŞMAN NOKTALARI		PLT-1		PLT-2		Marmara DM		ÇALMANYOZ		SARAYLAR-1		SARAYLAR-2
Hat uzunluğu (Km)	1,7	↓	11,71	↓	5,2	↓	5,2	↓	14,41	↓	4,4	↓
BRANŞMAN YÜKÜ (KVA)		0		0		2000		0		8000		6000
HAT YÜKLERİ (KVA)		16000		16000		16000		14000		14000		6000
BRANŞMAN TRAFO SAYISI		0		0		28		3		54		42
DİVERSİTE %		80		80		80		80		80		80
DİVERSİTELİ GÜÇLER		12800		12800		12800		11200		11200		4800
K		0,255		0,207		0,255		0,255		0,255		0,255
%er = $L \times N \times K \times 10^{-4}$		0,555		3,103		1,697		1,485		4,115		0,539
C		0,1		0,128		0,1		0,1		0,1		0,1
$D_p = N^2 \times L \times C \times 10^{-6}$		27,8528		245,576		85,197		65,229		180,759		10,138
$\%P = (dP/N) \times 125$		0,272		2,398		0,832		0,728		2,017		0,264
TOPLAM YÜK =		%er =		11,494		Güç kaybı =		614,47518		%P = 6,511		

3.3.3 Senaryo 3: Denizaltı ve Havai Hat İletken Kesit Artışı

Yalnızca denizaltı kablosunda veya yalnızca havai hatta kesit artışı yapılması halinde temel problemimiz olan hat sonundaki gerilim düşümünün çözülemeyeceği ispatlandığından her iki hatta da yatırım kanalıyla aynı anda kesit artışı yapılması üzerine çalışılmıştır. Böylece hem 11 km'lik 3x(1x240) mm² XLPE denizaltı kablosu hem de 18,81 km'lik 3x3/0 AWG iletkenli mevcut hattın demontaj edilerek yerine 3x477 MCM iletkenli yeni bir ENH'nın tesis edilmesine ilişkin proje hazırlanmış ve Şekil 3-7'de sunulmuştur.



Şekil 3-7: 3x(1x240) mm² XLPE denizaltı kablosu çekilmesi Çalmanyoz KÖK Saraylar ENH'nın 3x477 MCM iletkenli ENH'a dönüştürülmesi

Tablo 3-5: Hem denizaltı kablosu hem de havai hattın kesit artışı sonrası gerilim düşümü hesabı

DENİZALTI KABLOSUNUN 3x240 XLPE OLMASI ve HAVAI HATTIN 3x477 MCM OLMASI HALİNDE GERİLİM DÜŞÜMÜ HESABI												
KESİT	3x477		240 XLPE		3x477		3x477		3x477		3x477	
BRANŞMAN NOKTALARI		PLT-1		PLT-2		Marmara DM		ÇALMANYOZ		SARAYLAR-1		SARAYLAR-2
Hat uzunluğu (Km)	1,7	↓	11,71	↓	5,2	↓	5,2	↓	14,41	↓	4,4	↓
BRANŞMAN YÜKÜ (KVA)		0		0		2000		0		8000		6000
HAT YÜKLERİ (KVA)		16000		16000		16000		14000		14000		6000
BRANŞMAN TRAFO SAYISI		0		0		28		3		54		42
DİVERSİTE %		80		80		80		80		80		80
DİVERSİTELİ GÜÇLER		12800		12800		12800		11200		11200		4800
K		0,255		0,146		0,255		0,255		0,255		0,255
%er = $L \times N \times K \times 10^{-4}$		0,555		2,188		1,697		1,485		4,115		0,539
C		0,1		0,063		0,1		0,1		0,1		0,1
$D_p = N^2 \times L \times C \times 10^{-6}$		27,8528		120,87		85,197		65,229		180,759		10,138
$\%P = (dP/N) \times 125$		0,272		1,18		0,832		0,728		2,017		0,264
TOPLAM YÜK = %er = 10,579 Güç kaybı = 490,0458 %P = 5,293												

Denizaltı kablosunun kesit artışı için 84.654.326,9 TL tutarındaki alınan teklif ve havai hatta kesit artışı için çıkan 3.947.902,8 TL keşif bedeline istinaden her ikisi için de kesit artışı yapılması halinde 88.602.229,7 TL tutarında bir maliyet oluşturulmaktadır. Bunun yanında 3x3/0 AWG iletkenli ENH'nın demontajı ve 3x477 MCM iletkenli hattın montajı yaklaşık olarak 1 ay kadar süreceğinden, bu süreçte ringden beslenebilecek alternatif bir hat olmaması sebebiyle bölgedeki madencilere 1 ay kadar enerji arzı sağlanamayacaktır. Bu sürecin yaratacağı enerji satılamamasından kaynaklı maliyet ve müşteri memnuniyeti de göz ardı edilmemelidir. Tüm bu maliyetlere rağmen gerilim düşümü probleminin tam olarak ortadan kaldırılamadığı ve hat sonu geriliminin istenen seviyeye getirilemediği Tablo 3-5'te hesaplanmıştır.

3.3.4 Senaryo 4: Orta Gerilim Regülatör Kullanımı

Son olarak da alternatif bir çözüm önerisi olan otomatik orta gerilim regülatörü tesis edilmesi halinde Marmara Adası Saraylar Mahallesi'nde yaşanan gerilim düşümü probleminin önlenip önlemeyeceği ve fayda maliyeti incelenmiştir.

2021 yılı Mart ayı boyunca Erdek_Narlı / Saraylar arasında bulunan enerji hattında kaydedilen veriler incelendiğinde Tablo 3-6'da görülen durumlardan elde edilen veriler simülasyon çalışmasında kullanılmıştır. Tablodan görüldüğü gibi Erdek_Narlı TM gerilimi 34,415 kV ile 35,041 kV aralığında değişim göstermektedir. Sistemin çıkış noktası olan Saraylar Kök-1 noktasındaki gerilim değeri ise 31,447 kV ile 33,822 kV arasında değişmektedir. Akım değerleri ise Erdek_Narlı TM'de en düşük 84,529 A olurken 230,05 A en yüksek değeri almaktadır. Saraylar Kök-1 sistemin çıkışında ise akım 88 A ile 203 A arasında değişmektedir. Ayrıca Erdek_Narlı TM gerilimi ile Saraylar Kök-1 gerilimi arasındaki değişim farkları incelendiğinde Durum 11'de %9,64 oranında bir farkın oluşabildiği görülmektedir. Erdek_Narlı TM'de gerilim 35,041 kV iken Saraylar Kök-1'de gerilim 31,662 kV'a kadar düşmüştür. Sistemde minimum çalışma gerilimi olan 31,5 kV gerilim seviyesi ölçülmüş olup oldukça yüksek bir gerilim düşümü meydana gelmiştir. Değişim oranı olarak 2.sırada %9,13 ile durum 10 olurken Saraylar Kök-1 gerilimi 31,447 kV'a kadar düşmüştür.

Dünyada orta gerilim regülatörü üretimi yapan firmalar araştırıldığında karşımıza çıkan firmalar ve akım-gerilim limitleri Tablo 3-7'de sunulmaktadır. Cooper, Siemens, Toshiba, General Electric ve Howard firmalarının ürettiği çeşitli gerilim ve güçlerde regülatör üretiminin gerçekleştiği tablodan görülmektedir. Tek fazlı ve üç fazlı olarak üretilmekte olan regülatörlerde

tek fazlı regülatörler 100 kVA ile 1000 kVA güç değerleri arasında üretilirken üç fazlı regülatörler 319 kVA ile 1275 kVA arası güç değerlerinde üretilmektedir.

Tablo 3-6: Erdek_Narlı TM ve Saraylar Kök-1 gerilim ve akım değerleri

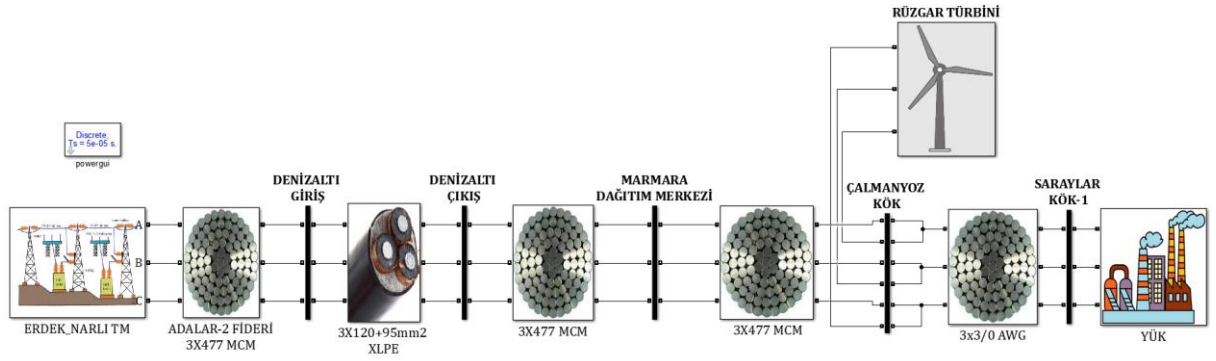
Durum	Erdek_Narlı Trafo Merkezi		Saraylar Kök-1 Hücresi Fazlararası Gerilim (kV)		Erdek_Narlı Trafo Merkezinine Göre Gerilim Düşümü Oranı	Nominal Gerilime Göre Gerilim Düşümü Oranı ($V_{nom}=34,5$ kV)
	Fazlararası Gerilim (kV)	Faz Akımı (A)	Fazlararası Gerilim (kV)	Faz Akımı (A)		
1	34,79	145,78	32,207	184	%7,42	%6,65
2	34,415	128,47	33,228	98	%3,45	%3,69
3	34,485	224,1	31,535	162	%8,55	%8,59
4	34,932	209,3	32,75	127	%6,25	%5,07
5	34,889	101,87	33,822	88	%3,06	%1,97
6	34,664	84,529	33,47	103	%3,44	%2,99
7	34,718	91,422	33,526	89	%3,43	%2,82
8	34,701	230,05	32,298	141	%6,92	%6,38
9	34,639	157,33	32,424	140	%6,39	%6,02
10	34,607	169,58	31,447	202	%9,13	%8,85
11	35,041	225,49	31,662	203	%9,64	%8,23

Üretici firmaların katalog değerleri incelenerek şebeke gerilimi 34,5 kV olan TOSHIBA firmasının regülatörünün kullanımı tercih edilmiştir. Şebekenin gerçek akım değeri 200-250 A aralığında olduğundan 250 A akım kapasitesine sahip 3 adet regülatör ile Marmara Adası Saraylar Mahallesi'nin beslenmesine karar verilmiştir. Günümüz döviz kuru ile yaklaşık maliyet 2.8 Milyon TL olmaktadır.

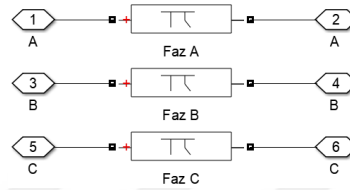
Hattaki gerilim düşümünün regülatör kullanımı ile ortadan kaldırılması ve sistemdeki değişimlerin gözlemlenmesi için sistemin Matlab/Simulink ortamında simülasyonu yapılmıştır. Şekil 3-8'da sistemin simülasyon devre yapısı görülmektedir. Erdek_Narlı TM üç fazlı programlanabilir güç kaynağı ile modellenmiştir. Böylece anlık olarak sistemin giriş geriliminde değişiklik yapmak mümkün olmuştur. Sistemin devamında 3x477 MCM, 3x120+95mm² XLPE ve 3x3/0 AWG iletkenleri ve kabloları Şekil 3-9'da görülen π eşdeğer devresi ile modellenmiştir.

Tablo 3-7: OG Regülatör Üreticilerinin Akım, Gerilim ve Güç Limitleri

ÜRETİCİ FİRMA	ÜRETİM YERİ	FAZ SAYISI	GÜÇ (kVA)	GERİLİM (V)	HAT AKIMI (A)	FREKANS (HZ)
COOPER	ABD	TEK FAZLI	110	22000	50	50
			220	22000	100	50
			330	22000	150	50
			440	22000	200	50
			660	22000	300	50
			880	22000	400	50
			165	33000	50	50
			330	33000	100	50
			495	33000	150	50
			660	33000	200	50
SIEMENS	ABD	TEK FAZLI	100	22000	50	50
			200	22000	100	50
			333	22000	167	50
		ÜÇ FAZLI	319	22000	84	50
			638	22000	167	50
			957	22000	251	50
			1275	22000	335	50
			398	22000	105	50
			797	22000	209	50
			1275	22000	335	50
			1701	22000	446	50
TOSHIBA	BREZİLYA	TEK FAZLI	200	19920	100	50
			333	19920	167	50
			400	19920	201	50
			667	19920	334	50
			883	19920	418	50
			345	34500	100	50
			690	34500	200	50
GENERAL ELECTRIC (GE)	ABD	TEK FAZLI	220	22000	100	50
			300	22000	150	50
			330	22000	150	50
			440	22000	200	50
			550	22000	250	50
			660	22000	300	50
HOWARD	ABD	TEK FAZLI	100	19920	50	60
			200	19920	100	60
			333	19920	167	60
			400	19920	200	60
			667	19920	335	60
			833	19920	418	60
			1000	19920	502	60



Şekil 3-8: Regülatörsüz sistemin Simulink devre şeması



Şekil 3-9: Hattın π devre modeli

Simülasyonda hattın modellemesinde kullanılan π devre modeli bloğunda Şekil 3-10'da görüldüğü gibi km başına devre elemanlarının değerleri, hattın frekansı ve uzunluğu girilmektedir. Erdek_Narlı TM ile denizaltı giriş noktası arasında bulunan Adalar-2 Fideri 1,7 km, denizaltı XLPE 11,71 km, denizaltı çıkış noktası ile Marmara Dağıtım Merkezi arası hat 5,2 km, Marmara Dağıtım Merkezi ile Çalmanyoz Kök Hücresi arası 5,2 km, Çalmanyoz ile Saraylar Kök-1 Hücresi arası 14,41 km ve hücre ile yük arası 4,4 km olarak modellenmiştir. Modellemede kullanılan direnç, endüktas ve kondansatör değerleri Tablo 3-8'de verilmiştir. Sistemin frekansı 50 Hz olarak girilmiştir.

Şekil 3-10: Simulink π devre modeli bloğu parametreleri

Gerçek ölçümlerden alınan değerler ve Tablo 3-8'deki parametreler kullanılarak simülasyonu gerçekleştirilen sistemde gerçek ölçüm ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması için Tablo 3-9 oluşturulmuştur. Sonuçlardan ve hesaplanan %hata değerlerinden görüldüğü gibi yapılan modelleme gerçek sonuçlara oldukça yakın simülasyon sonuçları vermiştir.

Tablo 3-8: Kablo ve iletken parametreleri

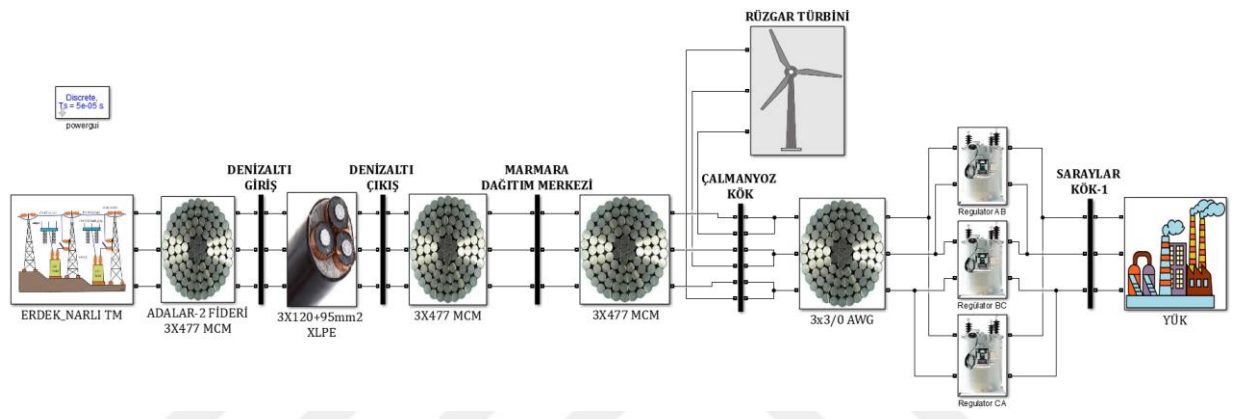
	120+95 XLPE	477 MCM	3/0 AWG
R (Ω/km)	0,196	0,1338	0,300426
L (H/km)	0,00039	0,00134	0,001420069
C (μF/km)	0,015	0,00849	0,009486269

Tablo 3-9: Saraylar Kök-1 Hücre gerilimi gerçek ölçüm ve simülasyon değerleri

Durum	Gerçek Ölçüm Sonucu (kV)	Simülasyon Sonucu (kV)	%Hata
1	32,207	32,176	-0,10
2	33,228	33,023	-0,62
3	31,535	31,588	0,17
4	32,75	32,920	0,52
5	33,822	33,782	-0,12
6	33,47	33,417	-0,16
7	33,526	33,551	0,07
8	32,298	32,308	0,03
9	32,424	32,401	-0,07
10	31,447	31,428	-0,06
11	31,662	32,591	-0,22

Ölçüm verilerine oldukça yakın sonuçların oluşturulan modelde elde edilmesiyle modelin doğruluğu gösterilmiş oldu. Devamında sistemde meydana gelen gerilim düşümlerinde yükün ihtiyaç duyduğu gerilim seviyesini sağlayacak olan regülatörün simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında gerilim düşümünün yüksek olduğu Saraylar Kök-1 noktasına Şekil 3-11'de görüldüğü gibi üç adet OG regülatör yerleştirilmiştir. Bu regülatör Şekil 3-12'de görülen transformatör kullanılan Simulink modeli ile modellenmiştir. Kullanılan transformatörde primerde 1 sargı bulunurken sekonderde 2 sargı yer almaktadır. Bu 2 sargıdan ilki (+2 / 2) 17 anahtar kullanılan 16 kademeli bir sargıdır. Bu sargılar ilgili anahtarların devreye alınması ile

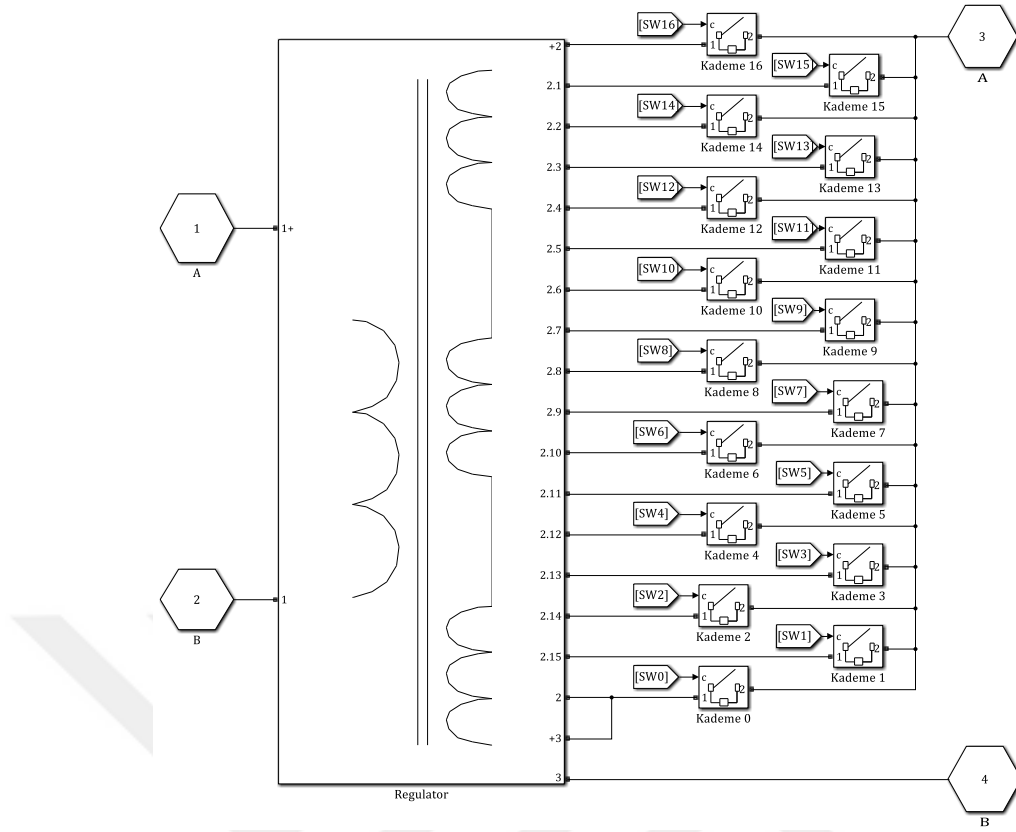
kademeye girmektedir. Sekonderdeki ikinci sargı (+3 / 3) ise primer sargısı ile eşdeğer olup giriş gerilimini aynen çıkışa aktarmaktadır. Bu sargı ile sekonderdeki 1.sargı kademelerinden devreye alınan sargılar birbirine seri bağlanarak gerilimde yükselme olması sağlanmaktadır. Giriş gerilimi istenen seviyede olduğunda regülatörün sekonderindeki kademelerin devreye girmeyerek sadece 2.sargının devrede olması ve böylece giriş geriliminin çıkışa aynen aktarılmasının sağlanması için 0 kademesinin devreye girmesi için *Kademe 0* anahtarı devreye alınır. Böylece çıkış uçlarında giriş gerilimi görülmüş olur. Giriş gerilimindeki düşük artmaya başladıkça üst kademelerdeki anahtarlar devreye alınarak giriş gerilimine ilave edilen gerilimin artması sağlanmaktadır.



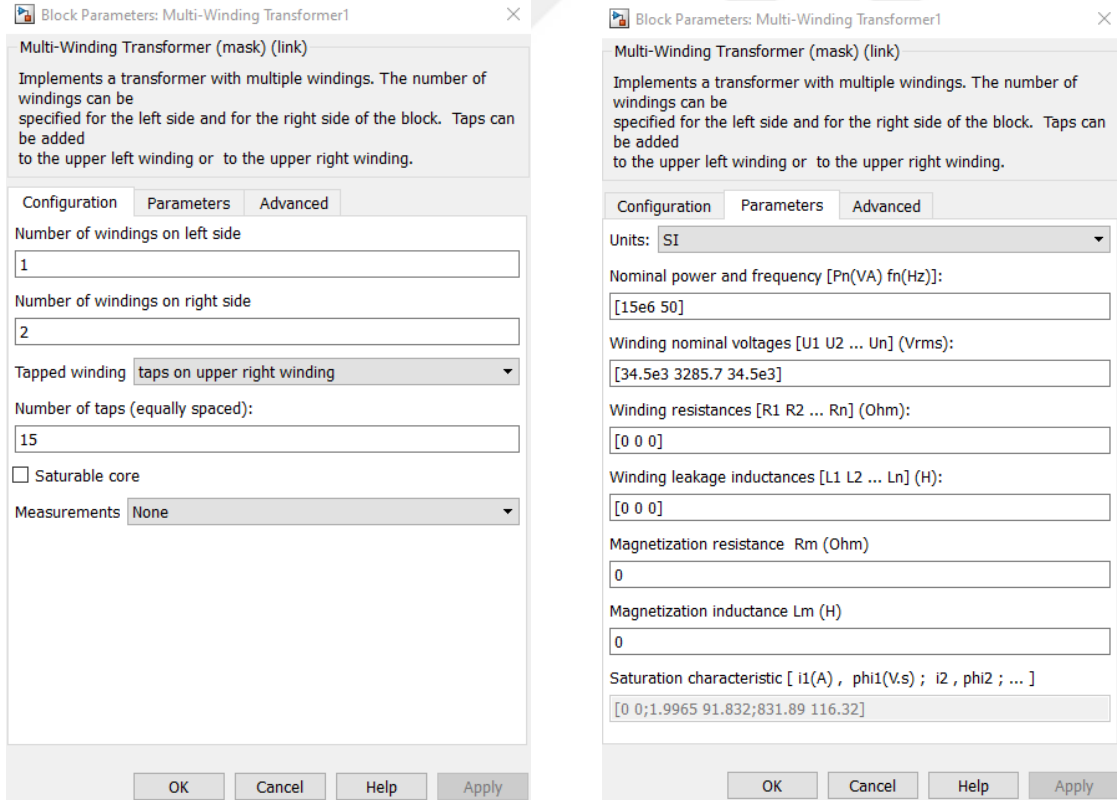
Şekil 3-11: Regülatör kullanılan sistemin Simulink modeli

Şekil 3-13'te regülatör modellemesinde kullanılan transformatörün parametreleri görülmektedir. Primerde 1 ve sekonderde 2 sargı yer almakta olup üst sekonder sargıda 15 bağlantı ucu yani 16 kademe bulunmaktadır. Bu kademeler birbirine eşit sarımda olmaktadır. Sekonder sargı gerilimleri ise 34,5 kV gerilime göre belirlenmiştir. Minimum primer gerilim seviyesi 31,5 kV olarak belirlenmiştir. Primer gerilimi bu seviyeye düştüğünde çıkışın 34,5 kV olması için gereken 3 kV olmaktadır. Doğru orantı yapıldığında primerde 34,5 kV gerilim olduğunda üst sekonder sargıda 3285,7 V gerilim olmalıdır. Primer geriliminin değişmesi ile kademe sargılarının da gerilimi değişmektedir. Devreye alınacak kademe belirlenirken primer gerilimine bağlı olarak kademe sargı gerilimi hesaplanarak kademe değişimi yapılmalıdır.

Geliştirilen orta gerilim regülatörünün etkilerinin anlaşılabilmesi için Şekil 3-11'de görülen Simulink devresinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında yük değişimi ve hat giriş gerilimi değişiminde regülatörün etkisi incelenmiştir. Sabit gerilim altında yük değişimi yapılırken daha sonra sabit yük altında giriş gerilimi değişimi yapılarak sistemin simülasyonu yapılmıştır.



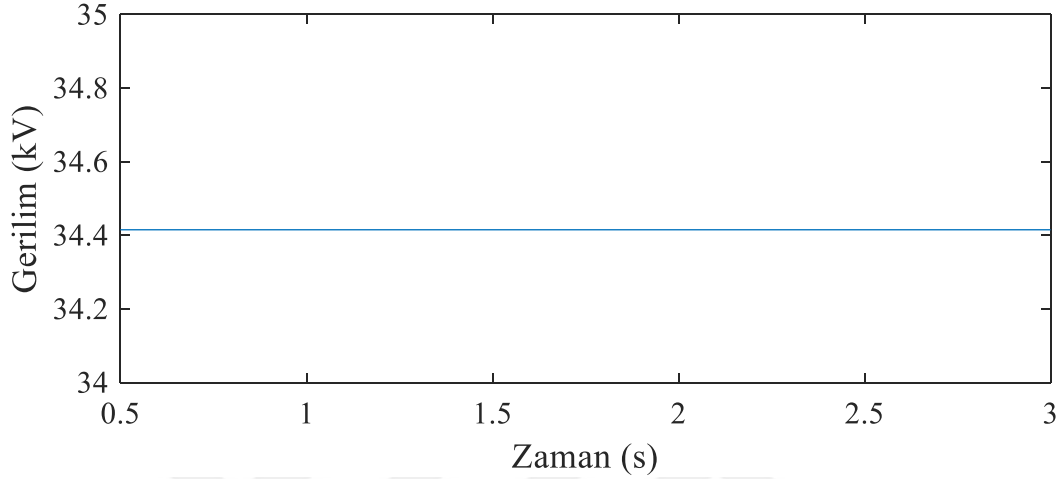
Şekil 3-12: Regülatör Simulink modeli



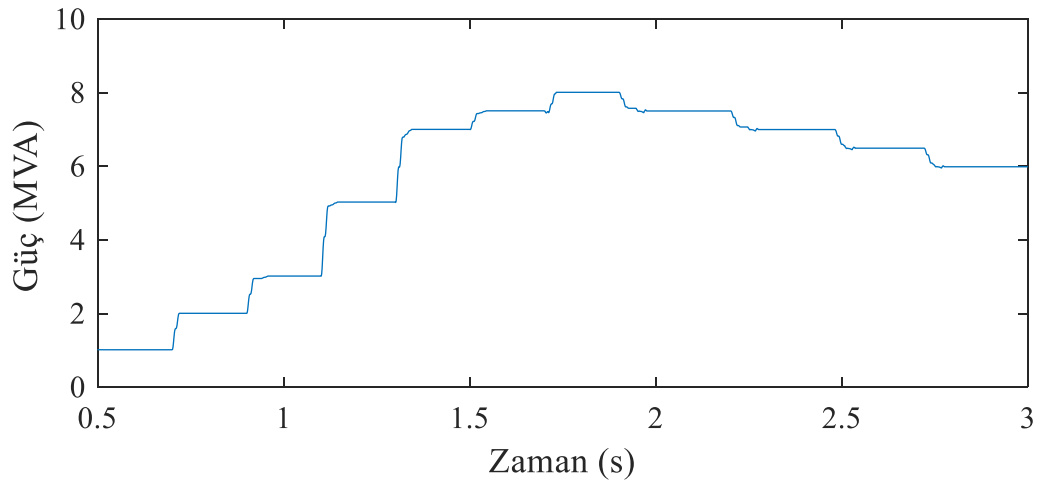
Şekil 3-13: Regülatörde yer alan transformatörün parametreleri

3.3.4.1 Sabit Giriş Gerilimi Altında Yük Değişimi

Erdek_Narlı TM noktasında Şekil 3-14'te görüldüğü gibi 34,415 kV gerilim ile sistem beslenirken Şekil 3-15'de değişimi görülen 11 farklı yük gücü altında regülatör kullanımı incelenmiştir.



Şekil 3-14: Erdek_Narlı_TM gerilim değişimi

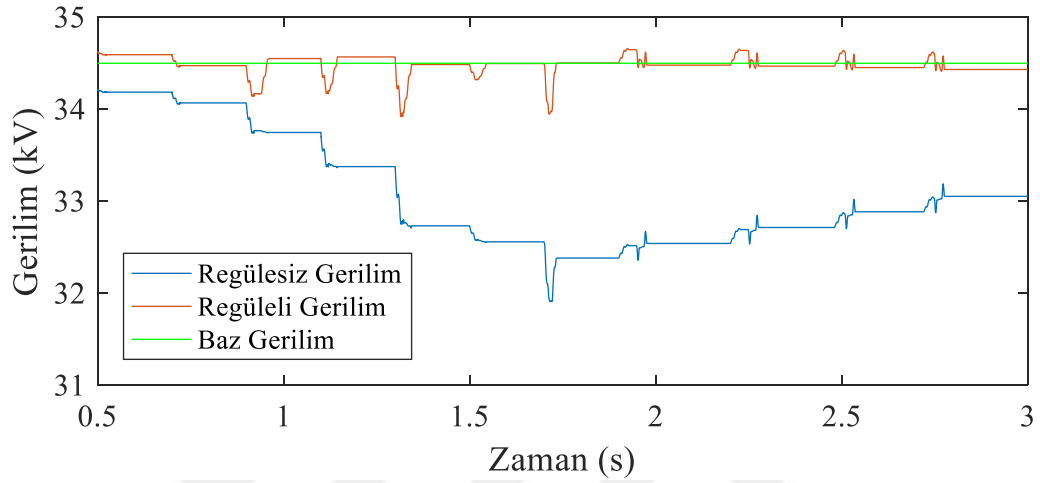


Şekil 3-15: Yük gücü değişimi

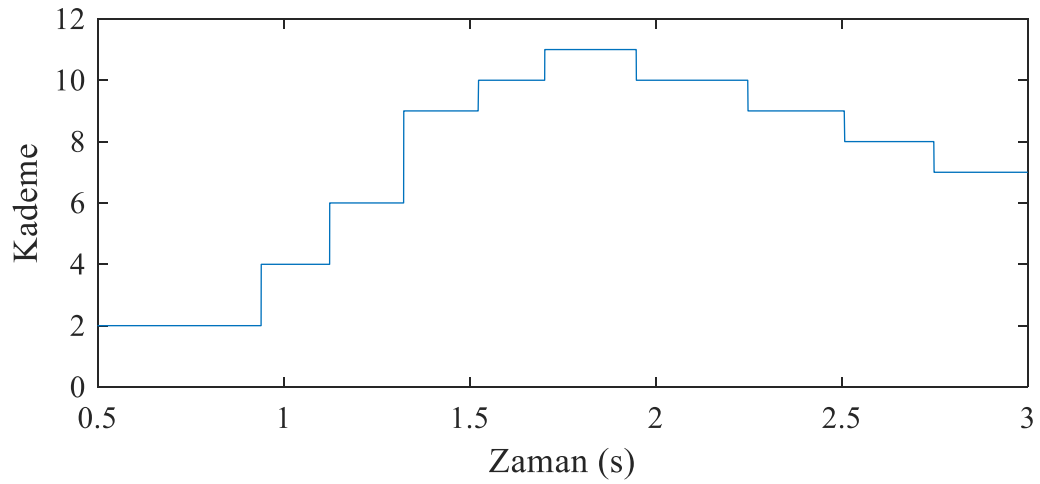
Yük artışı ile beraber hattaki gerilim düşümünün artmasıyla hat sonundaki gerilim seviyesi düşmekte ve regülatör devreye girerek gerilim seviyesini yükseltmektedir. Regülatör Saraylar Kök-1 hücresine yerleştirilmiş olup regülatör girişi ve çıkışındaki gerilim değişimi Şekil 3-16'de görülmektedir. Şekilde mavi renkli değişim regülatör öncesi gerilimi, kırmızı değişim regülatör çıkış yük gerilimini ve yeşil renkli değişim de referans gerilimi olan 34,5 kV gerilim

seviyesini göstermektedir. Şekil 3-17’de ise gerilim regülasyonu için regülatörde meydana gelen kademe değişimleri görülmektedir.

Şekil 3-16 incelendiğinde regülatör öncesi gerilim (mavi) ilk olarak azalırken daha sonra yükselmektedir. Böylece regülatörün kademe azaltma ve yükseltme durumunda sistemin cevabı incelenmiştir.



Şekil 3-16: Gerilim seviyesi değişimi



Şekil 3-17: Regülatör kademe değişimi

Şekil 3-16 ve Şekil 3-17’de görülen gerilim ve kademe değişimlerinin değerleri Tablo 3-10’da verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere 32,38 kV ile 34,07 kV gerilim aralığında değişen regülatör giriş gerilimi regülatör kademe değişimi ile çıkışta yük uçlarında 34,5 kV gerilim seviyesine yükseltilmiştir. Tabloda verilen %Hata değeri 34,5 kV olan referans gerilimi ile regülatör çıkışında ölçülen gerilim seviyesi arasındaki hata oranını göstermektedir. Regülatörde

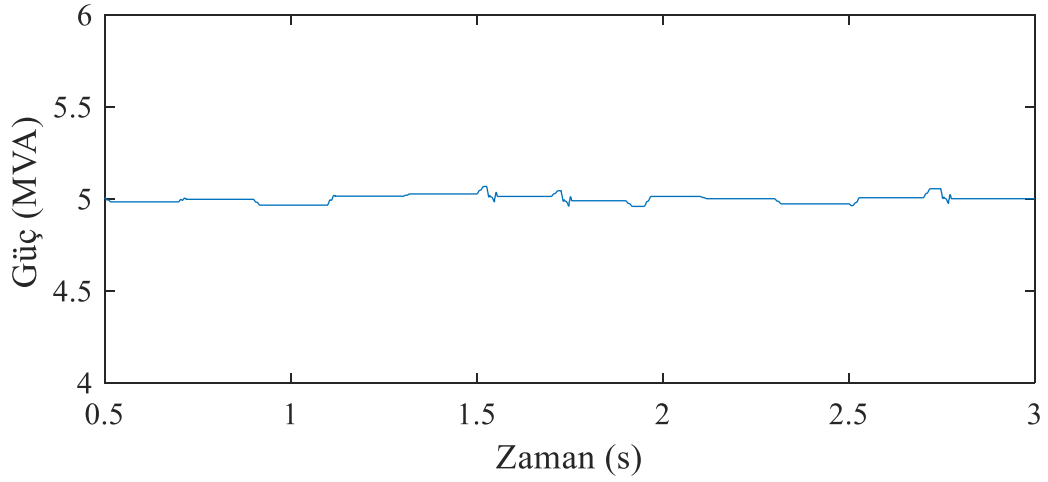
meydana gelen kademe değişimleri ile regülatör çıkış gerilimi 34,43 kV ile 34,59 kV arasında değişim göstermektedir.

Tablo 3-10: Regülatör giriş ve çıkış gerilim değerleri

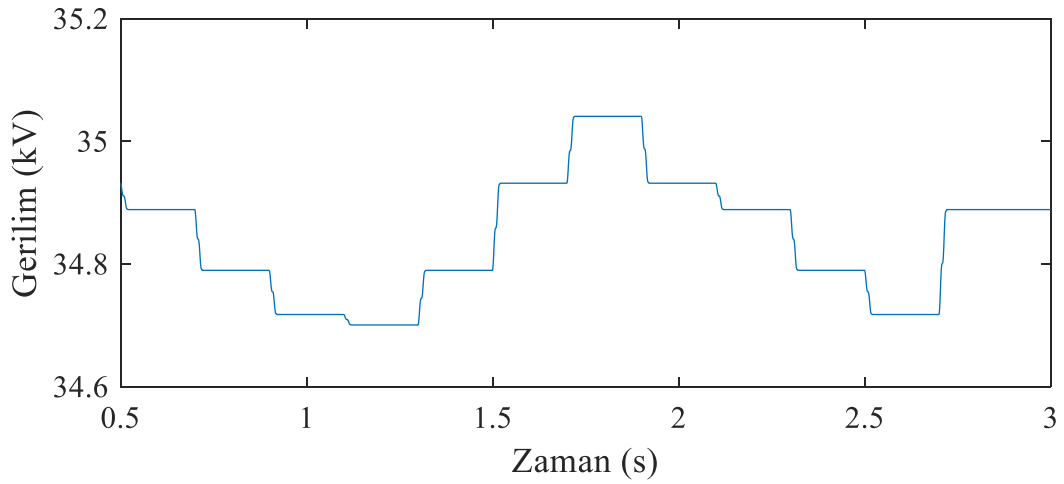
Regülatör Giriş Gerilimi (kV)	Regülatör Çıkış Gerilimi (kV)	%Hata	Kademe	Yük Gücü (MVA)
34,19	34,59	0.26	2	1,015
34,07	34,47	-0.09	2	2,005
33,75	34,55	0.14	4	3,017
33,38	34,57	0.20	6	5,028
32,73	34,49	-0.03	9	7,001
32,56	34,49	-0.03	10	7,506
32,38	34,5	0.00	11	8,009
32,54	34,48	-0.06	10	7,499
32,72	34,47	-0.09	9	6,996
32,89	34,45	-0.14	8	6,491
33,05	34,43	-0.20	7	5,986

3.3.4.2 Sabit Yük Altında Gerilim Değişimi

Sistemde kullanılan regülatörün sabit yük altında giriş gerilimindeki değişimlerde gösterdiği performansın incelenmesi için simülasyon çalışmasında Şekil 3-18'daki yük profili ve Şekil 3-19'de görülen Erdek_Narlı_TM gerilim değişimi uygulanmıştır. Şekil 3-18'dan görüldüğü gibi sistemin çıkış yük gücü 5 MVA olarak sabitlenmiştir. Bu durumda regülatörde kademe değişiminin meydana gelmesi için gerekli olan gerilim seviyesi değişimi Erdek_Narlı_TM'de ortaya çıkan ve Şekil 3-19'de görülen gerilim değişimi ile sağlanmıştır. Tablo 3-11'de görüldüğü gibi Erdek_Narlı_TM gerilim değerleri 34,7 kV ile 35,04 kV gerilim seviyeleri arasında değişim göstermektedir.

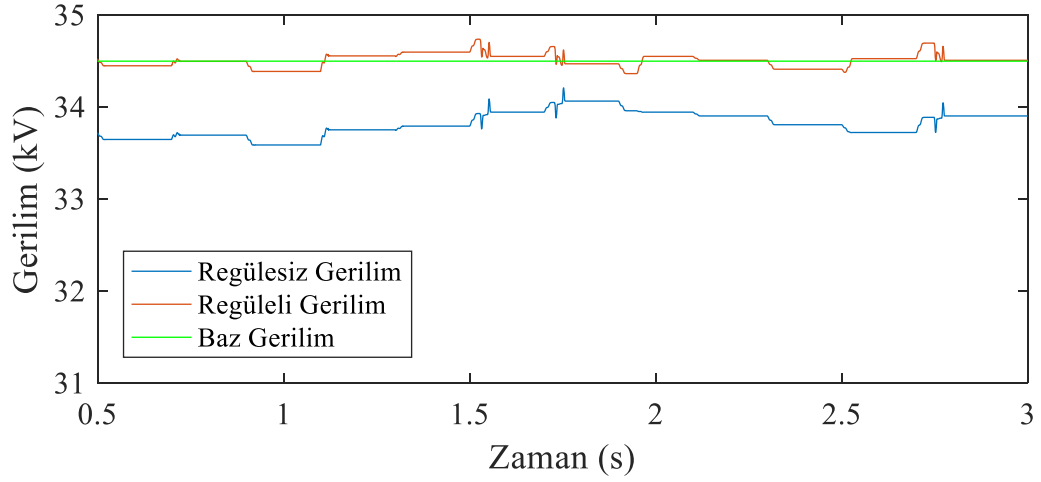


Şekil 3-18: Yük gücü değişimi



Şekil 3-19: Erdek_Narlı_TM gerilim değişimi

Şekil 3-18’de görülen güç değişimi ve Şekil 3-19’deki Erdek_Narlı_TM geriliminin uygulanması sonucu regülatör giriş ve çıkış gerilimi Şekil 3-20’de görülmektedir. Regülatör giriş ve çıkış gerilim seviyelerinin Tablo 3-11’de verilmiş olup Şekil 3-20’de görüldüğü gibi regülatör giriş gerilimi 33,59 kV seviyesine kadar düşerken maksimum gerilim seviyesi 34,07 kV olmaktadır. Gerilim seviyesinin baz gerilim olan 34,5 kV gerilim seviyesinin altında olmasından dolayı regülatörün devreye girmesiyle yük gerilimi yükseltilmektedir. Şekil 3-20’de değişimi ve Tablo 3-11’de yük geriliminin aldığı değerlerden görüldüğü gibi yük gerilimi baz gerilim olan 34,5 kV gerilim seviyesine yükseltilmektedir.

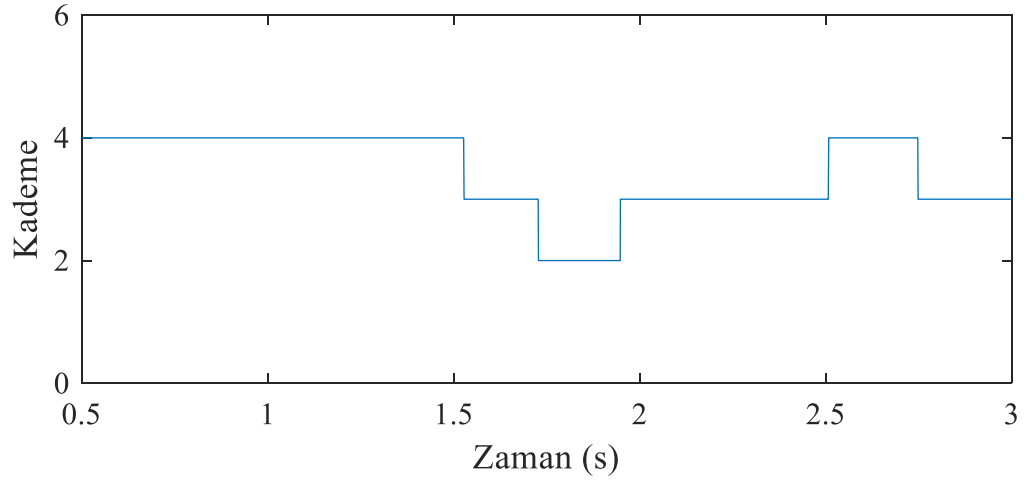


Şekil 3-20: Gerilim seviyesi değişimi

Regülatör giriş gerilimi seviyesine bağlı olarak regülatörde kademe ayarı yapılarak çıkış gerilimi 34,5 kV gerilim seviyesine mümkün olan en yakın gerilime yükseltilmektedir. Şekil 3-21’te regülatör kademe değerleri görülmektedir. Şekil 3-19 ve Tablo 3-11’de görüldüğü gibi Erdek_Narlı_TM gerilim seviyesinde büyük değişimler olmadığından dolayı kademeler arasında büyük değişimler olmamakla birlikte şekilde görüldüğü üzere regülatör 2., 3. ve 4.kademelerde çalışmaktadır. %Hata değerine bakıldığında regülatör çıkışındaki yük gerilimi ile referans gerilim 34,5 kV arasındaki farkın oldukça az olduğu anlaşılabilmektedir.

Tablo 3-11: Regülatör giriş ve çıkış gerilim değerleri

Regülatör Giriş Gerilimi (kV)	Regülatör Çıkış Gerilimi (kV)	%Hata	Kademe	Erdek_Narlı TM Çıkış Gerilimi (kV)
33,65	34,45	%-0,14	4	34,89
33,7	34,5	%0	4	34,79
33,59	34,39	%-0,32	4	34,72
33,75	34,56	%0,17	4	34,7
33,79	34,6	%0,29	4	34,79
33,95	34,55	%0,14	3	34,93
34,07	34,47	%-0,09	2	35,04
33,95	34,55	%0,14	3	34,93
33,9	34,51	%0,03	3	34,89
33,81	34,41	%-0,26	3	34,79
33,72	34,53	%0,09	4	34,72
33,9	34,51	%0,03	3	34,89



Şekil 3-21: Regülatör kademe değişimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada kalite parametrelerinin en önemli göstergelerinden biri olan gerilim düşümü problemi ve uygulanabilecek çözüm yöntemleri araştırılarak gerekli teknik analizler yapılmıştır. Geleneksel yöntem olan mevcut hatlarda kapasite artışı ya da yeni bir hat yatırımı yapılması halinde sonuçlarının ne olacağı hesaplanmıştır. Bu analiz ve hesaplar neticesinde en verimli ve en ekonomik yöntem olarak otomatik gerilim regülatörü belirlenmiş ve ülkemizde kullanımı pek de yaygın olmayan regülatör hakkında bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler ışığında Balıkesir İli, Marmara Adası, Saraylar Bölgesinde yaşanan gerilim düşümü probleminin regülatör kullanılarak çözülebileceği ile ilgili gerekli çalışmalar yapılmıştır.

Enerji ihtiyaçlarının her geçen gün arttığı bu dönemde talebe karşılık verebilmek adına şebekedeki yükün hafifletilebilmesi için yenileme ya da alt yapı yatırımları zorunlu birer ihtiyaç haline gelmektedir. Bu sayede enerji arzının kalite standartlarında sağlanması için ciddi bütçeler ayırılmak zorunda kalınacaktır. Bu yatırımlar için kaynak yaratmak oldukça maliyetli olduğundan dünyada kullanımı oldukça yaygın olmasına rağmen ülkemizde dağıtım sisteme henüz yeterince entegre olamamış olan gerilim regülatörünün de, daha ekonomik ve daha pratik bir çözüm olması sebebiyle ülkemizde de yaygınlaşması öngörülmektedir.

Gerilim regülatörünün Türkiye pazarına girmemiş olması, ürünün yeterince tanınmıyor olması, dağıtım şirketlerinin bu konuda herhangi bir farkındalığının bulunmaması ve yerli imalatının bulunmaması gerekçesiyle yurtdışından tedarik edilen bu makinelerin döviz kurundan kaynaklı ilk kurulum maliyetinin yüksek olması sebebiyle şu anda sınırlı bir kullanıma sahiptir. Ancak bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde yaşanan yük artışının önüne geçebilecek en pratik yöntemlerden biri olarak değerlendirilmesi için fayda maliyet analizleri yapılarak uygun görülmesi halinde kullanımı tercih edilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Energy Market Regulatory Authority, Electricity Market Development Report 2019, Ankara, 2020.
- [2] Barua, S. & Prasath, R.A. (2017). Rooftop Solar Photovoltaic System Design and Assessment for the Academic Campus Using PVsyst Software. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 5(1), 76-83.
- [3] Quiles, E., Blay, C.R., Escrivand, G.E. & Porta, C. R. (2020). Accurate Sizing of Residential Stand-Alone Photovoltaic Systems Considering System Reliability. *Sustainability*, 12(3), 1-18.
- [4] Beranek, V., Olsan T., Libra, M., Poulek, V., Sedlacek, J., Dang, M.Q & Tyukhov, I.I. (2018). New Monitoring System for Phovotoltaic Power Plants' Management, 11(10), 1-13.
- [5] Nunoo, S., Attachieand, J. & Duah, F. N. (2012). An Investigation into the Causes and Effects of Voltage Drops on an 11kV Feeder. *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering*, 3(1), 40-47.
- [6] Güven, A.F., Keleş, Z. & Yalçın, İ.B. (2017). MatlabGui Yardımıyla Enerji İletim Sistemlerinin Modellenmesi. *International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education*, 1-13.
- [7] Pamuk, N. (2011). Sakarya ili elektrik şebekesinin Matlab/Simulink programı kullanılarak modellenmesi ve analiz edilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 19-39.
- [8] Tosun, İ. (2014). Kastamonu İli Enerji ve Dağıtım Sisteminin Modellenerek Analizi ve Uygulanması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- [9] Saygılı, M. & Tezcan, S.S. (2019). Ankara Bölgesi için Enerji İletim Hattı Koruma Modellemesi Analizi ve Uygulanması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(2), 303-316.
- [10] Öylekand, İ. & Varan, M. (2016). Kuzeybatı Anadolu Güç Sisteminde Arızalı Durum Güç Akışı İncelemelerinin Gerçekleştirilmesi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(3), 33-40.

- [11] Anonymous, The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, 1996, 6. Baskı, IEEE Press, IEEE Std. 100
- [12] TS EN 50160, Genel Elektrik Şebekeleri Tarafından Sağlanan Elektriğin Gerilim Karakteristikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [13] Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, EPDK, T.C. Resmi Gazete, Ankara, 21 Aralık 2012, 28504.
- [14] Bollen M. H. J., IEEE Press Series on Power Engineering, 1, IEEE, New York, 2000.
- [15] Efe, S. B. (2006). Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Harmoniklerin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] Massey, G. W. (1994). Power distribution system design for operation under nonsinusoidal load conditions, Conference Paper, No.94 C-4.
- [17] Attia, H. A. (2008). Optimal Voltage Profile Control and Losses Minimization of Radial Distribution Feeders. Electrical Power and Machines Department, Faculty of Engineering, Cairo University, Giza, Egypt.
- [18] Mandi R. P. & Yaragatti, U. R. (2016). Power Quality Issues in Electrical Distribution System and Industries, National Conference on Recent Advances in Control Strategies for Integration of Distributed Generation Sources to Grid and Control of Their Power Quality Issues, REVA University, 64-69.
- [19] Kersting W. H. (2012). Distribution System Modeling and Analysis, Third Edition, CRC Press, New Mexico.
- [20] Şen, M. & Balcı, E. M. (2013). Gerilim Dengesizliğinin Ölçülmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım, EMO V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 45-48.
- [21] Padilha, A., Denis Iara, F.E.D. & Ciric, R.M. (2003). Voltage Regulation in Distribution Networks with Dispersed Generators, 17th International Conference on Electricity Distribution, Barcelona.
- [22] Li, C. (2020). Coordinated Voltage Regulation of Distribution Networks, Phd Thesis, University of California San Diego.
- [23] Casavola A., Franze G., Menniti D. & Sorrentino N. (2011). Voltage Regulation in Distribution Networks in The Presence of Distributed Generation: A voltage set-point reconfiguration approach, Electric Power Systems Research, 81(1), 25-34.

- [24] Dhawale, P.G., Patil, P., Kumbhar, N., Mandlik, R., Nikam, P. & Kamble, S. (2019). Automatic Voltage Regulator, International Journal of Scientific Engineering and Science, 3(4), 37-41.
- [25] Attia, H. (2015). Three Steps AC Voltage Regulator Based on One Step-down Transformer, International Journal of Applied Engineering Research, 10(9), 19.
- [26] Hietpas, S.M. & Naden, M. (2000). Automatic Voltage Regulator, Using an AC Voltage-Voltage Converter, IEEE Transactions on Industry Applications, 36(1), 33-38.
- [27] Attia, H. (2017). Novel 9-Steps Automatic Voltage Regulator Based on Two Step-down Transformers, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 7(2), 576-583.
- [28] Karacasu, Ö. & Borhan, Y. & Hocaoglu M. H. (2013). Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Gerilim Değişimlerinin İncelenmesi, Academia, 45-48.
- [29] Yavuz, K.K., Karakulak, E. & Mutlu, R. (2019). Memristor-Based Series Voltage Regulators, Journal of Electrical Engineering, 70(6), 465-472.
- [30] Popović, D., Glamović, L., Nimrihter, M., Tanasković, M., Vukotić, D. & Damljanović, D. (2005). Optimal Automation Level of Medium Voltage Distribution Network, 18. International Conference on Electricity Distribution, 1-5.
- [31] İnci, M., Bayındır, K. Ç. & Tümay, M. (2016). Dinamik Gerilim İyileştiricilerde Gerilim Problemlerinin Tespiti İçin Yeni Yöntem Geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(4), 997-1006.
- [32] Alexander, K. & Thompson, M.T. (2007). Power Quality in Electrical Systems, McGraw-Hill Companies, A.B.D.
- [33] IEC61000-4-30 Edition 2.0 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-30 Testing and measurement techniques Power quality measurement methods (2008).
- [34] Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) Günlük Döviz Kuru <https://www.tcmb.gov.tr/>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	Barış Can TOYGUN	Fotoğraf
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	Dumlupınar Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektronik-Elektronik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2011

	Yüksek Lisans
Üniversite	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Tezli Yüksek Lisans Programı

Makale ve Bildiriler
1- B.C. Toygun and E. Isen, “Marmara Adası Enerji Nakil Hattının Modellenmesi”, Global Conference on Engineering Research (GLOB CER), pp. 186-193, June 2021.