

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERE YENİ HAT ENTEGRASYONUNDA
FARKLI KOŞULLARIN İŞLETME SÜREKLİLİĞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

MEHMET CAN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERE YENİ HAT ENTEGRASYONUNDA
FARKLI KOŞULLARIN İŞLETME SÜREKLİLİĞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

MEHMET CAN

Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşen BASA ARSOY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK
Jüri Üyesi, Gümüşhane Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.09.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, gün geçtikçe büyükşehirlerde kent içi raylı sistem hatları yapımının yaygınlaşması sonucunda hatların birbirleriyle entegre olma durumları göz önüne alınarak oluşturulan sistemlerin, işletme sürekliliğini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tezin hazırlanma sürecinde çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve fikirlerini esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de güzel düşünceleriyle yetişme ve gelişme katkıda bulunan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda gösterdiği anlayış ve destek için Sayın Ender GÜZELLER'e ve akademik çalışmalarım sırasında, birçok aşamada beni destekleyen Metro İstanbul A.Ş. Tasarım Hizmetleri Müdürlüğü Elektrik-Elektronik Sistem Tasarım Şefliğindeki çalışma arkadaşlarıma verdikleri desteklerden dolayı teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca ihtiyaç duyduğum her an bana yardımda bulunarak desteklerini esirgemeyen ve beni her fırsatta cesaretlendiren annem Naşide CAN, babam Yılmaz CAN ve büyüklerim Fatih ve Deniz CAN'a maddi ve manevi katkılarından dolayı sonsuz minnet duygularımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini her zaman arkamda hissettiğim, bana güç veren, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili eşim Zeynep CAN ve her şeyim biricik kızım Elif Sare CAN'a en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Eylül – 2020

Mehmet CAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Literatür Araştırması	3
2. RAYLI SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ	5
2.1. Raylı Sistem Tarihçesi	5
2.2. Kent İçi Raylı Sistem Çeşitleri	5
2.2.1. Füniküler	6
2.2.2. Tramvay	6
2.2.3. Hafif raylı sistem.....	7
2.2.4. Hafif metro (LRT).....	7
2.2.5. Metro	8
2.2.6. Banliyö	9
2.2.7. Monoray	10
2.2.8. Maglev.....	10
2.3. İstanbul’ da Kent İçi Raylı Sistemler	11
2.3.1. İşletme altındaki hatlar	11
2.3.2. Yapımı devam eden hatlar	12
2.3.3. Proje aşamasındaki hatlar.....	12
3. KENT İÇİ RAYLI ULAŞIMDA ELEKTRİFİKASYON.....	14
3.1. Cer Gücü Enerji İletim Sistemleri.....	16
3.1.1. Konvansiyonel kataner sistemi.....	17
3.1.2. Rijit kataner sistemi	18
3.1.3. 3. Ray sistemi	19
3.1.4. APS sistemi	20
3.2. Güç Merkezleri	20
3.2.1. Cer transformatörleri	21
3.2.2. İç ihtiyaç transformatörleri	22
3.2.3. Orta gerilim şalt grubu	22
3.2.4. DC şalt grubu	23
4. SİSTEM TANITIMI.....	25
4.1. Hat Tanıtımı	27
4.2. Elektriksel Besleme Sistemi	28
5. MODELLEME VE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI.....	30
5.1. TEİAŞ İndirici Merkezlerin Modellenmesi	32
5.2. Transformatör Merkezlerinin Modellenmesi.....	35
5.2.1. Cer transformatörlerinin modellenmesi.....	35

5.2.2. İç ihtiyaç transformatörlerinin modellenmesi	37
5.3. Orta Gerilim Kablolarının Modellenmesi	48
5.4. Besleme Senaryolarının Oluşturulması.....	50
5.4.1. Teiaş girişlerinin enerjili-enerjili olduğu durum (senaryo1)	50
5.4.2. Teiaş girişlerinin arızalı-enerjili olduğu durum (senaryo2).....	61
5.4.3. Teiaş girişlerinin enerjili-arızalı olduğu durum (senaryo3).....	68
5.5. Kablo Kesit Değişiminde Maliyet Analizi.....	76
5.5.1. Orta gerilim kabloları tesisi maliyet analizi	76
5.5.2. Orta gerilim kablolarının güç kayıpları analizi	77
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	80
EKLER.....	83
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	88
ÖZGEÇMİŞ	89



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Karaköy-Beyoğlu tarihi tünel araçları.....	6
Şekil 2.2.	Kabataş-Bağcılar tramvayı.....	7
Şekil 2.3.	Topkapı-Mescid-i Selam tramvayı.....	7
Şekil 2.4.	Yenikapı-Kirazlı hattı hafif metro aracı.....	8
Şekil 2.5.	Üsküdar-Çekmeköy hattı metro aracı.....	9
Şekil 2.6.	Gebze-Halkalı banliyö hattı aracı.....	9
Şekil 2.7.	Japonya Okinawa kentinde kullanılan monoray sistem aracı.....	10
Şekil 2.8.	Shanghai’de maglev aracı.....	11
Şekil 3.1.	Raylı sistem tipik enerji besleme diyagramı.....	14
Şekil 3.2.	Konvansiyonel kataner sistemi.....	17
Şekil 3.3.	(a) Normal askı (b) etap ortası askı (c) etap sonları.....	18
Şekil 3.4.	3. Ray sistemi çeşitleri.....	19
Şekil 3.5.	APS sistemi ana parçaları.....	20
Şekil 3.6.	Cer trafosunun doğrultuculara bağlantı şeması.....	21
Şekil 3.7.	İç ihtiyaç trafosunun güç beslemesi.....	22
Şekil 3.8.	Orta gerilim hücre örneği.....	23
Şekil 3.9.	Güç merkezi doğrultucu devresi örneği.....	24
Şekil 4.1.	M2 hattı istasyon şeması.....	25
Şekil 4.2.	M6 hattı istasyon şeması.....	26
Şekil 4.3.	M7 hattı istasyon şeması.....	25
Şekil 4.4.	T5 hattı istasyon şeması.....	27
Şekil 4.5.	Çalışmaya konu olan 3 istasyonlu hat.....	27
Şekil 5.1.	Levent indirici merkezi etap tek hat görüntüsü.....	33
Şekil 5.2.	Küçükköy indirici merkezi etap tek hat görüntüsü.....	34
Şekil 5.3.	TEİAŞ 100 MVA transformatör etiket bilgisi.....	34
Şekil 5.4.	3,3 MVA cer transformatörü etiket bilgisi.....	36
Şekil 5.5.	2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi.....	38
Şekil 5.6.	M2 hattı Gayrettepe istasyonu ETAP modeli.....	39
Şekil 5.7.	M2 hattı Levent istasyonu ETAP modeli.....	40
Şekil 5.8.	M2 hattı Levent istasyonu ETAP modeli.....	40
Şekil 5.9.	M2 hattı Sanayi istasyonu ETAP modeli.....	41
Şekil 5.10.	M2 hattı Seyrantepe istasyonu ETAP modeli.....	41
Şekil 5.11.	M2 hattı depo sahası ETAP modeli.....	42
Şekil 5.12.	M2 hattı atölye bölgesi ETAP modeli.....	43
Şekil 5.13.	M6 hattı Levent ve Nispetiye istasyonları ETAP modeli.....	43
Şekil 5.14.	M6 hattı Etiler ve Boğaziçi istasyonları ETAP modeli.....	44
Şekil 5.15.	M7 hattı Kazım Karabekir istasyonu ETAP modeli.....	44
Şekil 5.16.	M7 hattı Veysel Karani istasyonu ETAP modeli.....	45
Şekil 5.17.	M7 hattı Çırçır istasyonu ETAP modeli.....	46
Şekil 5.18.	M7 hattı Alibeyköy istasyonu ETAP modeli.....	46
Şekil 5.19.	M7 hattı Nurtepe istasyonu ETAP modeli.....	47
Şekil 5.20.	T5 hattı depo sahası ETAP modeli.....	47
Şekil 5.21.	Çalışmaya konu olan üç istasyonlu hattın etap görüntüsü.....	48
Şekil 5.22.	M2 hattı 185 mm ² xlpe kablo modeli.....	49

Şekil 5.23. Senaryo1 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması.....	50
Şekil 5.24. Senaryo1 durumunda istasyon1 ve istasyon2 yük akış analizi	55
Şekil 5.25. Senaryo1 durumunda istasyon3 yük akış analizi	56
Şekil 5.26. Senaryo1 durumunda Levent indirici merkez kısa devre analizi	58
Şekil 5.27. Senaryo1 durumunda istasyon3 kısa devre analizi	59
Şekil 5.28. 1-30 kV'luk xlpe izoleli kabloların izin verilen kısa devre akımları	60
Şekil 5.29. Senaryo2 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması.....	61
Şekil 5.30. Senaryo2 durumunda istasyon1 ve istasyon3 yük akış analizi	64
Şekil 5.31. Senaryo2 durumunda istasyon3 yük akış analizi	65
Şekil 5.32. Senaryo2 durumunda istasyon3 kısa devre analizi	67
Şekil 5.33. Senaryo3 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması.....	68
Şekil 5.34. Senaryo3 durumunda istasyon1 ve istasyon2 yük akış analizi	72
Şekil 5.35. Senaryo3 durumunda istasyon3 yük akış analizi	73
Şekil 5.36. Senaryo3 durumunda istasyon3 kısa devre analizi	75
Şekil B.1. Sistem tek hat şeması	87



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. EN50163'e göre demiryolu elektrifikasyonu gerilim seviyeleri.....	15
Tablo 3.2. İstanbul kent içi raylı sistem hatları elektrifikasyon bilgileri.....	23
Tablo 5.1. Orta gerilim kabloları düzeltme faktörleri	32
Tablo 5.2. TEİAŞ indirici merkez elektriksel parametreleri	33
Tablo 5.3. Siemens 3,3 MVA cer transformatörü etiket bilgisi	35
Tablo 5.4. Alstom 3,3 MVA cer transformatörü etiket bilgisi	36
Tablo 5.5. France transfo 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi	37
Tablo 5.6. Eltaş 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi	37
Tablo 5.7. Siemens 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi.....	38
Tablo 5.8. Siemens 1 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi.....	38
Tablo 5.9. Modelde kullanılan örnek kablolar	49
Tablo 5.10. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları.....	51
Tablo 5.11. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları	53
Tablo 5.12. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımı ile bara güç değerleri.....	55
Tablo 5.13. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları	56
Tablo 5.14. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değer- leri.....	59
Tablo 5.15. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları.....	61
Tablo 5.16. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları	63
Tablo 5.17. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımı ile bara güç değerleri.....	64
Tablo 5.18. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları	65
Tablo 5.19. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri.....	70
Tablo 5.20. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları.....	68
Tablo 5.21. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları	70
Tablo 5.22. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımı ile bara güç değerleri.....	71
Tablo 5.23. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları	73
Tablo 5.24. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm ² xlpe tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri.....	75

Tablo 5.25. Entegre hatta ait orta gerilim kablo metrajları	76
Tablo 5.26. Orta gerilim kabloları fiyat bilgileri	77
Tablo 5.27. Entegre hatta ait orta gerilim kablolarında güç kayıpları.....	77
Tablo A.1. İki sargılı transformatörlerin güç ve yüklenme değerleri.....	84
Tablo A.2. Üç sargılı transformatörlerin güç ve yüklenme değerleri.....	85



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Hz	: Frekans birimi, (Hertz)
W	: Güç birimi, (Watt)
A	: Akım birimi, (Amper)
V	: Gerilim birimi, (Volt)
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
Ω	: Direnç birimi, (Ohm)
kVA	: Kilovoltamper
MVA	: Megavoltamper
%uk	: Bağlı kısa devre gerilimi

Kısaltmalar

AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
OG	: Orta Gerilim
THD	: Toplam Harmonik Distorsiyonu
ETAP	: Electrical Power System Analysis & Operation Software
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
UIC	: International Union of Railways (Uluslararası Demiryolu Birliği)
Maglev	: Magnetic Levitation Trains
km	: kilometre
min	: Minimum
LRT	: Light Rail Transit
M2	: Yenikapı - Hacıosman Metro Hattı
M6	: Levent - Boğaziçi / Hisarüstü Metro Hattı
M7	: Kabataş - Mahmutbey Metro Hattı
T5	: Eminönü - Alibeyköy Tramvay Hattı
F1	: Kabataş Taksim Finüküler Hattı
F2	: Karaköy Beyoğlu Tünel Hattı
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
PAKS	: Peron Ayırıcı Kapı Sistemi
EKATY	: Elektrikli Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
YHT	: Yüksek Hızlı Tren

KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERE YENİ HAT ENTEGRASYONUNDA FARKLI KOŞULLARIN İŞLETME SÜREKLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde raylı sistem teknolojileri, artan nüfus ve şehirleşme oranıyla birlikte kent içi ulaşım için verimli ve hızlı yolcu taşımacılığında en uygun çözüm olduğu gerek yerel yönetimler gerekse kent popülasyonu tarafından bilinmektedir. Yolcu taşımacılığında hız, verimlilik, konfor gibi ana hedeflerle beraber sistemin güvenilirliği ve olası her koşulda işletme sürekliliğinin aksamaması büyük bir önem arz etmektedir. Uzun, karmaşık ve birbirleriyle entegre metro sistemlerinin her koşulda enerji altında olması ve süreklilik sağlaması gereklidir. Bu tez çalışmasında, İstanbul kent içi raylı sistem ulaşımında gelecekte yapılması öngörülen ve birden fazla metro hattı ile bütünleşecek örnek bir raylı sistem hattı ele alınmıştır. Modelleme ETAP yazılımı ile oluşturulup, mevcut ve yapımı tamamlanmak üzere olan diğer hatların gerçek verileri ışığında, entegrasyon sağlayacak şekilde, farklı işletme senaryoları oluşturularak planlanan hattın yük akış ve kısa devre analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilirken önerilen senaryoların analizi, işletmenin sürekliliği ve sistemin olası performansları incelenerek, teknik açıdan doğru ve maliyeti azaltacak öneriler bulgular ile sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: ETAP, Kısa Devre Analizi, Model, Raylı Sistemler, Yük Akış Analizi.

ANALYSIS OF THE EFFECT FOR DIFFERENT CONDITIONS ON OPERATIONAL CONTINUITY IN THE NEW LINE INTEGRATION FOR URBAN RAIL SYSTEMS

ABSTRACT

Today with increasing population and urbanization rate, it is known by both local governments and the urban population that the most suitable solution for efficient and fast passenger transportation is the rail system technologies. Along with the main goals such as speed, efficiency and comfort in passenger transportation, the reliability of the system and the continuity of the operational in every possible condition are of great importance. It is essential that long, complex and integrated metro systems be energized and sustained in all conditions. In this study, an exemplary rail system line that will be integrated with more than one metro line in the future in Istanbul will be analyzed. Modeling was created with ETAP software, and in the light of the actual data of other lines that are about to be completed, load flow and short circuit analysis of the planned line will be carried out by creating different operating scenarios to provide integration. While the obtained results are given comparatively, analysis of the proposed scenarios and continuity of the operation, possible performances of the system are examined and the technically correct suggestions that will reduce the cost are presented with the findings.

Keywords: ETAP, Short Circuit Analysis, Model, Rail Systems, Load Flow Analysis.

GİRİŞ

Dünya genelinde şehirleşmenin artması ile birlikte kent içi yolculuklarda hız, konfor ve süreklilik önemli bir hale gelmiştir. Büyükşehirlerde kent içi ulaşımında artık bir zorunluluk haline gelen raylı sistemlerin tercih oranı İstanbul'da yaklaşık %35 tir. Aynı şehirde karayolu taşımacılığının tercih oranı ise %61,9 gibi yüksek bir seviyededir [1]. Zaman içinde ülkelerin gelişme seviyeleriyle doğru orantılı olarak artan demiryolu yatırımları şehirlerdeki kent nüfusu için verimli, hızlı ve yüksek taşıma kapasiteli ulaşımında büyük öneme sahiptir. Günümüzde İstanbul genelinde 233,05 km uzunluğunda kent içi raylı sistem işletmesi bulunmaktadır. Sistem içerisinde yaklaşık 200 istasyon, 1200'ün üzerinde araç ile her gün 2,5 milyonun üzerinde yolcu güvenli bir şekilde taşınmaktadır [2]. Merkezi ve yerel yönetimler, yatırımlarının büyük çoğunluğunu raylı ulaşımına kaydırırken bir yandan da mevcut hatlara yenilerini eklemek istemektedir. İstanbul'da yapımı devam eden, inşaat halinde 221,70 km raylı sistem hattı bulunmaktadır. Tamamlanacak bu hatlarla beraber hedeflenen hat uzunluğu 500 km'ye yaklaşmaktadır [3].

Toplu ulaşımında raylı sistem yatırımları en yüksek bütçe harcanan kalemlerdendir. Bu sebeple, bu tür önemli altyapı proje ve hizmetlerine ilişkin fizibilite çalışmalarının doğru saptanması ve sonlu ekonomik sermayelerin en fazla fayda getirecek biçimde kullanılması çok önemlidir. Bunun sonucunda hatalı kararlarla yapılan herhangi bir ulaştırma projesinin bilahare yapılacak raylı sistem yatırımlarının yerini ve biçimini bağlayıcı etkileri olacaktır. Yerel yönetimler ulaşım altyapısı yapım kararı alırken, sistemin ekonomik olmasına da gereken önemi vermek zorundadır [4].

Raylı sistem yatırımları yapılırken, fizibilite aşamasından başlamak üzere sürecin tamamında dikkat edilmesi gereken bir hayli husus bulunmaktadır. Yerel ve merkezi yönetimlerin kaynaklarını verimli ve etkin kullanabilmesi için, süreç öncesinde çalışmaların eksiksiz ve teknik açıdan doğru olması oldukça önemlidir. Bu tür projelerde gelişmiş ve basmakalıp çalışmaların yapılması, fizibilite aşamasından başlayıp işletmenin uzun yıllar sonraki çalışmalarında bile ortaya çıkacak verimsizliği arttıracak, bu sebeple de sistem istenmeyen sonuçlar ve ek sorunlar yaratacaktır. Bu

durum da dolaylı yoldan ÷lke ekonomisini kötü etkileyecektir. Dolayısıyla demiryolu sistemlerinde enerji sürekliliğini temin ederek arızalardan etkilenmeyen verimli bir seyahat ortamı yaratmak için yedekleme yapmak zaruri bir durumdur. En verimli besleme modellerinin belirlenmesi ve enerji tüketiminin asgari seviyede tutulması için simülasyon yazılımları efektif olarak kullanılmalıdır.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında kent içi raylı sistem türlerinden başlayarak, İstanbul'da mevcut ve gelecekte yapımı öngörülen raylı sistem hatlarından bahsedilmiştir. Çalışmanın akabinde raylı ulaşımın elektrifikasyon yapısı anlatılarak, tez çalışmasına konu olan entegre hattın yapısı gösterilmiştir. Birden fazla hat ile bütünleşecek bu metro hattının modelleme işlemi ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Burada amaç, planlanan sistemi mevcut ve inşaatı devam eden raylı sistem hatlarıyla entegre ederek bir bütün içinde farklı işletme senaryoları oluşturup hattın yük akış ve kısa devre analizlerini gerçekleştirmektir. Elde edilecek sonuçlardan hareketle senaryoların analizi, sistemin performans incelemesi ve işletmenin sürekliliği bulgular halinde ortaya çıkarılmıştır. Bu bilgiler ışığında yatırım aşamasında sunulabilecek teknik açıdan doğru ve maliyeti azaltacak öneriler literatüre sunulmuştur.

1.2. Literatür Taraması

Literatürde ETAP yazılımı kullanılarak yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu yazılım kullanılarak üretim, dağıtım ve iletimi ilgilendiren her konuda olmak üzere elektriğin her alanında modelleme ve analiz yapmak mümkündür. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalardan birinde 22 kV gerilim seviyesine sahip bir dağıtım sisteminin yük akış analizi yapıp gerekli iyileştirmeler ETAP ile modellenmiştir [5]. Bir başka çalışmada 132 kV gerilim seviyesine sahip bir dağıtım merkezinin modellemesi yapılarak, güç akış analizi sonucunda gerilim düşümü olan kısımların iyileştirilmesi yapılarak, revizyonu gerçekleştirilmiştir [6]. İran Tahran metrosu üzerinde yapılan bir çalışmada ise metro hatlarında ki yük profillerini geliştirerek, sistem/ekipman güç kayıplarını en aza indirgeyip dağıtım elemanlarının optimum çözümle ETAP ile yerleri belirlenmiştir [7]. Amerika Arkansas Üniversitesi'nde yapılan bir tez çalışmasında 138/69 kV trafo merkezinin yük akış analizleri farklı senaryolar kullanarak ETAP ile incelenmiştir. Sistem sonuçları çeşitli iyileştirmeler için kullanılmış olup, sistemde var olmayan şönt

kapasitörlerin eklenmesi, endüktif elemanlardan kaynaklanan kayıpları önlemede yardımcı olduğu ve şebekenin gerilim profilini geliştirdiği saptanmıştır [8]. Başka bir makale de Hong Kong toplu taşıma sisteminin farklı zamanlarda açılan fazları ele alınarak güç kaynağı sisteminin iyileştirilmesi irdelenmiştir. Tren sefer sıklığı 90 saniye seçilerek hat geriliminin en kötü senaryoda dahi 1100 V' un altına düşmemesi sağlanmış, tasarım buna göre şekillenmiştir [9]. Bir başka çalışma da raylı sistem hattı özelinde THD değerini azaltmak için çok darbeli doğrultucuların farklı faz kaydırma transformatörleri ile kullanımı konusunda çalışma yapıp, ETAP yardımı ile tasarlanan doğrultucularda darbe sayısı arttırıldıkça THD değerinin azaldığı gösterilmiştir [10]. Hindistan Satana bölgesinde ki 220 kV' luk trafo merkezinden toplanan anlık fider akımları, hat gerilimleri, aktif ve reaktif güç değerleri ETAP ile oluşturulan şebeke modelinin analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldıktan sonra sonuçlar arasında ki farkın bara gerilimlerinde %1' den, tüm yük akış sonucunda ise %2'den küçük olduğu görülmüştür [11]. Kent içi raylı sistemlerde güç dağıtım sisteminin güvenilirliğini arttırmak için, tasarım sırasında yük akış analizi yapılması önemlidir. Tebriz bölgesinde ki bir başka çalışmada raylı sistem hattını ele alan makalede cer sistemini besleyen fider bağlantılarının arıza analizi gerçekleştirilmiştir [12]. İstanbul'da bir diğer çalışmada M3 metro hattının OG güç akış simülasyonu gerçekleştirilerek besleme alternatiflerine göre elektriksel parametreleri incelenerek en uygun besleme senaryosunun ortaya çıkarılması için çalışmalar yapılmıştır [13]. Raylı sistem çalışmalarında rejanaratif frenleme enerjisinin verimliliği hakkında da birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan birinde verimliliğin incelenerek rejanaratif enerjinin sefer sıklığı ve tren ağırlığı ile olan bağlantısı incelemiştir [14]. Frenleme enerjisinin geri kazanımı üzerine bir diğer araştırma da İstanbul M4 hattı özelinde yapılan, etkilerin ve depolanmasının anlatıldığı tez çalışmasıdır [15]. ETAP yazılımı kullanılarak raylı sistem çalışma alanında harmonik analizi üzerine yapılan bir çalışmada da yazılım üzerinden 110 kV OG baraların modellenmesi yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonuçlarının güç kalitesi ve harmonik problemlerinin üzerinde belirgin bir iyileştirmeye sebep olacağı öngörülmüştür [16].

2. RAYLI SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ

Bu bölümde raylı sistemlerin tarihçesinden başlayarak kent içinde kullanılan raylı sistem çeşitleri, İstanbul'da yapımı devam eden ve proje aşamasındaki raylı sistem hatlarından bahsedilmiştir.

2.1. Raylı Sistem Tarihçesi

Dünya genelinde 17. yüzyıldan itibaren raylı sistem araçları ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu dönemlerde araçları hareket ettirmek için gerekli enerji, insan ve hayvan gücünden açığa çıkmaktaydı. İlk zamanlar İngiltere'de maden ocaklarında işlenen kömürleri çıkarmak amacıyla kullanılan bu sistemler belirli bir zaman sonra nüfus taşımacılığında da kullanılmaya başlamıştır. Sanayi Devrimi ile birlikte endüstrinin ilerlemesiyle demiryolu sisteminde buhar ve kömür kullanılmasına başlanmıştır. Bu alanda kullanılan ilk buharlı lokomotif bir İngiliz mühendis tarafından geliştirilmiştir [17]. Yıllar ilerledikçe ve elektriğin keşfi ile buhar ve kömür ile çalışan raylı sistem araçları yerlerini gücünü elektrik enerjisinden alan araçlara bırakmışlardır.

Ülkemizde bu durum açısından yakın geçmiş incelendiğinde Beyoğlu Tüneli karşımıza çıkmaktadır. Bazı kaynaklar açısından dünyada üçüncü sırada ve Avrupa'da ise ikinci en eski metro hattı olarak kabul görmektedir. Tünel 1910 yılında elektrikli araç sistemine geçmiş ve 1970 yılında revizyona uğramıştır. Taksim-Tünel nostaljik tramvay (T2) hattı ise 1990 yılında yeniden devreye alınmıştır [18].

2.2. Kent İçi Raylı Sistem Çeşitleri

Kent içi raylı sistem türleri arasında föniküler, tramvay, hafif raylı sistemler, hafif metro (LRT) sistemleri, metrolar, banliyö trenleri, monoray ve manyetik levitasyonlu sistemler bulunmaktadır.

2.2.1. Füniküler

Bu ulaşım aracı, dik yokuşlu semtleri iki vagon, kablo ve raylarla birbirine bağlamaktadır. Tünelin dar olması durumunda iki vagon bir çelik kablo ile ray üzerine konumlandırılır. Seyahatin ortasında vagonların birbirleriyle denk geldiği yerde raylar tekrar birleşmek suretiyle ikiye ayrılıp birleşir. Bu şekilde vagonlar çarpışmaz ve biri aşağı yöne inerken diğeri yukarı yöne çıkacaktır. Bu sistemin enerji kaynağı büyük bir motordur ve bu motor vagonlara bağlı halatı hareket ettirir [18]. Şekil 2.1’de yan yana gelmiş iki vagon görülmektedir.



Şekil 2.1. Karaköy-Beyoğlu tarihi tünelleri araçları

2.2.2. Tramvay

Kendi yol kullanım haklarına sahip metro ve hafif raylı sistemler A ve B sınıfı olarak ayrılırken, C sınıfı yol kullanım hakkına sahip tramvaylar, caddelere özel araçlar ve otobüsler ile aynı trafiği kullandıklarından karma trafikteki toplu ulaşım araçları olarak hizmet vermektedirler [19]. Araç elektrik enerjisini pantograftan iletilen temas hattı tarafından veya zeminden alır ve besleme gerilimi 600 V – 750 V DC civarındadır. Şekil 2.2’de Kabataş - Bağcılar (T1) tramvay hattına ait bir tramvay aracı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kabataş-Bağcılar tramvayı

2.2.3. Hafif raylı sistem

Ray açıklığı genellikle 1435 mm olan 750 V DC ve ya 1500 V DC ger gücü ile 3. raydan veya katanerden enerji alan, bir sürücü tarafından sinyalizasyon sistemine uygun olarak kumanda edilen, her 600-1000 m mesafede özel istasyonlarda yolcu indirip bindiren, ortalama 60-80 km/s süratle kendine ait hatlarda işletilen raylı toplu taşıma sistemidir [20]. Şekil 2.3'te İstanbul T4 hattına ait hafif raylı sistem hattından bir kesit bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Topkapı-Mescid-i Selam tramvayı

2.2.4. Hafif metro (LRT)

Hafif metro yolcu kapasitesinin yüksek olduğu ana ulaşım güzergahlarında tercih edilmekle birlikte, büyük şehirlerde metro gibi daha fazla yolcu kapasiteli sistemlerle

entegre olarak da çalışabilen bir sistemdir. LRT hatları da metrolar gibi tam kapalı güvenli sistemlerdir. Hafif raylı sistemlerin yeraltı ve yerüstüne inşası yapılabilir. Araçların hızları yüksektir. Güç temini katener sistemi, rijit katener sistem veya 3. ray besleme sistemleri ile sağlanmaktadır. Tek yönde saatte 35000-60000 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir [21]. Şekil 2.4'te İstanbul M1 hattına ait Yenikapı istasyonunda bir LRT aracı gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Yenikapı-Kirazlı hattı hafif metro aracı

2.2.5. Metro

Raylı sistemlerin vazgeçilmezi metrolar, kent içi toplu taşımada en fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip araçlardır. Büyük şehirlerde en fazla yolculuk ihtiyaçlarının tespit edildiği yerlerde metro sistemleri kullanılmaktadır. Metro sistemleri diğer sistemlerden tamamen ayrılmış sistemlerdir ve yeraltına inşa edilirler. Metro peronlarının uzunluğu 200 metreleri bulabilir ve metro araçlarının boyları da 180-200 metreye kadar çıkabilmektedir. Bu sistemler tek yöne saatte 60000-70000 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir [21].

Metrolarda güç temini katener sistemi, rijit katener sistem veya 3. ray sistemi şeklinde inşa edilen iletim çeşitlerinden sağlanmaktadır. Genel olarak 750 V DC, 1500 V DC ve 3000 V DC gerilim seviyeleri kullanılır [20]. Şekil 2.5'te İstanbul Üsküdar - Çekmeköy (M5) raylı sistem hattına ait sürücüsüz metro aracı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Üsküdar-Çekmeköy hattı metro aracı

2.2.6. Banliyö

Banliyö ulaşım sistemleri genellikle kent içinden uzak yerleşim merkezlerine yolcu taşımak için kullanılır. Metro sistemlerine göre daha fazla kapasitede yolcu taşıyan bu sistemlerde seyahat yerüstünde gerçekleştirilir. İstasyonlar yerleşim yerlerine ve yoğunluklarına göre belirlenir. Demiryollarına ait hatları kullanabilmesi bir avantajdır. Enerji temini katener iletim sisteminden genellikle 15-25 kV AC gerilim seviyesinden sağlanmaktadır [21]. Şekil 2.6’da İstanbul Marmaray banliyö hattı gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Gebze-Halkalı banliyö hattı aracı

2.2.7. Monoray

Monoray, yakın mesafede sefer gerçekleştiren üst yollu ve ya alt yollu denilen elektrikli toplu ulaşım sistemidir. Ray yolu, kapalı bir kutu şeklinde alttan asılı veya aracın kapatıp üzerine oturduğu, üstten giden olmak üzere iki türdür. Aracın yolu yüksek çelik veya beton direklere asılı şekilde inşa edilmiştir. Hızı 80 km/s dolayında sınırlanan bu sistem tek kabinle çalıştırılabildiği gibi dizi oluşturularak da çalıştırılabilir [21]. Şekil 2.7’de Japonya Okinawa kentinde kullanılan monoray bir sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Japonya Okinawa kentinde kullanılan monoray sistem aracı

2.2.8. Maglev

Bu sistemde yol boyunca sıralanmış olan bobinlere alternatif akım verilerek ve manyetik alan oluşturularak aracın mıknatıslarının kilitlenmesi sağlanır. Böylece aracın mıknatısları ile yol boyunca bulunan bobinler, aracın doğrusal hareketini sağlayan, tek bir senkron motor oluşturur. Araç hızı bobinlere verilen akım frekansının değiştirilmesi ile denetlenir. Aracın mıknatıslarıyla bobinlerin etkileşimi sonucu oluşan manyetik yastık, aracı yaklaşık 15 cm havaya kaldırır ve araç hava aracı gibi yol alır. Bu sistemde araçlar 100 km/saat 'in üzerindeki hızlarda manyetik yastık, daha

düşük hızlarda ise tekerlek üzerinde gitmektedirler. Şekil 2.8’de Çin’in başkenti Shanghai’de bulunan maglev sistem aracı gösterilmiştir [21].



Şekil 2.8. Shanghai’de maglev aracı

2.3. İstanbul’da Kent İçi Raylı Sistemler

Raylı sistemlerin tercih oranı İstanbul’da yaklaşık %35 tir. Aynı şehirde karayolu taşımacılığının tercih oranı ise %61,9 gibi yüksek bir orandadır [1]. Günümüzde İstanbul genelinde 233,05 km uzunluğunda kent içi raylı sistem işletmesi bulunmaktadır. Sistem içerisinde yaklaşık 200 istasyon, 1200’ün üzerinde araç ile her gün 2,5 milyonun üzerinde yolcu güvenli bir şekilde taşınmaktadır [2]. Merkezi ve yerel yönetimler, yatırımlarının büyük çoğunluğunu raylı ulaşımaya kaydırırken bir yandan da mevcut hatlarına yenilerini eklemek istemektedir. İstanbul’da yapımı devam eden inşaat halinde 221,70 km raylı sistem hattı bulunmaktadır. Tamamlanacak bu hatlarla beraber hedeflenen hat uzunluğu 500 km’ye yaklaşmaktadır [3].

2.3.1. İşletme altındaki hatlar

İstanbul geneli mevcut raylı sistem hatları aşağıdaki gibidir:

- ❖ 26,8 km Yenikapı - Atatürk Havalimanı/Kirazlı Metro Hattı (M1)
- ❖ 23,5 km Yenikapı - Hacıosman Metro Hattı (M2)
- ❖ 15,9 km Kirazlı - Olimpiyat - Başakşehir Metro Hattı (M3)
- ❖ 26,5 km Kadıköy - Kaynarca / Tavşantepe Metro Hattı (M4)

- ❖ 20 km Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metro Hattı (M5)
- ❖ 3,3 km Levent - Boğaziçi / Hisarüstü Metro Hattı (M6)
- ❖ 19,3 km Bağcılar - Kabataş Tramvay Hattı (T1)
- ❖ 1,6 km Taksim - Tünel Nostaljik Tramvay Hattı (T2)
- ❖ 2,6 km Kadıköy - Moda Tramvay Hattı (T3)
- ❖ 15,3 km Topkapı - Habipler Tramvay Hattı (T4)
- ❖ 600 m Taksim - Kabataş Füniküler Hattı (F1)
- ❖ 600 m Karaköy - Beyoğlu Tarihi Tünel (F2)
- ❖ 750 m Seyrantepe - Vadi İstanbul Füniküler Hattı (F3)
- ❖ 76,6 km Halkalı - Gebze Marmaray Banliyö Hattı

2.3.2. Yapımı devam eden hatlar

İstanbul geneli inşası devam eden hatlar aşağıdaki gibidir [22]:

- ❖ 14,3 km Dudullu Bostancı Metro Hattı (M8)
- ❖ 13 km Ümraniye - Ataşehir - Göztepe Metro Hattı (M12)
- ❖ 12 km Pendik-Kaynarca - Tuzla Metro Hattı (M4)
- ❖ 6,9 km Sarıgazi - Taşdelen - Yenidoğan Metro Hattı (M13)
- ❖ 10,9 km Çekmeköy - Sultanbeyli Metro Hattı (M5)
- ❖ 24,5 km Kabataş - Mahmutbey Metro Hattı (M7)
- ❖ 13 km Ataköy - İkitelli Metro Hattı (M9)
- ❖ 6,2 km Başakşehir - Kayaşehir Metro Hattı (M3)
- ❖ 18,5 km Mahmutbey - Bahçeşehir - Esenyurt Metro Hattı (M7)
- ❖ 9,7 km Kirazlı Halkalı Metro Hattı (M1)
- ❖ 10,1 km Eminönü - Alibeyköy Tramvay Hattı (T5)
- ❖ 800 m Rumeli - Hisarüstü Aşıyan Füniküler Hattı (F4)
- ❖ 8,9 km Bakırköy - Bağcılar Metro Hattı (M3)
- ❖ 7,4 km Sabiha Gökçen - Kaynarca Metro Hattı (M10)
- ❖ 37,5 km Gayrettepe - 3.Havalimanı Metro Hattı (M11)
- ❖ 27 km Halkalı - 3.Havalimanı Metro Hattı (M11)

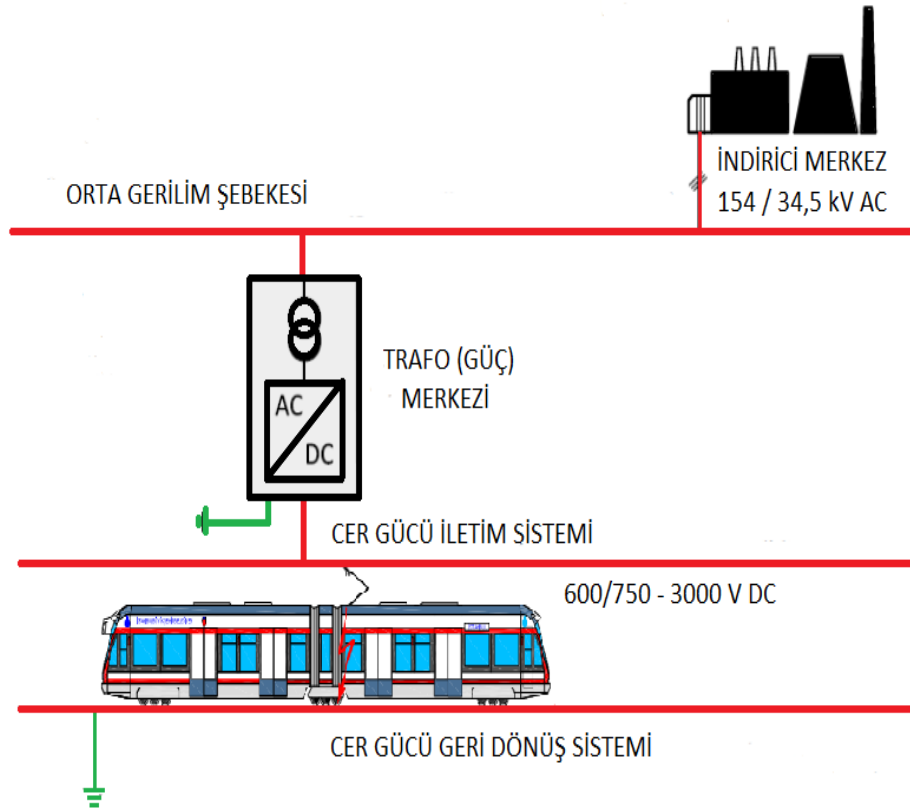
2.3.3. Proje aşamasındaki hatlar

İstanbul geneli proje aşamasındaki hatlar aşağıdaki gibidir [22]:

- ❖ 3,5 km 4 istasyon Altunizade - Çamlıca Metro Hattı
- ❖ 23,1 km 17 istasyon Vezneciler - Sultangazi - Fenertepe Metro Hattı
- ❖ 5 km 3 istasyon Sabiha Gökçen - Kurtköy Kavşağı Metro Hattı
- ❖ 6,9 km 3 istasyon Seyrantepe - Alibeyköy Metro Hattı
- ❖ 3,2 km 5 istasyon Eyüp - Bayrampaşa Metro Hattı
- ❖ 2,2 km 5 istasyon Esenler Nostaljik Hattı
- ❖ 4 km 3 istasyon Kayaşehir - Fenertepe Metro Hattı
- ❖ 5 km 3 istasyon Hastane - İMES Metro Hattı
- ❖ 16,3 km 7 istasyon Altunizade - Veysel Karani Metro Hattı
- ❖ 20 km 14 istasyon Kazlıçeşme - Söğütluçeşme Metro Hattı (1. aşama)
- ❖ 15,6 km 11 istasyon Sefaköy - Başakşehir Metro Hattı
- ❖ 12,6 km 10 istasyon İstinye – İTÜ - Kağıthane Metro Hattı
- ❖ 2,7 km 1 istasyon Hacıosman - Çayırbaşı Metro Hattı
- ❖ 15 km 4 istasyon Veysel Karani - Sabiha Gökçen Metro Hattı

3. KENT İÇİ RAYLI ULAŞIMDA ELEKTRİFİKASYON

Kent içi elektrikli raylı toplu ulaşım sistemlerinde TEİAŞ indirici merkezlerinden alınan enerji, tesis edilmiş transformatör merkezlerine gelerek AC ve gerekli olduğu durumlarda doğrultucular vasıtasıyla DC gerilime çevrilir. Dönüştürülen bu gerilim kataner çeşitleri ve 3. ray gibi iletim sistemi çeşitleriyle raylı sistem araçlarına aktarılmaktadır. Şehirlerarası veya banliyö gibi ulaşım sistemlerinde AC gerilim gerekli olan seviyeye indirgenerek tren hareketi enerjisi temini sağlanır. Şekil 3.1’de raylı sistem enerji temini temsili diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Raylı sistem tipik enerji besleme diyagramı

Dünya genelinde demiryolu besleme gerilim seviyeleri belirlenmiş değerler arasında çalışmakta olup ilgili değerler EN 50163 standardında tanımlanmıştır. Bu değerlerin gösterimi Tablo 3.1’de yapılmıştır [23].

Tablo 3.1. EN50163'e göre demiryolu elektrifikasyonu gerilim seviyeleri

	Un	Umin2	Umin1	Umax1	Umax2	Umax3
DC 600 V	600	-	400	720	770	1015
DC 750 V	750	-	500	900	950	1269
DC 1,5 kV	1500	-	1000	1800	1950	2538
DC 3,0 kV	3000	-	2000	3600	3900	5075
AC 15 kV 16,7 Hz	15000	11000	12000	17250	18000	24311
AC 25 kV 50 Hz	25000	17500	19000	27500	29000	38746

Un: Nominal gerilim

Umin1: En düşük kalıcı gerilim

Umax1: En yüksek kalıcı gerilim

Umin2: En düşük geçici gerilim, maksimum 10 dakika

Umax2: En düşük geçici gerilim, maksimum 5 dakika

Umax3: Aşırı gerilim, 20ms'den uzun süreli

İstanbul'un kent içi raylı sistem hatlarının elektrifikasyon sistemleri ile alakalı bilgiler Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. İstanbul kent içi raylı sistem hatları elektrifikasyon bilgileri

Hat Kodu	Sistem Şekli	Gerilim Seviyesi	Cer Gücü İletim Sistemi
M1	Hafif Raylı (LRT)	750 V DC	Standart Kataner
M2	Metro	750 V DC	3. Ray
M3	Metro	1500 V DC	Rijit Kataner
M4	Metro	1500 V DC	Rijit Kataner
M5	Metro	1500 V DC	Rijit Kataner
M6	Metro	750 V DC	3. Ray
M7	Metro	1500 V DC	Rijit Kataner
M8	Metro	1500 V DC	Rijit Kataner
Marmaray	Banliyö	25kV AC, 50Hz	Açık Hat: Standart Tünel: Rijit Kataner

Tablo 3.2. (Devam) İstanbul kent içi raylı sistem hatları elektrifikasyon bilgileri

T1	Tramvay	750 V DC	Standart Kataner
T3	Tramvay	600 V DC	Standart Kataner
T4	Tramvay	750 V DC	Standart Kataner
T5	Tramvay	750 V DC	APS

Demiryollarında alternatif akımlı sistemler, genellikle şehirlerarası ana hat yolcu taşımacılığında kullanılırken, genel anlamda dünyadaki bütün kent içi raylı toplu ulaşım sistemlerinin büyük çoğunluğu doğru akım sistemleriyle beslenir. Raylı toplu taşıma sistemlerinde tercih edilen gerilim seviyesi 3000 V DC' ye kadar çıkmaktadır. Bazı ülkeler, 1500 ve 3000 V DC sistemleri ana hat yük ve insan taşımacılığı uygulamalarında kullanılabilmektedir. Normalde, 1990'lı yılların sonlarına kadar tüm dünya genelinde ki ana hat hatlarının yarıya yakını DC besleme sistemleriyle besleniyordu. Fakat bu durum zamanla alternatif akımlı sisteminin üstün gelen tarafları sayesinde alternatif akımlı besleme sisteminden yana değişmiştir. Kent içi toplu raylı ulaşım sistemlerinde son zamanlara kadar 750 V DC sistemi kullanılmış olsa da günümüzde artan yolcu popülasyonu nedeniyle tren konfigürasyonlarında motorlu araçların sayısının artırılması, yeni yapılan hatların birçoğunda 1500 V DC gerilim seviyesi seçilmesine olanak sağlamıştır [24]. Bu konuyla ilgili yapılan bir çalışmada kent içi raylı sistem hatlarından olan metro sistemlerinde 750 V DC gerilim kullanımı yerine 1500 V DC gerilim kullanımı cer gücünün maliyeti açısından %10 gibi bir tasarruf sağlamaktadır. Bu gibi çalışmalardan hareketle kent içi raylı sistem metro hatları yeni yatırımlarında 1500 V DC seçilmektedir [25].

3.1. Cer Gücü Enerji İletim Sistemleri

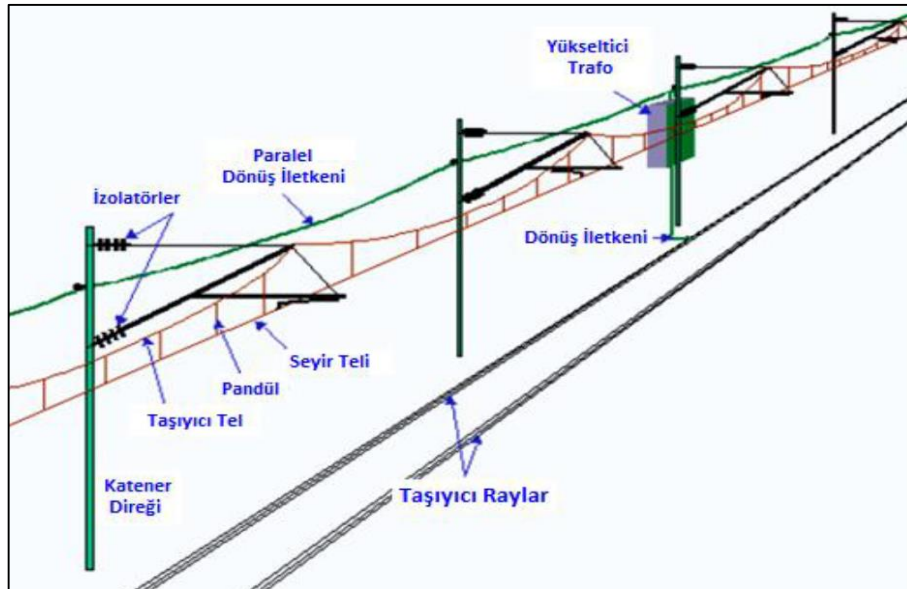
Elektrikli raylı sistem araçlarının hareketi için gerekli cer gücü enerjisi temini hat üzerindeki birçok noktadan iletkenler vasıtasıyla araçlara aktarılmaktadır. Güç merkezlerinden alınan bu enerjinin trene aktarılmasında birden fazla farklı yöntem mevcuttur. Bu yöntemler genelde havadan veya yerden enerjinin alındığı iki başlık altında incelenir. Zeminde bulunan sistemlerde iki adet rayın bitişiğinde 3. ray olarak adlandırılan bir başka ray mevcuttur ve enerjinin kaynağı bu raydır. Havai hatlarda, enerji havada bulunan iletkenlerden pantografa gelerek buradan da trene aktarılır.

Havai hatlar konvansiyonel katener ve rijit katener olmak üzere ikiye ayrılır. Rijit katener ve 3. ray sistemi kent içi ulaşımda ve metro hatlarında DC sistem olarak, konvansiyonel katener sistemi ise yine kent içi ulaşımda ve şehirlerarası tren işletmeciliğinde kullanılmaktadır. Şehirlerarası ulaşımda sadece AC konvansiyonel katener sistemi kullanılmakla birlikte tünellerde ve gabarinin kurtarmadığı kısa bölgelerde rijit katener ile geçiş yapılarak çözüm üretilebilir. Bu sisteme örnek olarak ülkemizde Marmaray Banliyö hattında Ayrılıkçeşmesi - Kazlıçeşme arası tünel bölgesinde rijit katener, yüzeysel hatlarda ise konvansiyonel katener kullanılmaktadır. Sistemdeki enerji AC olup 25 kV 50 Hz'dir [26].

3.1.1. Konvansiyonel kataner sistemi

Havai hat katener sistemlerinden biri olan bu sistemde enerji katener direkleri ve ekipmanları ile taşıyıp hat boyunca uzanan kontak iletkeni üzerinden aktarılır. Kent içi ulaşımda tramvay, banliyö ve kent dışı ulaşımda da yüksek hızlı tren, bölgesel trenlerde kullanılmaktadır.

Konvansiyonel katener sistemi, kontak teli, katener direği, taşıyıcı tel, pandül, Y halatı, konsol-hoban donanımı, antibalansan, rapel, otomatik gergi cihazı ve topraklama teli gibi bileşenlerden oluşur [27]. Şekil 3.2'de standart havai kataner sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Konvansiyonel kataner sistemi [28]

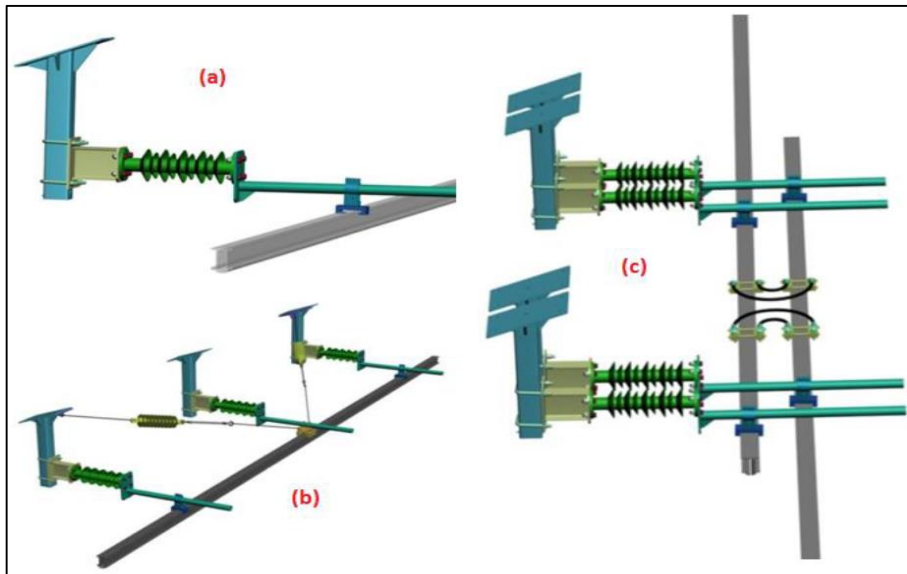
Konvansiyonel katener sistemleri sabit gergili veya otomatik gergili olarak tasarlanabilir. Sabit gergili katener sistem araç hızının düşük olduğu tramvay hatlarında, garaj ve depo yollarında tercih edilir. Otomatik gergili sistemler ise metro hatları ve hafif raylı sistemler ile bölgesel trenler ve YHT hatlarında kullanılır [26].

3.1.2. Rijit katener sistemi

Rijit katener sistemi genellikle seyir hızının nispeten düşük, yolcu yoğunluğunun fazla olduğu DC gerilimle çalışan kısa metro hatlarında kullanılır. Bununla birlikte şehirlerarası ulaşımda yükseltinin az olup izolasyon mesafesinin az olduğu tünellerde kullanılır.

Alüminyum bara, barayı sabit tutan ve destekleyen konsol ve hoban sistemleri, alüminyum profil içinden geçirilerek pantograf ile teması sağlayan bakır iletkenli kontak seyir teli, sistemi enerji aralıklarına ayıran bölüm izolatörleri, genişlemelere karşı orta nokta donanımı ve alt donanımlardan oluşmaktadır [29].

Rijit katener sistemlerinde yatırım maliyeti fazla olmasına rağmen bakım hizmeti oldukça kolaydır. Bu sistemde parça adedi oldukça azdır. Konvansiyonel katenerde bulunan portör teli, pandül, Y halatı, otomatik gergi cihazı gibi donanımlar bu sistemde kullanılmaz [26]. Şekil 3.3'te rijit katenerin farklı bağlantı çeşitleri gösterilmiştir.

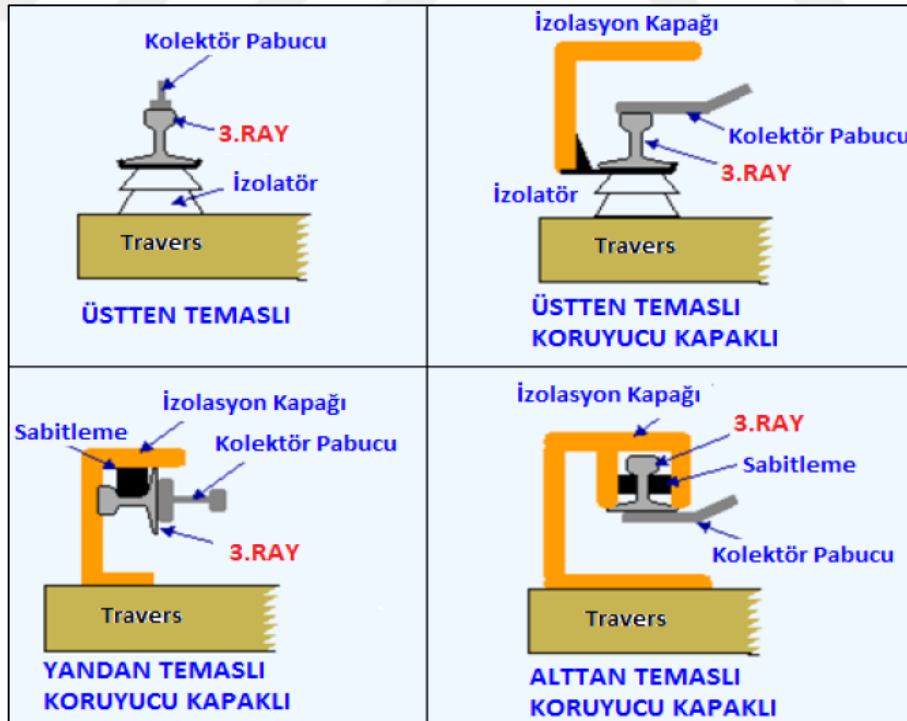


Şekil 3.3. (a) Normal askı (b) etap ortası askı (c) etap sonları [28]

3.1.3.3.Ray sistemi

Genellikle kent içi metro hatlarında kullanılan bu sistemde enerjinin kaynağı yer seviyesindeki raydır. Bu sistemde gereken enerji konvansiyonel kataner sistemde kullanılan pantografa benzeyen ray pabucu adı verilen bir ekipmandan alınır. Tren ihtiyaç duyduğu elektrik gücünü üçüncü raylardan tren bojisine yerleştirilmiş olan kolektör pabucu vasıtasıyla alır. Eskiden kullanılan sistemler genellikle üstten temaslıdır fakat günümüzde yandan ve alttan temaslı sistemler güvenlik açısından daha iyi bir performans sergilediği için daha fazla olduğu tercih edilir [28].

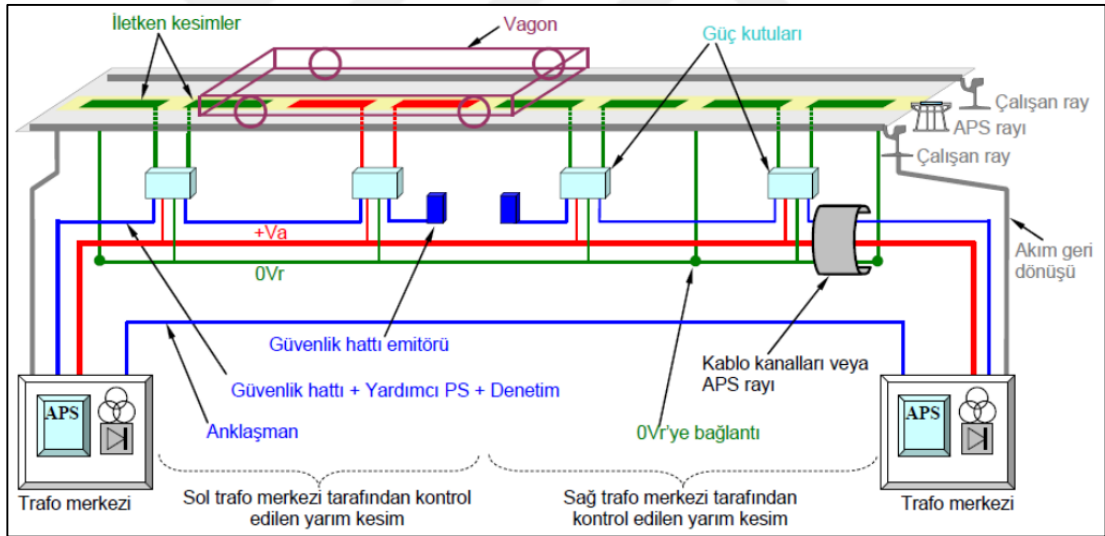
3. ray sistemi enerjinin zeminde olması sebebiyle hem personel hem de yolcular için güvenlik problemi yaratmaktadır. 3. ray zeminde serili olduğu için enerji varken herhangi bir bakım yapılması işletme anında mümkün olmayacaktır. Bakımlar işletme bittikten sonraki saatlerde yapılmalıdır. Ayrıca işletme zamanlarında yolcuların perondan düşmeleri gibi durumlarda ekstra güvenlik önlemleri (PAKS gibi) almak ekstra maliyetler yaratabilecektir. Şekil 3.4'te 3. ray sisteminin farklı tipleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 3. Ray sistemi çeşitleri [28]

3.1.4. APS sistemi

Bu sistem iki ray arasında zemin seviyesinde gömülü enerji besleme sistemi tesis edilen bir nevi üçüncü ray enerji besleme sistemine benzer sistemler olup, güvenlik ve işletimi bakımından farklılıkları vardır. Bu sistemlerde araç geçişi esnasında aracın altında kalan gömülü sistem enerjilenmekte ve bunun dışında kalan bölgeler yalıtkanlığını sürdürmektedir. Bu sistemi 2003 yılında başlayarak ilk geliştiren firma Alstom Transporte firmasıdır. Farklı ülkelerde işletmede olan zeminden beslemeli hatları bulunmaktadır. İkinci firma olarak da AnsaldoBreda ve Bombardier firmaları da kendi sistemlerini tasarlayıp geliştirmişlerdir. Söz konusu sistemde konvansiyonel sistemde olan teller ve direkler nedeniyle oluşan karmaşık görüntü ortadan kalkmıştır [30]. İstanbul'da yapımı 2020 yılı itibariyle devam eden Eminönü – Alibeyköy tramvay hattı bu sistem ile enerjilendirilmektedir. Şekil 3.5'te APS sistemin ana parçaları gösterilmiştir.



Şekil 3.5. APS sistemi ana parçaları

3.2. Güç Merkezleri

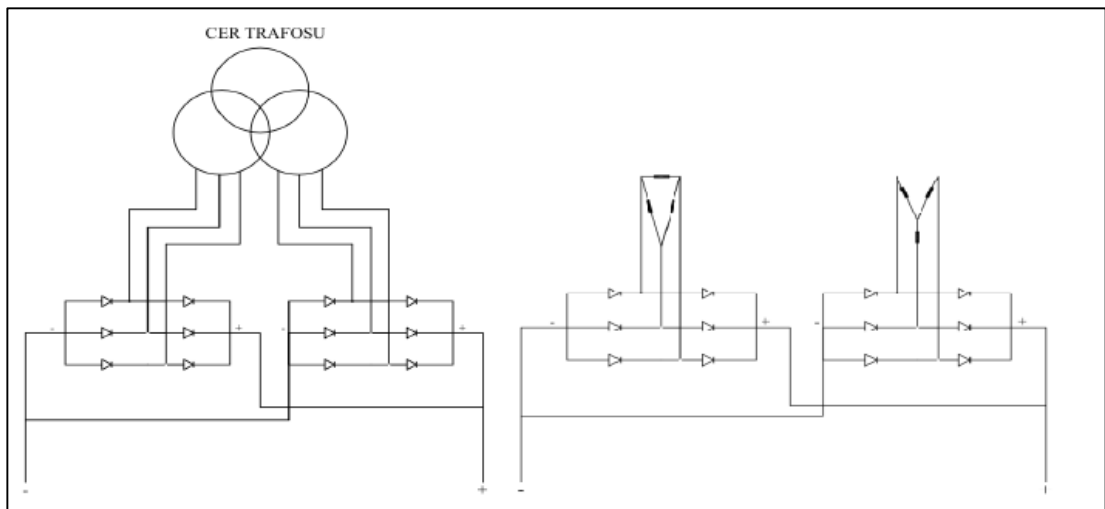
Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde istasyonların ve araçların enerjisi, hat boyunca var olan güç merkezleri tarafından temin edilmektedir. Güç merkezleri tramvaylarda istasyonlardan farklı bir konumda olabilmekteyken, metro sistemlerinde aynı istasyon içinde yer almaktadır. Güç (transformatör) merkezlerinin sayısı ve içeriği tasarım aşamasından başlamak üzere raylı sistem çeşidine ve hattın uzunluğuna göre

değişmektedir. Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde var olan bir güç merkezinde genellikle aşağıdaki ekipmanlar kullanılmaktadır [31];

- ❖ Cer transformatörü
- ❖ İç ihtiyaç transformatörü
- ❖ Doğrultucu
- ❖ DC şalt hücreleri
- ❖ Orta gerilim hücreleri
- ❖ Alçak gerilim dağıtım sistemi
- ❖ Kesintisiz güç kaynağı (UPS)
- ❖ 110 V DC besleme sistemi
- ❖ Uzaktan izleme ve kumanda sistemi

3.2.1. Cer transformatörleri

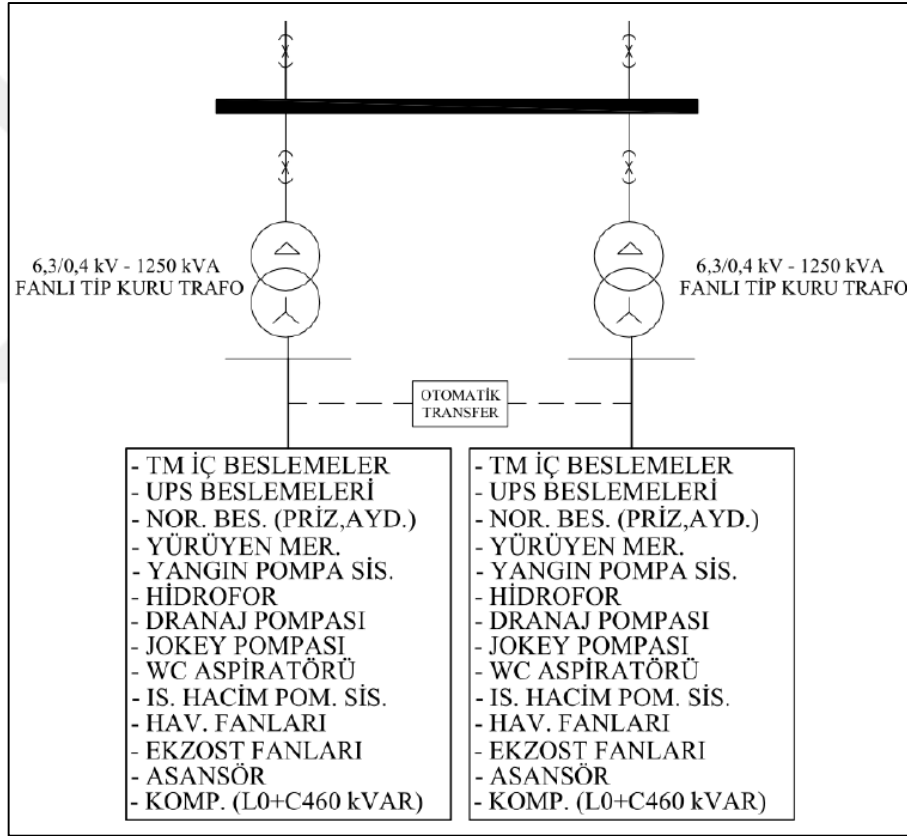
Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde trenin hareket edebilmesi için gerekli gücü sağlayan çift sekonderli olarak üretilen transformatörlerdir. Bu transformatörler orta gerilimden aldığı 34,5 kV gerilimi 750 V DC gerilim kullanılan hatlarda 580 V AC gerilim seviyesine, 1500 V DC gerilim kullanılan sistemlerde ise 1200 V AC gerilim seviyesine dönüştürürler. Cer transformatörlerinin çift sekonderli olarak tasarlanmasının nedeni birbirini yedekleyebilmesi ve harmoniklerin azaltılmasıdır. Şekil 3.6'da 3 fazlı 12 darbeli doğrultucunun Cer transformatörüne bağlantı şekli gösterilmiştir [20].



Şekil 3.6. Cer trafosunun doğrultuculara bağlantı şeması

3.2.2. İç ihtiyaç transformatörleri

Kent içi raylı ulaşımında kullanılan yardımcı servis transformatörleri diğer alçak gerilim dağıtım sistemlerinde kullanılan genellikle 34,5 / 0,4 kV gerilim seviyesinden dönüştürme oranına sahip transformatörlerdir. Raylı ulaşımında kuru tip transformatörler kullanılır. Bu transformatörlerin güç değerleri istasyonların büyüklüğüne, hattın tünellerinin olup olmadığına ve istasyonların yer altı ve yer üstü olma durumuna göre değişmektedir. Kullanılan iç ihtiyaç transformatörleri 100 kVA' dan başlayarak 2400 kVA' ya kadar uzanmaktadır. Şekil 3.7'de bir iç ihtiyaç transformatör şeması beslediği yükler ile birlikte gösterilmiştir.

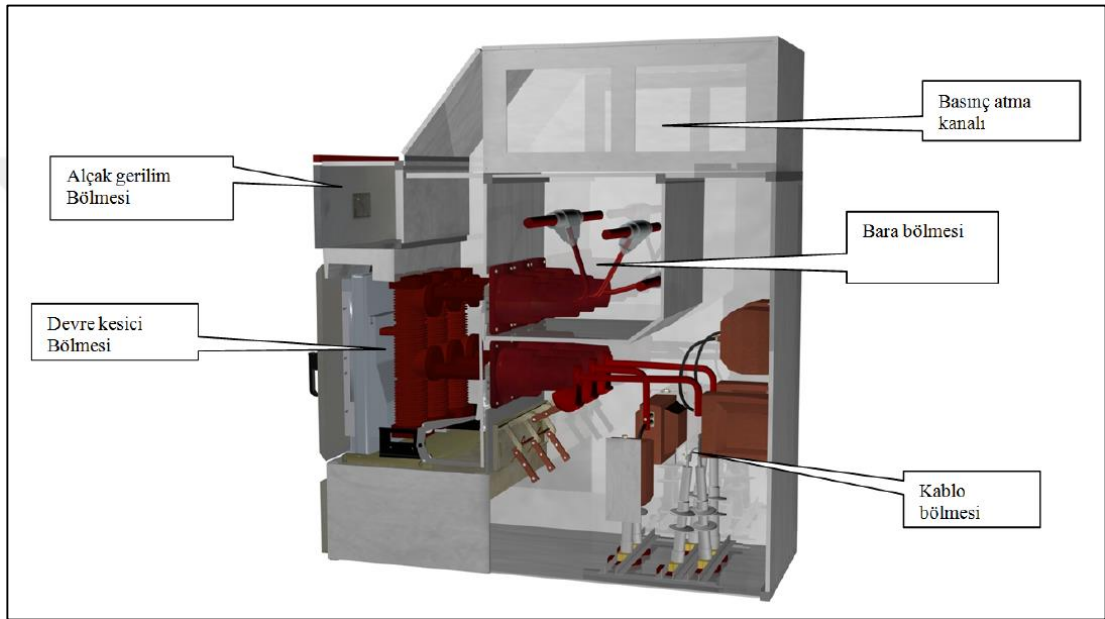


Şekil 3.7. İç ihtiyaç trafosunun güç beslemesi [20]

3.2.3. Orta gerilim şalt grubu

Kent içi raylı ulaşımında ana enerji TEİAŞ indirici merkezden orta gerilim kabloları yardımıyla alınarak güç merkezine iletilir. Kablolar ile gelen bu enerji ilk olarak TEİAŞ giriş hücresine girer, buradan sonra bara vasıtasıyla enerji tüm sistemin harcandığı gücün ölçüldüğü ölçü hücresine gelir. Sonrasında ring giriş çıkış hücreleri

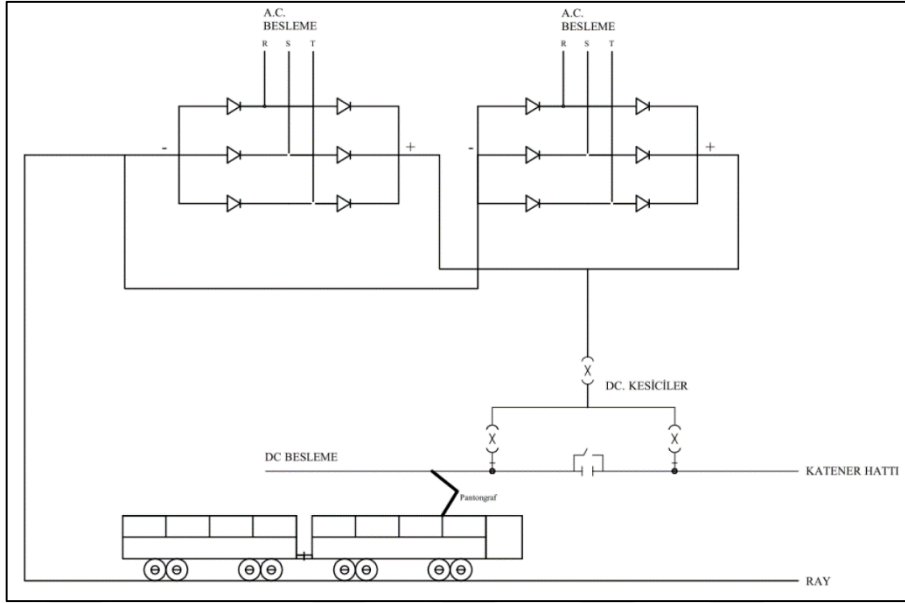
üzerinden bir önceki ve bir sonraki istasyonlara bağlantı sağlanır. İstasyonlara orta gerilim grubuna gelen enerji yine ring giriş hücresinden giriş yaparak cer trafosu besleme hücresine ve iç ihtiyaç trafosu besleme hücresine dağılır. Ring yapının devamını sağlamak amacıyla enerji ring çıkış hücresinden bir sonraki istasyona orta gerilim kabloları ile taşınır. Kent içi raylı sistemlerde herhangi bir güç merkezinin enerji kaybında tren hareketi ve diğer sistemlerin kesintiye uğramaması için ring sistem kullanılır. Şekil 3.8’de orta gerilim kesici hücresi bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Orta gerilim hücre örneği

3.2.4. DC şalt grubu

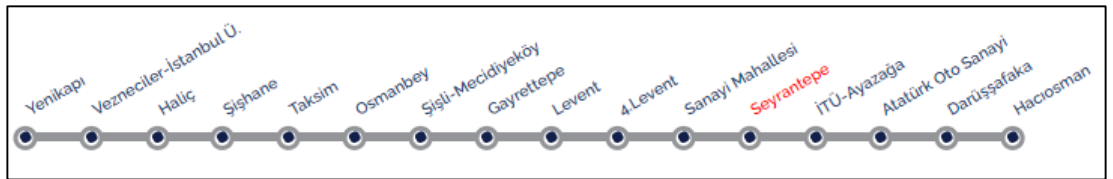
Kent içi raylı ulaşım sistemleri transformatör merkezlerinde iki adet cer transformatörü ve iki adet doğrultucuyla beraber dört adet DC hücre çıkış fiderinden oluşmaktadır. DC şalt grubu içerisinde doğrultucu hücre ve kesicileri, DC fider hücre ve kesicileri, ayırıcılı ve ya kesicili negatif geri dönüş hücrelerini barındırmaktadır. Raylı sistemlerde uzun yıllar önce 6 darbeli doğrultucular kullanılıyorken günümüzde 12 darbeli dönüştürücüler kullanılmaya başlanmıştır. DC doğrultucuların pozitif uçları birer DC ayırıcı üzerinden pozitif bara üzerinde toplanır. Bu pozitif bara 4 fider hattı kesicisi ile enerji iletim sistemini besler. Bu akımın geri dönüşü raylar üzerinden sağlanır. Redresörlerin negatif uçları bir barada toplanır, raylar geri dönüş kabloları üzerinden negatif baraya bağlanır [31]. Şekil 3.9’da bir doğrultucu devresi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Güç merkezi doğrultucu devresi örneği [20]

4. SİSTEM TANITIMI

Tez çalışmasına konu olan biri planlanan olmak üzere toplamda 4 metro ve 1 tramvay hattından geçmişi en eskiye dayanan Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattıdır. Bu hattın inşasına 1992 yılında başlanırken, ilk etap tamamlanarak 16 Eylül 2000 tarihinde Taksim ve Levent arasında yolcu taşımaya başlamıştır. Yaklaşık 9 sene sonra Taksim'den Şişhane'ye ve 4.Levent'ten Atatürk Oto Sanayi kısmına uzanan kısımları açılarak hat, kamuoyu hizmetine sunulmuştur. Hattın 2. etabının devamı niteliğinde ki Seyrantepe, Darüşşafaka ve Hacıosman gibi istasyonlarda 2010 ve 2011 yıllarında nüfusun hizmetine sunulmuştur. Sistemin önemli bir yükünü oluşturacak Yenikapı uzatması ise 2014 yılında açılarak, hattın Marmaray banliyö sistemi ile entegre olması sağlanmıştır. Yenikapı Hacıosman hattı 23,5 km uzunluğunda, 16 istasyon barındıran ve günde yaklaşık 500.000 yolcunun ulaşımına katkı sağlayan, 8'li araç dizilerinden oluşan İstanbul'un büyük bir metro hattıdır. Hattın; Yenikapı istasyonunda M1 metro hattı ve Marmaray banliyö hattına, Vezneciler istasyonunda T1 Bağcılar Kabataş tramvay hattına, Şişhane istasyonunda T2 Taksim nostaljik tramvayı ve F2 Karaköy Beyoğlu Tünel hattına, Taksim istasyonunda F1 Kabataş funikülerine, Şişli-Mecidiyeköy ve Gayrettepe istasyonlarında metrobüs hattına ve son olarak Levent istasyonunda M6 Metro hattına entegrasyonu bulunmaktadır. Şekil 4.1'de Yenikapı – Hacıosman (M2) Metro hattının istasyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.1. M2 hattı istasyon şeması

Çalışmaya konu olan bir diğer hat ise Levent – Boğaziçi/Hisarüstü (M6) metro hattıdır. Bu hat Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattından gelen yolcuları Boğaziçi Üniversitesi ve Hisarüstü alanına taşımaktadır. Zemine tek bir çift ray üzerine yapılan bu sistemde araçlar istasyon bölgelerinde ayrılmakta tünel boyunca ise yalnızca tek bir yöne gidebilmektedir. Hattın hizmete alınma tarihi 2015 yılı Nisan ayıdır. 3,3 km, 4

istasyon, 12 araçtan oluşan bu hat günlük ortalama 20000 yolcu taşımaktadır. Şekil 4.2’de Levent – Boğaziçi / Hisarüstü (M6) metro hattının istasyonları gösterilmiştir.



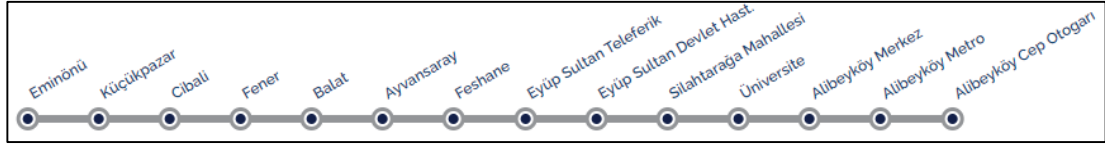
Şekil 4.2. M6 hattı istasyon şeması

Çalışmada var olan bir diğer hat, hali hazırda yapımı devam etmekte olan ve 2020 yılının son çeyreğinde ilk etabının hizmete açılacağı Kabataş – Mahmutbey (M7) metrosudur. M2 ve M3 metro hatlarının aksine İstanbul Avrupa Yakası’nı doğu batı ekseninde tamamlayacak bu hattın ilk etabı Mecidiyeköy Mahmutbey arasında 18 km ve 15 istasyon olarak hizmete açılacaktır. Hattın saatte tek yönde 86400 yolcu taşınması beklenmektedir. Hattın hizmete alınması ile birlikte Mecidiyeköy istasyonunda M2 Yenikapı – Hacıosman metro hattı ve metrobüs işletmesi ile, Alibeyköy istasyonunda T5 Eminönü-Alibeyköy tramvay hattı ile, Karadeniz Mahallesi istasyonunda T4 Topkapı-Mescidi Selam tramvay hattı ile, Mahmutbey istasyonunda M3 Kirazlı Olimpiyat - Başakşehir metro hattı ile entegrasyon sağlanacaktır [32]. Şekil 4.3’te Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattının istasyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. M7 hattı istasyon şeması

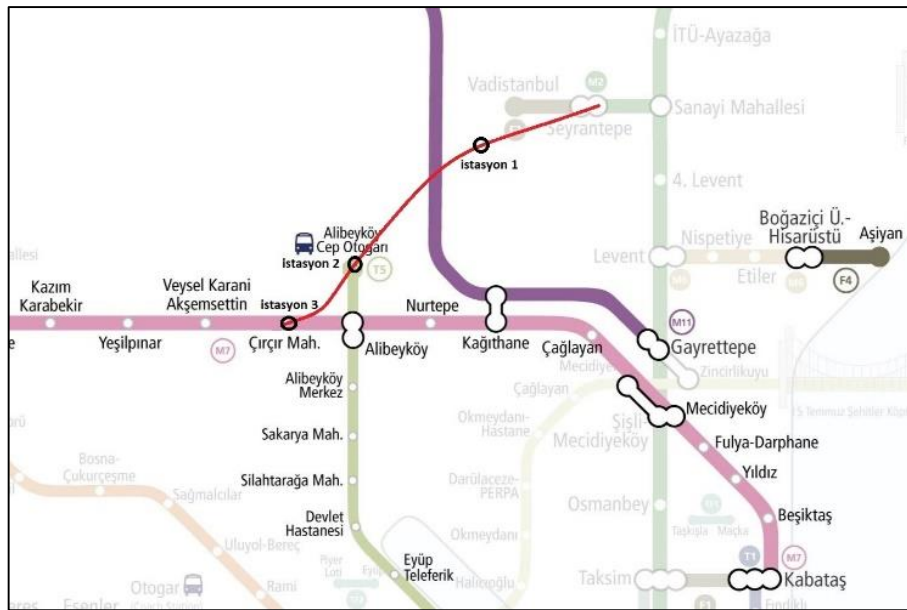
Planlanan hat ile entegre olması düşünülen bir diğer hat Kabataş–Mahmutbey (M7) metro hattı ile Alibeyköy istasyonunda entegre olması planlanan Eminönü – Alibeyköy (T5) Tramvay hattıdır. Bu hat Haliç sahil kesimini takip edip, Alibeyköy merkezinden geçerek Alibeyköy Cep Otogarında son bulacaktır. Sefer süresinin 35 dakika, hat uzunluğunun ise 10,1 km olacağı 14 istasyonlu bu hat, saatte tek yöne 25000 yolcu taşımayı planlamaktadır. Şekil 5.4’te Eminönü – Alibeyköy (T5) Tramvay hattının istasyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. T5 hattı istasyon şeması

4.1. Hat Tanıtımı

Çalışmada tasarlanan hat, İstanbul'da hâlihazırda işletilmekte olan Yenikapı - Hacıosman - Seyrantepe (M2) Metro hattının uzatması niteliğinde planlanan bir projedir. Bu sebeple sistem bütünlüğü ve tasarım açısından Yenikapı - Hacıosman - Seyrantepe (M2) metrosunun sistem parametreleri ve tasarım kriterleri esas alınmıştır. Mevcut Seyrantepe istasyonundan sonra 6,7 km civarı uzunluğunda olup Sarıyer, Kağıthane ve Eyüp ilçelerine hizmet etmesi planlanmaktadır. Söz konusu metro hattı, Sarıyer ilçesinde bulunan mevcut Seyrantepe istasyonundan başlayıp, Hamidiye Mahallesi, Güzeltepe Mahallesinden geçerek Eyüp ilçesinde yer alan yapımı devam eden Kabataş - Mahmutbey Metrosu (M7) Çırçır İstasyonu'nda sonlanmaktadır. Yapımı düşünülen hat, Çırçır İstasyonu'nda yapım aşamasındaki Kabataş - Mahmutbey Metrosu (M7) ile, Alibeyköy Cep Otogarı istasyonunda Eminönü - Alibeyköy tramvayı (T5) ile aktarma sağlayacaktır [22]. Şekil 4.5'te tasarlanan üç istasyonlu hattın diğer hatlar ile olan entegre durumu İstanbul raylı sistem gelecek vizyonu ağ haritasında gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çalışmaya konu olan 3 istasyonlu hat

4.2. Elektriksel Besleme Sistemi

Çalışmada planlanan metro hattı OG güç dağıtım sistemi, toplam iki noktadan alınan 34,5 kV gerilim seviyesindeki ana enerjinin, iç ihtiyaç ve cer gücü yüklerinin beslenmesi amacıyla, bütün sistem boyunca dağıtılmasını sağlamak üzere kurulacaktır. Ana enerji temininin entegre olunacak Yenikapı - Hacıosman (M2) ve Kabataş - Mahmutbey (M7) hatlarından sağlanması planlanmış olup, ilk aşamada TEİAŞ'tan enerji alımı öngörülmeyle analizler yapılacaktır. Eğer gerekli durum görülürse sistem ayrı bir TEİAŞ indirici merkezi noktasından enerji alımı yapılarak sistem yeniden tasarlanacak ve OG kısmı bağlantıları bu düzene uygun geliştirilecektir.

Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattı Seyrantepe istasyonu OG şalt donanımı kanalıyla gelen ana enerji İstasyon1 OG şalt donanımından sisteme giriş yaparken, Kabataş - Mahmutbey (M7) metro hattı Çırçır Mah. istasyonu OG şalt donanımı kanalıyla gelen ana enerji İstasyon3 OG şalt donanımından sisteme giriş yapacaktır. Söz konusu bağlantıların tünel yapılarına tesis edilmesi planlanmış ve çift fiderli olarak tasarlanmıştır.

Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattına enerji veren mevcut TEİAŞ merkezlerinden Seyrantepe istasyonu şalt donanımına enerji akışı yönünden en yakın merkez Levent trafo merkezidir. Kabataş - Mahmutbey (M7) metro hattına enerji veren mevcut TEİAŞ merkezlerinden Çırçır İstasyonu OG şalt donanımına enerji akışı yönünden en yakın merkez ise Küçükköy trafo merkezidir.

İlgili hatların enerji iletim yolları ve gerilim seviyeleri farklılık göstermektedir. Burada Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattı ve Levent – Boğaziçi / Hisarüstü (M6) metro hattı 750 V DC 3. ray iletim sistemi ile beslenirken, Kabataş - Mahmutbey (M7) Metro Hattı 1500 V DC rijit kataner sistem ile ve T5 tramvay hattı da 750 V DC APS sistemi ile beslenmektedir. Çalışmaya konu olan üç istasyonlu hat Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattının devamı niteliğinde, aynı araçlar kullanarak 750 V DC 3.ray iletim sistemi ile beslenecektir. Hali hazırda Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattında kullanılan Hyundai Rotem marka araca ait teknik veriler Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Hyundai Rotem araç bilgileri

Üretici Firma	Hyundai Rotem
Yolculu Çalışma Şekli	4 lü (MC-M-T-MC) veya 8 li
Serviste Sürüş Şekli	ATC kontrol (oto veya yarı oto) veya manuel
Ray Tipi	UIC54
Yolcu (m ² 'de 6 kişi)	MC: 229(50+179) M-T: 246(56+190) TOP: 950
Boş Ağırlık	MC: 35.400 kg, T: 29.300 kg, M: 34.200 kg TOP: 134.300 kg
Dolu Ağırlık (m ² 'de 6 kişi)	MC: 51.430 kg, M: 51.420 kg, T: 46.520 kg TOP: 200.800 kg
Araç Gücü	150X4=600 kW 4'lü=1800 kW
Güç/metre	20,86 kW/m
Dolu Güç/Ton	8,96 kW/ton
Besleme Voltajı	750 VDC
Motor Gücü	150 kW
Tahrik Sistemi	Hatta 3.ray, Atölyede Stinger
Sürücü Tipi	IGBT / AC Motor
Bogi Motorları Bağlantı Şekli	Paralel bağlı
Motor Tipi	Trifaze, sincap kafesli, AC motor
Motor Gerilimi	550 V
Maksimum Hız	80 km/h

Sistem kapsamında her bir istasyona çift OG enerji kaynağı/fideri temin edilecek şekilde tasarım yapılmış ve kaynak yedekliliği sağlanmıştır. Hat boyunca tesis edilecek olan çift OG kaynağı/fideri istasyonlara girdi-çıkı yapılarak OG ring sistemini teşkil edecektir. Besleme sisteminin çift fiderli olması, beslenme noktalarındaki arıza durumlarına göre işletmenin ilk ve ara dönemleri için yedekli çalışmayı da mümkün kılacak bir alt yapı sunmaktadır.

5. MODELLEME VE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, bu çalışma için yük akış analizleri ve kısa devre analizleri ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) yazılımı üzerinde gerçekleştirilecektir. Program sayesinde güç sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve korunması detaylı bir şekilde yapılabilir. Yazılım ile sadece trafo merkezlerinin tasarımı değil aynı zamanda elektriğin üretimi, iletimi ve dağıtımını kapsayan alanlarda da çalışmalar yapılabilir [31].

ETAP yazılımında, biri planlanan olmak üzere toplamda dört metro ve bir tramvay hattının (M2,M6,M7,T5), planlanan metro hattına elektriksel olarak bağlantısı olan istasyonlarının tümü modellenmiştir. Modelleme yapılırken Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattı, Levent - Boğaziçi Üniversitesi / Hisarüstü (M6) hattı ve Kabataş- Mahmutbey (M7) metro hattının elektriksel ekipmanları gerçek etiket değerleri ve kodlamaları (orta gerilim baraları ve kabloları, transformatörler) kullanılmıştır. Yapımı devam eden ve 2020 yılının sonunda açılması planlanan Eminönü - Alibeyköy (T5) tramvay hattının ise uygulama proje verileri dikkate alınmıştır. Yazılım içerisinde oluşturulan OG kesicilerin açık-kapalı konumları kullanılarak işletme senaryoları ETAP ile oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolarda transformatör ve kablo yüklenme oranları, OG baraların aktif - reaktif güç ve akım değerleri, OG bara ve kablolarda oluşacak olan maksimum kısa devre akımları ayrı ayrı irdelenmiştir. Elde edilen bu değerler dışında, mevcut hatlarda istasyonlar arası kullanılan XLPE izoleli orta gerilim kablo kesit değerinden daha düşük bir kesit değeri seçilerek (120 mm²) yük akış ve kısa devre analizleri tekrar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmanın literatürden ayrıştığı nokta sadece tek bir metro hattının değil, birbirleriyle entegre olan birden fazla raylı sistem hattının modelde bulunması ve sistemin bir bütün olarak ele alınmasıdır. İstanbul gibi 16 milyon nüfusa sahip büyük bir metropol de raylı sistem yatırımları arttıkça hatların birbirleriyle entegre olma durumları kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle yeni demiryolu yatırımlarında, entegre olacak hatlarda, güç ihtiyaçları, besleme noktaları, ekipman seçimleri farklılık gösterecektir. Çalışmada değinilen bir diğer nokta ise uygulamada geçmişten

günümüze sıra gelen ve herhangi bir teknik boyutlandırmaya dayanmayan orta gerilim kablo kesitlerinin belirlenmesi ve kısa devre analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu ekipmanın mevcut şartlarda büyük kesitlerde seçildiği ve yapılan analiz sonuçlarında aynı çeşit bir alt kesit kablonun kullanılması elektriksel açıdan sorun yaratmadığı aksine yatırım maliyetini düşürdüğü saptanmıştır.

Sistem analizi aşağıdaki kriterlere/kabullere göre yapılmıştır:

- ❖ Aynı anda yalnızca bir noktada arıza olacağı kabulü dikkate alınmıştır.
- ❖ TEİAŞ 154 / 34,5 kV indirici trafo merkezlerinden metro sistemine sağlanan gerilim seviyesinin 34,5 kV olduğu kabul edilmiştir.
- ❖ TEİAŞ 154 / 34,5 kV indirici trafo merkezlerindeki transformatörlerin yıldız noktasının 20 ohm direnç üzerinden topraklandığı kabul edilmiştir.
- ❖ Şebeke kısa devre güçlerinin hesaplanmasında, TEİAŞ 154 / 34,5 kV indirici transformatör merkezleri için yayınlanan, 2017 yılına ait, yaz puantı ve kış puantı 3 fazlı kısa devre akım değerleri dikkate alınmıştır. Yaz puantı ve kış puantı için hesaplanan değerlerden en büyük olanları analizlerde kullanılmıştır.
- ❖ Gerilim düşümü için Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği Madde 58-a)4) maddesine göre indirici transformatör merkezlerinin sekonderinden itibaren;
 - Orta gerilim normal veya arızasız işletme senaryolarında %7 sınırı
 - Orta gerilim arızalı işletme senaryolarından ise %10 sınırı baz alınmıştır.
- ❖ Cer gücü yüklenme değerleri için cer gücü simülasyon raporlarında verilen normal işletme RMS yükleri dikkate alınmıştır.
- ❖ İç ihtiyaç transformatörü yüklenme değerleri için alçak gerilim hesap raporu bulunan istasyonlarda hesap raporu normal işletme talep güçleri, hesap raporu bulunmayan mevcut istasyonlar için işletmeden gelen bilgiler ışığında tahmini talep güçleri dikkate alınmıştır.
- ❖ İç ihtiyaç yükleri için güç faktörü 0,95 olarak kabul edilmiştir.
- ❖ Orta gerilim kabloları için aşağıda belirtilen düzeltme faktörüne göre akım taşıma kapasitelerinde azalma olacağı dikkate alınmıştır. Orta gerilim kabloları düzeltme faktörleri Tablo 5.1' de gösterilmiştir.
- ❖ Harmonik etkiler göz önüne alınmamıştır.

Tablo 5.1. Orta gerilim kabloları düzeltme faktörleri

Kablo Kesiti (mm ²)	Döşeme Ortamı	İlgili Hat	Devre Sayısı	Döşeme Tipi	Sıcaklıktan Gelen Düzeltme Katsayısı	Döşemeden Gelen Düzeltme Katsayısı	Toplam Düzeltme Katsayısı
1x95	Tünelde	M2	1	Yonca	0,91*	0,89**	0,81
1x120	Tünelde	YeniHat	1	Yonca	0,91*	0,89**	0,81
1x120	Tünelde	M2	1	Yonca	0,91*	0,89**	0,81
1x150	Toprakta	M2	3	Düz	0,88**	0,77*****	0,68
1x150	Tünelde	M2	1	Yonca	0,91*	0,89***	0,81
1x185	Tünelde	M2-M6	1	Yonca	0,91*	0,89***	0,81
1x185	Tünelde	YeniHat	1	Yonca	0,91*	0,89***	0,81
1x185	Toprakta	T5	1	Düz	0,88**	1****	0,88
1x240	Toprakta	M7	2	Düz	0,88**	0,87*****	0,77
1x240	Tünelde	M7	1	Yonca	0,91*	0,89***	0,81

*40°C ortam sıcaklığı için

**Toprak sıcaklığı 30°C, ısı direnci 1 km/W, yüklenme 1.00 için

***Duvara dikey döşeme durumu için

****Isıl direnci 1 km/W, yüklenme 0.7 sistem sayısı 1 için

***** Isıl direnci 1 km/W, yüklenme 0.7 sistem sayısı 2 için

***** Isıl direnci 1 km/W, yüklenme 0.7 sistem sayısı 3 için

- ❖ Alçak gerilim sistemlerinde genellikle frekans konvertörlü asenkron motor yükleri kullanıldığı için kısa devreye motor katkısı olmadığı dikkate alınmıştır.

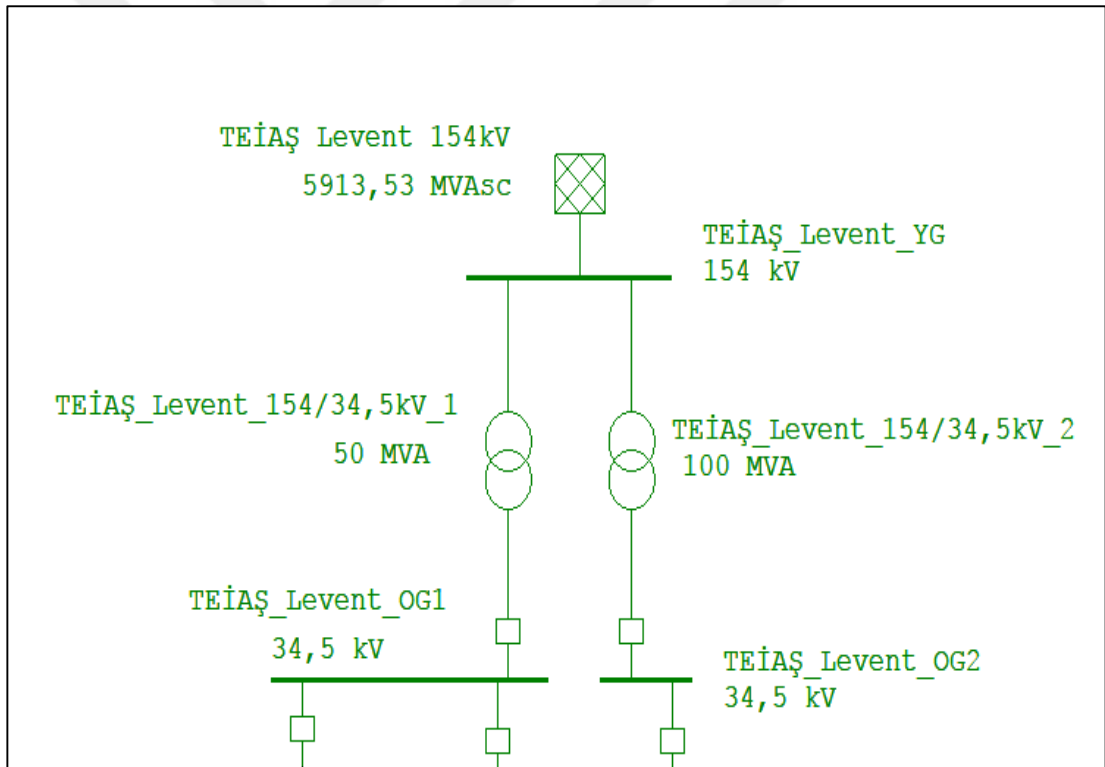
5.1. TEİAŞ İndirici Merkezlerin Modellenmesi

Oluşturulan ETAP modelinde şebeke modellenirken kısa devre güçlerinin hesaplanmasında; TEİAŞ 154 / 34,5 kV indirici transformatör merkezleri için yayınlanan, 2017 yılına ait, yaz puantı ve kış puantı 3 fazlı kısa devre akım değerleri dikkate alınmıştır. Burada yaz puantı ve kış puantı için hesaplanan değerlerden en büyük olan değerler programa işlenmiştir. İndirici merkezleri modellerken X/R oranı IEC 60909 standardına uygun olacak şekilde 10 olarak kabul edilmiştir. Sistemde toplamda 4 adet 154 / 34,5 kV TEİAŞ transformatörü bulunmaktadır. Bunlardan 3 tanesi 100 MVA ve bir tanesi 50 MVA değerindedir. Çalışmada kullanılan indirici merkezlerden yaz puantı değeri 26.07.2017 tarihi saat 14:40'da, kış puantı değeri 19.12.2017 tarihi saat 17:40'da alınmıştır. Tablo 5.2'de indirici merkezlere ait üç faz kısa devre akımları, açıları ve hesaplanan en büyük kısa devre gücü akımları gösterilmiştir.

Tablo 5.2. TEİAŞ indirici merkez elektriksel parametreleri

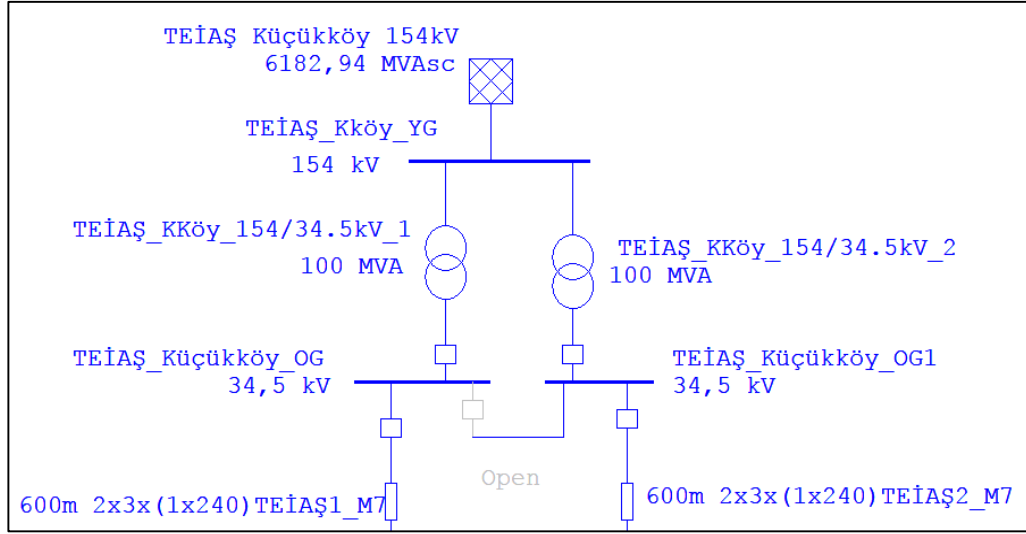
TEİAŞ İndirici Merkez	Gerilim (kV)	Yaz Puant		Kış Puant		Kısa Devre Gücü (MVA)
		3 Faz Kısa Devre Akımı(kA)	Açı (°)	3 Faz Kısa Devre Akımı(kA)	Açı (°)	
Levent	154	22,17	-90,30	22,06	-100,13	5913,53
Küçükköy	154	17,45	-90,92	23,18	-99,99	6182,94

Gerçekleştirilen çalışmada sistemin normal işletme senaryosunda M2, M6 hatları ve İstasyon1 Levent 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezden; M7 hattı, İstasyon2 ve İstasyon3 Küçükköy 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezlerinden beslenmektedir. Şekil 5.1’de Levent indirici merkezi ETAP tek hat şeması gösterilmiştir. Burada şebeke kısa devre gücü 5913,53 MVA iken biri 100 diğeri 50 MVA olmak üzere iki adet 154 / 34,5 kV transformatör bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Levent indirici merkezi etap tek hat görüntüsü

Şekil 5.2’de Küçükköy indirici merkezi ETAP tek hat şeması gösterilmiştir. Burada şebeke kısa devre gücü 6182,94 MVA iken iki adet 100 MVA 154 / 34,5 kV indirici transformatör bulunmaktadır.



Şekil 5.2. Küçükköy indirici merkezi etap tek hat görüntüsü

Ülkemizde TEİAŞ indirici merkezlerinde genel olarak aynı karakteristikte güç transformatörleri kullanılmaktadır. Sistemde modellenen 100 MVA transformatörün veri giriş alanı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

2-Winding Transformer Editor - TEİAŞ_KKöy_154/34.5kV_1

Reliability		Remarks		Comment			
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Hamonic
100 MVA IEC Liquid-Fill ONAN/ONAF 65 C						154	34.5 kV
Voltage Rating		kV	FLA	FLA	Bus kV _{nom}	Z Base	
Prim.	154	299.9	374.9	154	MVA	100	
Sec.	34.5	1339	1673	34.5			
		ONAN 65	ONAF 65				
Power Rating		MVA	Alert - Max				
Rated	80	100	MVA		100		
Derated	80	100	Derated MVA		User-Defined		
		ONAN 65	ONAF 65				
		Fan					
% Derating		0	0				
MFR							
Type / Class		Type	Sub Type	Class	Temp. Rise		
		Liquid-Fill	Mineral Oil	ONAN/ONAF	65		

TEİAŞ_KKöy_154/34.5kV_1

OK Cancel

Şekil 5.3. TEİAŞ 100 MVA transformatör etiket bilgisi

5.2. Transformator Merkezlerinin Modellenmesi

Sistem içinde bulunan Yenikapı – Haciosman (M2) metro hattı, Levent – Boğaziçi/Hisarüstü (M6) metro hattı, Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattı ve Eminönü – Alibeyköy (T5) tramvay hatlarında farklı çeşit transformatorler mevcuttur. Tasarlanan sistemde Siemens, Alstom, France Transfo, Eltaş marka cer ve iç ihtiyaç transformator modelleri kullanılmıştır.

5.2.1. Cer transformatorlerinin modellenmesi

Yenikapı – Haciosman (M2) metro hattı ilgili kısımlar ve Levent – Boğaziçi / Hisarüstü (M6) metro hatlarında kullanılan üç sargılı cer gücü transformatorlerinin hepsi tek tip olmak üzere 34,5 / 0,6 - 0,6 kV çevirme oranı ve 3,3 MVA güç değerine sahiptir. Kabataş – Mahmutbey metro hattı üç sargılı cer transformatorleri ise 34,5 / 1,2 – 1,2 kV çevirme oranına sahip 3,3 MVA güç değerindeki transformatorlerdir. Eminönü – Alibeyköy tramvay hattında kullanılan cer gücü transformatorleri ise 34,5 / 0,6 – 0,6 kV çevirme oranına sahip 1,35 MVA güç değeri parametrelerine sahiptir. Modelleme programında ilgili bu transformator değerleri kendi kütüphanesinde bulunmadığı için, sahada bulunan transformatorlerin etiket değerleri programda kullanılmıştır. Yenikapı – Haciosman (M2) metro hattı için Siemens ve Alstom marka 3,3 MVA cer transformatorlerinin etiket değerleri girilerek simülasyon bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattı ve Eminönü – Alibeyköy (T5) tramvay hattı yapım aşamasındaki hatlar olduğu için bu hatların proje özelinde bilinen yine Siemens marka cer transformatorleri etiket değerleri kullanılarak analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.3'te 3,3 MVA Siemens marka Geafol model cer transformatorünün etiket bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Siemens 3,3 MVA cer transformatorü etiket bilgisi

Parametre	Birim	Değer	
Nominal Güç	Primer	3,3	
	Sekonder 1	MVA	1,65
	Sekonder 2		1,65
Gerilim	Primer	34,5	
	Sekonder 1	kV	0,59
	Sekonder 2		0,59
Bağlantı Şekli	-	Dd0Dy11	
Uk	%	7,3	

Tablo 5.4'te 3,3 MVA Alstom cer transformatörünün etiket bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Alstom 3,3 MVA cer transformatörü etiket bilgisi

Parametre	Birim	Değer
Nominal Güç	Primer	3,3
	Sekonder 1	1,65
	Sekonder 2	1,65
Gerilim	Primer	34,5
	Sekonder 1	0,59
	Sekonder 2	0,59
Bağlantı Şekli	-	Dd0y11
Uk	%	13,15

Sistemde modellenen 3,3 MVA cer transformatörünün veri giriş alanı Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

The screenshot shows the '3-Winding Transformer Editor - D07/TRT02' window. The 'Impedance' tab is active, displaying the following data:

	Positive		Zero		MVA Base
	% Z	X/R	% Z	X/R	
PS	8,5	31,5	8,5	31,5	3,3
PT	7,01	25	7,01	25	3,3
ST	12,02	32,998	12,02	32,998	3,3

Additional parameters shown in the interface include:

- Reliability: 3.3, 1.65, 1.65 MVA
- Remarks: 34.5, 0.59, 0.59 kV
- Z Variation: @ - 5 % Tap (0 %), @ + 5 % Tap (0 %)
- No Load Losses (Unbalanced Load Flow only): % FLA (0), kW (0), % G (0), % B (0) for both Positive and Zero.
- Z Tolerance: ± 0 %
- Options: Buried Delta Winding, Zero Seq. Impedance

Şekil 5.4. 3,3 MVA cer transformatörü etiket bilgisi

5.2.2. İç ihtiyaç transformatörlerinin modellenmesi

İç ihtiyaç transformatörlerinde cer transformatörlerinden farklı olarak tek bir güç değerinde değil birden fazla güç değerinde transformatörler bulunmaktadır. Bu değerler arasında 2 MVA, 1,6 MVA, 1 MVA, 0,4 MVA gibi farklı güç parametreleri bulunmaktadır. Tasarlanan sistemde Siemens, France Transfo ve Eltaş marka iç ihtiyaç transformatörleri kullanılmıştır. Bu transformatörler istasyonların iç beslemeleri, UPS beslemeleri, yürüyen merdiven, asansör, fanlar, pompalar gibi yüklerin beslenmesinde kullanılmaktadır.

Tablo 5.5'te 2 MVA France Transfo iç ihtiyaç transformatörünün etiket bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 5.5. France transfo 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi

Parametre		Birim	Değer
Nominal Güç	Primer	MVA	2,0
Gerilim	Primer	kV	34,5
	Sekonder		0,4
Bağlantı Şekli		-	Dyn11
Uk		%	8,0

Tablo 5.6'da 2 MVA Eltaş iç ihtiyaç transformatörünün etiket bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Eltaş 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi

Parametre		Birim	Değer
Nominal Güç	Primer	MVA	2,0
Gerilim	Primer	kV	34,5
	Sekonder		0,4
Bağlantı Şekli		-	Dyn11
Uk		%	7,48

Tablo 5.7'de 2 MVA Siemens iç ihtiyaç transformatörünün etiket bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Siemens 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi

Parametre	Birim	Değer
Nominal Güç	Primer	MVA
Gerilim	Primer	34,5
	Sekonder	0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn11
Uk	%	6,1

Tablo 5.8’de 1 MVA Siemens marka iç ihtiyaç transformatörünün etiket bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Siemens 1 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi

Parametre	Birim	Değer
Nominal Güç	Primer	MVA
Gerilim	Primer	34,5
	Sekonder	0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn11
Uk	%	5,9

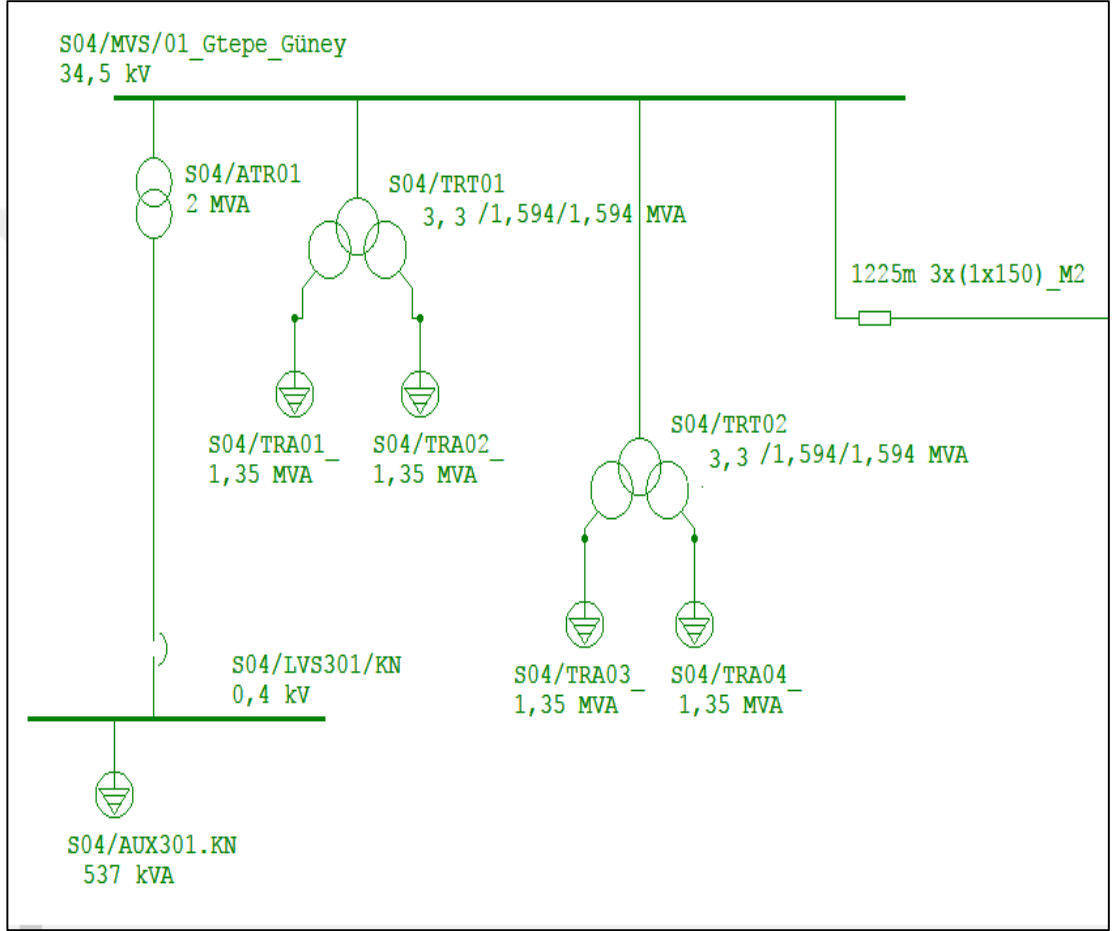
Sistemde modellenen 2 MVA iç ihtiyaç transformatörünün veri giriş alanı Şekil 5.5’te gösterilmiştir.

The screenshot shows the '2-Winding Transformer Editor - S06/ATR01' window. The main title bar indicates the transformer type as '2 MVA IEC Dry AN 60 C'. The interface is divided into several sections:

- Reliability** and **Remarks** tabs are visible at the top.
- Info** tab is active, showing:
 - 2 MVA IEC Dry AN 60 C
 - 34,5 0,42 kV
- Rating** section:
 - Voltage Rating: Prim. 34,5 kV, FLA 33,47, Bus kVnom 34,5; Sec. 0,42 kV, FLA 2749, Bus kVnom 0,4.
 - Power Rating: MVA, Rated 2, Derated 2, AN 60.
 - % Derating: 0.
- Installation** section:
 - Alert - Max: MVA, 2.
 - Installation: Altitude 30 m, Ambient Temp. 30 °C.
- Type / Class** section:
 - Type: Dry
 - Sub Type: Vent-Dry
 - Class: AN
 - Temp. Rise: 60

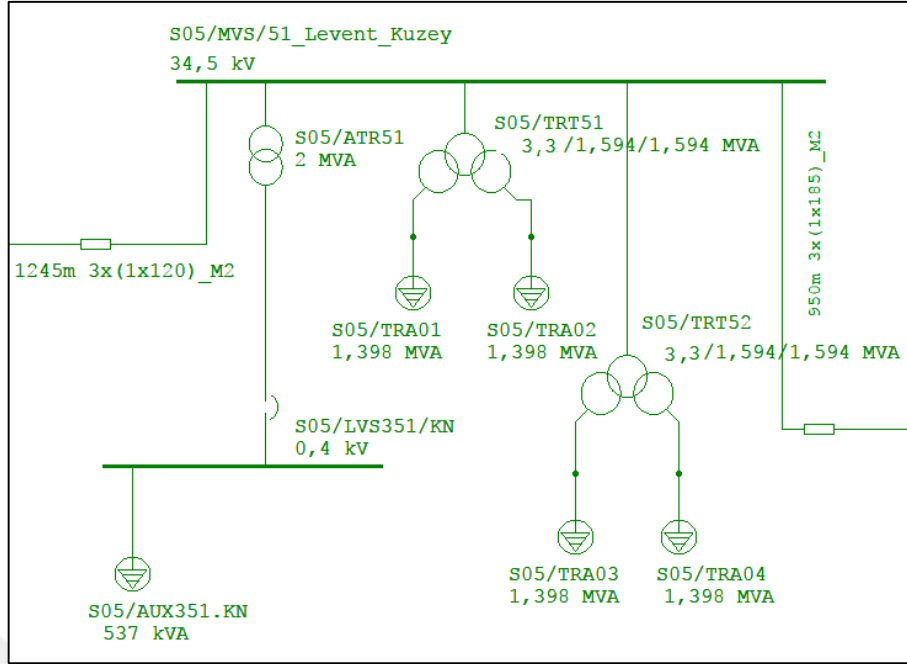
Şekil 5.5. 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü etiket bilgisi

Şekil 5.6’da Yenikapı – Haciosman (M2) metro hattı Gayrettepe istasyonu güney kısmının ETAP modeli gösterilmiştir. Gayrettepe istasyonu güney barasına bağlı iki adet 3,3 MVA cer transformatörü ve bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Gayrettepe istasyonu güney barası 1225 metre 3x(1x150)mm² 2XSY kablo ile Levent istasyonu güney barasına orta gerilim seviyesinde tek taraftan bağlanmaktadır.



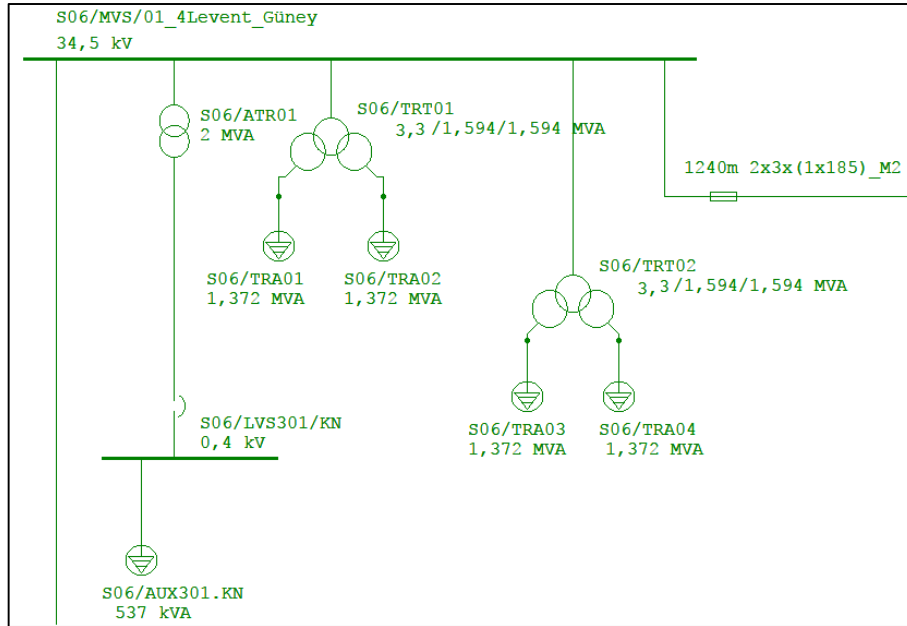
Şekil 5.6. M2 hattı Gayrettepe istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.7’de Yenikapı – Haciosman (M2) Metro hattı Levent istasyonu kuzey kısmının ETAP modeli gösterilmiştir. Levent istasyonu kuzey barasına bağlı iki adet 3,3 MVA cer transformatörü ve bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Levent istasyonu kuzey barası 1245 metre 3x(1x120)mm² 2XSY kablo ile Gayrettepe istasyonu kuzey barasına ve 950 metre 3x(1x185)mm² 2XSY kablo ile TEİAŞ bölgesi Levent İntake 1 barasına orta gerilim seviyesinde bağlanmaktadır.



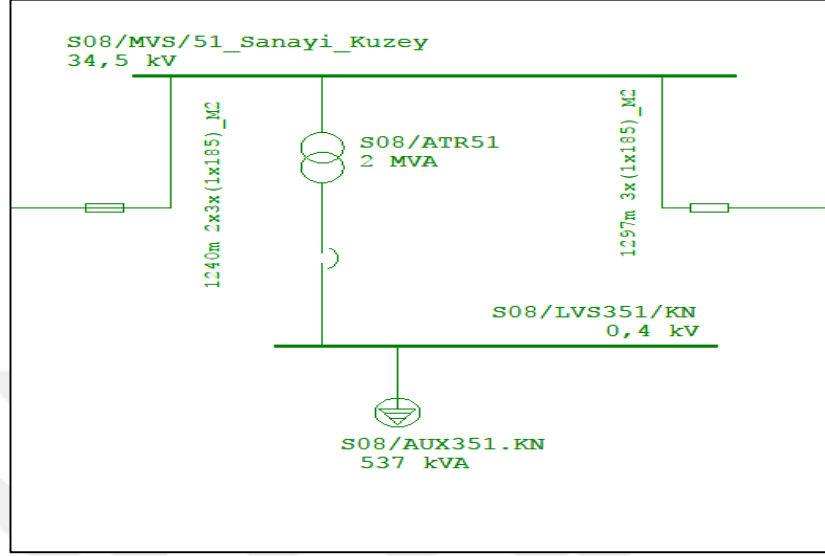
Şekil 5.7. M2 hattı Levent istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.8’de Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı 4. Levent istasyonu güney kısmının ETAP modeli gösterilmiştir. 4. Levent istasyonu güney barasına bağlı iki adet 3,3 MVA cer transformatörü ve bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır.



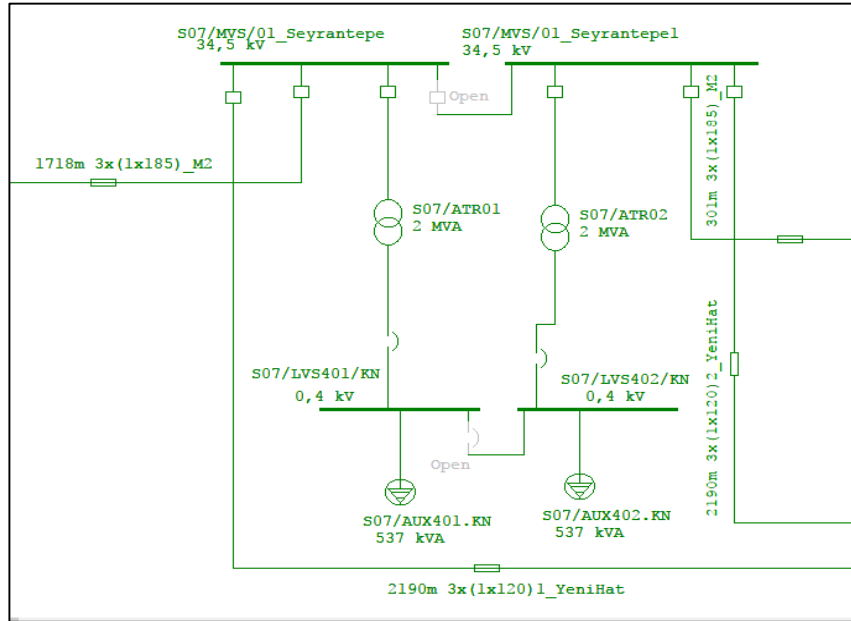
Şekil 5.8. M2 hattı Levent istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.9’da Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı Sanayi istasyonu kuzey kısmının ETAP modeli gösterilmiştir. Sanayi istasyonu kuzey barasına bağlı bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır.



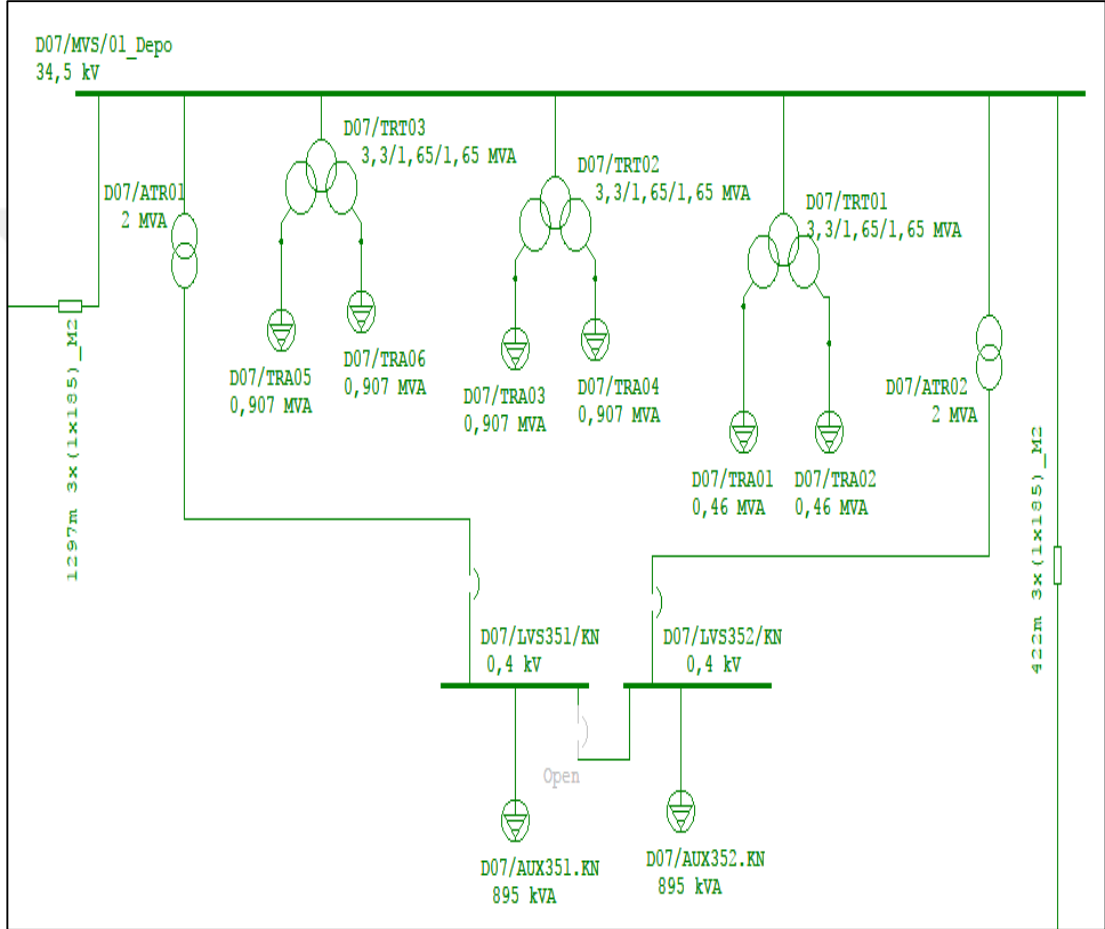
Şekil 5.9. M2 hattı Sanayi istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.10’da Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı Seyrantepe istasyonunun ETAP modeli gösterilmiştir. Seyrantepe istasyonunda iki adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Bu istasyondan ayrıca yeni oluşturulan entegre hatta bağlantı yapılmıştır.



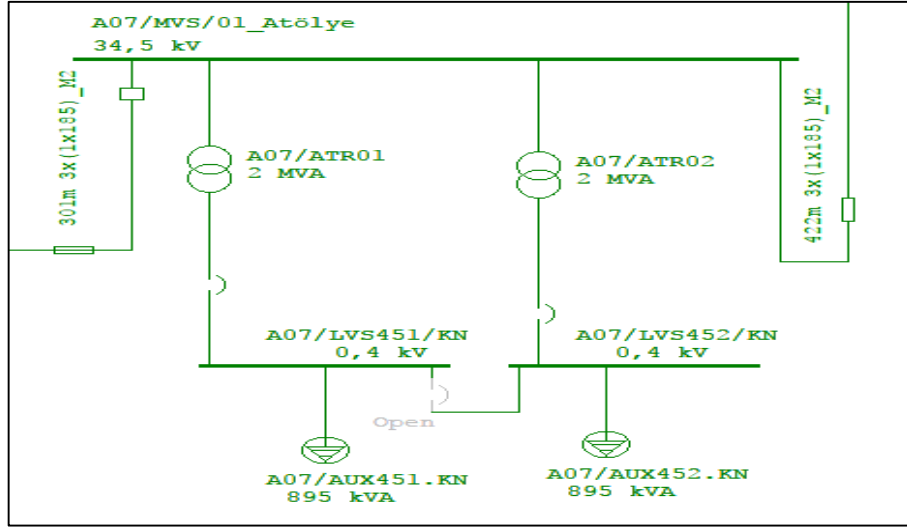
Şekil 5.10. M2 hattı Seyrantepe istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.11’de Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı depo sahasının ETAP modeli gösterilmiştir. Depo sahasında iki adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü ve üç adet 3,3 MVA cer transformatörü bulunmaktadır. Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı depo sahası 1297 metre $3 \times (1 \times 185) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Sanayi istasyonuna ve 422 metre $3 \times (1 \times 185) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı atölye bölgesine bağlanmaktadır.



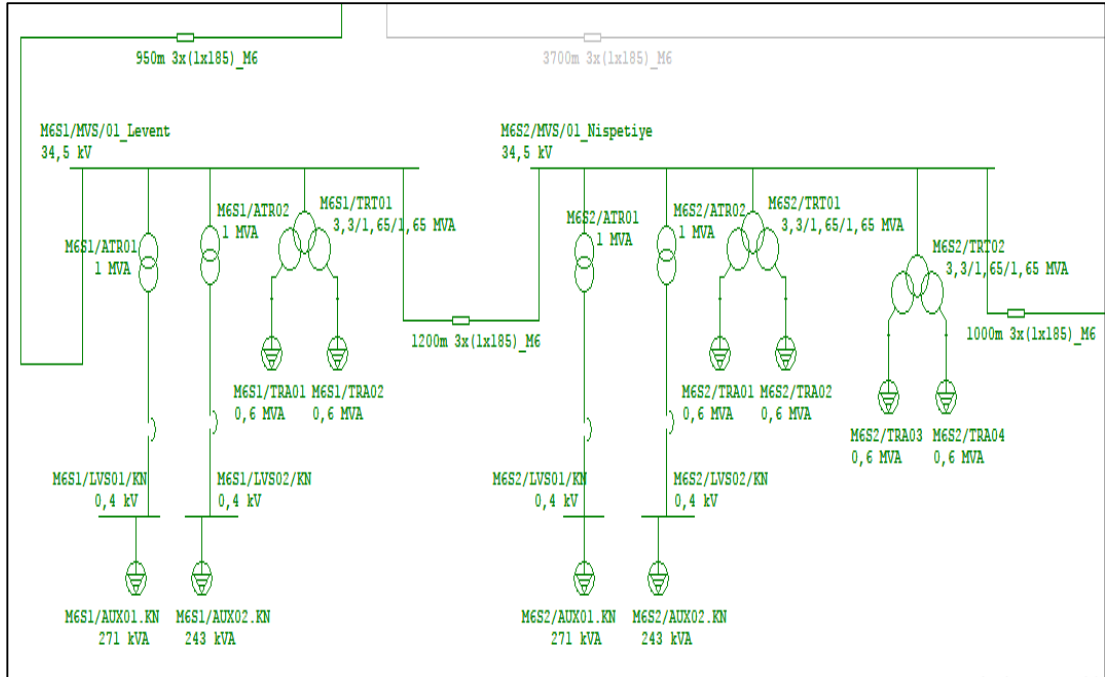
Şekil 5.11. M2 hattı depo sahası ETAP modeli

Şekil 5.12’de Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı atölye bölgesinin ETAP modeli gösterilmiştir. Atölye bölgesinde iki adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı atölye sahası 301 metre $3 \times (1 \times 185) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Seyrantepe istasyonuna ve 422 metre $3 \times (1 \times 185) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı depo sahasına bağlanmaktadır.



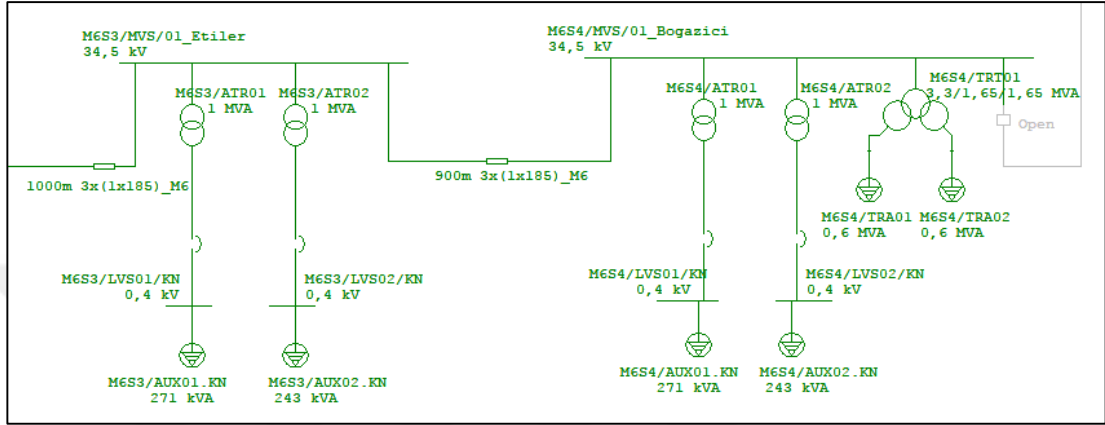
Şekil 5.12. M2 hattı atölye bölgesi ETAP modeli

Şekil 5.13'te Levent – Boğaziçi/Hisarüstü (M6) metro hattı Levent ve Nispetiye istasyonlarının ETAP modeli gösterilmiştir. Levent istasyonunda bir adet 3,3 MVA cer transformatörü ve iki adet 1 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Nispetiye istasyonunda iki adet 3,3 MVA cer transformatörü ve iki adet 1 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. İki istasyon birbirine 3x(1x185) mm² XLPE orta gerilim kablosu ile bağlanmıştır.



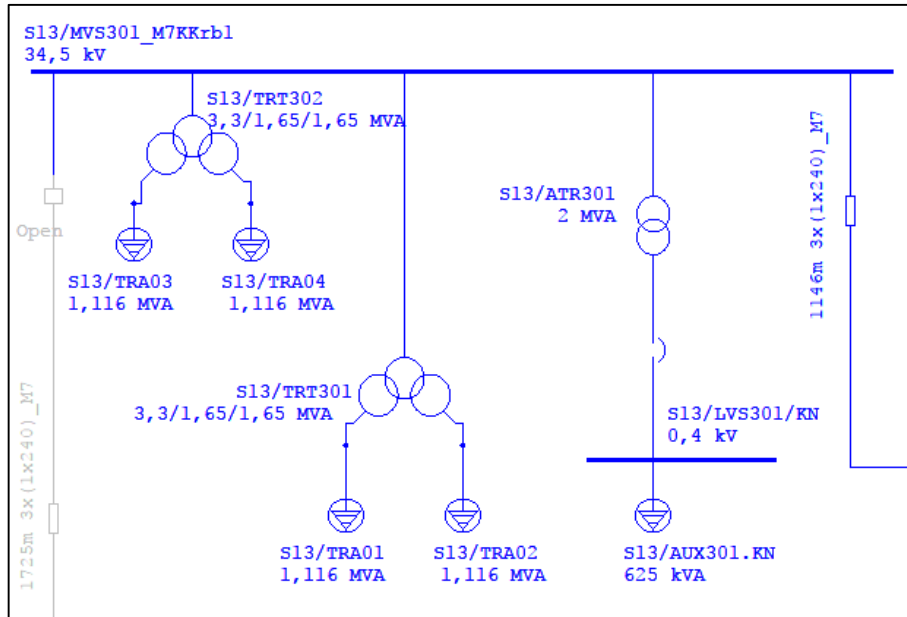
Şekil 5.13. M6 hattı Levent ve Nispetiye istasyonları ETAP modeli

Şekil 5.14'te Levent – Boğaziçi/Hisarüstü (M6) metro hattı Etiler ve Boğaziçi istasyonlarının ETAP modeli gösterilmiştir. Etiler istasyonunda iki adet 1 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Boğaziçi istasyonunda bir adet 3,3 MVA cer transformatörü ve iki adet 1 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. İki istasyon birbirine 3x(1x185) mm² XLPE orta gerilim kablosu ile bağlanmıştır.



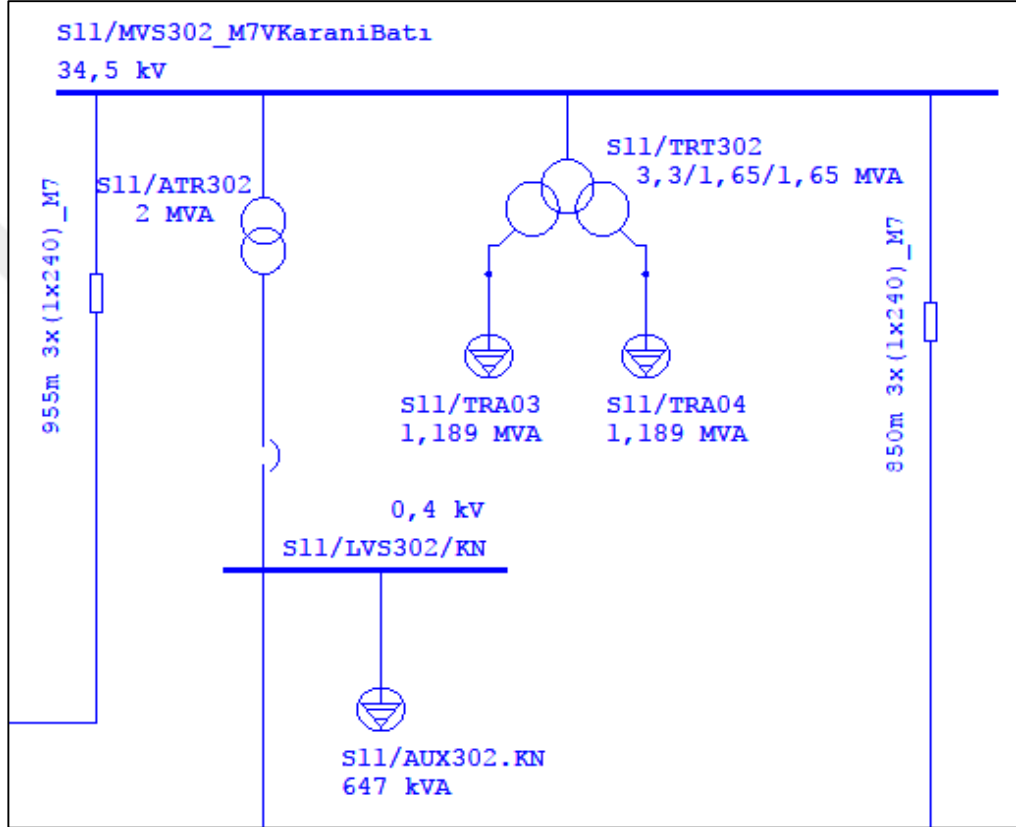
Şekil 5.14. M6 hattı Etiler ve Boğaziçi istasyonları ETAP modeli

Şekil 5.15'te Kabataş – Mahmutbey (M7) Metro hattı Kazım Karabekir istasyonu KKrb1 barasının olduğu kısmın ETAP modeli gösterilmiştir. Kazım Karabekir istasyonu KKrb1 barasına bağlı iki adet 3,3 MVA cer transformatörü ve bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır.



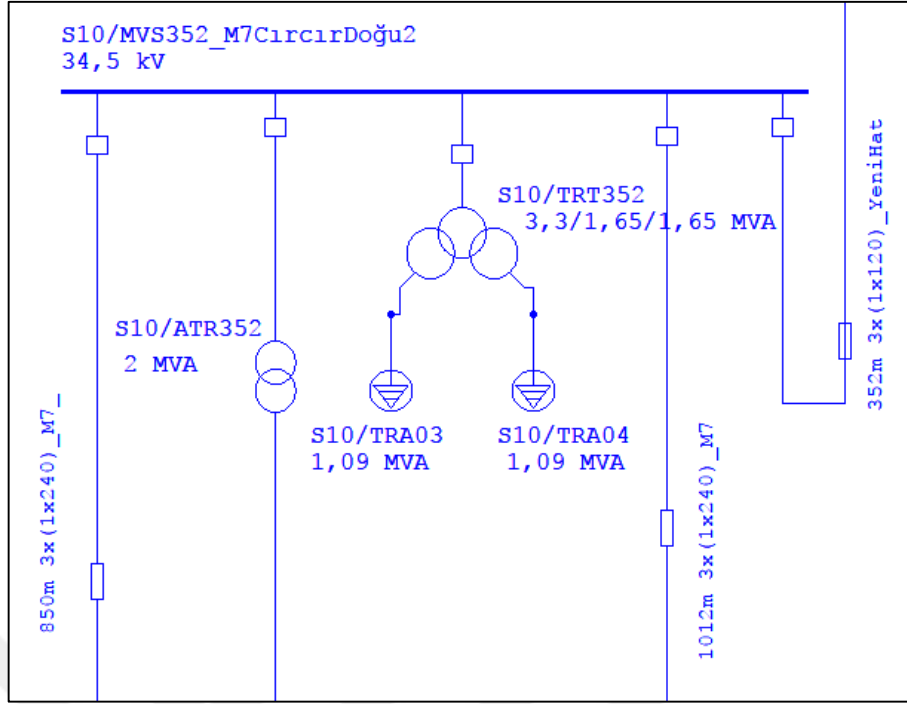
Şekil 5.15. M7 hattı Kazım Karabekir istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.16'da Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattı Veysel Karani istasyonu VKaraniBatı barasının olduğu kısmın ETAP modeli gösterilmiştir. Veysel Karani istasyonu VKaraniBatı barasına bağlı bir adet 3,3 MVA cer transformatörü ve bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Veysel Karani istasyonu 955 metre $3 \times (1 \times 240) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Yeşilpınar istasyonuna ve 850 metre $3 \times (1 \times 240) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Çırçır istasyonuna bağlanmaktadır.



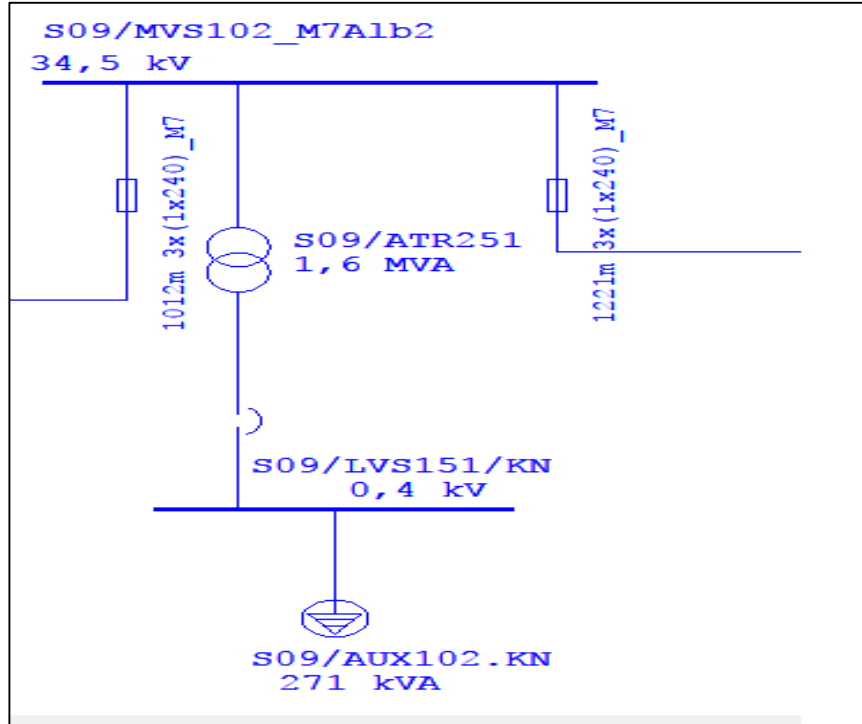
Şekil 5.16. M7 hattı Veysel Karani istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.17'de Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattı Çırçır istasyonu CırcırDogu2 barasının olduğu kısmın ETAP modeli gösterilmiştir. Çırçır istasyonu CırcırDogu2 barasına bağlı bir adet 3,3 MVA cer transformatörü ve bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Çırçır istasyonu 955 metre $3 \times (1 \times 240) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Veysel Karani istasyonuna ve 1012 metre $3 \times (1 \times 240) \text{mm}^2$ 2XSY kablo ile Alibeyköy istasyonuna bağlanmıştır. Bunlara ek olarak 352 metre $3 \times (1 \times 1..)\text{mm}^2$ 2XSY kablo, bu istasyondan ayrıca yeni oluşturulacak entegre hatta orta gerilim seviyesinde bağlantısı yapılmıştır.



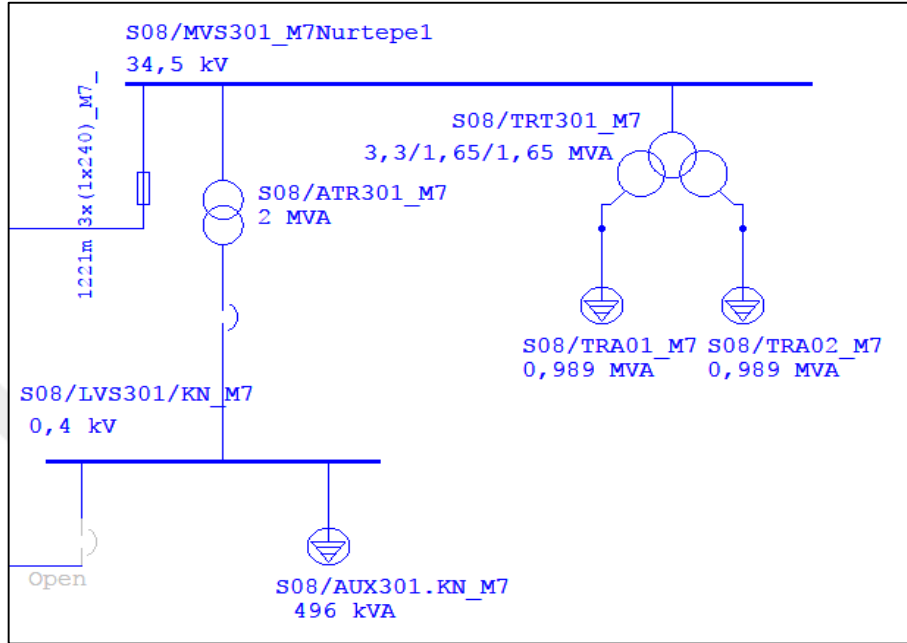
Şekil 5.17. M7 hattı Çirçir istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.18’de Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattı Alibeyköy istasyonu Alb2 barasının olduğu kısmının ETAP modeli gösterilmiştir. Alibeyköy istasyonu Alb2 barasına bağlı bir adet 1,6 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır.



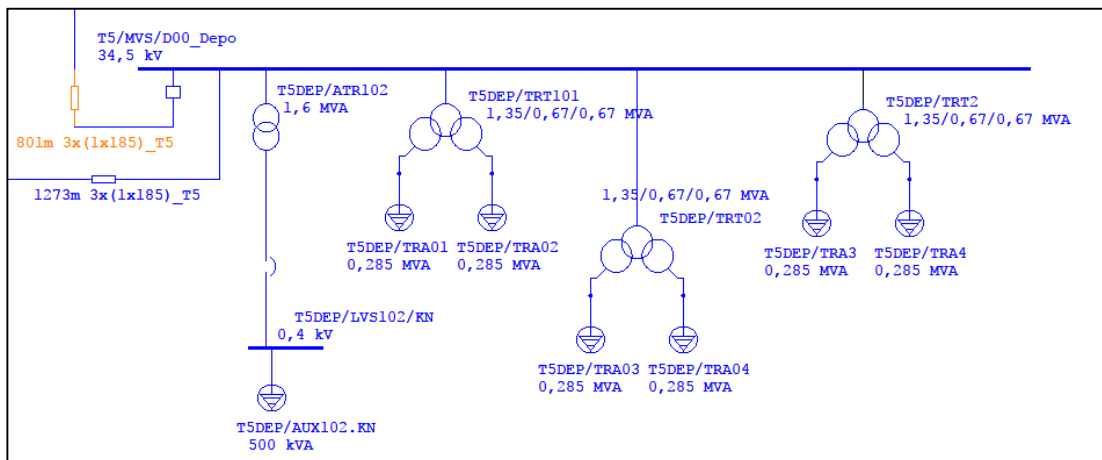
Şekil 5.18. M7 hattı Alibeyköy istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.19’da Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattı Alibeyköy istasyonu Nurtepe1 barasının olduğu kısmın ETAP modeli gösterilmiştir. Nurtepe istasyonu Nurtepe1 barasına bağlı bir adet 3,3 MVA cer transformatörü ve bir adet 2 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır.



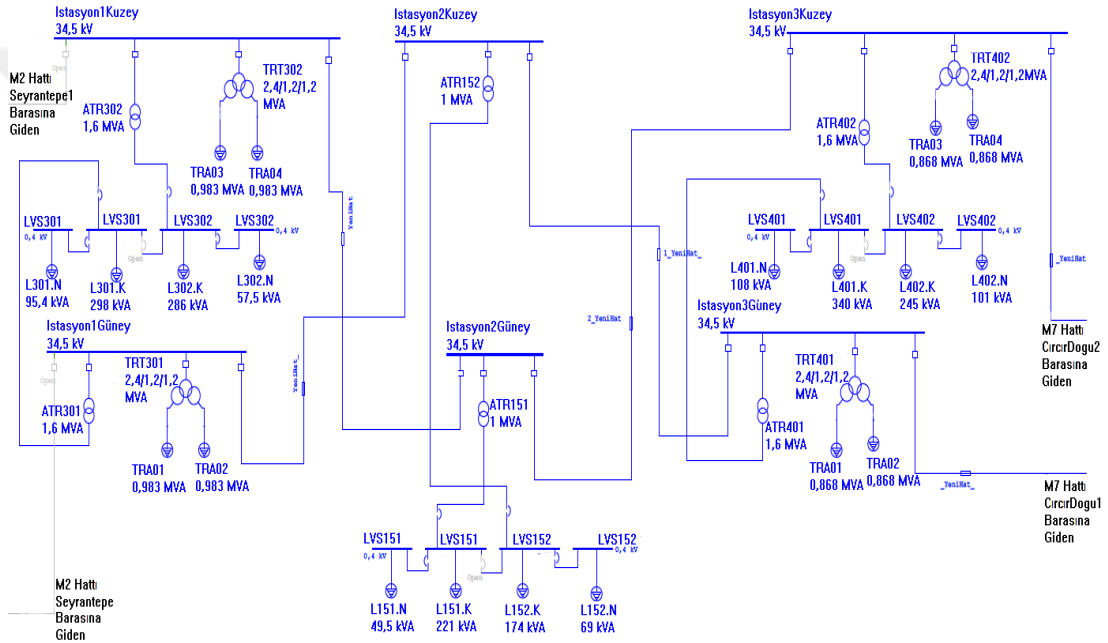
Şekil 5.19. M7 hattı Nurtepe istasyonu ETAP modeli

Şekil 5.20’de Eminönü – Alibeyköy (T5) tramvay hattı depo sahası bölgesinin ETAP modeli gösterilmiştir. Depo sahasında üç adet 1,35 MVA cer transformatörü ve bir adet 1,6 MVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. T5 tramvay hattı bu noktada Kabataş – Mahmutbey (M7) hattı Alibeyköy istasyonu ile bağlantı sağlamaktadır.



Şekil 5.20. T5 hattı depo sahası ETAP modeli

Şekil 5.21’de teze konu olan ve diğer hatlarla entegrasyon sağlayacak üç istasyonlu raylı sistem hattının etap yazılımında modellenmiş görüntüsü verilmiştir. Planlanan hattın ilk transformatör merkezi İstasyon1Kuzey barasından Yenikapı – Hacıosman (M2) metrosunun Seyrantepe1 barasıyla ve İstasyon1Güney barasıda yine Yenikapı – Hacıosman (M2) metrosunun Seyrantepe barasıyla orta gerilim bağlantısı bulunmaktadır. Planlanan hattın M7 tarafındaki üç numaralı transformatör merkezi İstasyon3Kuzey barasından Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hattı CırcırDogu2 barasına bağlanırken, İstasyon3Güney barasıyla yine aynı hattın CırcırDogu1 barasına orta gerilim seviyesinde bağlanmaktadır.



Şekil 5.21. Çalışmaya konu olan üç istasyonlu hattın etap görüntüsü

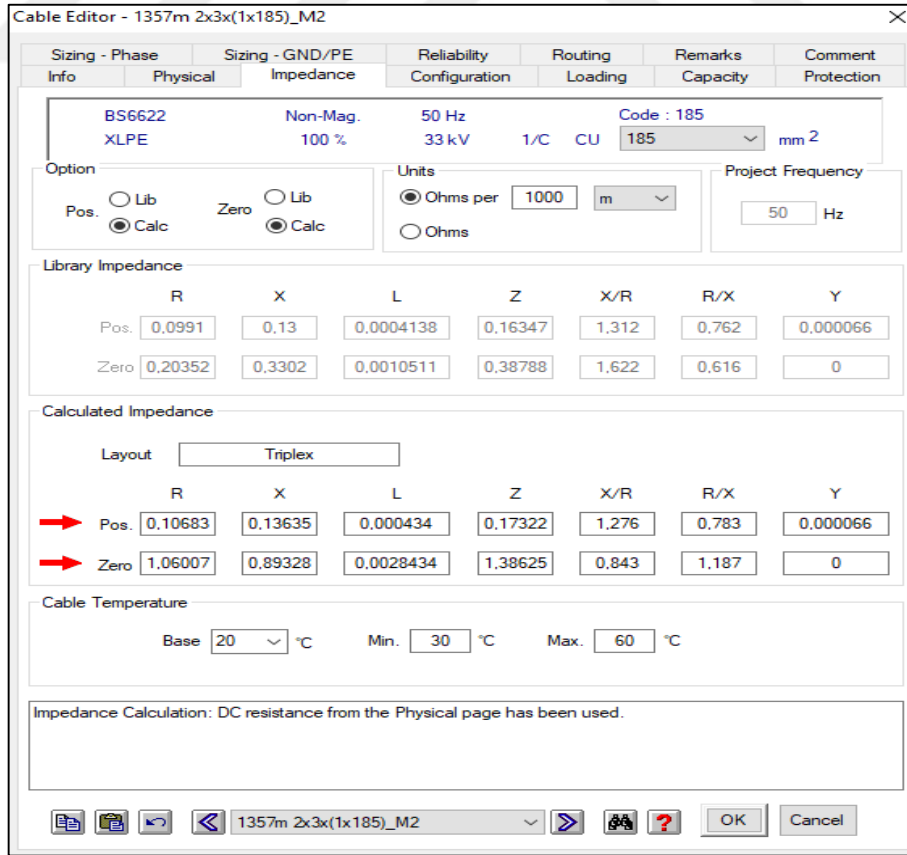
5.3. Orta Gerilim Kablolarının Modellenmesi

Sistem modellenirken orta gerilim kabloları, indirici merkezler ile güç merkezleri arasında toprakta gömülü olacak şekilde modellenirken ve T5 tramvay hattı hariç diğer hatların istasyonlar arası bağlantılarında tünelde kullanılmıştır. Sistemde toplam beş farklı kesit XLPE kablo mevcuttur. Bu kesitler 95, 120, 150, 185 ve 240 mm² olup BS6622 kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarlanan modelde kabloların hepsi XLPE izoleli, tek damar ve iletkeni bakır özellikte olan kablolardır. Tablo 5.9’ da kullanılan kablo kesitleri, kullanıldıkları ortam ve ilgili hat parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Modelde kullanılan örnek kablolar

Kablo Kesiti (mm ²)	Döşeme Ortamı	İlgili Hat
1x95	Tünelde	M2
1x120	Tünelde	Yeni Hat
1x120	Tünelde	M2
1x150	Toprakta	M2
1x150	Tünelde	M2
1x185	Tünelde	M2-M6
1x185	Tünelde	Yeni Hat
1x185	Toprakta	T5
1x240	Toprakta	M7
1x240	Tünelde	M7

ETAP yazılımında 33 kV seviyesinde kablo çeşitleri topraktaki ve havadaki sıcaklıkları sırasıyla 15°C ve 25°C olarak karşımıza çıkmaktadır. Katalog bilgilerinde bu sıcaklık değerleri 20°C ve 30°C'dir. Bu sebeple Tablo 5.1'de gösterilen toplam düzeltme katsayıları dikkate alınarak kablo modellemeleri yapılmıştır. Şekil 5.22'de düzeltme katsayıları dikkate alınarak oluşturulan bir kablo editör ekranı gösterilmiştir.



Şekil 5.22. M2 hattı 185 mm² xlpe kablo modeli

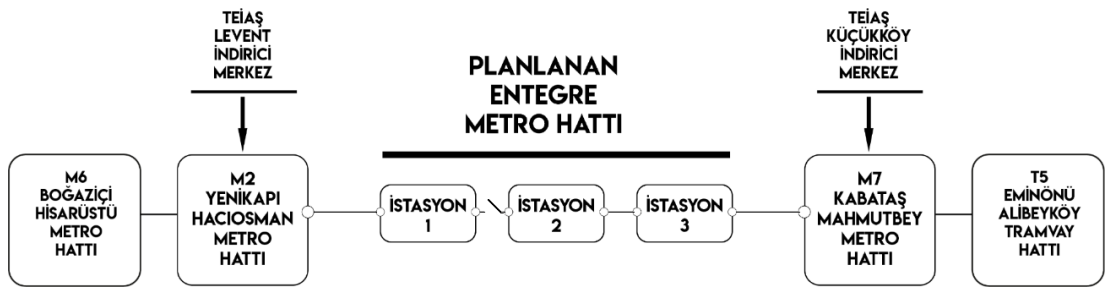
Sistemdeki transformatör yüklenmeleri senaryolardan bağımsız olarak ETAP yazılım programına kullanıcının girdiği değerlere göre oluşmaktadır. Program, sisteme bağlanan yüklere göre yük akış analizi gerçekleştirdiği için Ek-A' da verilen tabloların senaryo koşullarına etkisi bulunmamaktadır. Ek-A Tablo A.1 incelendiğinde yüklenme açısından iki sargılı iç ihtiyaç transformatörlerinde maksimum yüklenme Eminönü – Alibeyköy tramvay (T5) hattı depo sahası bölgesinde %75,6 olarak gerçekleşmektedir, Ek-A Tablo A.2 incelendiğinde ise üç sargılı cer transformatörleri arasında maksimum yüklenme Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı Levent istasyonunda bulunan transformatörlerde %85,5 olarak gerçekleşmiştir.

Modelleme çalışması yapılan sistemin tüm tek hat şeması Ek-B'de gösterilmiştir.

5.4. Besleme Senaryolarının Oluşturulması

5.4.1. Teiaş girişlerinin enerjili-enerjili olduğu durum (senaryo1)

Orta gerilim sisteminde arıza olmadığı ve tüm ana enerji giriş noktalarının (Levent ve Küçükköy 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezleri) enerjili olduğu, planlanan hattın 1. istasyonu Levent indirici merkezinden M2 hattının Gayrettepe, Levent, 4.Levent, Sanayi ve Seyrantepe istasyonlarıyla bağlantılı şekilde beslenmektedir. 2. ve 3. İstasyon ise Küçükköy indirici merkezinden M7 hattının Kazım Karabekir, Yeşilpınar, Veysel Karani, Çırçır Mahallesi, Alibeyköy, Nurtepe istasyonlarıyla bağlantılı şekilde beslenmektedir.



Şekil 5.23. Senaryo1 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması

Şekil 5.23'te birbirleriyle entegre olan bütün hatların 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezleri dâhil olmak üzere basitleştirilmiş tek hat diyagramı verilmiştir. Mevcut durumda bu hatları besleyen başka indirici merkezler bulunmasına rağmen, planlanan bu hatta etki edecek ve besleme sağlayacak indirici merkezler üzerinden analiz

yapılmıştır. Tablo 5.10’da bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm²XLPE tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları

Kablo Metraj ve Kesit	Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Yüklenme Oranı (%)	120 mm ² Yüklenme Oranı (%)
150m 3x3x(1x150)mm ² TEİAŞ1_M2	TEİAŞ_Levent_OG1	Levent_Intake1	30,1	30,1
150m 3x3x(1x150) mm ² TEİAŞ2_M2	TEİAŞ_Levent_OG2	Levent_Intake2	43	43
150m 3x3x(1x150) mm ² TEİAŞ3_M2	TEİAŞ_Levent_OG1	Levent_Intake3	12,4	12,4
301m 3x(1x185) mm ² _M2	Seyrantepe1	Atölye	10,6	10,6
352m 3x(1x...) mm ² _YeniHat	İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	8,8	11,3
352m 3x(1x...) mm ² _YeniHat_	İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	9,1	11,7
422m 3x(1x185) mm ² M2	Depo	Atölye	17,2	17,2
600m				
2x3x(1x240) mm ² TEİAŞ1_M7	TEİAŞ KüçükköyOG	M7Yesilpınar1	22,3	22,3
600m				
2x3x(1x240) mm ² TEİAŞ2 M7	TEİAŞ KüçükköyOG1	M7Yesilpınar2	40,3	40,3
800m 3x(1x95) mm ² Zorlu	Zorlu	Gtepe_Kuzey	3,5	3,5
801m 3x(1x185) mm ² T5	Depo	M7Alb1	18,6	18,6
830m 2x3x(1x185) mm ² 1 M2	Levent_Intake1	4Levent_Kuzey	17,8	17,8
830m 2x3x(1x185) mm ² 2 M2	4Levent_Güney	Levent_Intake2	32,8	32,8
850m 3x(1x240) mm ² _M7	M7VKaraniBatı	M7CırcırDoğu1	41,3	41,3
850m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7CırcırDoğu2	M7VKaraniBatı	25,6	25,6
900m 3x(1x185) mm ² _M6	Boğazici	Etiler	6,4	6,4
950m 3x(1x185) mm ² _M2	Levent_Intake1	Levent_Kuzey	27,7	27,7
950m 3x(1x185) mm ² _M6	Levent_Intake3	Levent	25,7	25,7
955m 3x(1x240) mm ² _M7	M7VKaraniBatı	M7Yesilpınar2	51	51
955m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7Yesilpınar1	M7VKaraniBatı	34,8	34,9
1000m 3x(1x185) mm ² _M6	Etiler	Nispetiye	8,3	8,3
1012m 3x(1x240) mm ² _M7	M7CırcırDoğu2	M7Alb2	9	9
1012m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7Alb1	M7CırcırDoğu1	24,8	24,8

Tablo 5.10. (Devam) Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları

1144m 3x(1x240) mm ² _M7	M7KKrb2	M7Yesilpınar1	1,8	1,8
1146m 3x(1x240) mm ² _M7	M7KKrb1	M7Yesilpınar2	16,4	16,4
1180m 3x(1x150) mm ² _M2	Levent_Intake2	Levent_Güney	28,2	28,2
1200m 3x(1x185) mm ² _M6	Nispetiye	Levent	19,3	19,3
1221m 3x(1x240) mm ² _M7	M7Nurtepe2	M7Alb2	8,2	8,2
1221m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7Alb1	M7Nurtepe1	7,9	7,9
1225m 3x(1x150) mm ² _M2	Levent_Güney	Gtepe_Güney	25,7	25,7
1240m 2x3x(1x185) mm ² _M2	4Levent_Güney	Sanayi_Kuzey	21,4	21,4
1245m 3x(1x120) mm ² _M2	Levent_Kuzey	Gtepe_Kuzey	5,8	5,8
1273m 3x(1x185) mm ² T5	Depo	ARA4	12,4	12,4
1297m 3x(1x185) mm ² M2	Depo	Sanayi_Kuzey	40,9	40,9
1301m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	0,9	1,2
1301m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	1	1,3
1357m 2x3x(1x185) mm ² _M2	4Levent_Kuzey	Sanayi_Güney	16,7	16,7
1718m 3x(1x185) mm ² _M2	Sanayi_Güney	Seyrantepe	10,8	10,8
2127m 3x(1x185) mm ² _T5	ARA1	UC1	2,5	2,5
2127m 3x(1x185) mm ² _1 T5_	ARA2	ARA1	5	5
2127m 3x(1x185) mm ² _2 T5_	ARA3	ARA2	7,5	7,5
2127m 3x(1x185) mm ² _3 T5_	ARA4	ARA3	9,9	9,9
2190m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	Seyrantepe	İstasyon1Güney	8,9	11,4
2190m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	8,7	11,2

İki indirici merkezden de enerji alınabildiği bu durumda tüm sistem değerlendirildiğinde OG kabloları arasında maksimum yüklenmenin Kabataş-Mahmutbey (M7) metro Hattı Veysel Karani ve Yeşilpınar istasyonları arasında ki kabloda olduğu görülmüştür. Kablo kesit değişikliği Kabataş-Mahmutbey (M7) hattında yapılmadığından tabloda bu değer iki sütunda da %51 olarak gösterilmiştir. Çalışmaya konu olan hattın diğer hatlara bağlı olan komşu istasyonlarının arasında ki kablolardan kesitlere göre ortalama 48,3 A akım geçerken bu senaryo için istasyonlar arası kablolarda maksimum yüklenme durumu sınır değerlerin içinde kalmaktadır [35].

Çalışmada analizi yapılan bir başka başlık ise baralardaki gerilim düşüm seviyelerinin belirlenmesidir. Tablo 5.11’de bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralardaki gerilim düşümü oranları gösterilmiştir.

Tablo 5.11. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

Ekipman Konumu	Bara Adı	Anma Gerilimi	185 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)	120 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)
M2 Hattı	Atölye	34,5 kV	0,79	0,79
M2 Hattı	Levent_Intake1	34,5 kV	0,56	0,56
M2 Hattı	Levent_Intake2	34,5 kV	0,44	0,44
M2 Hattı	Levent_Intake3	34,5 kV	0,55	0,56
M2 Hattı	Depo	34,5 kV	0,77	0,77
M6 Hattı	Levent	34,5 kV	0,62	0,63
M6 Hattı	Nispetiye	34,5 kV	0,69	0,7
M6 Hattı	Etiler	34,5 kV	0,72	0,72
M6 Hattı	Boğaziçi	34,5 kV	0,73	0,74
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	0,77	0,81
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	0,85	0,88
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	0,36	0,37
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	0,47	0,47
M2 Hattı	Gtepe_Güney	34,5 kV	0,65	0,65
M2 Hattı	Gtepe_Kuzey	34,5 kV	0,67	0,67
İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	0,46	0,47
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	0,35	0,36
M2 Hattı	Levent_Güney	34,5 kV	0,55	0,55
M2 Hattı	Levent_Kuzey	34,5 kV	0,64	0,64
M2 Hattı	4Levent_Güney	34,5 kV	0,52	0,53
M2 Hattı	4Levent_Kuzey	34,5 kV	0,6	0,61
M2 Hattı	Seyrantepe	34,5 kV	0,72	0,72
M2 Hattı	Seyrantepe1	34,5 kV	0,8	0,8
M2 Hattı	Sanayi_Güney	34,5 kV	0,67	0,67

Tablo 5.11. (Devam) Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

M2 Hattı	Sanayi_Kuzey	34,5 kV	0,61	0,61
M7 Hattı	Nurtepe1	34,5 kV	0,54	0,54
M7 Hattı	Nurtepe2	34,5 kV	0,4	0,4
M7 Hattı	Alb1	34,5 kV	0,51	0,51
M7 Hattı	Alb2	34,5 kV	0,37	0,37
M7 Hattı	CırcırDoğu1	34,5 kV	0,45	0,45
M7 Hattı	CırcırDoğu2	34,5 kV	0,35	0,35
M7 Hattı	VKaraniBati	34,5 kV	0,29	0,29
M7 Hattı	VKaraniBati_	34,5 kV	0,36	0,37
M7 Hattı	Yesilpınar1	34,5 kV	0,2	0,2
M7 Hattı	Yesilpınar2	34,5 kV	0,24	0,24
M7 Hattı	KKrb1	34,5 kV	0,29	0,29
M7 Hattı	KKrb2	34,5 kV	0,2	0,2
T5 Hattı	ARA1	34,5 kV	0,72	0,72
T5 Hattı	ARA2	34,5 kV	0,7	0,7
T5 Hattı	ARA3	34,5 kV	0,66	0,66
T5 Hattı	ARA4	34,5 kV	0,61	0,61
T5 Hattı	Depo	34,5 kV	0,55	0,55
T5 Hattı	UC1	34,5 kV	0,74	0,74
M7 Hattı	Küçükköy_OG	34,5 kV	0,16	0,16
M7 Hattı	Küçükköy_OG1	34,5 kV	0,18	0,18
M2 Hattı	Levent_OG1	34,5 kV	0,55	0,55
M2 Hattı	Levent_OG2	34,5 kV	0,42	0,42
M2 Hattı	Zorlu	34,5 kV	0,68	0,68

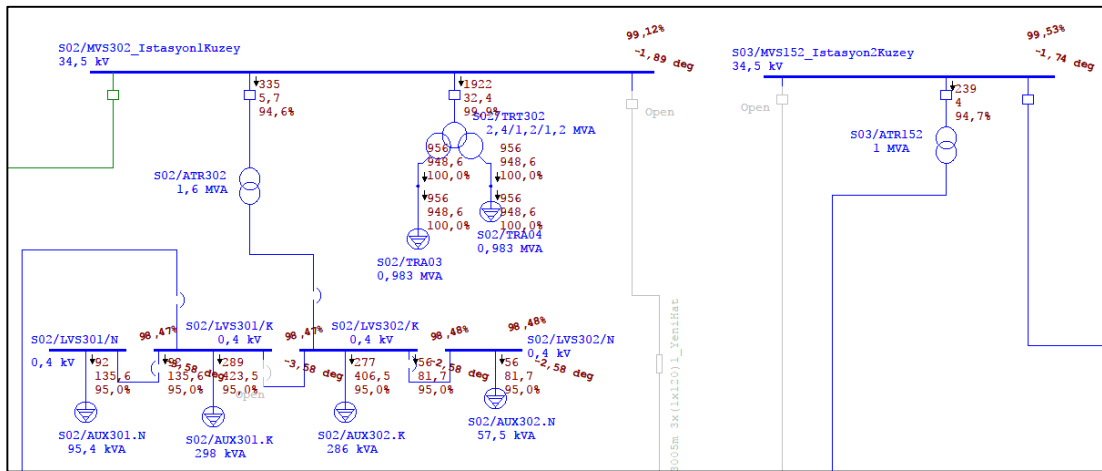
Analiz sonuçlarından hareketle, ana enerji besleme senaryosunda en fazla gerilim düşümü istasyon 1 Kuzey barasında 185 mm² XLPE orta gerilim kablosu kullanıldığında 293,25 V değerinde ve 120 mm² aynı cins kablo kesiti kullanıldığında 303,6 V değerinde olmuştur. Bu sonuçlar kabul edilebilir sınır değerler içinde kalmaktadır [33].

Analiz çalışmada gösterilen bir başka durum ise incelemeye konu olan istasyonlardaki baraların aktif güç, reaktif güç ve bara akımlarıdır. Tablo 5.12’de bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralardaki güç ve akım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımı ile bara güç değerleri

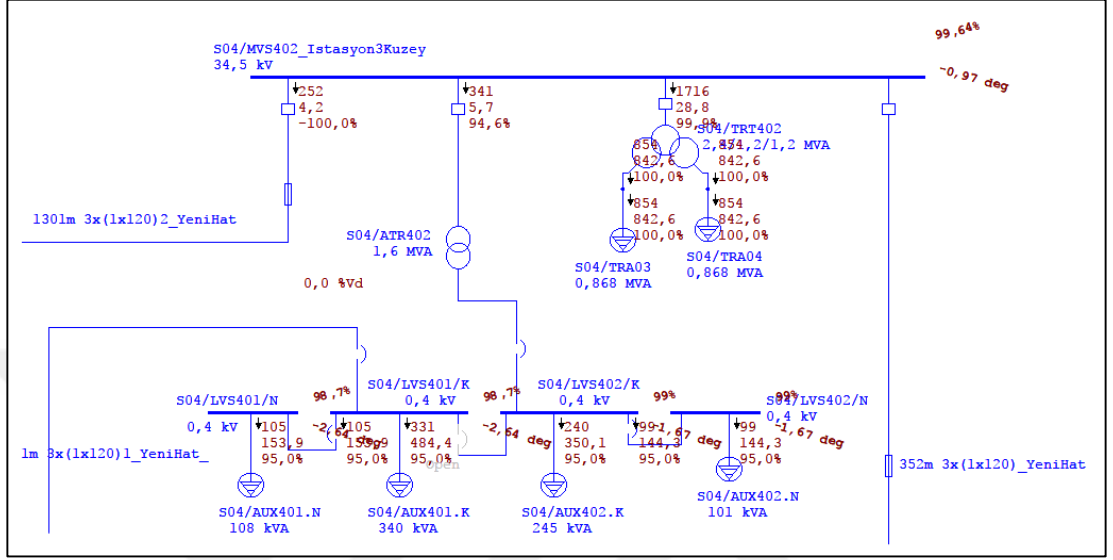
Ekipman Konumu	Bara Adı	185 mm ² Kablo ile			120 mm ² Kablo ile		
		Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	2288	209	38,74	2286	209	38,73
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	2238	193	37,91	2237	193	37,91
İstasyon 2	İstasyon2Güney	252	86,035	4,47	252	86,02	4,47
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	226	76,93	4,02	239	77	4,02
İstasyon 3	İstasyon3Güney	2354	210	39,73	2353	210	39,73
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	2290	177	38,58	2309	177	38,57

TEİAŞ indirici merkez girişlerinin her ikisinin de enerjili olduğu bu senaryo da en fazla aktif gücün istasyon 3’te 2354 kW değerinde olduğu ve bara güç değerlerinin kablo kesiti değişikliği ile kayda değer şekilde değişmediği görülmüştür. Şekil 5.24’te senaryo 1 durumunda istasyonlar arası 3x(1x120) mm² XLPE izoleli tek damarlı bakır iletkenli orta gerilim kablosu kullanıldığında planlanan hattaki 1. ve 2. İstasyonun kuzey baralarından çekilen aktif güç değerleri gözükmemektedir.



Şekil 5.24. Senaryo 1 durumunda istasyon 1 ve istasyon 2 yük akış analizi

Senaryo 1 durumunda istasyonlar arası 3x(1x120) mm² XLPE izoleli tek damarlı bakır iletkenli orta gerilim kablosu kullanıldığında planlanan hattaki 3. İstasyonun kuzey barasından 2309 kW aktif güç çekildiği görülmüştür. Analizin ETAP model görüntüsü Şekil 5.25' te gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Senaryo 1 durumunda istasyon 3 yük akış analizi

Bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralarda oluşacak maksimum üç faz kısa devre akım değerleri Tablo 5.13'te gösterilmiştir.

Tablo 5.13. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

Ekipman Konumu	Arıza Olan Bara Adı	Anma Gerilim	185 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	120 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)
M2 Hattı	Atölye	34,5 kV	10,52	10,52
M2 Hattı	Levent_Intake1	34,5 kV	8,61	8,61
M2 Hattı	Levent_Intake2	34,5 kV	13,06	13,06
M2 Hattı	Levent_Intake3	34,5 kV	8,61	8,61
M2 Hattı	Depo	34,5 kV	10,86	10,86
M6 Hattı	Levent	34,5 kV	8,18	8,18
M6 Hattı	Nispetiye	34,5 kV	7,68	7,68
M6 Hattı	Etiler	34,5 kV	7,30	7,30

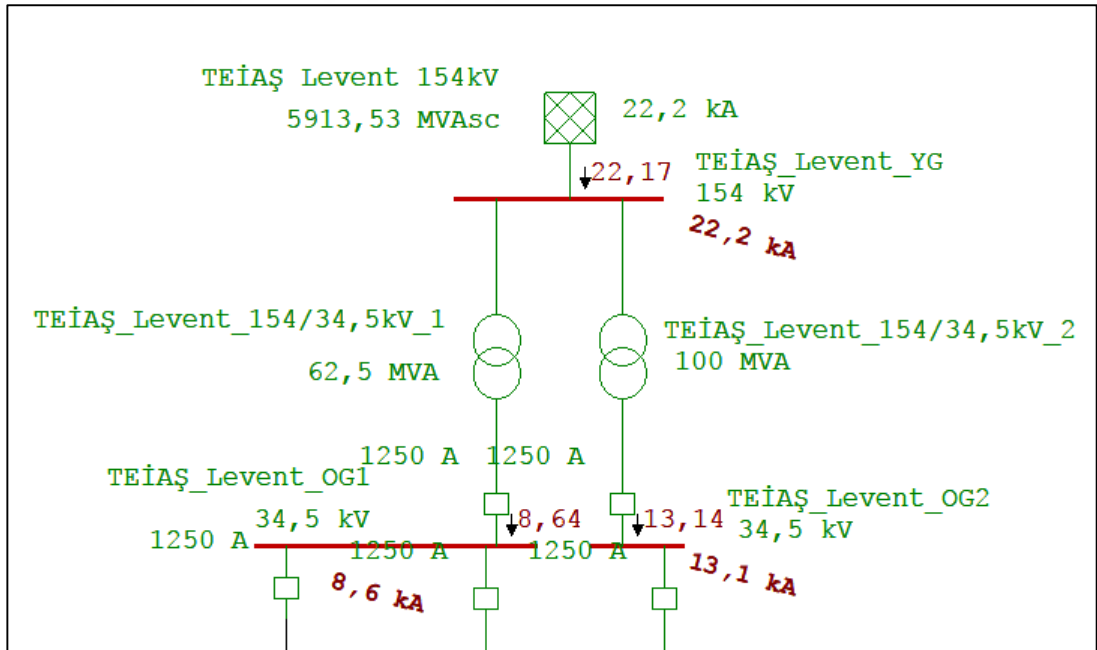
Tablo 5.13. (Devam) Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

M6 Hattı	Boğaziçi	34,5 kV	6,98	6,98
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	6,67	6,59
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	8,87	8,7
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	9,9	9,77
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	9,9	9,77
M2 Hattı	Gtepe_Güney	34,5 kV	10,96	10,96
M2 Hattı	Gtepe_Kuzey	34,5 kV	7,61	7,61
İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	10,87	10,85
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	10,87	10,85
M2 Hattı	Levent_Güney	34,5 kV	11,81	11,81
M2 Hattı	Levent_Kuzey	34,5 kV	8,18	8,18
M2 Hattı	4Levent_Güney	34,5 kV	12,62	12,62
M2 Hattı	4Levent_Kuzey	34,5 kV	8,42	8,42
M2 Hattı	Seyrantepe	34,5 kV	7,42	7,42
M2 Hattı	Seyrantepe1	34,5 kV	10,29	10,29
M2 Hattı	Sanayi_Güney	34,5 kV	8,11	8,11
M2 Hattı	Sanayi_Kuzey	34,5 kV	12	12
M7 Hattı	Nurtepe1	34,5 kV	9,61	9,61
M7 Hattı	Nurtepe2	34,5 kV	9,61	9,61
M7 Hattı	Alb1	34,5 kV	10,41	10,41
M7 Hattı	Alb2	34,5 kV	10,41	10,41
M7 Hattı	CırcırDoğu1	34,5 kV	11,16	11,16
M7 Hattı	CırcırDoğu2	34,5 kV	11,16	11,16
M7 Hattı	VKaraniBatı	34,5 kV	11,88	11,88
M7 Hattı	VKaraniBatı_	34,5 kV	11,88	11,88
M7 Hattı	Yesilpınar1	34,5 kV	12,78	12,78
M7 Hattı	Yesilpınar2	34,5 kV	12,78	12,78
M7 Hattı	KKrb1	34,5 kV	11,71	11,71
M7 Hattı	KKrb2	34,5 kV	11,71	11,71
T5 Hattı	ARA1	34,5 kV	5,29	5,29

Tablo 5.13. (Devam) Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² x1pe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

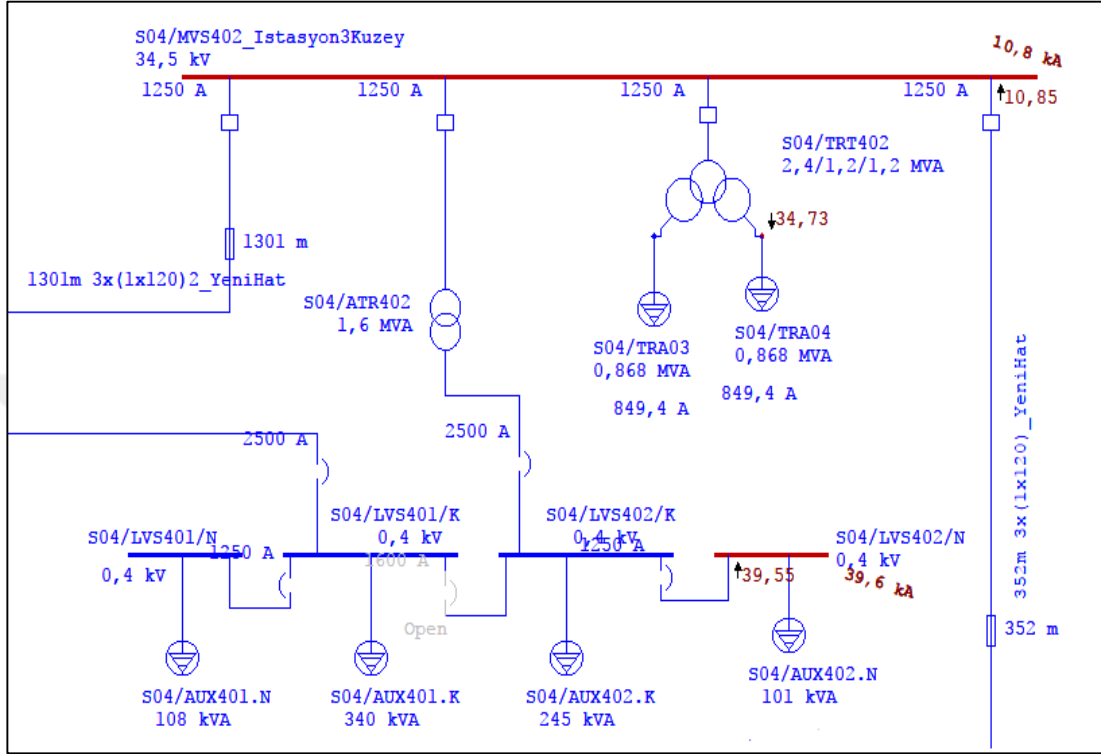
T5 Hattı	ARA2	34,5 kV	5,97	5,97
T5 Hattı	ARA3	34,5 kV	6,85	6,85
T5 Hattı	ARA4	34,5 kV	8,02	8,02
T5 Hattı	Depo	34,5 kV	9,63	9,63
T5 Hattı	UC1	34,5 kV	4,75	4,75
M7 Hattı	TEİAŞ_Küçükköy_OG	34,5 kV	13,22	13,22
M7 Hattı	TEİAŞ_Küçükköy_OG1	34,5 kV	13,22	13,22
M2 Hattı	TEİAŞ_Levent_OG1	34,5 kV	8,64	8,64
M2 Hattı	TEİAŞ_Levent_OG2	34,5 kV	13,14	13,14
M2 Hattı	Zorlu	34,5 kV	7,25	7,25

OG baralarındaki maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri OG senaryoları için TEİAŞ Küçükköy OG ve TEİAŞ Levent OG baralarında gerçekleşirken Levent baralarında oluşan değer ayrımı, güçlerin %50 farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.26. Senaryo1 durumunda Levent indirici merkez kısa devre analizi

Sistem modellendikten sonra gerçekleştirilen üç fazlı kısa devre akım analizinde en yüksek değerleri barındıran Levent indirici merkezi baralarının ETAP görüntüsü Şekil 5.26'de gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Senaryo1 durumunda istasyon3 kısa devre analizi

Planlanan hat üzerinde gerçekleştirilen kısa devre analizleri kapsamında üçüncü istasyonda orta ve alçak gerilim baralarında oluşacak kısa devreler Şekil 5.27'de gösterilmiştir. İlgili baranın alçak gerilim tarafında kısa devre 39,6 kA olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 5.14. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşun maksimum kısa devre akım değerleri

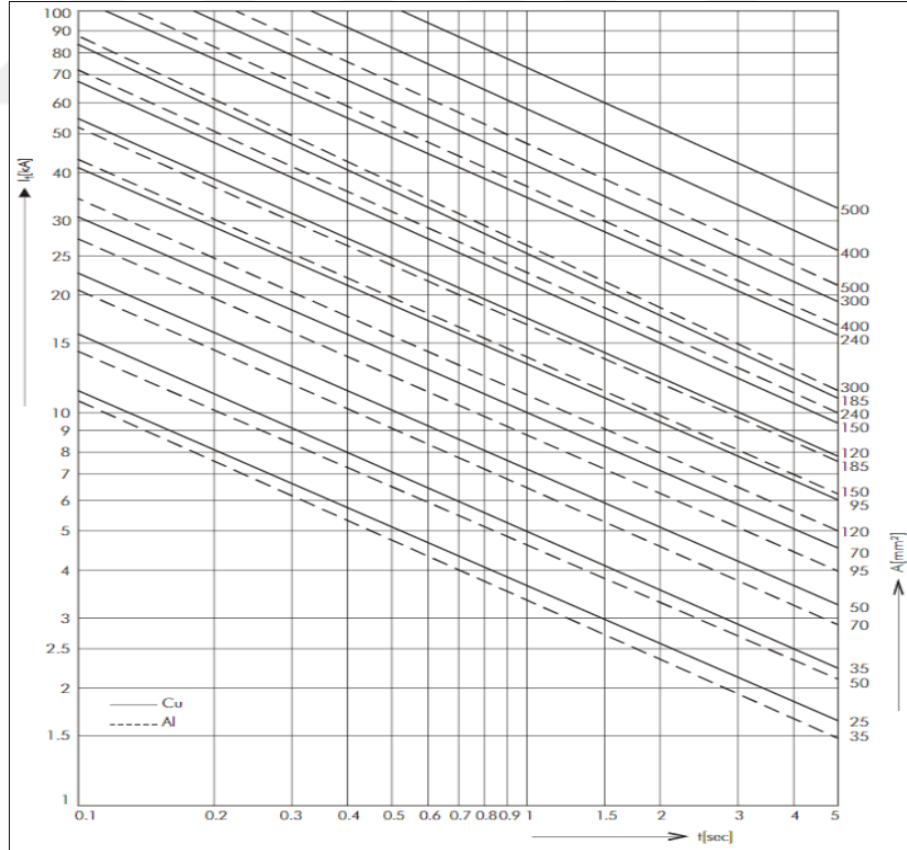
Kablo Metraj ve Kesit	Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)		120 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	
			BOB1	BOB2	BOB1	BOB2
352m 3x(1x...) mm2_YeniHat	İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	10,87	11,16	10,85	11,16
352m 3x(1x...) mm2_YeniHat_	İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	10,87	11,16	10,85	11,16
1301m 3x(1x...) mm2 1_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	9,9	10,87	9,77	10,85
1301m 3x(1x...) mm2 2_YeniHat_	İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	9,9	10,87	9,77	10,85

Tablo 5.14. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri

2190m 3x(1x...) mm2 1_YeniHat	Seyrantepe	İstasyon1Güney	7,42	6,67	7,42	6,59
2190m 3x(1x...) mm2 2_YeniHat	Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	10,29	8,87	10,29	8,7

*BOB:Bağlı Olduğu Bara

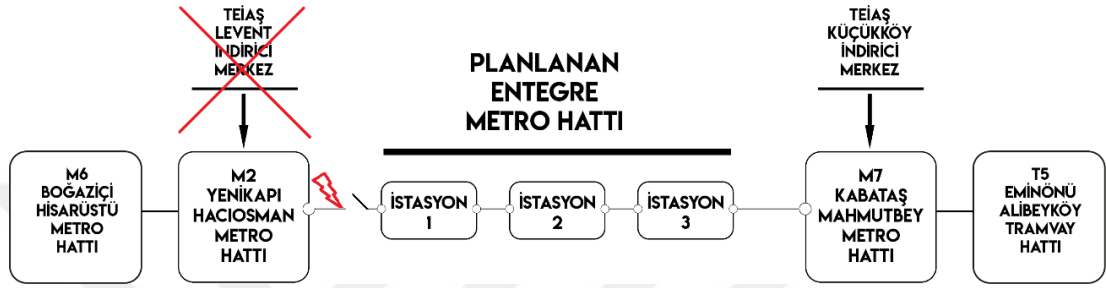
Tablo 5.14'te; planlanan sistemde her bir OG kablosu için kablonun bağlı olduğu uçlarda/baralarda gerçekleşecek maksimum 3 faz kısa devre akımları verilmiştir. Tablo incelendiğinde maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri 11 kA seviyelerinde gerçekleşmektedir. Bu değer seçilen 185 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 26,5 kA' in ve 120 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 17,2 kA değerinin altında kalmaktadır [34]. Bu sonuç kabul edilebilir olmakla beraber araç hareketleri ve istasyon iç ihtiyaç yüklerinin karşılanmasında herhangi bir durum yaratmayacaktır.



Şekil 5.28. 1-30 kV'luk xlpe izoleli kabloların izin verilen kısa devre akımları [34]

5.4.2. Teiaş girişlerinin arızalı- enerjili olduğu durum (senaryo2)

Bu senaryo orta gerilim sisteminde arıza olduğu Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattı tarafından (Levent 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezi) enerji alınmadığı veya sistemde arıza olmayıp Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattı kaynağının yedekte beklediği durumdur. Bu senaryoda tüm sistem 3. istasyonun bulunduğu Kabataş - Mahmutbey (M7) metro hattı tarafından beslenmektedir.



Şekil 5.29. Senaryo2 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması

TEİAŞ girişlerinden bir tanesinin arızalı düşünüldüğü bu senaryoda istasyonlar arasında 185 ve 120 mm² XLPE izoleli tek damar bakır iletkenli kablo kullanıldığında yüklenme oranları Tablo 5.15'te listelenmiştir.

Tablo 5.15. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları

Kablo Metraj ve Kesit	Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Yüklenme Oranı (%)	120 mm ² Yüklenme Oranı (%)
352m 3x(1x...) mm ² _YeniHat	İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	17,5	22,5
352m 3x(1x...) mm ² _YeniHat_	İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	17,9	23
600m 2x3x(1x240) mm ² TEİAŞ1_M7	TEİAŞ KüçükköyOG	M7Yesilpınar1	27	27
600m 2x3x(1x240) mm ² TEİAŞ2 M7	TEİAŞ KüçükköyOG1	M7Yesilpınar2	45,4	45,4
801m 3x(1x185) mm ² T5	Depo	M7Alb1	20,7	20,7
850m 3x(1x240) mm ² _M7	M7VKaraniBati	M7CırcırDoğu1	50	50
850m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7CırcırDoğu2	M7VKaraniBati	33,6	33,6
955m 3x(1x240) mm ² _M7	M7VKaraniBati	M7Yesilpınar2	59,6	59,6

Tablo 5.15. (Devam) Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları

955m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7Yeşilpınar1	M7VKaraniBatı	42,8	42,8
1012m 3x(1x240) mm ² _M7	M7CırcırDoğu2	M7Alb2	9,6	9,6
1012m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7Alb1	M7CırcırDoğu1	26	26
1144m 3x(1x240) mm ² _M7	M7KKrb2	M7Yeşilpınar1	1,8	1,8
1146m 3x(1x240) mm ² _M7	M7KKrb1	M7Yeşilpınar2	16,4	16,4
1221m 3x(1x240) mm ² _M7	M7Nurtepe2	M7Alb2	8,8	8,8
1221m 3x(1x240) mm ² _M7_	M7Alb1	M7Nurtepe1	7,3	7,3
1273m 3x(1x185) mm ² T5	Depo	ARA4	14,5	14,5
1301m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	9,7	12,5
1301m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	9,7	12,4
2127m 3x(1x185) mm ² _T5	ARA1	UC1	4,6	4,6
2127m 3x(1x185) mm ² _1 T5_	ARA2	ARA1	7,1	7,1
2127m 3x(1x185) mm ² _2 T5_	ARA3	ARA2	9,5	9,5
2127m 3x(1x185) mm ² _3 T5_	ARA4	ARA3	12	12
3005m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon1Kuzey	İstasyon2Güney	8,7	11,2
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon1Güney	İstasyon2Kuzey	8,9	11,4

Sadece tek taraftan enerji alınabildiği bu durumda tüm sistem değerlendirildiğinde OG kabloları arasında maksimum yüklenmenin yine (M7) metro hattı Veysel Karani ve Yeşilpınar istasyonları arasındaki kabloda olduğu görülmüştür. Kablo kesit değişikliği Kabataş - Mahmutbey (M7) hattında yapılmadığından tabloda bu değer iki sütunda da %59,6 olarak gösterilmiştir. Analiz edilen kabloların hiçbirinde kablolarda aşırı yüklenme durumu görülmemiştir. Çalışmaya konu olan hattın diğer hatlara bağlı olan komşu istasyonlarının arasında ki kablolardan kesitlere göre ortalama 94,65 A akım geçerken bu senaryo için istasyonlar arası kablolarda maksimum yüklenme durumu sınır değerlerin içinde kalmaktadır [35].

Tablo 5.16. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

Ekipman Konumu	Bara Adı	Anma Gerilimi	185 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)	120 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	0,65	0,72
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	0,52	0,59
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	0,44	0,48
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	0,57	0,61
İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	0,54	0,55
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	0,41	0,43
M7 Hattı	Nurtepe1	34,5 kV	0,61	0,61
M7 Hattı	Nurtepe2	34,5 kV	0,45	0,46
M7 Hattı	Alb1	34,5 kV	0,58	0,59
M7 Hattı	Alb2	34,5 kV	0,42	0,43
M7 Hattı	CırcırDoğu1	34,5 kV	0,52	0,53
M7 Hattı	CırcırDoğu2	34,5 kV	0,39	0,4
M7 Hattı	VKaraniBati	34,5 kV	0,32	0,32
M7 Hattı	VKaraniBati_	34,5 kV	0,41	0,42
M7 Hattı	Yesilpınar1	34,5 kV	0,21	0,22
M7 Hattı	Yesilpınar2	34,5 kV	0,27	0,28
M7 Hattı	KKrb1	34,5 kV	0,32	0,33
M7 Hattı	KKrb2	34,5 kV	0,22	0,22
T5 Hattı	ARA1	34,5 kV	0,86	0,86
T5 Hattı	ARA2	34,5 kV	0,82	0,82
T5 Hattı	ARA3	34,5 kV	0,77	0,77
T5 Hattı	ARA4	34,5 kV	0,7	0,71
T5 Hattı	Depo	34,5 kV	0,63	0,63
T5 Hattı	UC1	34,5 kV	0,88	0,89
M7 Hattı	Küçükköy_OG	34,5 kV	0,17	0,17
M7 Hattı	Küçükköy_OG1	34,5 kV	0,2	0,21

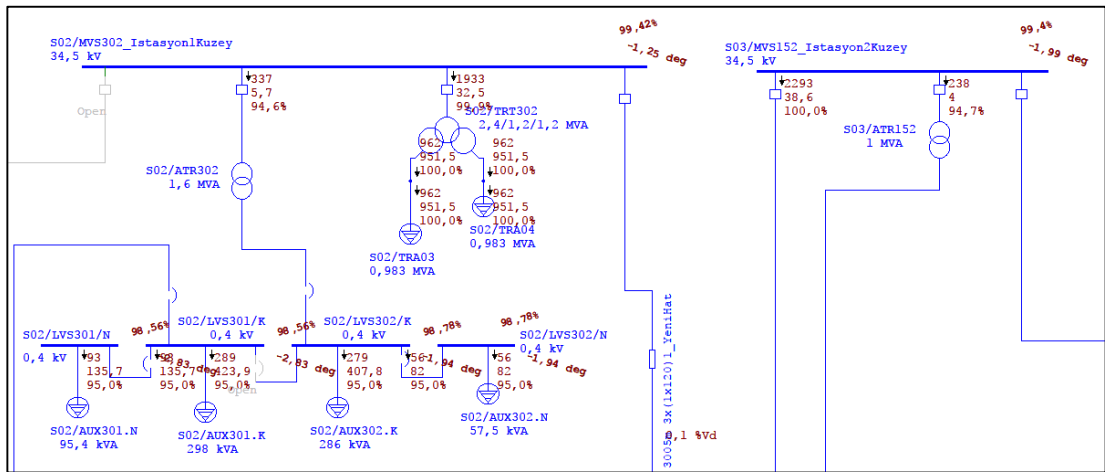
Tablo 5.16’da istasyon baraları gerilim düşüm oranları verilmiştir. İkinci besleme senaryosunda en fazla gerilim düşümü istasyon 1 Güney barasında 185 mm² XLPE

izoleli tek damar bakır orta gerilim kablosu kullanıldığında 224,25 V değerinde ve 120 mm² aynı cins kablo kesiti kullanıldığında 248,4 V değerinde olmuştur. Bu sonuçlar kabul edilebilir sınır değerler altında kalmaktadır [33]. Tablo 5.17’de bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE izoleli tek damar bakır iletkenli kablo kullanımında baralardaki güç ve akım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.17. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımı ile bara güç değerleri

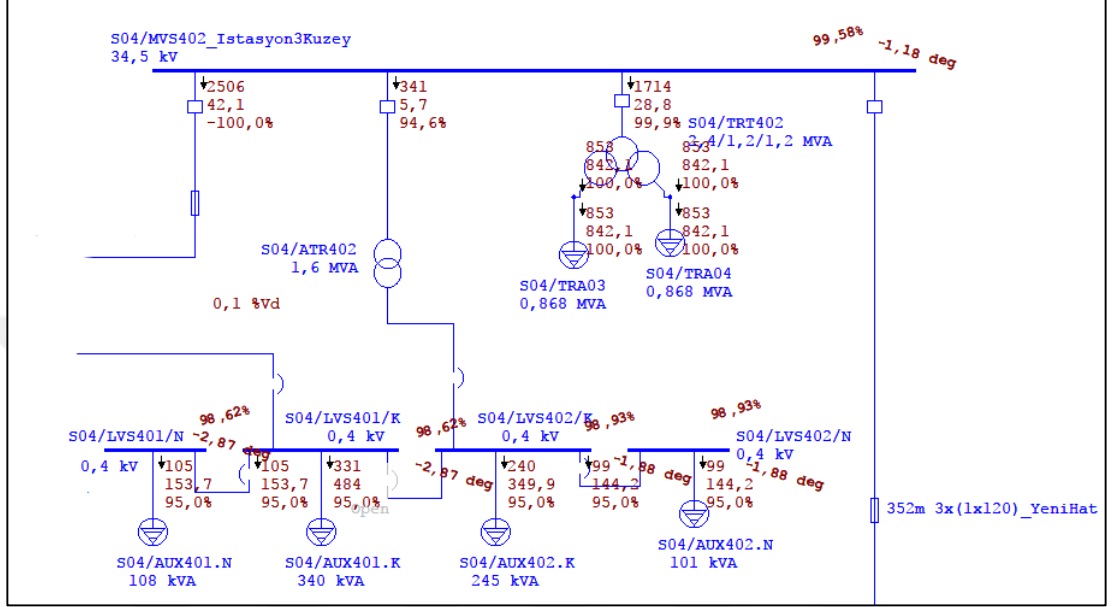
Ekipman Konumu	Bara Adı	185 mm ² Kablo ile			120 mm ² Kablo ile		
		Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	2294	210	38,79	2290	210	38,77
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	2254	194	38,05	2270	194	38,02
İstasyon 2	İstasyon2Güney	2507	85,88	42,17	2505	85,83	42,14
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	2521	76,76	42,17	2531	85,43	42,43
İstasyon 3	İstasyon3Güney	4646	210	78,25	4643	210	78,21
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	4544	177	76,41	4561	177	76,37

TEİAŞ indirici merkez girişlerinin sadece birisinin enerjili olduğu bu senaryo da en fazla aktif gücün istasyon 3’te 4643 kW değerinde olduğu ve bara güç değerlerinin kablo kesiti değişikliği ile kayda değer şekilde değişmediği görülmüştür. Şekil 5.30.’da senaryo 2 durumunda istasyonlar arası 3x(1x120) mm² XLPE izoleli tek damarlı bakır iletkenli orta gerilim kablosu kullanıldığında planlanan hattaki 1. ve 2. İstasyonun kuzey baralarından çekilen aktif güç değerleri gözükmektedir.



Şekil 5.30. Senaryo2 durumunda istasyon1 ve istasyon3 yük akış analizi

Senaryo 2 durumunda istasyonlar arası 3x(1x120) mm² XLPE izoleli tek damarlı bakır iletkenli orta gerilim kablosu kullanıldığında planlanan hattaki 3. İstasyonun kuzey barasından 4561 kW aktif güç çekildiği görülmüştür. Analizin ETAP model görüntüsü Şekil 5.31’de gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Senaryo2 durumunda istasyon3 yük akış analizi

Bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralarda oluşacak maksimum üç faz kısa devre akım değerleri Tablo 5.18’de gösterilmiştir. OG baralarındaki 3 faz kısa devre akımlarının en küçük değerleri OG senaryoları için T5 Hattı UC1 barasında 4,79 kA olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 5.18. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

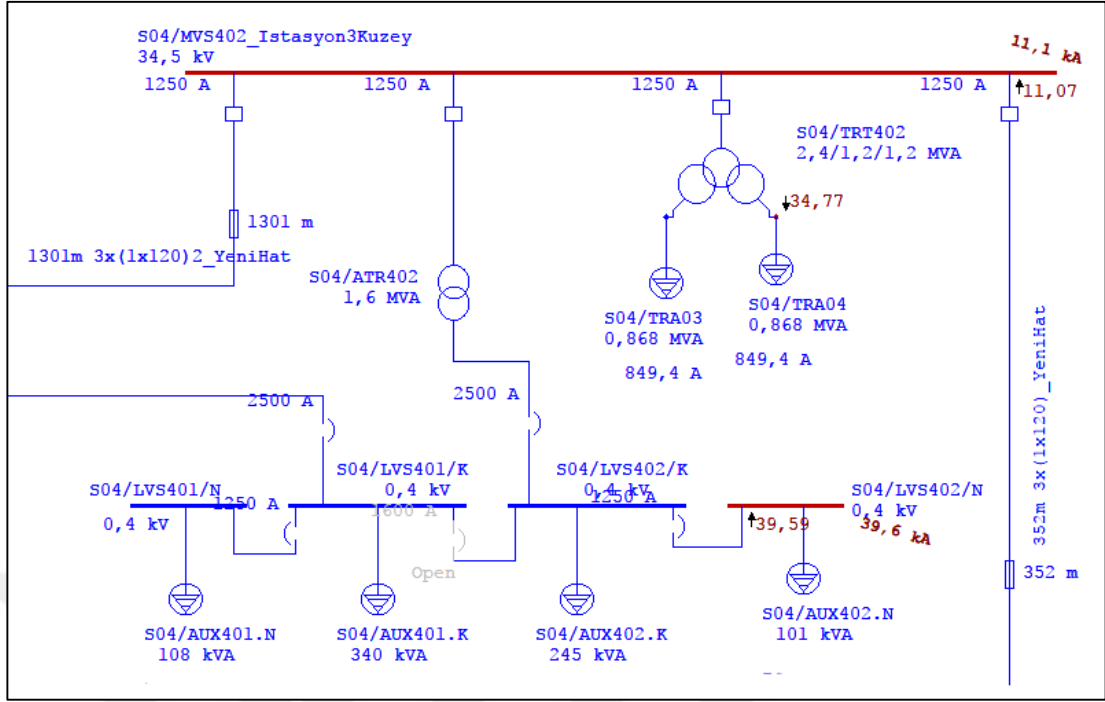
Ekipman Konumu	Arıza Olan Bara Adı	Anma Gerilim	185 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	120 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	8,29	7,96
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	8,29	7,96
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	10,09	9,95
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	10,09	9,95

Tablo 5.18. (Devam) Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² x1pe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	11,10	11,07
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	11,10	11,07
M7 Hattı	Nurtepe1	34,5 kV	9,86	9,86
M7 Hattı	Nurtepe2	34,5 kV	9,86	9,86
M7 Hattı	Alb1	34,5 kV	10,65	10,65
M7 Hattı	Alb2	34,5 kV	10,65	10,65
M7 Hattı	CırcırDoğu1	34,5 kV	11,40	11,40
M7 Hattı	CırcırDoğu2	34,5 kV	11,40	11,40
M7 Hattı	VKaraniBatı	34,5 kV	12,11	12,11
M7 Hattı	VKaraniBatı_	34,5 kV	12,11	12,11
M7 Hattı	Yesilpınar1	34,5 kV	13,01	13,01
M7 Hattı	Yesilpınar2	34,5 kV	13,01	13,01
M7 Hattı	KKrb1	34,5 kV	11,90	11,90
M7 Hattı	KKrb2	34,5 kV	11,90	11,90
T5 Hattı	ARA1	34,5 kV	5,35	5,35
T5 Hattı	ARA2	34,5 kV	6,05	6,05
T5 Hattı	ARA3	34,5 kV	6,96	6,96
T5 Hattı	ARA4	34,5 kV	8,16	8,16
T5 Hattı	Depo	34,5 kV	9,84	9,84
T5 Hattı	UC1	34,5 kV	4,79	4,79
M7 Hattı	TEİAŞ_Küçükköy_OG	34,5 kV	13,45	13,45
M7 Hattı	TEİAŞ_Küçükköy_OG1	34,5 kV	13,45	13,45

OG baralarındaki maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri OG senaryoları için TEİAŞ Küçükköy OG baralarında 13,45 kA olarak gerçekleşmiştir.

Planlanan hat üzerinde gerçekleştirilen bu senaryoda kısa devre analizleri kapsamında üçüncü istasyonda orta ve alçak gerilim baralarında oluşacak kısa devreler Şekil 5.32'de gösterilmiştir. İlgili baranın alçak gerilim tarafında kısa devre değeri 39,6 kA olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.32. Senaryo2 durumunda İstasyon3 kısa devre analizi

Tablo 5.19. Senaryo 2 İstasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri

Kablo Metraj ve Kesit	Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)		120 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı(kA)	
			BOB1	BOB2	BOB1	BOB2
352m 3x(1x...) mm ² _YeniHat	İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	11,1	11,4	11,07	11,4
352m 3x(1x...) mm ² _YeniHat_	İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	11,1	11,4	11,07	11,4
1301m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	10,09	11,1	9,95	11,07
1301m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	10,09	11,1	9,95	11,07
2190m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	Seyrantepe	İstasyon1Güney	X	8,29	X	7,96
2190m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	X	8,29	X	7,96
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat	İstasyon1Kuzey	İstasyon2Güney	8,29	10,09	7,96	9,95
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon1Güney	10,09	8,29	9,95	7,96

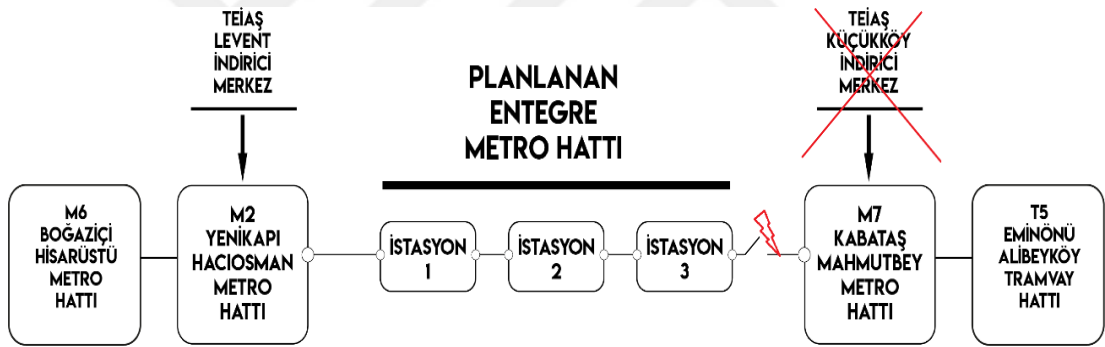
*BOB:Bağlı Olduğu Bara

Tablo 5.19' da; planlanan sistemde her bir OG kablosu için kablunun bağlı olduğu uçlarda/baralarda gerçekleşecek maksimum 3 faz kısa devre akımları verilmiştir. Tablo incelendiğinde maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri 11

kA seviyelerinde gerçekleşmektedir. Bu değer seçilen 185 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 26,5 kA' in ve 120 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 17,2 kA değerinin altında kalmaktadır [34]. Bu sonuç kabul edilebilir olmakla beraber araç hareketleri ve istasyon iç ihtiyaç yüklerinin karşılanmasında herhangi bir durum yaratmayacaktır.

5.4.3. Teiaş girişlerinin enerjili-arızalı olduğu durum (senaryo3)

Orta gerilim sisteminde arıza olduğu Kabataş - Mahmutbey (M7) metro hattı tarafından (Levent 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezi) enerji alınmadığı veya sistemde arıza olmayıp Kabataş - Mahmutbey (M7) metro hattı kaynağının yedekte beklediği durum. Bu senaryoda tüm sistem 1. istasyonun bağlantılı olduğu Yenikapı - Hacıosman (M2) metro hattı tarafından beslenmektedir.



Şekil 5.33. Senaryo3 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması

Bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE izoleli tek damar bakır iletkenli kablo kullanımında yüklenme oranları Tablo 5.20'de listelenmiştir.

Tablo 5.20. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları

Kablo Metraj ve Kesit	Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ²	120 mm ²
			Yüklenme Oranı (%)	Yüklenme Oranı (%)
150m 3x3x(1x150)mm ² TEİAŞ1_M2	TEİAŞ_Levent_OG1	Levent_Intake1	23,4	23,4

Tablo 5.20. (Devam) Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² x lpe tek damar kablo kullanımında yüklenme oranları

150m 3x3x(1x150) mm ² TEİAŞ2_M2	TEİAŞ_Levent_OG2	Levent_Intake2	47,1	47,1
150m 3x3x(1x150) mm ² TEİAŞ3_M2	TEİAŞ_Levent_OG1	Levent_Intake3	23,4	23,4
301m 3x(1x185) mm ² _M2	Seyrantepe1	Atölye	19,3	19,3
422m 3x(1x185) mm ² M2	Depo	Atölye	25,8	25,8
800m 3x(1x95) mm ² Zorlu	Zorlu	Gtepe_Kuzey	3,5	3,5
830m 2x3x(1x185) mm ² 1 M2	Levent_Intake1	4Levent_Kuzey	22,3	22,3
830m 2x3x(1x185) mm ² 2 M2	4Levent_Güney	Levent_Intake2	37,1	37,1
900m 3x(1x185) mm ² _M6	Boğazici	Etiler	6,4	6,4
950m 3x(1x185) mm ² _M2	Levent_Intake1	Levent_Kuzey	27,7	27,7
950m 3x(1x185) mm ² _M6	Levent_Intake3	Levent	25,7	25,7
1000m 3x(1x185) mm ² _M6	Etiler	Nispetiye	8,3	8,3
1180m 3x(1x150) mm ² _M2	Levent_Intake2	Levent_Güney	28,2	28,2
1200m 3x(1x185) mm ² _M6	Nispetiye	Levent	19,3	19,3
1225m 3x(1x150) mm ² _M2	Levent_Güney	Gtepe_Güney	25,7	25,7
1240m 2x3x(1x185) mm ² _M2	4Levent_Güney	Sanayi_Kuzey	25,7	25,7
1245m 3x(1x120) mm ² _M2	Levent_Kuzey	Gtepe_Kuzey	5,8	5,8
1297m 3x(1x185) mm ² M2	Depo	Sanayi_Kuzey	49,5	49,5
1301m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	8,2	10,5
1301m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	7,8	10
1357m 2x3x(1x185) mm ² _M2	4Levent_Kuzey	Sanayi_Güney	21,2	21,2
1718m 3x(1x185) mm ² _M2	Sanayi_Güney	Seyrantepe	19,8	19,8
2190m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	Seyrantepe	İstasyon1Güney	17,9	22,9
2190m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	17,4	22,3
3005m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon1Kuzey	İstasyon2Güney	8,8	11,3
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon1Güney	İstasyon2Kuzey	9,1	11,6

Bir önceki alternatifte olduğu gibi sadece tek taraftan enerji alınabildiği bu durumda OG kabloları arasında maksimum yüklenmenin (M2) metro hattı Sanayi istasyonu ve Depo Sahası bölgesi arasında ki kabloda olduğu görülmüştür. Kablo kesit değişikliği (M2) hattında yapılmadığından tabloda bu değer iki sütunda da %49,5 olarak gösterilmiştir. Analiz edilen ilgili istasyonların hiçbirinde kablolarda aşırı yüklenme durumu görülmemiştir. Çalışmaya konu olan hattın diğer hatlara bağlı olan komşu istasyonlarının arasında ki kablolardan kesitlere göre ortalama 94,24 A akım geçerken bu senaryo için istasyonlar arası kablolarda maksimum yüklenme durumu sınır değerlerin içinde kalmaktadır [35].

Çalışmada incelemesi yapılan bir başka durum ise baralardaki gerilim düşüm seviyelerinin belirlenmesidir. Tablo 5.21’de bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE izoleli tek damar bakır iletkenli kablo kullanımında baralardaki gerilim düşümü oranları gösterilmiştir.

Tablo 5.21. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

Ekipman Konumu	Bara Adı	Anma Gerilimi	185 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)	120 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)
M2 Hattı	Atölye	34,5 kV	0,86	0,87
M2 Hattı	Levent_Intake1	34,5 kV	0,58	0,6
M2 Hattı	Levent_Intake2	34,5 kV	0,45	0,46
M2 Hattı	Levent_Intake3	34,5 kV	0,58	0,6
M2 Hattı	Depo	34,5 kV	0,83	0,84
M6 Hattı	Levent	34,5 kV	0,65	0,67
M6 Hattı	Nispetiye	34,5 kV	0,72	0,73
M6 Hattı	Etiler	34,5 kV	0,75	0,76
M6 Hattı	Boğaziçi	34,5 kV	0,76	0,78
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	0,92	0,99
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	0,98	1,05
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	1,06	1,16
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	0,99	1,1
M2 Hattı	Gtepe_Güney	34,5 kV	0,66	0,67

Tablo 5.21. (Devam) Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

M2 Hattı	Gtepe_Kuzey	34,5 kV	0,69	0,7
İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	1,02	1,14
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	1,09	1,2
M2 Hattı	Levent_Güney	34,5 kV	0,56	0,57
M2 Hattı	Levent_Kuzey	34,5 kV	0,66	0,68
M2 Hattı	4Levent_Güney	34,5 kV	0,54	0,55
M2 Hattı	4Levent_Kuzey	34,5 kV	0,64	0,65
M2 Hattı	Seyrantepe	34,5 kV	0,81	0,82
M2 Hattı	Seyrantepe1	34,5 kV	0,88	0,89
M2 Hattı	Sanayi_Güney	34,5 kV	0,72	0,73
M2 Hattı	Sanayi_Kuzey	34,5 kV	0,64	0,65
M2 Hattı	Levent_OG1	34,5 kV	0,57	0,59
M2 Hattı	Levent_OG2	34,5 kV	0,43	0,44
M2 Hattı	Zorlu	34,5 kV	0,7	0,71

Üçüncü besleme senaryosunda en fazla gerilim düşümü istasyon 2 Güney barasında 120 mm² XLPE izoleli tek damar bakır kablo kullanıldığında 400,2 V değerinde olmuştur. Bu sonuç kabul edilebilir sınır değerler altında kalmaktadır [33].

Analiz çalışmada gösterilen bir başka durum ise incelemeye konu olan istasyonlardaki baraların aktif güç, reaktif güç ve bara akımlarıdır. Tablo 5.22’de bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralardaki güç ve akım değerleri gösterilmiştir.

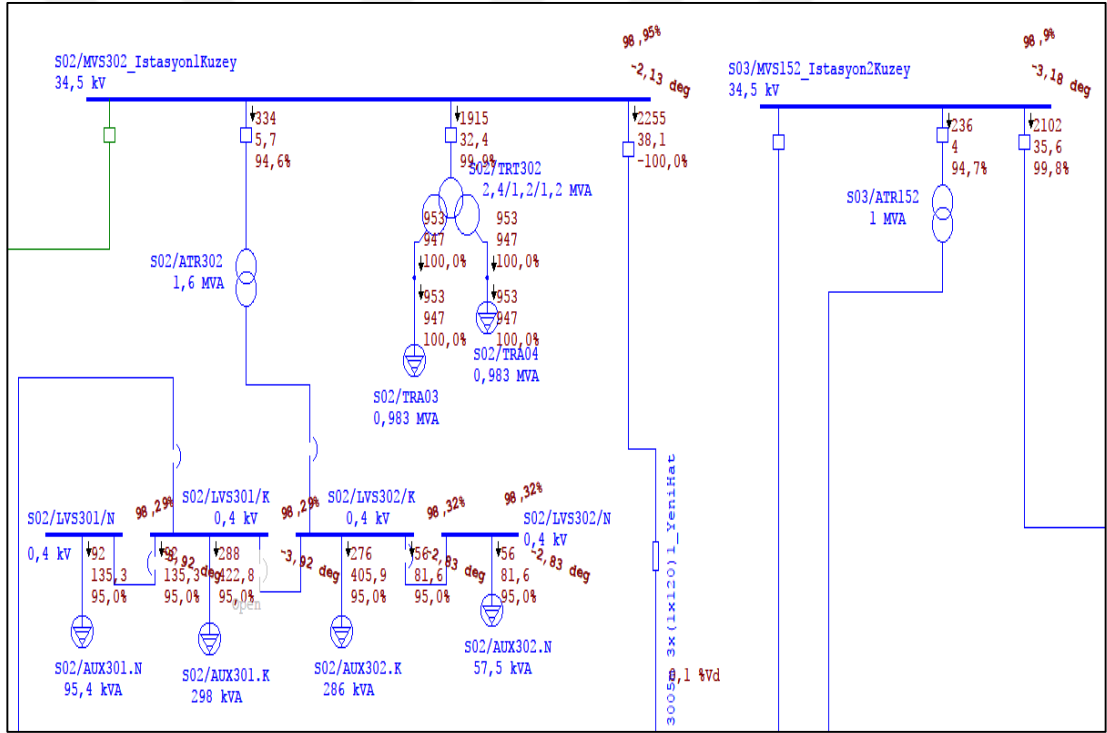
Tablo 5.22. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımı ile bara güç değerleri

Ekipman Konumu	Bara Adı	185 mm ² Kablo ile			120 mm ² Kablo ile		
		Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	4611	209	77,95	4603	209	77,87
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	4492	192	75,98	4504	192	75,91
İstasyon 2	İstasyon2Güney	2257	160	38,28	2252	172	38,25

Tablo 5.22. (Devam) Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımını ile bara güç değerleri

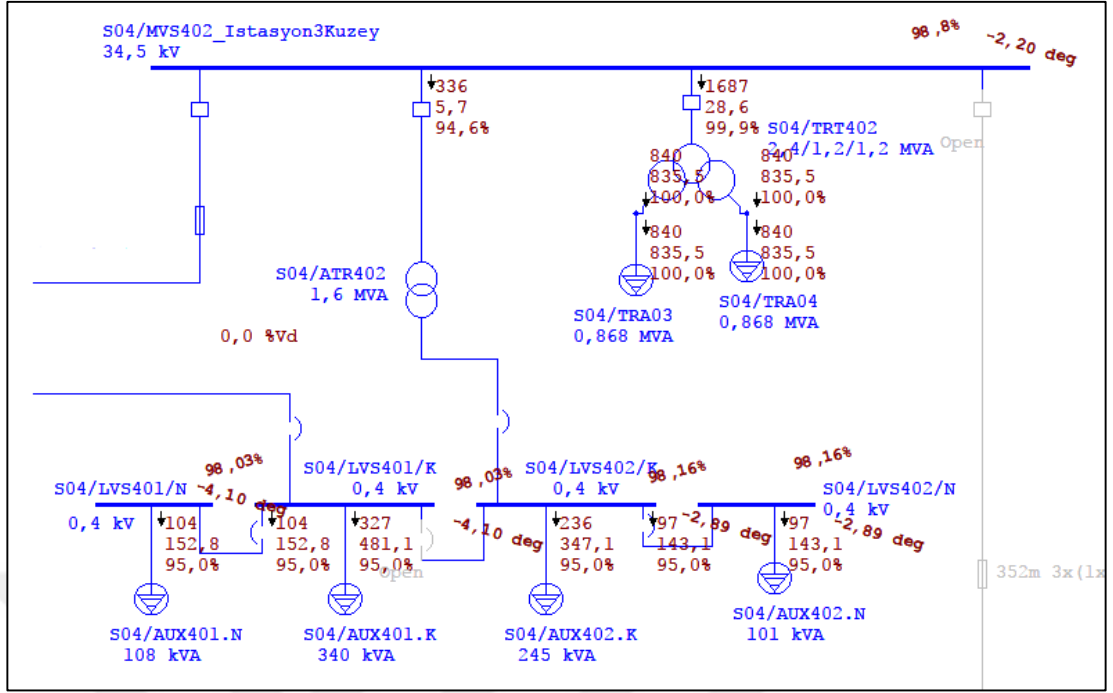
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	2328	185	39,47	2338	197	39,44
İstasyon 3	İstasyon3Güney	2103	208	35,74	2098	207	35,69
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	2008	174	34,1	2023	174	34,06

TEİAŞ indirici merkez girişlerinden sadece birisinin aktif olduğu bu senaryo da en fazla aktif gücün istasyon 1’de 4611 kW değerinde olduğu ve bara güç değerlerinin kablo kesiti değişikliği ile kayda değer şekilde değişmediği görülmüştür. Şekil 5.34’te senaryo 3 durumunda istasyonlar arası 3x(1x120) mm² XLPE izoleli tek damarlı bakır iletkenli orta gerilim kablosu kullanıldığında planlanan hattaki 1. ve 2. İstasyonun kuzey baralarından çekilen aktif güç değerleri gözükmemektedir.



Şekil 5.34. Senaryo3 durumunda istasyon1 ve istasyon2 yük akış analizi

Senaryo 3 durumunda istasyonlar arası 3x(1x120) mm² XLPE izoleli tek damarlı bakır iletkenli orta gerilim kablosu kullanıldığında planlanan hattaki 3. istasyonun kuzey barasından 2023 kW aktif güç çekildiği görülmüştür. Analizin ETAP model görüntüsü Şekil 5.35’de gösterilmiştir.



Şekil 5.35. Senaryo3 durumunda istasyon3 yük akış analizi

Bu senaryo için istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralarda oluşacak maksimum üç faz kısa devre akım değerleri Tablo 5.23'te gösterilmiştir.

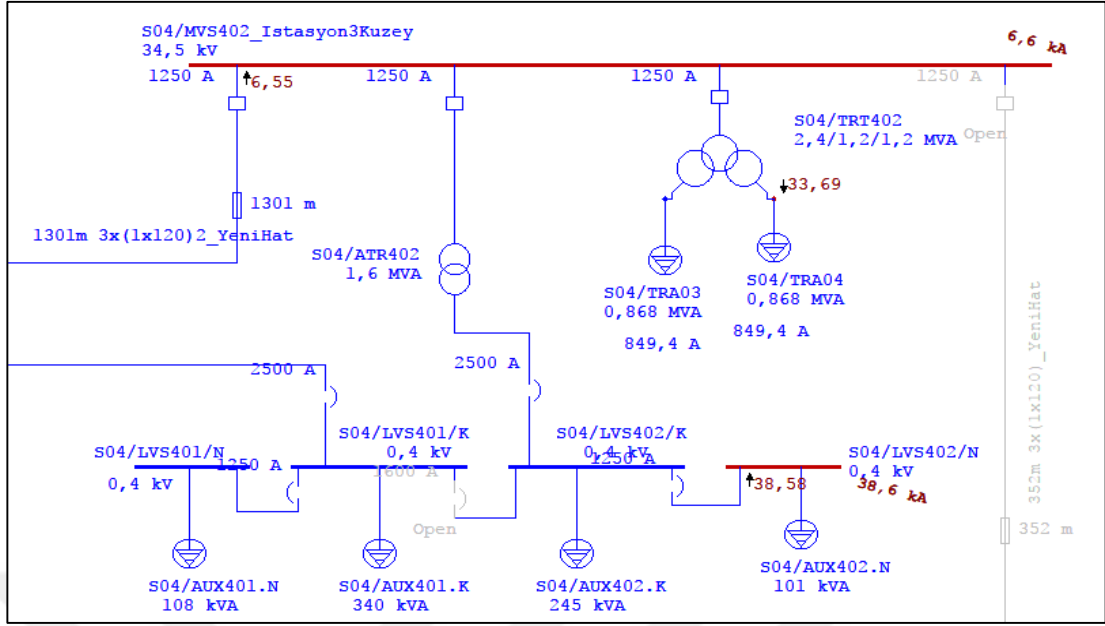
Tablo 5.23. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

Ekipman Konumu	Arıza Olan Bara Adı	Anma Gerilim	185 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	120 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)
M2 Hattı	Atölye	34,5 kV	10,52	10,52
M2 Hattı	Levent_Intake1	34,5 kV	8,63	8,63
M2 Hattı	Levent_Intake2	34,5 kV	13,06	13,06
M2 Hattı	Levent_Intake3	34,5 kV	8,63	8,63
M2 Hattı	Depo	34,5 kV	10,86	10,86
M6 Hattı	Levent	34,5 kV	8,19	8,19
M6 Hattı	Nispetiye	34,5 kV	7,69	7,69
M6 Hattı	Etiler	34,5 kV	7,31	7,31
M6 Hattı	Boğaziçi	34,5 kV	6,99	6,99
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	6,68	6,60

Tablo 5.23. (Devam) Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	8,87	8,7
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	7,41	7,09
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	5,85	5,67
M2 Hattı	Gtepe_Güney	34,5 kV	10,96	10,96
M2 Hattı	Gtepe_Kuzey	34,5 kV	7,61	7,63
İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	5,54	5,34
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	6,92	6,55
M2 Hattı	Levent_Güney	34,5 kV	11,81	11,81
M2 Hattı	Levent_Kuzey	34,5 kV	8,19	8,19
M2 Hattı	4Levent_Güney	34,5 kV	12,62	12,62
M2 Hattı	4Levent_Kuzey	34,5 kV	8,42	8,43
M2 Hattı	Seyrantepe	34,5 kV	7,44	7,44
M2 Hattı	Seyrantepe1	34,5 kV	10,29	10,29
M2 Hattı	Sanayi_Güney	34,5 kV	8,13	8,13
M2 Hattı	Sanayi_Kuzey	34,5 kV	12	12
M2 Hattı	TEİAŞ_Levent_OG1	34,5 kV	8,64	8,64
M2 Hattı	TEİAŞ_Levent_OG2	34,5 kV	13,14	13,14
M2 Hattı	Zorlu	34,5 kV	7,27	7,27

OG baralarda ki maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri bu senaryo için TEİAŞ Levent OG2 barasında 13,14 kA, TEİAŞ Levent OG1 barasında 8,64 kA olarak gerçekleşmiştir. İstasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralarda oluşacak maksimum üç faz kısa devre akım değerlerinden en az olan İstasyon 3'ün güney barasında 185 mm² kablo kesiti için 5,54 kA ve 120 mm² kablo kesiti için 5,34 kA olarak görülmektedir. Levent – Boğaziçi / Hisarüstü (M6) metro hattında en yüksek 3 faz kısa devre akım değerleri en yüksekten en aza doğru tahmin edilebileceği gibi sırasıyla Levent, Nispetiye, Etiler ve Boğaziçi istasyonlarında 8,19 kA değerinden başlayarak görülmüştür.



Şekil 5.36. Senaryo3 durumunda istasyon3 kısa devre analizi

Planlanan hat üzerinde gerçekleştirilen bu senaryoda kısa devre analizleri kapsamında üçüncü istasyonda orta ve alçak gerilim baralarında oluşacak kısa devreler Şekil 5.36'da gösterilmiştir. İlgili baranın alçak gerilim tarafında kısa devre değeri 38,6 kA olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 5.24. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² xlpe tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri

Kablo Metraj ve Kesit	Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)		120 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	
			BOB1	BOB2	BOB1	BOB2
352m 3x(1x...)mm ² _YeniHat	İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	6,92	X	6,55	X
352m 3x(1x...)mm ² _YeniHat_	İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	5,54	X	5,34	X
1301m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	5,85	5,54	5,67	5,34
1301m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	7,41	6,92	7,09	6,55
2190m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	Seyrantepe	İstasyon1Güney	7,44	6,68	7,44	6,6
2190m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	10,29	8,87	10,29	8,7
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat	İstasyon1Kuzey	İstasyon2Güney	8,87	7,41	8,7	7,09
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon1Güney	5,85	6,68	5,67	6,6

*BOB:Bağlı Olduğu Bara

Tablo 5.24’te; planlanan sistemde her bir OG kablosu için kablonun bağlı olduğu baralarda gerçekleşecek maksimum 3 faz kısa devre akımları verilmiştir. Tablo incelendiğinde maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri 10 kA seviyelerinde gerçekleşmektedir. Bu değer seçilen 185 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 26,5 kA’ in ve 120 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 17,2 kA değerinin altında kalmaktadır [34]. Bu sonuç kabul edilebilir olmakla beraber araç hareketleri ve istasyon iç ihtiyaç yüklerinin karşılanmasında herhangi bir durum yaratmayacaktır.

5.5. Kablo Kesit Değişiminde Maliyet Analizi

Bu bölümde sistemde kullanılması amaçlanan 1x120 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablo ile 1x185 mm² bakır XLPE tek damar kablonun kurulum ve güç kayıpları açısından maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.5.1. Orta gerilim kabloları tesisi maliyet analizi

Orta gerilim enerji kablolarında kesit değeri arttıkça ilgili kablonun fiyatı da artmaktadır. Tablo 5.25’te paylaşıldığı üzere tasarlanan bu entegre hatta toplam 13696 metre XLPE orta gerilim kablosu kullanılacaktır.

Tablo 5.25. Entegre hatta ait orta gerilim kablo metrajları

Kablo Metraj ve Adları	Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2
352m 3x(1x...)mm ² _YeniHat	İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2
352m 3x(1x...)mm ² _YeniHat_	İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1
1301m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney
1301m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey
2190m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	Seyrantepe	İstasyon1Güney
2190m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat	İstasyon1Kuzey	İstasyon2Güney
3005m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat	İstasyon2Kuzey	İstasyon1Güney

Tablo 5.26’da 2020 yılı Eylül ayına ait Prysmian ve Nexans Kablo’nun 1x120 mm² bakır XLPE izoleli tek damar kablo ile 1x185 mm² bakır XLPE tek damar kablonun fiyat bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 5.26. Orta gerilim kabloları fiyat bilgileri

Kablo Kesit Değeri	Fiyat (TL/Km)
1x120 mm ² bakır XLPE izoleli tek damar kablo (2XSY)	245.740
1x185 mm ² bakır XLPE izoleli tek damar kablo (2XSY)	353.950

Tablo 5.26’da fiyatları belirtilen farklı kesitteki orta gerilim kabloları arasında tek damar kablo için fiyat farkı 108.210 TL/Km olarak görülmektedir. İstasyonlar arası tek yolda 3x(1x...) mm² kablo tesis edildiği düşünülduğünde üç damar için fiyat farkı 324.630 TL/Km olacaktır. Bir kilometredeki bu farkı 13,696 kilometre için oranladığımızda 1x185 mm² 2XSY kablo yerine 1x120 mm² 2XSY kablo tesis edildiğinde 4.446.132,48 TL kurulum maliyetinden tasarruf sağlanacaktır.

5.5.2. Orta gerilim kablolarının güç kayıpları analizi

Orta gerilim enerji kablolarında kesit değeri arttıkça ilgili kabloda oluşan kayıp değerleri azalmaktadır. Tablo 5.27’de istasyonlar arası kabloların farklı kesitlerde tam yükte kablo kayıpları gösterilmiştir.

Tablo 5.27. Entegre hatta ait orta gerilim kablolarında güç kayıpları

Kablo Metraj ve Adları	185 mm ² Kablo Kayıpları (kW)	120 mm ² Kablo Kayıpları (kW)
352m 3x(1x...)mm ² _YeniHat	0,189	0,307
352m 3x(1x...)mm ² _YeniHat_	0,2	0,29
1301m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	0,009	0,013
1301m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	0,007	0,011
2190m 3x(1x...) mm ² 1_YeniHat	1,13	1,735
2190m 3x(1x...) mm ² 2_YeniHat_	1,18	1,81

1x120 mm² 2XSY kablo kullanıldığında kablo güç kayıpları 4,166 kW, 1x185 mm² 2XSY kablo kullanıldığında kablo güç kayıpları 2,715 kW olmaktadır. Burada 1,451 kW kablo güç kayıplarından zarar oluşmaktadır. İstanbul metrolarının çoğunda hafta sonları hariç günlük 18 saat işletme altında oldukları dikkate alındığında burada 26,118 kWh günlük kablo güç kaybı oluşmaktadır. Bu değerden hareketle yılda 9533,07 kWh enerji kablolarında kaybedilmektedir. Metro İstanbul A.Ş. 2020 yılı Ağustos ayı itibariyle 1 kWh enerjiye KDV dahil 0,724489 TL değerinde bedel ödediği dikkate alındığında ortalama yıllık 6.906,6 TL mali açıdan zarar oluşmaktadır. Orta gerilim

kabloların ortalama 6m6rleri 30 yıl olduğu varsayıldığında 30 yılda kablo g6c kaybı 207.198 TL olacaktır.

Kablo kesit değişiminde oluşturulan maliyet analizinde kablo tesisi için 1x185 mm² 2XSY kablo yerine 1x120 mm² 2XSY kablo tesis edildiğinde 4.446.132,48 TL kurulum maliyetinden tasarruf sağlanacaktır. Bu maliyet kaleminden, 30 yıl boyunca 1x120 mm² 2XSY kablo kullanıldığı varsayıldığında, 1x185 mm² 2XSY kabloya göre ekstradan oluşacak kablo g6c kaybı 207.198 TL çıkarıldığında 4.238.934,48 TL tasarruf sağlanmış olacaktır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kent içi raylı sistemler, gün geçtikçe büyükşehirlerin vazgeçilmez ulaşım aracı olma yolunda hızla ilerlemektedir. Toplu ulaşımında yatırım maliyetleri açısından en yüksek bütçe olarak yer alan bu sistemlerin oluşumu, hatların fizibilite aşamasında dahi büyük önem arz etmektedir. Planlama aşamalarında yanlış seçimler yapılmasını önlemek adına ekipman seçimleri, sistem gelişimleri açısından herhangi bir simülasyon programı kullanmak verimli olacaktır. Bu bilgilerden hareketle tez çalışmasında literatürdeki çalışmalardan farklı olarak tek bir hattın değil birden fazla raylı sistem hattının entegre olduğu durumlar incelenmiş, farklı besleme senaryoları oluşturulmuştur.

Enerji giriş alternatifleri oluşturulan bu hattın her üç senaryoda, yük akış analiz sonuçları göz önüne alındığında sistemin yeni bir indirici merkeze gerek duymadığı, mevcutta var olan Yenikapı – Hacıosman (M2) metro hattı ve Kabataş – Mahmutbey (M7) metro hatlarının indirici merkezlerinin bu raylı sistem hattını besleme konusunda yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm senaryolardaki orta gerilim kabloların maksimum yüklenme durumları her iki kesit (120 ve 185 mm²) XLPE izoleli tek damarlı bakır iletkenli kablo için incelendiğinde planlanan ve mevcut hatların istasyonlar arası kablolarında aşırı yüklenme durumu görülmemiştir. İstanbul kent içi raylı sistem metro ağlarında istasyonlar arası kullanılan kablo kesiti şu ana kadar en düşük 185 mm² olarak düşünüldüğünde yapılan yük akış ve kısa devre analizleri sonucu planlanan bu hat için 120 mm² kesitli kablonun da uygun ve kullanılabilir olduğu saptanmıştır.

İlerleyen yıllarda açılacak yeni metro hatları göz önüne alındığında bundan sonra yapılacak çalışmalarda sadece tek bir hattın değil, ilgili hat ile entegre olan tüm raylı sistem hatlarının verilerinin birleştirilmesi ve oluşacak her senaryonun tüm hatları ilgilendireceği unutulmadan analizler yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] URL-1: <https://istatistik.istanbul/bulten.html?id=28>, (Ziyaret tarihi: 21 Haziran 2020).
- [2] URL-2: https://www.metro.istanbul/icerik/faaliyet_raporlari, (Ziyaret tarihi: 22 Haziran 2020).
- [3] URL-3: <https://www.metro.istanbul>, (Ziyaret tarihi: 22 Haziran 2020).
- [4] Dündar M. T., Öztürk Z., Metro Sistemlerinin Yapım Ve İşletme Maliyetleri Optimizasyonu İçin Bir Çalışma, *Teknik Dergi*, 2016, **27**, 7659-7668.
- [5] Mahdi N. M., Power Flow Analysis Of Rafah Governorate Distribution Network Using Etap Software, *International Journal of Physical Sciences*, 2013, **1**(2), 19-26.
- [6] Kapahi R., Load Flow Analysis Of 132 kV Substation Using Etap Software, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2013, **4**, 48-55.
- [7] Ghiasi M., Ahmadiania E., Ghiasi R., A Case Study Of Modeling, Simulation And Load Flow Assessment In The Power Distribution Network Of Tehran Metro Using Etap, *International Journal of Engineering and Future Technology*, 2019, **16**, 28-38.
- [8] Gomez V. A., Load Flow Analysis Of 138/69kv Substation Using Electrical Transient & Analysis Program (Etap), MSc Theses, University of Arkansas, Dept. Elect. Eng., Fayetteville, 2019.
- [9] Lawton P., Murphy F.J., Hong Kong Mass Transit Railway Power Supply System, IEE Proceedings C - Generation, Transmission and Distribution, 1986, **133**, 462-468.
- [10] Gamit K., Chaudhari K., Multi Pulse Rectifier Using Different Phase Shifting Transformers And Its Thd Comparison For Power Quality Issues, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2016, **3**, 1025-1033.
- [11] Natkar K., Kumar N., Load Flow Analysis Of 220/132 Kv Substation Using Etap, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2015, **2**, 2322-2326.
- [12] URL-4: http://www.emo.org.tr/ekler/16e5cf0acb7e553_ek.pdf, (Ziyaret tarihi: 6 Nisan 2020).

- [13] Akçay T., Ersoy Yılmaz A., Raylı Sistemlerde Enerji Otomasyonu ile Hat Kayıplarının Azaltılması, EVK 2013, 5. Enerji verimliliği ve kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 113-117, 2013.
- [14] Baran S., Şehir İçi Raylı Sistem İşletiminde Rejenaratif Frenleme Enerjisinin Kullanımı Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251587.
- [15] Özdemir Y., Elektrikli Raylı Ulaşım Sistemlerinde Frenleme Enerjisinin Geri Kazanım Yöntemleri Ve Kadıköy-Kartal Metro Hattı Üzerinde İncelenmesi, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 409721.
- [16] Pang Y., Xu Y., Analysis And Treatment Of Harmonic In Power Network With Railway Based On ETAP Software, Power and Engineering Conference, China, 25-28 October 2016.
- [17] URL-5: http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/tucaum6_9.pdf, (Ziyaret tarihi: 29 Haziran 2020).
- [18] URL-6: <http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2014/08/TRAMVAY-VE-TAR%C4%B0HTE-%C4%B0LK-RAYLI-S%C4%B0STEMLER.docHAZ%C4%B0RAN-2011.pdf>, (Ziyaret tarihi: 29 Haziran 2020).
- [19] Vuchic V. R., Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler. İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul, 2015.
- [20] Aydın T., Hafif Raylı Sistemlerin Elektrik Güç Beslemesinde Güvenilirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 310659.
- [21] Kara H., Enerji Tüketim Bazlı AHP Yöntemi İle Raylı Sistem Güzergah Seçimi Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 432143.
- [22] URL-7: <https://www.metro.istanbul/YolcuHizmetleri/AgHaritalari>, (Ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2020)
- [23] TS EN 50163, Demiryolu Uygulamaları - Cer sistemlerinin Besleme Gerilimleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1998.
- [24] Açıkbaz S., Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Kontrolü, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 232565.
- [25] Açıkbaz S., Söylemez M.T., Energy Loss Comparison Between 750 VDC And 1500 VDC Power Supply Systems Using Rail Power Simulation, Int. Conf. on Comp. Aided Design, Manufacture, and Operation in the Railway and Other Advanced Transit Systems, Dresden, Almanya, Mayıs 2004.

- [26] Doğruer Ö., Demiryolu Hatlarında Elektrifikasyon Sistem Tasarımı Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 591124.
- [27] Karaköse E., Raylı Sistemlerde Pantograf-Katener Sisteminin Modellenmesi, Simülasyonu ve Arıza Teşhis Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 2014, 373819.
- [28] Özmen İ., 750 V DC Cer Gücü Tedarik Sisteminin Bilgisayar Destekli Modellemesi, Benzetimi Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 363569.
- [29] Sarısakal S., Rijit Katener Sisteminin Modellenerek Yolcu Üzerindeki Elektrik ve Manyetik Alan Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2015, 397905.
- [30] Aslan S., Katenersiz Tramvay Sistemleri Ve Eminönü-Alibeyköy Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 436123.
- [31] Karakuş F., Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrifikasyon Sisteminin Modellenmesi Ve Besleme Senaryolarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 495323.
- [32] URL-8:
<https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz/ProjeHalindekiHatlarTumu?projeInsaat=1>, (Ziyaret tarihi: 16 Nisan 2020).
- [33] URL-9: http://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=53, (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2020).
- [34] IEC 60949:1988/AMD1:2008, Calculation Of Thermally Permissible Short-Circuit Currents, Taking Into Account Non-Adiabatic Heating Effects, International Electrotechnical Commission, Switzerland, 2008.
- [35] URL-10:
https://www.nexans.com.tr/eservice/Turkeytr_TR/navigate_20384/YXC7V_TSE_N2XSY_IEC_18_30_kV_.html, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2020).



Ek-A

Tablo A.1’de sistem dâhilindeki iç ihtiyaç transformatörleri ve Tablo A.2’de tren hareket gücünü sağlayacak cer transformatörlerinin çevirme oranları, anma güçleri ve yüklenme oranları gösterilmiştir.

Tablo A.1. İki sargılı transformatörlerin güç ve yüklenme değerleri

Ekipman Konumu	Transformatör Adı	Çevirme Oranı	Anma Gücü	Yüklenme (%)
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	43,5
M2 Hattı	ATR02	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	43,5
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	0,4 MVA	29,4
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	43,5
M2 Hattı	ATR02	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	43,5
M6 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	26,6
M6 Hattı	ATR02	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	23,8
M6 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	26,5
M6 Hattı	ATR02	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	23,8
M6 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	26,5
M6 Hattı	ATR02	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	23,8
M6 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	26,5
M6 Hattı	ATR02	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	23,8
İstasyon 1	ATR301	34,5 / 0,4 kV	1,6 MVA	24
İstasyon 1	ATR302	34,5 / 0,4 kV	1,6 MVA	21
İstasyon 2	ATR151	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	26,7
İstasyon 2	ATR152	34,5 / 0,4 kV	1 MVA	23,9
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,42 kV	2 MVA	28,9
M2 Hattı	ATR51	34,5 / 0,42 kV	2 MVA	28,9
İstasyon 3	ATR401	34,5 / 0,4 kV	1,6 MVA	27,5
İstasyon 3	ATR402	34,5 / 0,4 kV	1,6 MVA	21,3
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,42 kV	2 MVA	29
M2 Hattı	ATR51	34,5 / 0,42 kV	2 MVA	28,9
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,42 kV	2 MVA	29
M2 Hattı	ATR51	34,5 / 0,42 kV	2 MVA	28,9
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	26,3
M2 Hattı	ATR02	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	26,2
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	26,3
M2 Hattı	ATR51	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	26,3
M7 Hattı	ATR301	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	24,4
M7 Hattı	ATR302	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	28,2
M7 Hattı	ATR101	34,5 / 0,4 kV	1,6 MVA	19
M7 Hattı	ATR251	34,5 / 0,4 kV	1,6 MVA	16,7
M7 Hattı	ATR351	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	28,5

Tablo A.1. (Devam) İki sargılı transformatörlerin güç ve yüklenme değerleri

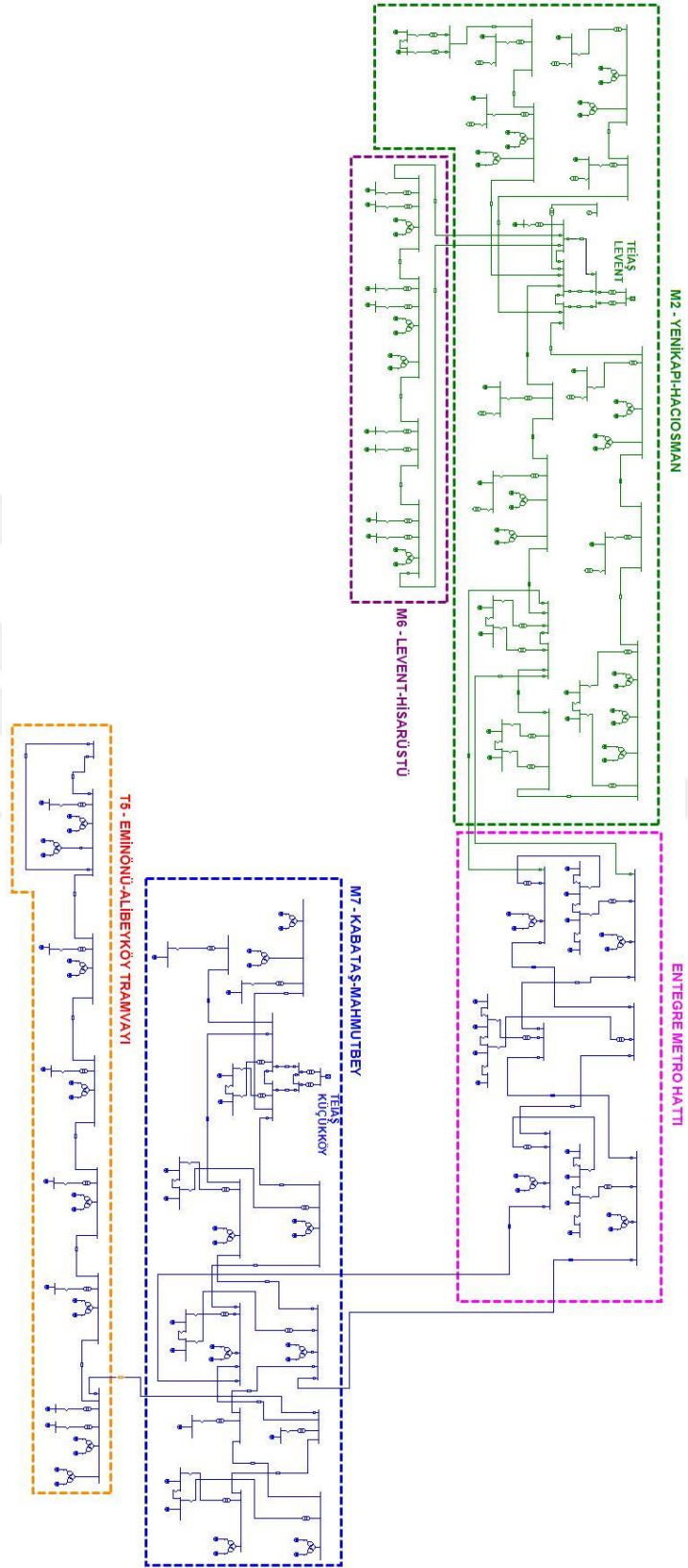
M7 Hattı	ATR352	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	33,4
M7 Hattı	ATR301	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	24,9
M7 Hattı	ATR302	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	31,8
M7 Hattı	ATR301	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	24,8
M7 Hattı	ATR302	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	22,8
M7 Hattı	ATR301	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	30,8
M7 Hattı	ATR351	34,5 / 0,4 kV	2 MVA	28,2
T5 Hattı	ATR101	34,5 / 0,4 kV	0,8 MVA	41,2
T5 Hattı	ATR101	34,5 / 0,4 kV	0,16 MVA	8,3
T5 Hattı	ATR101	34,5 / 0,4 kV	0,16 MVA	8,3
T5 Hattı	ATR101	34,5 / 0,4 kV	0,16 MVA	8,3
T5 Hattı	ATR101	34,5 / 0,4 kV	0,16 MVA	8,3
T5 Hattı Depo	ATR102	34,5 / 0,4 kV	1,6 MVA	75,6
TEİAŞ Küçükköy	Kköy_1	154 / 34,5 kV	100 MVA	11,7
TEİAŞ Küçükköy	Kköy_2	154 / 34,5 kV	100 MVA	21,1
TEİAŞ Levent	Levent_1	154 / 34,5 kV	62,5 MVA	37,2
TEİAŞ Levent	Levent_2	154 / 34,5 kV	100 MVA	23,5
M2 Hattı	ATR01	34,5 / 0,4 kV	1,25 MVA	48,6

Tablo A.2. Üç sargılı transformatörlerin güç ve yüklenme değerleri

Ekipman Konumu	Transformatör Adı	Çevirme Oranı	Anma Gücü	Yüklenme (%)
M2 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	27,4
M2 Hattı	TRT02-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	54
M2 Hattı	TRT03-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	54
M6 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	35,8
M6 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	35,8
M6 Hattı	TRT02-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	35,8
M6 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	35,8
M6 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	35,8
İstasyon 1	TRT301-P	34,5/0,6-0,6kV	2,4 MVA	58,4
İstasyon 1	TRT302-P	34,5/0,6-0,6kV	2,4 MVA	58,3
M2 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,191 MVA	82,6
M2 Hattı	TRT02-P	34,5/0,59-0,59kV	3,191 MVA	82,6
İstasyon 3	TRT401-P	34,5/0,6-0,6kV	2,4 MVA	51,9
İstasyon 3	TRT402-P	34,5/0,6-0,6kV	2,4 MVA	52
M2 Hattı	TRT51-P	34,5/0,59-0,59kV	3,191 MVA	85,5
M2 Hattı	TRT52-P	34,5/0,59-0,59kV	3,191 MVA	85,5
M2 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,191 MVA	84,2
M2 Hattı	TRT02-P	34,5/0,59-0,59kV	3,191 MVA	84,2
M2 Hattı	TRT01-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	81,3
M2 Hattı	TRT02-P	34,5/0,59-0,59kV	3,3 MVA	81,3

Tablo A.2. (Devam) Üç sargılı transformatörlerin güç ve yüklenme değerleri

M7 Hattı	TRT301-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	59,1
M7 Hattı	TRT302-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	59,3
M7 Hattı	TRT351-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	65,2
M7 Hattı	TRT352-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	65,4
M7 Hattı	TRT301-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	71,4
M7 Hattı	TRT302-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	71,3
M7 Hattı	TRT301-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	67
M7 Hattı	TRT302-P	34,5/1,2-1,2kV	3,3 MVA	67
T5 Hattı	TRT101-P	34,5/0,6-0,6kV	1,35 MVA	15
T5 Hattı	TRT101-P	34,5/0,6-0,6kV	1,35 MVA	15
T5 Hattı	TRT101-P	34,5/0,6-0,6kV	1,35 MVA	15
T5 Hattı	TRT101-P	34,5/0,6-0,6kV	1,35 MVA	15
T5 Hattı	TRT102-P	34,5/0,6-0,6kV	1,35 MVA	15,1
T5 Hattı	TRT101-P	34,5/0,6-0,6kV	1,35 MVA	15,1
T5 Hattı	TRT101-P	34,5/0,6-0,6kV	1,35 MVA	15,1



Şekil B.1. Sistem tek hat şeması

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Can M.**, Yörükeren N., Kent İçi Raylı Sistemlere Yeni Hat Entegrasyonunda İşletme Modellerinin Analizi, *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, DOI: 10.47072/demiryolu.773440



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. Mezun olduktan sonra askerlik hizmetini tamamlayarak özel sektörde mesleki yaşamına devam etti. 2018 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştiraklerinden Metro İstanbul A.Ş.' de Elektrik Tasarım Mühendisi olarak göreve başlamış olup halen aynı kurumda Tasarım Hizmetleri Müdürlüğü bünyesinde görevini sürdürmektedir.

