T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAYLI SİSTEMLERDE ORTA GERİLİM ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE BESLEME SENARYOLARININ BELİRLENMESİ

FURKAN KARAKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. RECEP YUMURTACI

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAYLI SİSTEMLERDE ORTA GERİLİM ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE BESLEME SENARYOLARININ BELİRLENMESİ

Furkan KARAKUŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 20.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Osman KILIÇ

Marmara Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Üniversite mezuniyetimin ardından mühendislik hayatıma adımımı attığım raylı sistem endüstrisinde akademik bir çalışma yapmak benim için heyecan verici bir gelişme olmuştur. Bir demiryolu çalışanı olmak gece ve gündüz farketmeksizin ulaşılır olmayı gerektirir. Raylı sistem sektöründe çalışmak iş hayatının ötesinde bir yaşam tarzıdır. Bu tutku ile çalıştığım M1A-M1B hafif metro hattında uyguladığım çalışmayı akademik literatürde paylaşılır hale getirmek benim için ayrıca bir mutluluk kaynağı olmuştur.

Meslek hayatında bir dönem raylı sistemler alanında çalışmış, teorik ve pratik mühendisliği bizlere öğreten değerli tez danışmanım Doç. Dr. Recep Yumurtacı' ya, akademik çalışmalarımı destekleyip iş hayatında uygulamamı sağlayan Sn. Hayati Uysal ve Sn. Taner Yaşar Şaylı' ya, mühendislik konusunda misyonumu geliştiren her daim yardımcı olan Sn. Çetin Kaygun ve Sn. Harun Dursun'a, tez hazırlığı sürecinde bilgi desteklerinden ötürü Sn. Seçkin Kubilay' a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan, yaptığım tüm çalışmalarda varlıklarını hissettiğim, eğitim ve öğretimime önem veren çok değerli ve kıymettar annem Ayşe Karakuş, babam Mustafa Karakuş başta olmak üzere tüm aileme teşekkürü borç bilirim.

Kasım, 2017

Furkan KARAKUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 4

BÖLÜM 2

RAYLI SİSTEMLER VE ULAŞIMA GENEL BAKIŞ 5

2.1 Raylı Sistemler Tarihçe 6
2.2 Raylı Sistem Türleri 7
2.2.1 Metro 7
2.2.2 Hafif Metro 8
2.2.3 Hafif Raylı Sistem 9
2.2.4 Tramvay 9
2.2.5 Banliyö 10
2.2.6 Maglev (Mannetic Levitation System) 11
2.2.7 Monorail (Havaray) 11
2.2.8 TOS (Tam Otomatik Sürücüsüz Sistemler) 12
2.3 Raylı Sistem Elektrifikasyonu 12
2.3.1 Transformatör Merkezleri 15
2.3.1.1 Orta Gerilim Hücreleri 17
2.3.1.2 Cer Transformatörleri 19
2.3.1.3 DC Şalt Sistemi 20

2.3.2 Tren Gücü Enerji İletimi 21
2.3.2.1 Havai Hat Katener Sistemleri 22
2.3.2.2 Rijit Katener Sistemleri 22
2.3.2.3 Üçüncü Ray Sistemleri 23

BÖLÜM 3

M1A-M1B HAFİF METRO HATTI 24

3.1 Elektrifikasyon Sistemi 24
3.2 İstasyon Bilgileri 26
3.3 Transformatör Merkezleri 27

BÖLÜM 4

ETAP MODELİNİN OLUŞTURULMASI 29

4.1 TEİAŞ 154 / 34,5 kV İndirici Merkezlerin Elektrifikasyon Modellerinin Oluşturulması 30
4.1.1 Yenikapı 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi 32
4.1.2 Topkapı 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi 32
4.1.3 Sağmalcılar 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi 33
4.1.4 Yenibosna 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi 33
4.1.5 DTM Dağıtım Merkezi 34
4.1.6 Bağcılar 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi 34
4.2 TEİAŞ 100 MVA 154 / 34,5 kV Transformatör Modeli 35
4.3 Orta Gerilim Kabloların Modellenmesi 36
4.4 Cer Transformatörlarının Modellenmesi 38
4.4.1 2400 kVA Cer Transformatör 39
4.4.2 3300 kVA Cer Transformatör 40
4.5 İç ihtiyaç Transformatörleri 41
4.6 Transformatör Merkezleri 44
4.6.1 Yenikapı Transformatör Merkezi 44
4.6.2 Aksaray Transformatör Merkezi 45
4.6.3 Ulubatlı Transformatör Merkezi 45
4.6.4 Sağmalcılar Transformatör Merkezi 46
4.6.5 Otogar Transformatör Merkezi 47
4.6.6 Mimarsinan Transformatör Merkezi 48
4.6.7 Belpa Transformatör Merkezi 48
4.6.8 Bakırköy Transformatör Merkezi 49
4.6.9 Bahçelievler Transformatör Merkezi 50
4.6.10 Yenibosna Transformatör Merkezi 51
4.6.11 DTM Transformatör Merkezi 51
4.6.12 Havalimanı Transformatör Merkezi 52
4.6.13 Ferhatpaşa Transformatör Merkezi 53
4.6.14 Garaj Sahası Transformatör Merkezi 54
4.6.15 Esenler Transformatör Merkezi 54
4.6.16 Menderes Transformatör Merkezi 55
4.6.17 Üçyüzlü Transformatör Merkezi 56

4.6.18 Bağcılar Transformatör Merkezi 57
4.6.19 Kirazlı Transformatör Merkezi 57

BÖLÜM 5

SİMULASYON SONUÇLARI 59

5.1 Genel Enerji Besleme Senaryosu 59
5.1.1 Yük Akış analizi 60
5.1.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı 62
5.1.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı 62
5.2 Yenikapı İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu 63
5.2.1 Yük Akış Analizi 63
5.2.2 Ring Kablo Yüklenme Oranı 65
5.2.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı 67
5.3 Topkapı İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu 67
5.3.1 Yük Akış Analizi 68
5.3.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı 69
5.3.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı 70
5.4 Sağmalcılar İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu 71
5.4.1 Yük Akış Analizi 71
5.4.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı 73
5.4.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı 74
5.5 Yenibosna İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu 75
5.5.1 Yük Akış Analizi 75
5.5.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı 77
5.5.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı 77
5.6 DTM İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu 78
5.6.1 Yük Akış Analizi 78
5.6.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı 80
5.6.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı 81
5.7 Bağcılar İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu 81
5.7.1 Yük Akış Analizi 82
5.7.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı 84
5.7.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı 84
5.8 Gerilim Seviyesi Değişikliğinin Simulasyona Olan Etkisi 85
5.8.1 Simülasyon 1 85
5.8.2 Simülasyon 2 87

BÖLÜM 6

RAYLI SİSTEMLER HATLARINDA ENTERKONNEKTE ŞEBEKE İLE ETKİLEŞİM VE POTANSİYEL ENERJİ VERİMLİLİK ALANLARI 89
6.1 Kent İçi Raylı Sistemlerin Enerji Tüketim Karakteristikleri 89
6.2 Raylı Sistemler Ve Enerji Tüketimi 91
6.2.1 Farklı hat eğim değerlerinin enerji tüketimine olan etkisi 91
6.2.2 Yolcu Sayısının Enerji Tüketimine Olan Etkisi 92
6.2.3 Metro İstanbul AŞ Enerji Tüketimi 93
BÖLÜM 7
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 95
KAYNAKLAR 98
EK-A 100
M1A-M1B HATTI ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİ 100
EK-B 107
M1A-M1B HATTI ETAP MODELİ 107
ÖZGEÇMİŞ 113

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
BİMEBS	Bağcılar İndirici Merkezi Enerji Besleme Senaryosu
AG	Alçak Gerilim
DC	Doğru Akım
ETAP	Electrical Power System Analysis & Operation Software
GEBS	Genel Enerji Besleme Senaryosu
Hz	Hertz
HRS	Hafif Raylı Sistem
IEC	The International Electrotechnical Commission
km	Kilometre
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
LRT	Light Rail Transit
m	Metre
mm	Milimetre
MW	Megawatt
OG	Orta Gerilim
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SIL	Safety Integrity Level
SİMEBS	Sağmalcılar İndirici Merkezi Enerji Besleme Senaryosu
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TİMEBS	Topkapı İndirici Merkezi Enerji Besleme Senaryosu
YİMEBS	Yenikapı İndirici Merkezi Enerji Besleme Senaryosu
YEİMEBS	Yenibosna İndirici Merkezi Enerji Besleme Senaryosu

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 At çekiş gücü ile gerçekleştirilen raylı ulaşım 6
Şekil 2. 2 İlk Elektrikli Raylı Ulaşım 7
Şekil 2. 3 M2 metro hattı 8
Şekil 2. 4 Hafif metro (İstanbul) 9
Şekil 2. 5 Tramvay (Bursa) 10
Şekil 2. 6 Banliyö (İzmir-İZBAN) 10
Şekil 2. 7 Maglev (Almanya) 11
Şekil 2. 8 Monorail (Sidney) 12
Şekil 2. 9 Raylı sistem elektrifikasyon sistemlerinin basitleştirilmiş diyagramı [3] 13
Şekil 2. 10 Transformatör merkezi ekipmanları 16
Şekil 2. 11 OG hücre örneği 17
Şekil 2. 12 Cer transformatörü 19
Şekil 2. 13 Cer transformatör sekonder gerilimi dalga şekilleri 20
Şekil 2. 14 DC hücre gurubu 21
Şekil 2. 15 Katener sistemi ekipmanları 22
Şekil 2. 16 Rijit kataner 23
Şekil 3.1 Raylı sistem elektrifikasyon örneği 25
Şekil 3.2 M1A-M1B hattı orta gerilim sistemi basitleştirilmiş diyagramı 25
Şekil 3.3 M1A-M1B hattı istasyon şeması 26
Şekil 3.4 Enerji besleme diyagramı 27
Şekil 4.1 Etap indirici merkez diyagramı 30
Şekil 4.2 Teiaş 125 MVA transformatör etiket değeri 35
Şekil 4.3 240 MM2 kablo etap modeli 37
Şekil 4.4 Cer transformatör etap modeli 37
Şekil 4.5 3300 KVA cer transformatör etap programı empedans bilgisi 40
Şekil 4.6 Yenikapı transformatör merkezi etap modeli 43
Şekil 4.7 Aksaray transformatör merkezi etap modeli 44
Şekil 4.8 Ulubatlı transformatör merkezi etap modeli 45
Şekil 4.9 Sağmalcılar transformatör merkezi etap modeli 46
Şekil 4.10 Otogar transformatör merkezi etap modeli 46
Şekil 4.11 Mimarsinan transformatör merkezi etap modeli 47
Şekil 4.12 Belpa transformatör merkezi etap modeli 48
Şekil 4.13 Bakırköy transformatör merkezi etap modeli 49
Şekil 4.14 Bahçelievler transformatör merkezi etap modeli 49

Şekil 4.15 Yenibosna transformatör merkezi etap modeli 50
Şekil 4.16 DTM transformatör merkezi etap modeli 51
Şekil 4.17 Havalimanı transformatör merkezi etap modeli .....,52
Şekil 4.18 Ferhatpaşa transformatör merkezi etap modeli 52
Şekil 4.19 Garaj transformatör merkezi etap modeli 53
Şekil 4.20 Esenler transformatör merkezi etap modeli 54
Şekil 4.21 Menderes transformatör merkezi etap modeli 55
Şekil 4.22 Üçyüzlü transformatör merkezi etap modeli 55
Şekil 4.23 Bağcılar transformatör merkezi etap modeli 56
Şekil 4.24 Kirazlı transformatör merkezi etap modeli 57
Şekil 5.1 Sağmalcılar indirici merkezi yük akış analizi 60
Şekil 5.2 Yenikapı indirici merkezi yük akış analizi 63
Şekil 5.3 Topkapı indirici merkezi yük akış analizi 67
Şekil 5.4 Sağmalcılar indirici merkezi yük akış analizi 71
Şekil 5.5 Yenibosna indirici merkezi yük akış analizi 74
Şekil 5.6 DTM indirici merkezi yük akış analizi 77
Şekil 5.7 Bağcılar indirici merkezi yük akış analizi 81
Şekil 6.1 Sağmalcılar cer transformatörü görünür güç-zaman grafiği 87
Şekil 6.2 Kirazlı indirici merkezi akım örnekleme grafiği.....87
Şekil 6.3 Metro İstanbul AŞ 2002-2016 yılları arası yıllık enerji tüketimi.....90
Şekil 6.4 Metro İstanbul AŞ 2019 yılı enerji tüketim tahmini 90

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Raylı sistem türleri yolcu kapasiteleri..... 7
Çizelge 2. 2 EN 50163 tren gerilim seviyeleri.....14
Çizelge 3. 1 Transformatör merkezi kurulu güç bilgisi.....28
Çizelge 4. 1 Yenikapı indirici merkezi..... 31
Çizelge 4. 2 Topkapı indirici merkezi.....31
Çizelge 4. 3 Sağmalcılar indirici merkezi.....32
Çizelge 4. 4 Yenibosna indirici merkezi.....32
Çizelge 4. 5 DTM indirici merkezi.....33
Çizelge 4. 6 Bağcılar indirici merkezi..... 33
Çizelge 4. 7 Teiaş 100 MVA indirici transformatör etiket değerleri.....34
Çizelge 4. 8 Kablo etiket bilgisi.....36
Çizelge 4. 9 MF transfor 2400 KVA cer transformatör etiket bilgisi..... 38
Çizelge 4. 10 ASEA 2400 KVA cer transformatör etiket bilgisi.....38
Çizelge 4. 11 ABB 2400 KVA cer transformatör etiket bilgisi..... 39
Çizelge 4. 12 Siemens 3300 KVA cer transformatör etiket bilgisi..... 39
Çizelge 4. 13 ABB 1600 KVA cer transformatör etiket bilgisi.....41
Çizelge 4. 14 ABB 1000 KVA cer transformatör etiket bilgisi.....41
Çizelge 4. 15 ABB 630 KVA cer transformatör etiket bilgisi.....41
Çizelge 4. 16 AREVA 630 KVA cer transformatör etiket bilgisi..... 42
Çizelge 4. 17 ASEA 1250 KVA cer transformatör etiket bilgisi.....42
Çizelge 4. 18 ALSTOM 1000 KVA cer transformatör etiket bilgisi..... 42
Çizelge 4. 19 ELTAŞ 1000 KVA cer transformatarü etiket bilgisi..... 42
Çizelge 5. 1 GEBS yük akış analizi..... 59
Çizelge 5. 2 GEBS transformatör merkezi ring kablo oranı..... 61
Çizelge 5. 3 İndirici merkez kablo yüklenme oranı.....61
Çizelge 5. 4 YİMEBS yük akış analizi..... 62
Çizelge 5. 5 YİMEBS transformatör merkezi ring kablo yüklenme oranı.....64
Çizelge 5. 6 YİMEBS indirici merkez kablo yüklenme oranı.....65
Çizelge 5. 7 TİMEBS yük akış analizi..... 66
Çizelge 5. 8 TİMEBS transformatör merkezi ring kablo yüklenme oranı.....68
Çizelge 5. 9 TİMEBS indirici merkez kabloyüklenme oranı.....68
Çizelge 5. 10 SİMEBS yük akış analizi..... 69
Çizelge 5. 11 SİMEBS transformatör merkezi ring kablo yüklenme oranı.....71
Çizelge 5. 12 SİMEBS indirici merkez kablo yüklenme oranı..... 72
Çizelge 5. 13 YEİMEBS yük akış analizi..... 73

Çizelge 5. 14 YEİMEBS transformatör merkezi ring kablo yüklenme oranı……75
Çizelge 5. 15 YEİMEBS indirici merkez kablo yüklenme oranı…….. 76
Çizelge 5. 16 DTMİMEBS yük akış analizi…….....76
Çizelge 5. 17 DTMİMEBS transformatör merkezi ring kablo yüklenme oranı……..78
Çizelge 5. 18 DTMİMEBS indirici merkez kablo yüklenme oranı…….. 79
Çizelge 5. 19 BİMEBS yük akış analizi ……..79
Çizelge 5. 20 BİMEBS transformatör merkezi ring kablo yüklenme oranı ……..81
Çizelge 5. 21 BİMEBS indirici merkez kablo yüklenme oranı……..82
Çizelge 5. 22 Simülasyon 1 34500 V……83
Çizelge 5. 23 Simülasyon 2 33600 V…….. 84
Çizelge 6. 1 Hat eğim yüzdesi ve enerji tüketim ilişkisi ……88
Çizelge 6. 2 Farklı ağırlık değerleri için enerji tüketim değerleri …….. 89
Çizelge 6. 3 2016 Yılı M1A-M1B hattı cer enerji tüketim çizelgesi ……89
Çizelge 6. 4 2011 ve 2016 yılları için Metro İstanbul-Türkiye enerji tüketimi ……. 91

ÖZET

RAYLI SİSTEMLERDE ORTA GERİLİM ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE BESLEME SENARYOLARININ BELİRLENMESİ

Furkan KARAKUŞ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Şehirler arası ve kent içi toplu taşımada cer gücü beslemeli raylı sistemlerin kullanımı yüksek verimli, hızlı ve etkin ulaşım olanağı sağlamasından dolayı hızlı bir şekilde artmaktadır.

Mevcut ve yapılması planlanan raylı sistem hatlarının enterkonnekte altyapıya olan etkilerinin incelenmesi ve raylı sistem elektrifikasyon koruma sistemlerinin geliştirilmesi gibi elektriksel etüd çalışmalarının yapılabilmesi için simülasyon programlarının önemi her geçen gün artış göstermektedir.

Raylı sistemlerde bulunan spesifik elektriksel ekipmanlar ve dinamik yük profilinden dolayı raylı sistem elektrifikasyon modelleme çalışmaları geleneksel elektrik dağıtım sistemi modelleme çalışmalarına göre farklılık arz etmektedir.

Bu çalışmada raylı sistemler elektrifikasyon sistemleri hakkında bilgiler verilerek cer gücü beslemeli raylı sistemlerin ETAP programında modellenmesi sırasında izlenen metodoloji anlatılmış ve işletmede olan bir raylı sistem hattının orta gerilim elektrifikasyon sisteminin bilgisayar yazılımı ile modellenmesi yapılarak enerji besleme senaryolarının analizi yapılmıştır. Oluşturulan model ile TEİAŞ 154 /34,5 kV indirici merkezlerinin kaybedilmesi durumunda kalan indirici merkezden/ merkezlerden tüm hattın enerji temini edilmesi gibi riskli senaryolar simule edilerek elektrifikasyon

sisteminin uygunluğunun analizi yapılmıştır. Tez çalışması sonucunda tüm raylı sistemlerin simülasyonuna uygulanabilen bir ETAP raylı sistem modeli elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Etap, modelleme, raylı sistemler, simülasyon , yük akış analizi

ABSTRACT

MODELLING OF MEDIUM VOLTAGE ELECTRIFICATION SYSTEMS AND SPECIFICATION OF FEEDING SCENARIOS IN RAILWAY SYSTEMS

Furkan KARAKUŞ

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Doç. Dr. Recep YUMURTACI

The usage of traction rail systems in the city and intercity is increasing dramatically due to its high efficiency, fast and effective solution capacity.

The importance of simulation programs is also getting more crucial day by day, as the effect of the currently planned railway systems on interconnected infrastructure is being surveyed.

Because of the specific electrical equipment and the dynamic load profile, the simulation of the railway systems electrification modelling efforts is different in comparison to the conventional energy distribution system modelling.

In this study, with the information about the railway electrification systems, the methodology that is followed during the modelling of the traction systems with the simulation program ETAP is explained and the software modelling of a middle voltage electrification system of a railway system that is under operation and the analysis of the energy supplication scenarios is completed.

With the help of the model that is created, the risky situations such as the failure of the TEIAS 154 / 34,5 kV substation, the supplication of energy from the secondary substation or substations is simulated and the convenience of the electrification

system is analysed. An ETAP railway system model that can be applied to simulation of all railway systems is obtained as a result of this thesis study.

Keywords: ETAP, modelling, railway, simulation, load flow analyses

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kent içi raylı sistemlerde simülasyon ve modelleme ilgili geçmişte birçok çalışma yapılmış ve günümüzdede yapılmaya devam etmektedir. Raylı sistemleri konu alan dünya genelinde birçok makale ve tez çalışması bulunmaktadır. Dünya genelinde bulunan akademik çalışmalara kıyasla ülkemizde yapılan akademik çalışmalar kısıtlı kalmakta olup çeşitli zamanlarda yapılan öncü çalışmalar raylı sistem konusu üzerinde çalışan akademisyenlere ilham kaynağı olmuştur.

Huzeyfe KARA (2016) "Enerji Tüketimi Dikkate Alınarak Ahp İle Raylı Sistem Güzergah Seçimi Ve Uygulaması" isimli çalışmasında yol güzergah seçim kriterlerinden bahsederek seçeneklerin enerji tüketimine olan etkisini inceleyen simülasyon çalışmasını gerçekleştirmiştir.

Taciddin Akçay (2012) "Raylı Sistemlerde Enerji Otomasyonu İle Hat Kayıplarının Azaltılması" isimli çalışmasında M3 metro hattının orta gerilim yük akış simülasyonunu gerçekleştirerek besleme senaryolarına göre elektriksel değerleri inceleyerek optimum besleme senaryosunun belirlenmesi yönünde çalışmalar yapmıştır.

Farhan Shahnia (2005) "Power Distrubition System Alayses Of Urban Electrified Railways" isimli çalışmasında Tebriz-İran'da bulunan raylı sistem hattının orta gerilim yük akış analizini gerçekleştirerek besleme senaryolarını değerlendirmiştir. Herhangi bir indirici merkez arızasında kalan indirici merkezlerden Tebriz raylı sistem hattının enerji beslenme senaryosunu gerçekleştirerek yük akış analizi sonuçlarını paylaşmış ve ilgili hat için yorumlarda bulunmuştur.

Serdar Şenol "Raylı Sistemler Ve Levent-Hisarüstü Metro Projesinde Cer Gücü Beslemesi " (2014) isimli çalışmada örnek bir metro hattının orta gerilim ve cer gücü beslemesinin tanıtımını yapmıştır.

Saim Baran "Şehir İçi Raylı Sistem İşletiminde Rejenaratif Frenleme Enerjisinin Kullanımı Ve Analizi " (2014) isimli çalışmasında rejenaratif frenleme enerjisinin verimliliğini inceleyerek rejanaratif frenleme enerjisinin tren ağırlığı ve sefer sıklığı ile olan ilişkisini incelemiştir.

Yang pang ve arkadaşlarının " Analysis and treatment of harmonic in power network with railway based on ETAP software " (2016) isimli çalışmasında ETAP yazılımına dayalı demiryolu ile güç şebekesinde harmonik analizi ve yönetimi yapmış ve sistemde yer alan 110 kV orta gerilim baralarının modellenmesini gerçekleştirmiştir. ETAP simülasyon sonuçları, iyileştirmelerin belirgin bir etkiye sahip olduğunu ve harmonik gerilim içeriğinin, harmonik azaltmanın amacına erişen sınır aralığı dahilinde azaltıldığını ve güç şebekesindeki güç kalitesinin iyileştirilmesi için teorik bir referans sağladığını çalışmasında paylaşmıştır. [1]

Ahmet Yousuf Saber " Power system stabilizer tuning using swarm based optimization in ETAP " (2015) isimli çalışmasında ETAP programında dinamik parametre tahmini ve ayarlama algoritması geliştirmiş ve ayarlanabilir parametreleri otomatik olarak kodlayan akıllı sürü tabanlı optimizasyon yaklaşımını program aracılığıyla gerçekleştirmiştir [2]

S. N. Afifi ve arkadaşları " Impact of DFIG wind turbines on short circuit levels in distribution networks using ETAP " (2014) isimli DFIG rüzgar türbinlerinin kısa devre seviyelerine etkisini ETAP programında modellemiş ve rüzgar türbinlerinin şebekeye olan etkisini inceleyerek 13 baralı bir dağıtım test sistemini ETAP programında modellemiştir [3]

Rohit Kapahi " Load Flow Analysis of 132 kV substation using ETAP Software " (2013) isimli çalışmasında 132 kV gerilim sistemi bulunan bir şebekenin transformatör merkezlerini ETAP programında modellemiştir. Yük akış çalışmaları sonucunda düşük gerilim problemi yaşanan transformatör merkezlerinin tespitini gerçekleştirmiştir.[4]

Nadia M. Mahdi " Power flow analysis of Rafah governorate distribution network using ETAP software" (2013) isimli çalışmasında Rafah valiliği dağıtım şebekesinin yük akış analizini ETAP programında gerçekleştirmiştir. Çalışmada 22 kV ota gerilim sistemindeki düşük gerilim, yüksek kayıplar, aşırı yüklenmeler gibi elektriksel sorunlu bölgeler tespit edilerek ekonomik açıdan uygulanabilir öneriler getirilmiş ve altyapı revizyonları ETAP programında simule edilmiştir. Yapılan simülasyonlar ile sorunların çözüldüğü teorik olarak ETAP programında ispatlanmıştır. [5]

Bu çalışmada raylı sistemler enerji tüketimi dikkate alınarak ETAP programında M1A-M1B hafif raylı sistem hattının orta gerilim sisteminin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışması ile besleme senaryolarının analizi yapılmıştır. Raylı sistem sektöründe yapılan birçok çalışmada ETAP programı kullanılarak elektrifikasyon sisteminin simülasyon çalışması yapılmıştır.

ETAP programı dizayn, simulasyon, operasyon, kontrol, optimizasyon, ve elektrik üretimi ile ilgili birimlerin otomasyonunu hazırlayan bir analiz platformudur. ETAP programı kullanmak kriterli karar verme yöntemlerinden biri olmakla birlikte raylı sistemler haricinde nükleer santral , hidroelektrik santral gibi çok çeşitli elektrifikasyon sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonunda kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

M1A Yenikapı-Atatürk Havalimanı ve M1B Yenikapı - Kirazlı hafif raylı sistem hattı 1989 yılında hizmete açılan Türkiye'nin ilk hafif raylı sistem metro hattıdır. Zaman içerisinde yeni açılan istasyonlar, değişen ekipman ve eklenen enerji besleme noktaları ile birlikte sistemin elektriksel parametreleri büyük oranda değişmiştir. TEİAŞ indirici merkezlerinde son yıllarda meydana gelen enerji kesintileri ile birlikte besleme noktalarının kaybedilmesi durumunda kalan besleme noktalarından hattın beslenmesi durumunda elektrifikasyon sisteminin altyapı yeterliliğinin bilinmesi enerji sürekliliği açısından önem arz etmektedir. Bu sebeplerden ötürü M1A Yenikapı-Atatürk Havalimanı ve M1B Yenikapı-Kirazlı hafif raylı sistem metro hattının orta gerilim elektrifikasyon sisteminin ETAP programında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Model çalışması sonucunda besleme noktalarının yüklenmeleri ve ilgili noktaların yerel elektrik dağıtım şirketi ile olan sözleşme güçleri karşılaştırılarak gelecekte sözleşme

güçlerinin hesaplanması konusunda yaklaşımda bulunulmuştur. Literatürde 34,5 kV olarak kabul edilen TEİAŞ orta gerilim gerilim seviyesinin gerçek değeri sorgulanarak farkı gerilim değerlerinin yük akış senaryosuna olan etkisi analiz edilmiştir.

1.3 Hipotez

Raylı sistemlerde enerji sürekliliği, yolcu konforu ve güvenlik sebeplerinden ötürü oldukça önemli bir kavram haline gelmiştir. Genel olarak enerji sürekliliğinin sağlanması gerekirken sinyalizasyon vb. gibi direk güvenlik ile alakalı sistemlerin hiçbir surette enerji kesintisine uğramaması gerekmektedir. Yolcu konforu ve güvenlik hususlarından taviz vermeden enerji verimliliğini göz önünde bulundurarak optimum enerji besleme tasarımının yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında enerji sürekliliğini sağlamak adına yapılan yedeklemeler sorgulanarak işletmede olan bir hafif metro hattının kurulu güç ve işletmede gereksinim duyduğu güç ihtiyacı karşılaştırılmıştır. Modelleme ve simulasyon çalışmalarında sabit elektriksel parametreler varsayılarak hesap yapılırken yapılan bu çalışmada gerçek elektriksel değerler kullanılarak pratik değerlere en yakın teorik değerler ile simülasyon çalışması yapılarak gerçek elektriksel etiket değerlerinin kullanılmasının önemi ortaya konulmuştur. Tez çalışmasının hedefi sistem planlanırken teorik olarak öngörülen işletme senaryolarının uygulanabilir olup olmadığını, sistemin sadece tek kaynaktan beslendiği en riskli senaryolarda sistemin işletilip işletilmeyeceğini ETAP programında yapılan gerçekçi simülasyonlar ile analiz etmektir. Tez çalışmasında geliştirilen modeller ile bu analizler son derece başarılı olarak gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

RAYLI SİSTEMLER VE ULAŞIMA GENEL BAKIŞ

Günümüz dünyasında insan ulaşımı ve taşımacılık insan hayatı içerisinde en önemli konulardan bir tanesi haline gelmiştir. Hareketlilik yaşam kalitesinin anahtarı ve ekonominin ana unsurudur [6]. Kent içi toplu taşıma oranının yüksekliği artık kentler için uygarlık seviyesinin bir göstergesi haline gelmiştir. Şehir içi toplu taşıma sistemleri ulaşımın ana hatlarını oluşturmaktadır. Ulaşımın her geçen gün gelişmesine paralel olarak toplu taşımanın çevreye olan etkileri ve enerji tüketimide aynı oranda artmaktadır. En son gelinen noktada ulaşım en çok çevre kirliliğine ve enerji tüketimine sebep olan unsurlardan olmuştur. Ulaşım ve taşımacılık sektörleri Avrupa birliği ülkeleri içerisinde toplam sera gazı emisyonlarının %31'ine neden olmaktadır [7]. Metropol şehirlerindeki ulaşım sektörü toplam CO2 emisyonlarının yaklaşık %25'inden sorumludur [8]. Yüksek hava kirliliği ve kalabalık kentsel alanlardaki ulaşım problemi, büyük şehirlerin üzerine düşmesi gereken önemli konulardır. Bu nedenle, büyümekte olan kentleşme bağlamında, verimli, güvenilir ve çevre dostu ulaşım sistemlerinin uygulanması sadece sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin uluslararası anlaşmalara uymakla kalmamakla birlikte [9,10], kentsel alanlarda yaşanabilir koşulları garanti altına almak için de bir şart olmaktadır. Bu bağlamda, AB 2030 yılına kadar kentsel ulaşımda petrol yakıtlı araçların kullanımını yarı yarıya azaltmayı ve nihai olarak da 2050'de kentsel merkezlerde tamamen devre dışı bırakmayı hedeflemektedir [9]

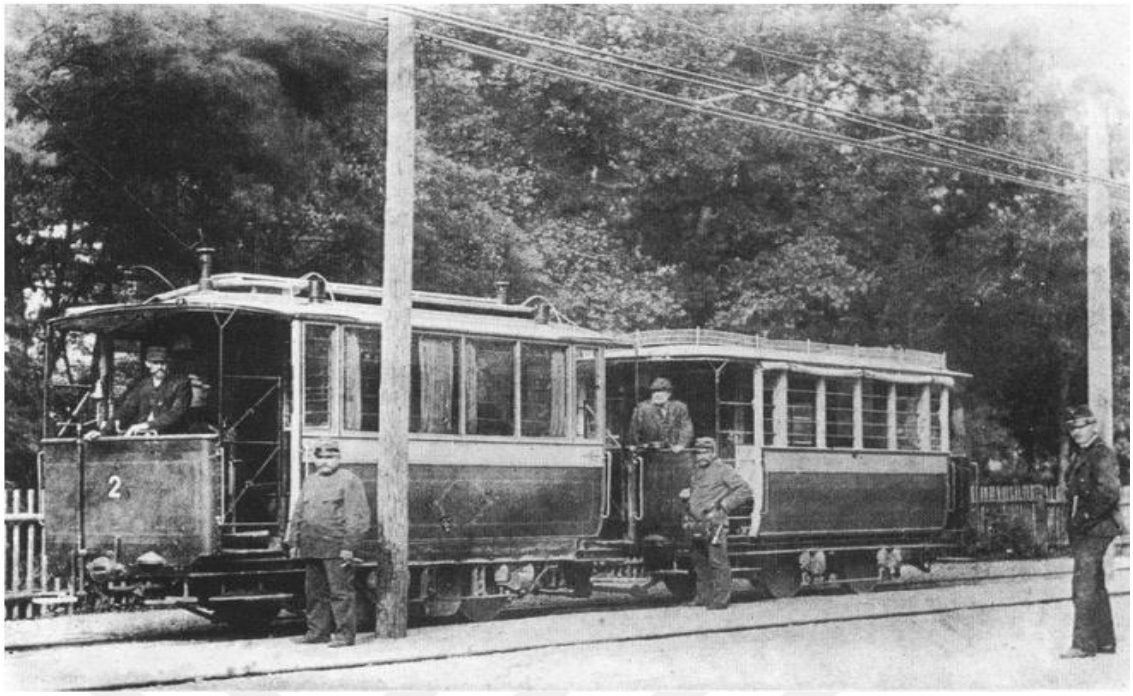
2.1 Raylı Sistemler Tarihçe

Raylı sistemler ilk olarak 17.yy ve 18.yy arasında maden ve taş ocaklarında kullanılmaya başlanarak insan hayatının içerisinde etkin olarak rol almıştır. İlk raylı sistemler insan gücü ile veya at gücü ile çalışan vagonlardan oluşmaktaydı. 18.yy içerisinde bazı Avrupa şehirlerinde atla çekilen tramvay yolları görülmeye başlanmıştır. At gücü ile çalışan bu sistemler 1800'lerin ortalarında buhar makine teknojisinin ilerlemesiyle hızla yayılmaya başlamıştır. Bu yüzyıllarda buhar gücü ile çalışan teknolojilerin gelişmesi tüm dünyada raylı sistemlerin yaygınlaşmasını sağlamıştır.



Şekil 2. 1 At çekiş gücü ile gerçekleştirilen raylı ulaşım

Buharlı lokomotifler toplu taşıma ve mal-yük taşınmasında önemli bir rol üstlenirken aynı zamanda bu ulaşım sisteminin geliştirilmesi için birçok araştırma yapılıyordu. 19.yy içerisinde yapılan araştırmalar ile raylı ulaşım araçları elektrik tahrik gücü ile çalışan sistemler haline getirilerek hızlı bir şekilde yayılmaya başlamıştır. Ülkemizde ilk olarak Beyoğlu tünelinde bulunan funiküler 1914 yılında elektirkli sisteme geçmiştir [11]. Şekil 2.2 'de Pozitif ve negatif bir çift havai hatla çalışan ilk tramvay sistemi olan Avusturya'da Mödling-Hinterbrühl hattı'nda kullanılan araçların resmi bulunmaktadır.



Şekil 2. 2 İlk Elektrikli Raylı Ulaşım

2.2 Raylı Sistem Türleri

Kent içi raylı sistem tipi belirlenirken başlıca husus o sistemde taşınabilecek yolcu sayısı olmaktadır. Raylı sistem hattının geometrik yapısı, istasyon yerleri, istasyonlar arası uzaklık gibi parametler yolcu kapasitesini etkileyen etmenlerdir. Metro hatlarının saat başına yolcu taşıma kapasitesi 30000 ile 70000 arasında, hafif raylı sistem hatlarının saat başına yolcu taşıma kapasitesi 15000 ile 30000 arasında, tramvay hatlarının ise saat başına yolcu taşıma kapasitesi 10000 ile 15000 arasında olmaktadır.

Çizelge 2. 1 Raylı sistem türleri yolcu kapasiteleri

KENT İÇİ RAYLI SİSTEM TÜRÜ	METRO	HAFİF RAYLI SİSTEM	TRAMVAY
KAPASİTE (tek yön yolcu/saat)	30000-70000	15000-30000	10000-15000

2.2.1 Metro

Metro ulaşım sistemleri kent içi toplu taşımada en yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip olan ulaşım sistemleridir. Metro hatları diğer bütün sistemlerden tamamen izole edilmiş olarak tünel yöntemleri ile yeraltına inşaa edilirler. Metro istasyonlarının uzunluğu 200 m civarındadır ve metro araç boylarıda 180-200 metre kadar

olabilmektedir. Tek yönde saatte 60000-70000 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. İşletmeci firmanın gereksinimlerine göre bu değerler değişebilmektedir [12].

Enerji sağlanması raylı sistem hatlarında rijit katener, katener veya 3. ray şeklinde tesis edilen iletim sistemleri ile sağlanmaktadır. Yaygın olarak 750 VDC, 1500 VDC ve 3000 VDC gerilim seviyeleri kullanılır [13]. Hafif metrodan daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Dünyada yaygın olarak büyük şehirlerde kullanılan toplu taşım aracıdır. Dünyanın büyük metropollerinde (İstanbul, New York, Moskova vb.) toplu taşıma yüksek oranda metro araçlarıyla gerçekleştirilmektedir. Metro yatırımlarındaki en büyük problem alt yapı yatırım maliyetlerinin diğer sistemlere göre çok yüksek olmasıdır [8]. Şekil 2.4'de görülen ve yapımına 1992 yılında başlanan ve Taksim-4.Levent arasında hizmet veren metro, 16 Eylül 2000 tarihinde hizmete girmiştir. 31 Ocak 2009 da hattın kuzeyinde Atatürk Oto Sanayi ve güneyinde Şişhane uzantıları hizmet vermeye başlamıştır [13].



Şekil 2. 3 M2 metro hattı

2.2.2 Hafif Metro

Hafif metro sistemleri tramvaya göre daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Bu sistemler yolcu potansiyelinin yüksek olduğu ulaşım güzergahlarında, ana ulaşım sistemleri olarak tercih edilmekle birlikte büyük şehirlerde metro gibi daha yüksek yolcu kapasiteli sistemlerle entegre olarak ta çalışabilen bir sistemdir. Hafif meto hatları da metrolar gibi tam tecritli güvenli sistemlerdir. Hafif raylı sistemlerin yeraltı ve

yerüstüne inşa edilebilir. Seyir hızları yüksektir. İstasyon uzunlukları 100 m civarındadır. Enerji temini katener, rijit katener veya 3. ray besleme sistemleri ile sağlanmaktadır. Tek yönde saatte 35000-60000 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir [14].



Şekil 2. 4 Hafif metro (İstanbul) [13]

2.2.3 Hafif Raylı Sistem

UITP'nin Uluslararası Hafif Raylı Sistemler Komisyonu şu tanımı öne sürmüştür: "Hafif raylı sistemler; kendi geçiş hakkında, yer altında, yer seviyesinde veya yükseltilmiş şekilde işletilebilen, modern tramvaydan hızlı transit sistemine kadar aşamalı bir şekilde geliştirilebilen ray temelli bir taşımacılık biçimidir." [13].

Ülkemizde ise İstanbul başta olmak üzere birçok şehirde Hafif Raylı Sistem projeleri bulunmaktadır. Hafif raylı sistemler, tramvay sisteminin moderleşmiş ve gelişmiş halidir. Kısa dizi ve tek araba halinde işletilebilir. Temel özelliği kendine ait bir yolu vardır ve diğer kullanıcılardan ayrılmıştır. İstayonları arası mesafe 600-1000 m civarındadır. Yaklaşık 300 yolcu kapasiteli araçlardan oluşan diziler halinde 80 km/saat hıza kadar çıkabilir. Enerji temini katener veya 3. ray sistemlerinden sağlanır. 750 VDC veya 1500 VDC gerilim seviyeleri kullanılır [14].

2.2.4 Tramvay

Kent içinde karayolunu kullanan, makinist tarafından operatörlüğü yapılan, alçak zeminli araçların kullanıldığı en düşük yolcu kapasiteli raylı toplu taşıma sistemidir. Karayoluna aynı seviyede döşenen raylar üzerinde hareket ettiğinden mevcut karayolu

trafik düzenine uymak zorundadır. Ortalama ticari hızları 30 km /saat maksimum seyir hızı 50 km/saat'tir. İstasyonları arası mesafe 300-500 m civarındadır. Enerji temini katener sisteminden yaygın olarak 750 VDC olarak sağlanmaktadır [14].



Şekil 2. 5 Tramvay (Bursa)

2.2.5 Banliyö

Banliyö sistemleri kentler arası veya kent içi uzun hat güzergahlarında tercih edilen sistemlerdir. Banliyö sistemleri metro ve tramvay araçlarına göre daha yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip olmakla birlikte tramvay ve metro araçlarına göre daha yüksek konfor düzeyine sahiptir [14].



Şekil 2. 6 Banliyö (İzmir-İZBAN)

2.2.6 Maglev (Mannetic Levitation System)

Bir nesnenin manyetik güç aracılığıyla hareketinin sağlandığı teknolojiler için Maglev terimi kullanılmaktadır. Maglev sisteminde hat boyu bobinlere alternatif akım verilerek manyetik alan oluşturulup trenin mıknatıslarınının kilitlenmesi sağlanır. Böylece aracın mıknatısları ile yol boyunca bulunan bobinler, aracın dogrusal hareketini sağlayan, tek bir senkron motor oluşturur. Araç hızı bobinlere verilen akım frekansının değiştirilmesi ile denetlenir [14].

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 [15].



Şekil 2. 7 Maglev (Almanya)

2.2.7 Monorail (Havaray)

Monorail, yakın mesafede üst yollu denilen elektrikli toplu taşıma sistemidir. Ray yolu, kapalı bir kutu seklinde alttan asılı veya aracın kapatıp üzerine oturduğu, üsten giden olmak üzere iki türlüdür. Yol yüksek çelik veya beton direklere asılı şekilde inşa edilmiştir. Hızı 80 km/h dolayında sınırlanan bu sistem tek kabinle çalıstırılabildiği gibi dizi oluşturularak da çalıştırılabilir [15].



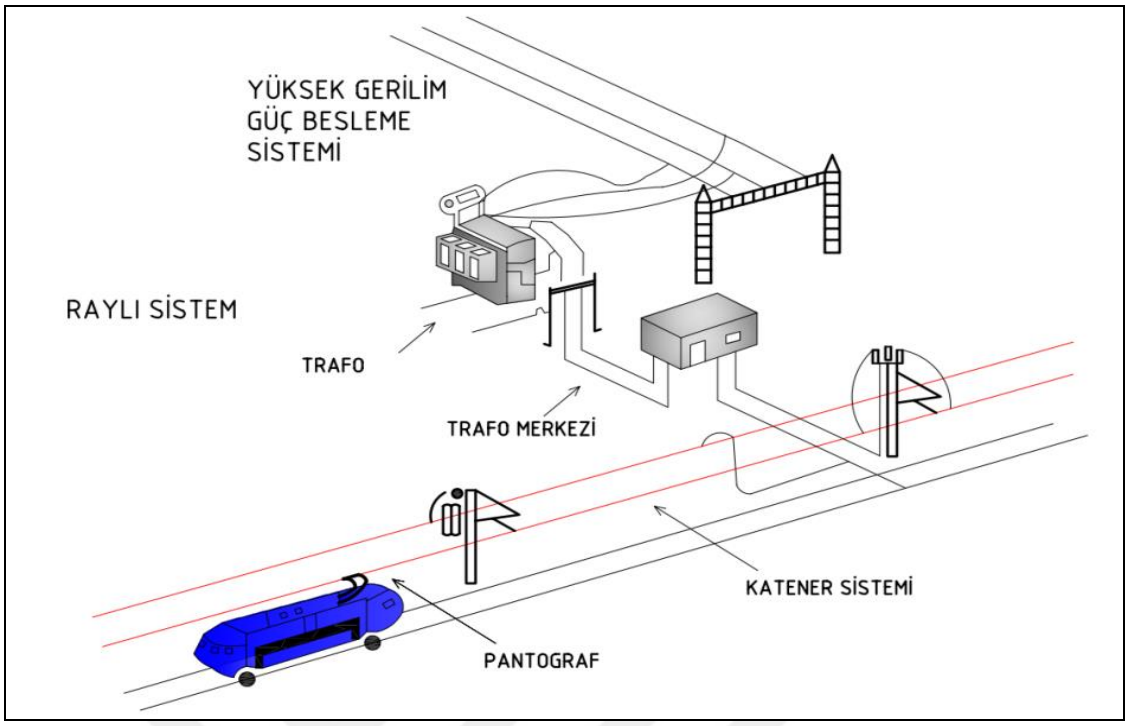
Şekil 2. 8 Monorail (Sidney)

2.2.8 TOS (Tam Otomatik Sürücüsüz Sistemler)

Raylı sistemlerde tam otomatik veya sürücü olmayan sistemler yaygınlaşmaktadır. Hareketli blok ve sabit blok sistemlerinde tam otomatik bilgisayar kontrollü tren sürüşü olanak sağlamaktadır. TOS sisteminin avantajları güvenlik, emre amadelik, yüksek kalitede hizmet, yüksek işletme esnekliği, düşük bakım maliyeti, minumum çevresel etkidir [11].

2.3 Raylı Sistem Elektrifikasyonu

Kent içi raylı toplu taşıma elektrifikasyon sistemleri orta gerilim seviyesinden alınan enerjiyi transformatör merkezlerinde indirip doğrultucu ile doğrultarak çeşitli değerlerde bulunan DC volt seviyesinde katener veya 3. ray vasıtası ile hareket halindeki trene ulaştırır. AC akım ile çalışan sistemlerde doğrultucu gurubuna gerek duyulmadan belirlenen AC gerilim değerlerine indirilerek cer gücü enerjisi temini sağlanır [12].



Şekil 2. 9 Raylı sistem elektrifikasyon sistemlerinin basitleştirilmiş diyagramı [8]

Raylı sistemler yedeklilik ile enerji kesintisini minumum düzeyde tutmak için tasarlanmıştır. Transformatör merkezlerinin içerisinde yer alan cer transformatörleri, transformatör merkezleri, TEİAŞ indirici merkezleri yedekli olarak tasarlanmıştır. Herhangi bir ekipmanda meydana gelen enerji kesintisinde ekipmanın yedeği devreye girerek enerji kesintisine müsaade edilmemektedir.

Güç merkezlerinde indirilen AC gerillim çeşitli güçlerde DC gerilim ile veya doğrultucu gurubu kullanılmadan direk AC gerilim ile tren katener hattı / 3.ray beslemesine iletilir. Kent içi kulanılan sistemlerde genelde DC sistem kullanılmaktadır. Katener ve DC sistem çeşitliliği bulunan birçok metro – tramvay hattı aynı şehirde bulunabilmektedir. Aşağıdaki şekilde Metro İstanbul AŞ firmasının işlemesini yaptığı İstanbul içinde yer alan metro ve tramvay hatlarının elektrifikasyon sistemi hakkında bilgiler paylaşılmıştır.

Çizelge 2.1 Örnek Raylı Sistem Projeleri

HAT İSMİ	GERİLİM SEVİYESİ	KATENER SİSTEMİ	SİSTEM TİPİ
M1	750 V DC	KONVANSİYONEL	LRT

M2	750 V DC	3. RAY	METRO
M3	1500 V DC	RİJİT	METRO
M4	1500 V DC	RİJİT	METRO
T1	750 V DC	KONVANSİYONEL	TRAMVAY
T4	750 V DC	KONVANSİYONEL	TRAMVAY

Raylı sistem elektrifikasyon sistemlerinin basitleştirilmiş diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Dünya genelinde tren gerilim seviyeleri belirli değerler aralığında çalışmakta olup bu değerler EN 50163 standardında tanımlanmıştır İlgili değerlerin gösterimi Çizelge 2.2'de yapılmıştır [16].

Çizelge 2. 2 EN 50163 tren gerilim seviyeleri

	Un	Umin2	Umin1	Umax1	Umax2
DC 600 V	600		400	720	770
DC 750 V	750		500	900	950
DC 1500 V	1500		1000	1800	1950
DC 3000 V	3000		2000	3600	3900
AC 15 kV	15000	11000	12000	17250	18000
AC 25 kV	25000	17500	19000	27500	29000

U_n: Nominal gerilim
U_{min1}: En düşük kalıcı gerilim
U_{min2}: En düşük geçici gerilim
U_{max1}: En yüksek kalıcı gerilim
U_{max2}: En düşük geçici gerilim

Elektrifikasyon sistemi cer gücünü tedarik eden transformatör merkezleri, katener sistemleri ve araçlardan oluşmaktadır. Transformatör merkezi güç talebi tren anma gücüne, yüküne, tren sefer sıklığına, bu merkezden beslenen ray sayısına vs. gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Raylı sistemlerde transformatör merkezleri dizayn edilmeden önce DC simülasyon yapılarak transformatör merkezi konumları belirlenir. DC simülasyon yapım aşamasında kötü durum senaryosu olarak hatta göre

bir transformatör merkezinde bulunan cer transformatörlarından birisinin kaybedilmesi ya da komşu bir veya iki transformatör merkezinin tamamının kayıp edilmesi durumları belirlenerek transformatör merkezi dizaynı yapılmaktadır. Kesintisiz enerji sürekliliğini sağlamak amacıyla yapılan bu yedeklemeler yüksek oranda enerji sarfiyatına neden olmaktadır. İşletme şartları altında sıcak yedekli olarak çalışan cer transformatörları yedekli çalışma durumundan dolayı %33 oranında daha fazla enerji tüketmektedir [17]. Raylı sistemlerde kesintisiz enerji sürekliliğini sağlayarak arızalardan etkilenmeyen konforlu bir işletme sunmak için yedekleme yaparak önlem alınması zorunlu bir durumdur [18]. Fakat işletme güvenliği ve enerji verimliliği arasında optimum dengeyi sağlamak önem arz etmektedir. Optimum besleme senaryolarının belirlenmesi ve enerji sarfiyatının minumum seviyede tutulması için simülasyon programlarını efektif olarak kullanmak gerekmektedir.

Raylı sistemlerin elektrifikasyonu aşağıdaki sistemlerden oluşmaktadır.

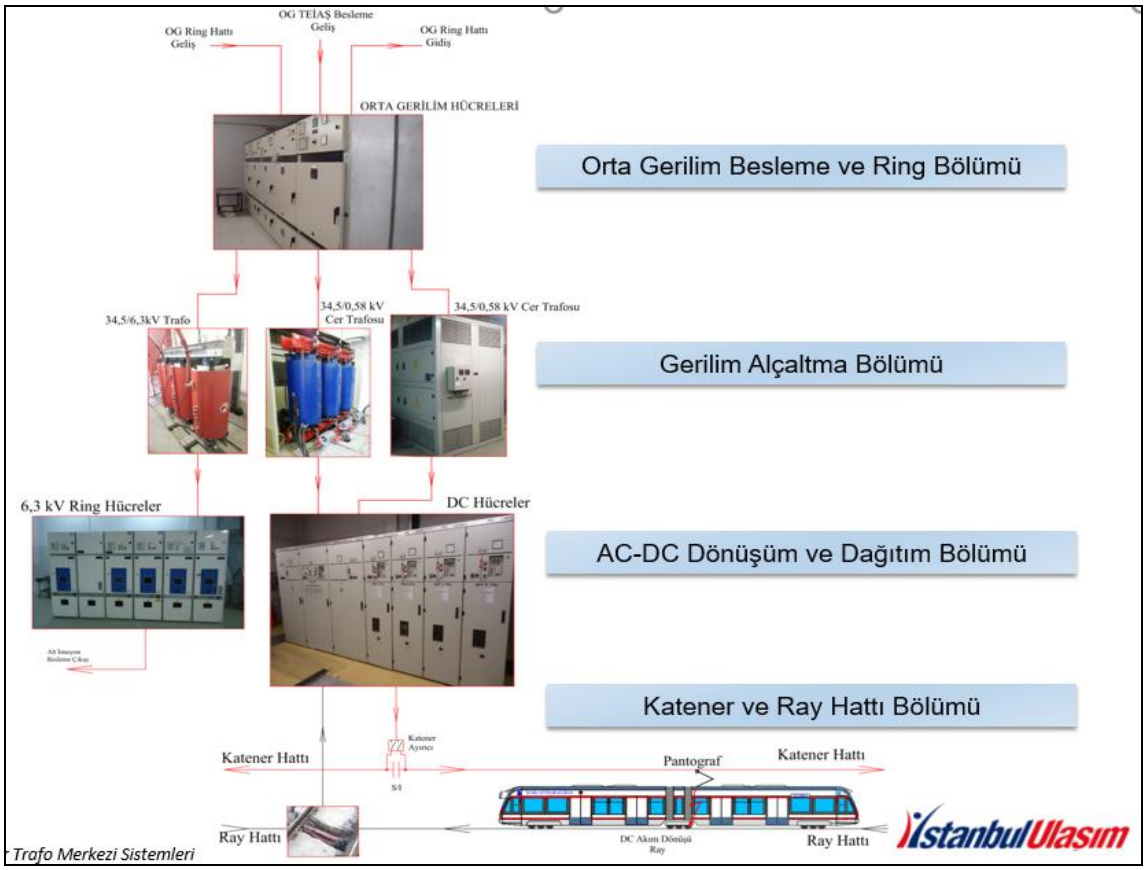
- Güç merkezleri
- Katener sistemi veya 3. ray
- Sinyalizasyon sistemleri
- Haberleşme sistemleri
- Uzaktan (SCADA) kontrol sistemleri
- İstasyon ve diğer sabit tesislerin elektrik-elektronik işleri [14].

2.3.1 Transformatör Merkezleri

Raylı sistem hatlarında araçların ve istasyonların elektrik enerjisi, hat boyunca devam eden güç merkezleri tarafından karşılanmaktadır. Bu merkezler tramvay ve hafif metrolarda istasyonlardan bağımsız iken metrolarda istasyonlarla aynı bölgede yer almaktadır. Bu güç merkezlerinin adedi ve konfigürasyonu raylı sistem tipine ve hat uzunluğuna göre değişir. Kent içi raylı sistemlerde kurul olan bir transformatör merkezi genellikle aşağıdaki ekipmanlar bulunmaktadır [15];

- Cer transformatörü

- Doğrultucu
- DC şalt hücreleri
- Orta gerilim hücreleri
- Alçak gerilim dağıtım sistemi
- Kesintisiz güç kaynağı (UPS)
- 110 V DC besleme aküleri
- Uzaktan izleme ve kumanda sistemi (PLC) [14].



Şekil 2. 10 Transformatör merkezi ekipmanları

Transformatör merkezlerinin içerisinde ana unsur olarak orta gerilim hücreleri, cer transformatörları , yardımcı servis transformatörları ve DC şalt sistemi mevcuttur.

2.3.1.1 Orta Gerilim Hücreleri

Kent içi raylı sistemlerde çoğunlukla trenler DC güç ile tahrik edilirken trenlere enerji teminini sağlayan DC şalt sistemlerinin bulunduğu transformatör merkezleri birbirleriyle yüksek kV değerlerinde AC gerilim ile birbirlerine bağlıdır. Transformatör merkezi içerisinde bulunan orta gerilim hücreleri ile cer transformatörlarının, yardımcı servis transformatörlarının ve ring kablo iletiminin anahtarlaması yapılmaktadır. Ülkemizde 34,5 kV AC sistemler aşağıdaki sebeplerden ötürü raylı sistem dağıtımında kullanılmıştır;

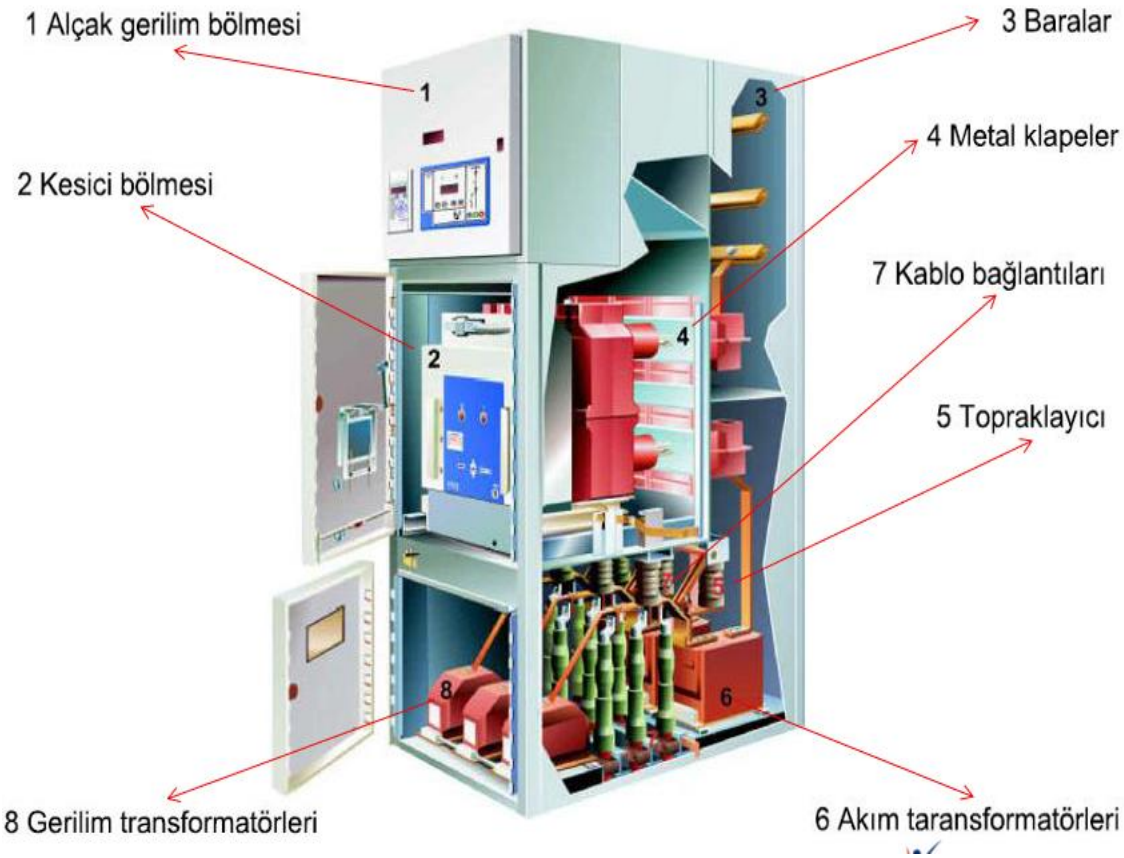
- Güvenilirliği fazla, basit ve işletilebilir bir sistem
- Daha düşük bir yatırımla gerçekleştirilebilmesi
- Az sayıda indirici merkez ve fider gereksinimi
- Fider yapısındaki basit radyal dağıtım düzeni ve beraberinde getireceği uzaktan kontrol kumanda olanakları



Şekil 2. 11 OG hücre örneği

Şekil 2.11’de Metro İstanbul AŞ hattında bulunan örnek bir transformatör merkezi görülmektedir. Orta gerilim hücrelerin başlıca aşağıdaki bölmeler bulunmaktadır;

- Alçak gerilim bölmesi
- Kesici bölmesi
- Baralar
- Metal klapeler
- Kablo bağlantıları
- Topraklayıcılar
- Gerilim tranformatörleri
- Akım transformatörleri



Şekil 2. 12 OG hücre örneği

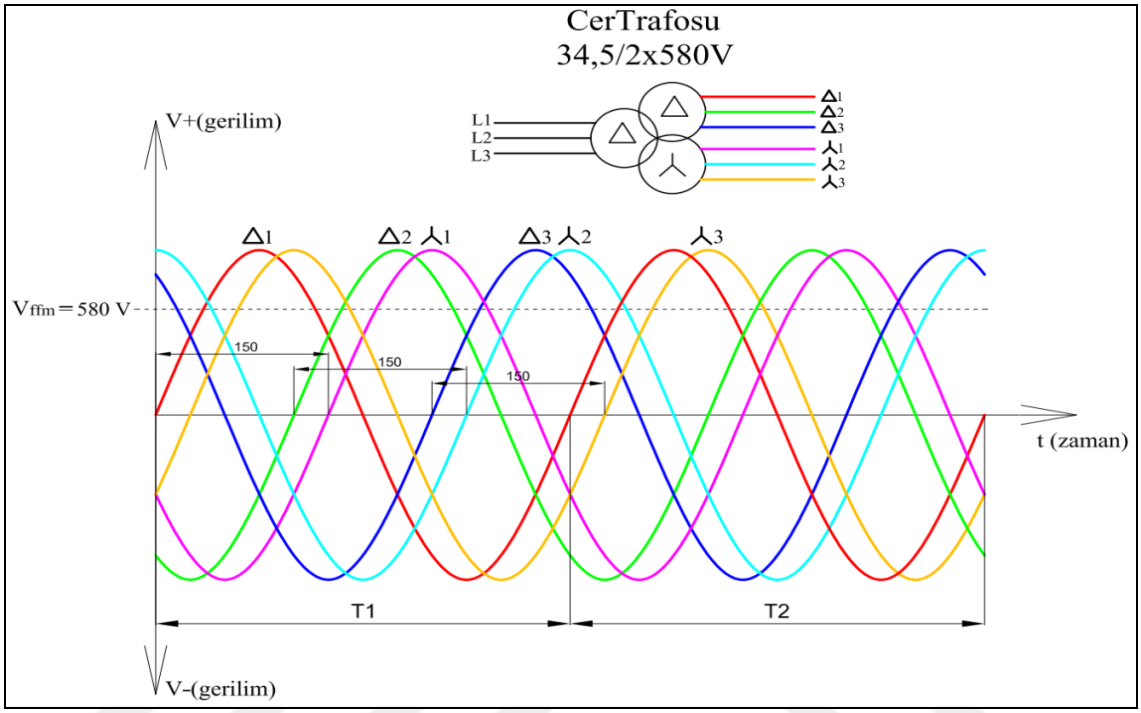
2.3.1.2 Cer Transformatörleri

Kent içi raylı sistemlerde tren tahrik gücü için geleneksel servis transformatörlarının aksine çift sekonderli cer transformatörları kullanılmaktadır. 1500 V DC sistemlerin kullanıldığı metro hatlarında cer transformatörları 34,5 kV AC orta gerilimi çift sekonderli 1200 V AC orta gerilime indirmektedir. 750 V DC sistemlerin kullanıldığı metro / tramvay hatlarında ise cer transformatörları 34.5 kV AC gerilimi çift sekonderli 580 V AC gerilim seviyesine indirmektedir.



Şekil 2. 13 Cer transformatörü

Orta gerilim hücrelerinden alınan 34,5 kV gerilim, cer transformatör çıkışında bulunan çift sargı ile dalga açısı birbirlerinden farklı 2 çıkış vermektedir. Böylece doğrultmanın sağlanabilmesi için, daha uygun dalga şekilleri sağlanmaktadır.



Şekil 2. 14 Cer transformatör sekonder gerilimi dalga şekilleri

2.3.1.3 DC Şalt Sistemi

Raylı sistem hatları elektrifikasyon projelendirme aşamalarında ilk olarak DC simülasyon yapılarak DC şalt sistemlerinin anma güçleri belirlenir. Transformatör merkezlerinde genellikle çift sistem bulunmaktadır. Çift sistem iki adet cer transformatörü ve iki adet doğrultucu ile dört adet çıkış DC hücre fiderinden oluşmaktadır. DC şalt sistemi doğrulrucu hücre ve kesicilerini, DC fider hücre ve kesicilerini, kesicili veya ayrıcılı negatif geri dönüş hücrelerini ihtiva etmektedir.

Raylı sistemlerin ilk yılarında 6-darbeli dönüştürücü kullanılırken gelişen güç elektroniği teknolojisi ile birlikte 12-darbeli dönüştürücüler daha sık kullanılmaya başlamıştır. DC sistem başlıca aşağıdaki alt kırılım sistemlerinden oluşmaktadır.

- Doğrultucu Grubu

- DC Fider Hücreleri
- Rectifier Hücreleri
- Koruma elemanları
- Negatif (geri dönüş) Ayrıcısı / Kesicisi



Şekil 2. 15 DC hücre gurubu

DC doğrultucuların (+) çıkışları birer DC ayırıcı üzerinden pozitif bara üzerinde toplanmıştır. Bu (+) baradan 4 fider hattı Kesicisi ile katener hattı beslenir. Cer akımının doğrultucu dönüşü raylar üzerinden olur. Redresörlerin (-) uçları bir barada toplanmıştır. Raylar geri dönüş kabloları üzerinden (-) baraya bağlanmıştır.

2.3.2 Tren Gücü Enerji İletimi

Tren cer gücünün ihtiyacı olan enerji çeşitli iletim yolları ile sağlanmaktadır. Doğrultucu gurubundan gelen akım aşağıda ıralanmış yöntemler vasıtasıyla tren araçlarına ulaşarak hareketlerini sağlarlar. Ülkemizde kullanılan başlıca tren tahrik gücünü sağlayan enerji iletim yolları aşağıda sıralanmıştır ;

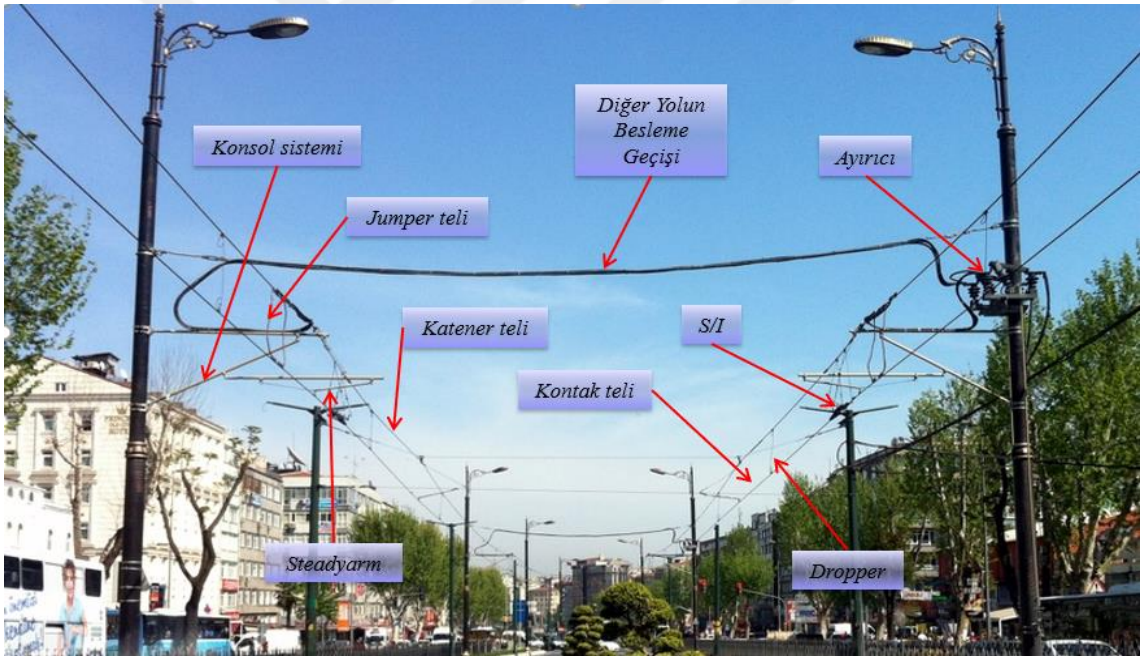
- Konvansiyonel katener sistemi
- Rijit katener sistemi

•3. Ray sistemi

Kullanılacak olan iletim sistemini belirleyen etken hat tipi (tünel , viyadük , açık) , tren anma gücü , tren sefer sıklığı ve hattın çevresine olan emniyet faktörü olmaktadır.

2.3.2.1 Havai Hat Katener Sistemleri

Havai hat katener sistemi (Overhead Catenary System- OCS), hat yolu tamamınca tesis edilen ve trenlerin pantograf kısımları aracılığıyla elektrik enerjisini aldığı enerji iletim hattıdır. Katener sistemi, seyir teli (kontak teli), katener teli , dropper teli , iki tel arası iletken teller ve bunların asılması ile izolesini sağlayan direkleri izolatörler, konsollar ve çeşitli ekipmanlardan oluşmaktadır. Kontak teli haricinde katener teli ve fider telinin kullanımı tasarım aşamasında belirlenen akım taşıma kapasitesine göre belirlenmektedir [11].

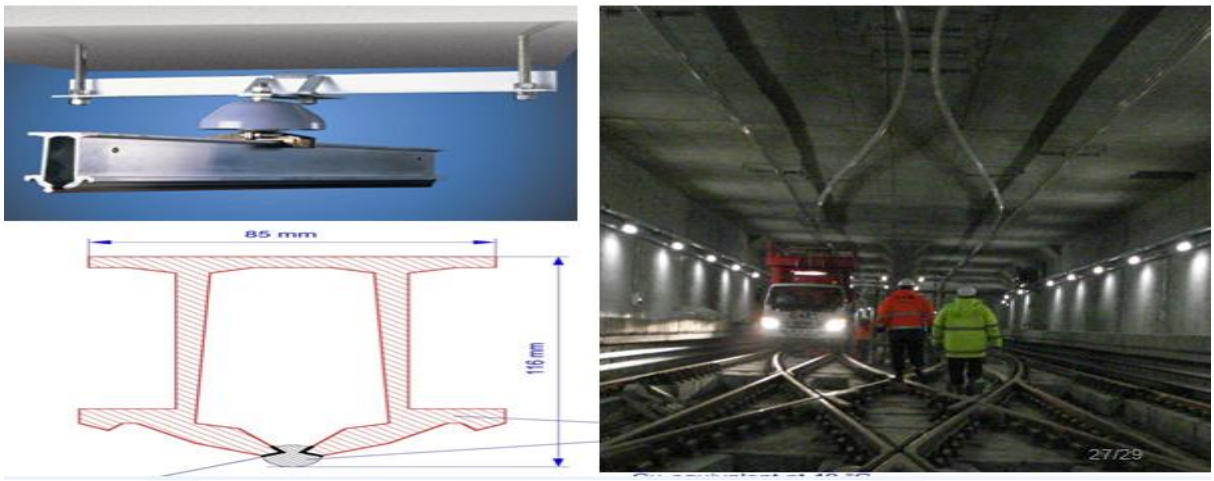


Şekil 2. 16 Katener sistemi ekipmanları

2.3.2.2 Rijit Katener Sistemleri

Rijit katener sistemi 3. ray katener iletim sistemine alternatif olarak geliştirilen alimunyum iletkenden oluşan ve akım taşıma kapasitesi yüksek , esnek bir yapıya sahip olan iletim sistemidir. Günümüzde yeni yapılan metro hatlarının hemen hemen tamamında rijit katener iletim sistemi tercih edilmektedir. Havai hat katener sistemi

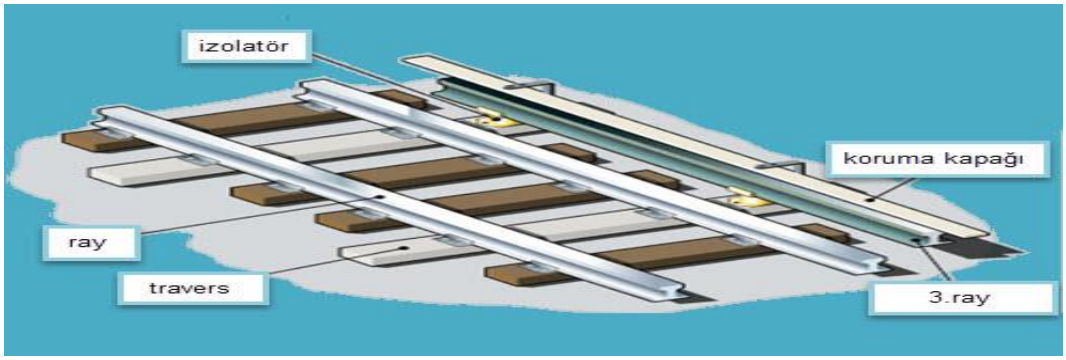
bulunan aynı hatta rijit katener sisteminin uzatma hatlarında veya hattın bir kısmında kulanılabilmesi sistemin en büyük avantajlarındandır [17].



Şekil 2. 17 Rijit kataner

2.3.2.3 Üçüncü Ray Sistemleri

3. ray iletim sistemi taşıyıcı raylarla aynı kotta bulunan elektriğin araca iletilmesini sağlamakta olan, metro hatlarında kullanılan bir iletim sistemidir. Tren 3. rayda bulunan enerjiyi trenlerin ray kotu seviyesinde bulunan ray pabucu yardımı ile almaktadır. Raylı sistem aracının hareketi için taraftaki pabucun üçüncü raya temas etmesi yeterli olmaktadır. Ülkemizde M2 metro hattında üçüncü ray sistemi kullanılmakta olup daha sonra yapılan hatlarda bu iletim sistemi tercih edilmemiştir. Sistemin en büyük dezavantajı ray hattı seviyesinde bulunan enerjinin emniyet açısından tehlikeli olmasıdır. Güvenlik sebeplerinden dolayı M2 hattı haricinde başka bir metro hattında üçüncü ray iletim sistemi tercih edilmemiştir [14].



Şekil 2.11 Üçüncü ray sistemi [14]

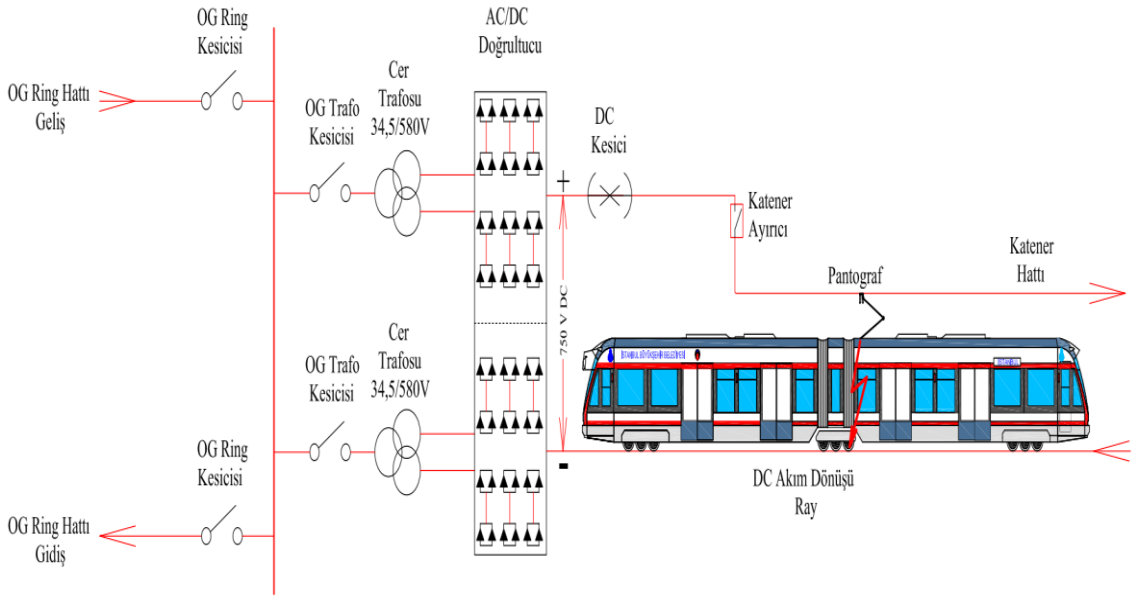
BÖLÜM 3

M1A-M1B HAFİF METRO HATTI

İlk olarak 1989 yılında Aksaray, Emniyet-Fatih, Topkapı-Ulubatlı, Bayrampaşa-Maltepe, Sağmalcılar, Kocatepe istasyonları açılarak hizmete başlayan hatta aynı yıl sonunda Esenler istasyonu eklenmiştir. 1994 yılında Otogar, Terazidere, Davutpaşa-YTÜ, Merter, Zeytinburnu, Bakırköy- İncirli istasyonları hizmete açılmıştır. 1995 yılında Ataköy-Şirinevler ve Yenibosna istasyonları, 1999 yılında Bahçelievler istasyonu, 2002 yılında DTM-İstanbul Fuar Merkezi, Atatürk Havalimanı istasyonları ,2013 yılında Menderes, Üçyüzlü, Bağcılar Meydan, Kirazlı istasyonları ve en son 2014 yılında ise Yenikapı istasyonu hizmete açılmıştır.

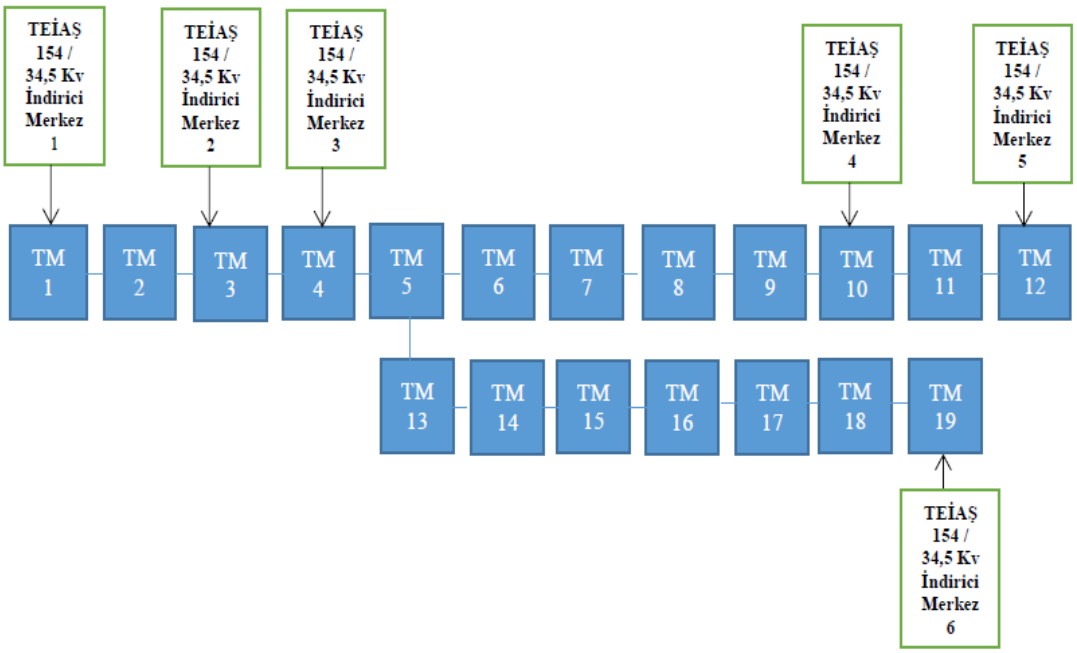
3.1 Elektrifikasyon Sistemi

M1A-M1B hattı üzerinde bulunan 19 adet transformatör merkezi, 6 adet indirici merkez ve transformatör merkezleri arasında bulunan orta gerilim kabloları hafif metro hattının elektrifikasyon sistemini oluşturmaktadır. Elektrifikasyon sistemini oluşturan transformatör merkezlerinin basitleştirilmiş şeması Şekil 3.2 de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Raylı Sistem Elektrifikasyon Örneği

Simulasyon ve modelleme sonucunda çıkan elektriksel parametrelerin analizinin anlaşılır olması için transformatör merkezleri ve TEİAŞ indirici merkezlerine kodlar verilmiştir. Sistemin numaralandırılmış tek hat şeması aşağıda verilmiştir;



Şekil 3. 2 M1A-M1B hattı orta gerilim sisteminin basitleştirilmiş diyagramı

3.2 İstasyon Bilgileri

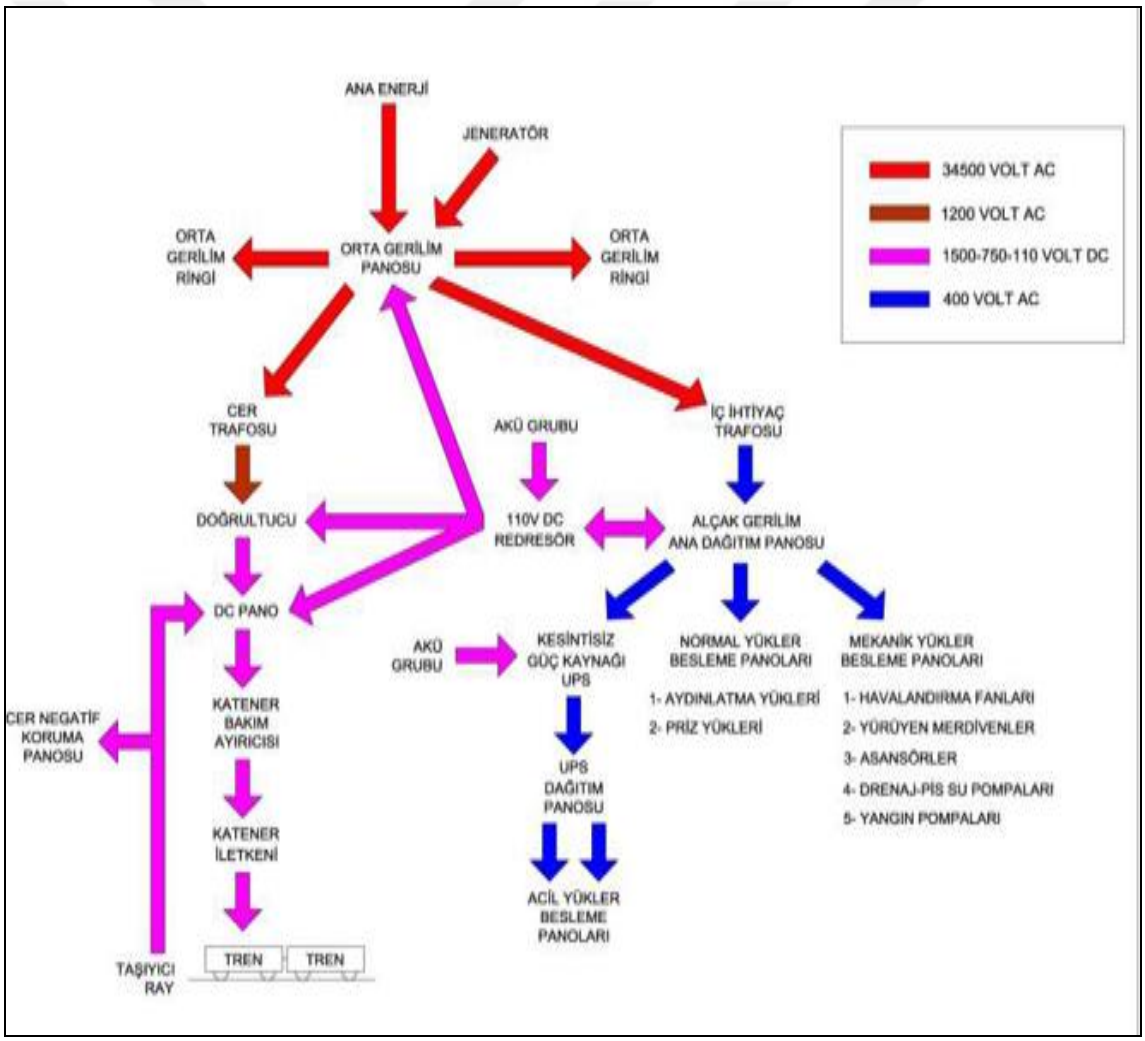
M1A-M1B hafif metro hattında toplam 23 adet istasyon bulunmakta olup istasyonların birçoğunda transformatör merkezi bulunmamaktadır. M1B hattı üzerinde bulunan Menderes, Bağcılar, Kirazlı gibi çok katlı-kapalı istasyonlarda enerjü tüketimi fazla olurken terazidere gibi açık istasyonlarda enerji tüketimi düşük seviyelerde kalmaktadır.



Şekil 3. 3 M1A-M1B hattı istasyon şeması

3.3 Transformatör Merkezleri

M1A Yenikapı- Atatürk Havalimanı ve M1B Yenikapı - Kirazlı hafif raylı sistem hattında bulunan toplam 23 adet istasyon ve 26,1 km uzunluğundaki katener hattının enerji beslenmesi hat üzerinde çeşitli lokasyonlarda kurulu olan toplam 19 adet transformatör merkezi ile sağlanmaktadır. Transformatör merkezlerinde 34,5 kV AC orta gerilim baralar bulunmakta olup transformatör merkezleri birbirlerine orta gerilim enerji kabloları üzerinden bağlanarak ring şebeke oluşturmaktadır. Oluşturulan ring şebeke sayesinde herhangi bir TEİAŞ 154/34,5 kV giriş beslemesinde meydana gelen bir enerji kesintisinde ring kesici hücreleri ile manevra yapılarak bir başka indirici merkezden enerji beslemesi sağlanmaktadır.



Şekil 3. 4 Enerji besleme diyagramı

Şekil 3.2 de transformatör merkezi ve indirici merkezlerin orta gerilim diyagramı verilmiştir. Çizelge 3.1 de ise transformatör merkezlerinin kurulu güç bilgisi paylaşılmıştır.

Çizelge 3. 1 Transformatör merkezi kurulu güç bilgisi

Transformatör Merkezi Kodu	Transformatör Merkezi İsmi	Kurulu Güç
TM 1	Yenikapı	6,5 MVA
TM 2	Aksaray	5,8 MVA
TM 3	Ulubatlı	5,8 MVA
TM 4	Sağmalcılar	5,8 MVA
TM 5	Otogar	7,6 MVA
TM 6	Mimarsinan	5,8 MVA
TM 7	Belpa	5,8 MVA
TM 8	Bakırköy	0,63 MVA
TM 9	Bahçelievler	6,4 MVA
TM 10	Yenibosna	5,8 MVA
TM 11	DTM	3,03 MVA
TM 12	Havalimanı	1 MVA
TM 13	Ferhatpaşa	2,5 MVA
TM 14	Garaj Sahası	2,4 MVA
TM 15	Esenler	0,63 MVA
TM 16	Menderes	8,8 MVA
TM 17	Üçyüzlü	4 MVA
TM 18	Bağcılar	8,8 MVA
TM 19	Kirazlı	6,4 MVA
	Toplam Kurulu Güç	93,49 MVA

BÖLÜM 4

ETAP BİLGİSAYAR YAZILIMI

ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software), elektrik güç sistemlerinin analiz, simülasyon, izleme, kontrol, optimizasyon ve otomasyon konularında uzmanlaşmış tam spektrumlu bir analitik mühendislik yazılımı şirketidir. ETAP yazılımı, modellemeden işletime kadar geniş kapsamlı ve entegre bir güç sistemi kurumsal çözümü sunmaktadır.

ETAP elektrik mühendislerinin her türlü analizi ve tasarımı yapmalarına olanak sağlar. Her türlü endüstriye ve sektöre, sektöre uygun elektrik analiz modülleri sunar. Sektörlerin arasında yer alanlar; jenerasyon firmaları, petrol sektörü, büyük endüstriyel kurumlar, iletim sistemleri, dağıtım sistemleri, orta ve küçük endüstriyel kurumlar, fabrikalar, ve inşaat alanlarıdır.

Bilgisayar yazılımı programları arasında elektriksel analizler için yaygın olarak kullanılan ETAP programı bazı ihalelerde özellikle istenmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde birçok nükleer santralin elektrifikasyon sisteminin modellenmesi ETAP programında simule edilmiştir. Sistem revizyonları ve elektriksel korumalar oluştulan modeller ile sağlanmaktadır. Nükleer santraller enerji üretimi gerçekleştirmede sundukları katkı payının yanında güvenlik ile ilgili oluşturdukları potansiyel risklerinden dolayı bir çok platformda tartışılmaktadır. Güvenlik risklerinin öneminin bu kadar çok fazla olduğu nükleer enerji santrallerinde ETAP bilgisayar yazılımına güvenilerek sistem korumalarının ve revizyonların yapılması programın üst düzeyde güvenilir olduğunun ve kabul gördüğünün kanıtıdır.

Raylı sistemlerde kullanılan çift sekonderli cer transformatörleri ETAP bilgisayar programının kütüphanesi içinde mevcuttur. Bazı yazılım programlarında bu özellik mevcut olmamakta olup özel olarak çift sekonderli cer transformatörlerin oluşturulması gerekmektedir. Kullanıcı için getirdiği kolaylıklar ve güvenilirlik yönünden kabul görmesi sebebiyle tez çalışmasında ETAP programı seçilmiştir.

ETAP MODELİNİN OLUŞTURULMASI

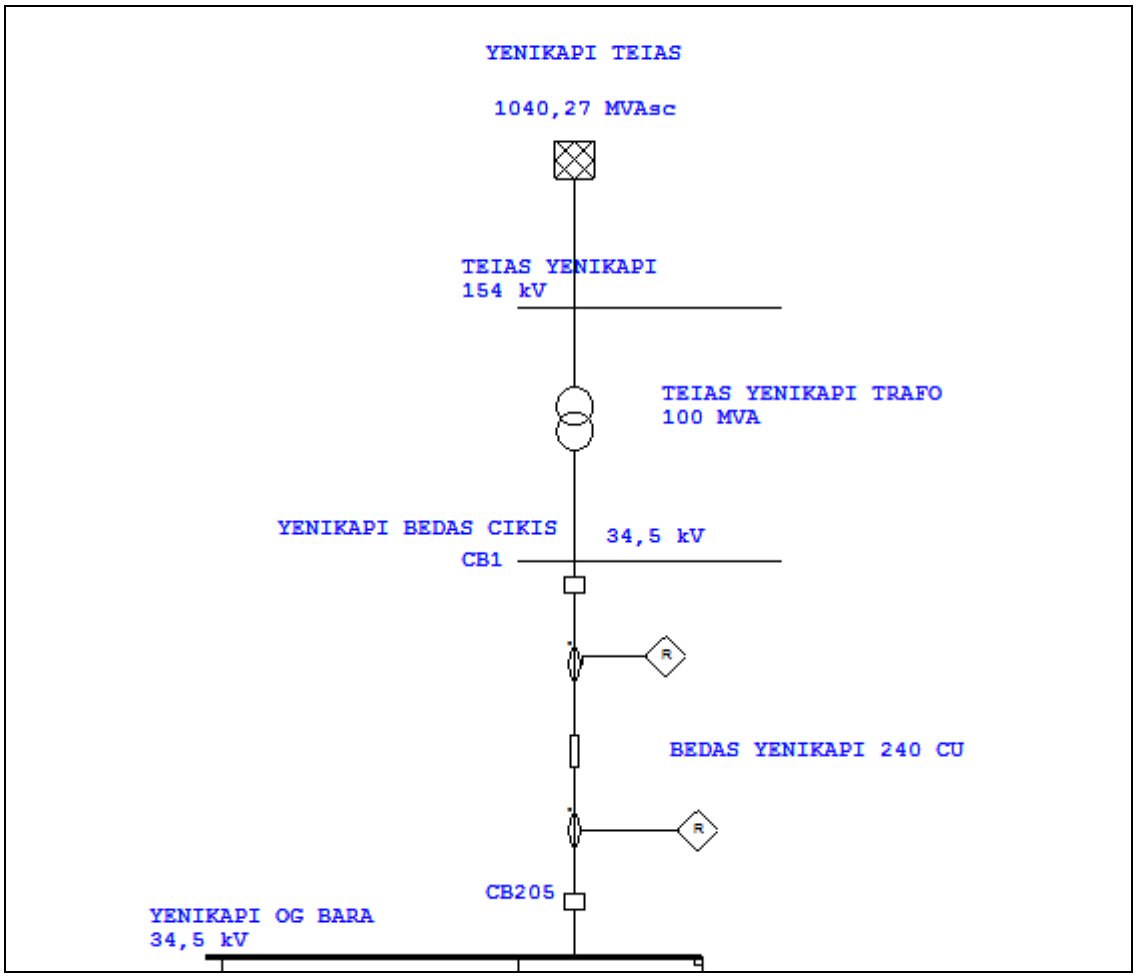
Simulasyon programı olarak dünyada elektrifikasyon sistemlerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programının 12.5 numaralı sürümü kullanılmıştır. Simulasyon programında 19 adet transformatör merkezi ve bu transformatör merkezleri arasındaki orta gerilim kablo bağlantılarının modellenmesi yapılarak yük akış analizi gerçekleştirilmiştir. TEIAS 154 /34,5 kV indirici transformatörnun sekonder gerilimi sahada belirlenen gerçek gerilim değeri 33,6 kV olarak alınmıştır. Transformatör merkezleri arasında bulunan bakır orta gerilim kabloları için ETAP programının kütüphanesinde bulunan kablolar seçilmiştir. Bu bölümde elektrifikasyon sistemlerinin ETAP program modelinde oluşturulma aşamaları anlatılarak model hakkında bilgi verilecektir.

4.1 TEİAŞ 154 / 34,5 kV İndirici Merkezlerin Elektrifikasyon Modellerinin Oluşturulması

Metro İstanbul A.Ş. OG şebekesini besleyen TEİAŞ Transformatör Merkezleri (TM), model içerisinde 154 kV baradan itibaren oluşturulmuştur. 154 kV bara sonsuz (Slack, Esnek) bara kabul edilmiştir ve bu bara için 3 faz ve faz-toprak kısa devre akımlarının en güncel (analizlerin yapıldığı tarih itibariyle) hali TEİAŞ web sitesinden alınmıştır. R/X Oranı TEİAŞ Web Sitesinde belirtilmediği için, bu değer IEC 60909'a uygun olarak 0,1 kabul edilmiştir. (http://teias.gov.tr/sites/default/files/2017-06/kısadevre.xls) TEİAŞ web sitesinde bulunan yüksek gerilim baraları kısa devre akımlarının güncelleme tarihi aşağıda verilmiştir:

- 2016 Yaz Puant: 13.09.2016
- 2016 Kış Puant: 21.12.2016

Çalışmalarda, ilgili bara için, TEİAŞ web sitesinden alınan kısa devre akımlarının en yükseği seçilmiştir. İlgili baradaki yük ve üretim profiline bağlı olarak en yüksek kısa devre akımının gerçekleşeceği zaman diliminin farklılık gösterebileceği öngörülerek bu şekilde en yüksek değer alınmıştır. Aşağıdaki şekilde örnek olarak, model içerisinde TEİAŞ TM'ler için oluşturulan örnek bir tek hat şeması gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 ETAP indirici merkez diyagramı

4.1.1 Yenikapı 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi

Yenikapı transformatör merkezinin beslendiği şalt sahası Yenikapı şalt sahasıdır. İlgili şalt sahasında 100 MVA TEİAŞ transformatörü bulunmakta olup bu transformatör merkezinden Yenikapı transformatör merkezinde OG kablolar üzerinden enerji temini sağlanmaktadır.

Çizelge 4. 1 Yenikapı indirici merkezi

Yenikapı A TM YG Barası		
Parametre	Birim	Değer
En Yüksek Kısa Devre Akımının Gerçekleştiği Dönem	-	2016 Yaz Puant
3 Faz Kısa Devre Gücü	MVA	1.924,308
3 Faz Kısa Devre Akımı	kA	7,21
Faz-Toprak Kısa Devre Gücü	MVA	1.962,414
Faz-Toprak Kısa Devre Akımı	kA	7,35
R/X1	-	0,1

4.1.2 Topkapı 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi

Ulubatlı transformatör merkezinin beslendiği şalt sahası Topkapı şalt sahasıdır. İlgili şalt sahasında 100 MVA TEİAŞ transformatörü bulunmakta olup bu transformatör merkezinden Yenikapı transformatör merkezinde OG kablolar üzerinden enerji temini sağlanmaktadır

Çizelge 4. 2 Topkapı indirici merkezi

Topkapı A T		
Parametre	Birim	Değer
En Yüksek Kısa Devre Akımının Gerçekleştiği Dönem	-	2016 Kış Puant
3 Faz Kısa Devre Gücü	MVA	3.360,872
3 Faz Kısa Devre Akımı	kA	12,6
Faz-Toprak Kısa Devre Gücü	MVA	3.200,83
Faz-Toprak Kısa Devre Akımı	kA	12

4.1.3 Sağmalcılar 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi

Sağmalcılar transformatör merkezinin beslendiği şalt sahası Sağmalcıalr şalt sahasıdır. İlgili şalt sahasında 100 MVA TEİAŞ transformatörü bulunmakta olup bu transformatör merkezinden Yenikapı transformatör merkezinde OG kablolar üzerinden enerji temini sağlanmaktadır.

Çizelge 4. 3 Sağmalcılar indirici merkezi

Sağmalcılar A TM YG Barası		
Parametre	Birim	Değer
En Yüksek Kısa Devre Akımının Gerçekleştiği Dönem	-	2016 Kış Puant
3 Faz Kısa Devre Gücü	MVA	2.305,36
3 Faz Kısa Devre Akımı	kA	8,64
Faz-Toprak Kısa Devre Gücü	MVA	2.095,78
Faz-Toprak Kısa Devre Akımı	kA	7,85
R/X	-	0,1

4.1.4 Yenibosna 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi

Yenibosna transformatör merkezinin beslendiği şalt sahası Yenibosna şalt sahasıdır. İlgili şalt sahasında 125 MVA TEİAŞ transformatörü bulunmakta olup bu transformatör merkezinden Yenikapı transformatör merkezinde OG kablolar üzerinden enerji temini sağlanmaktadır.

Çizelge 4. 4 Yenibosna indirici merkezi

Yenibosna TM YG Barası		
Parametre	Birim	Değer
En Yüksek Kısa Devre Akımının Gerçekleştiği Dönem	-	2012 Kış Puant
3 Faz Kısa Devre Gücü	MVA	6.961,805
3 Faz Kısa Devre Akımı	kA	26,1
Faz-Toprak Kısa Devre Gücü	MVA	6.695,069
Faz-Toprak Kısa Devre Akımı	kA	25,1
R/X	-	0,1

4.1.5 DTM Dağıtım Merkezi

Havalimanı transformatör merkezinin beslendiği merkez DTM dağıtım merkezidir. İlgili merkezde MVA yerel dağıtım şirketinin transformatörü bulunmakta olup bu transformatör merkezinden Havaimanı transformatör merkezine OG kablolar üzerinden enerji temini sağlanmaktadır.

Çizelge 4. 5 DTM indirici merkezi

BEDAŞ DTM 1250		
Parametre	Birim	Değer
En Yüksek Kısa Devre Akımının Gerçekleştiği Dönem	-	-
3 Faz Kısa Devre Gücü	MVA	956,092
3 Faz Kısa Devre Akımı	kA	16
Faz-Toprak Kısa Devre Gücü	MVA	956,092
Faz-Toprak Kısa Devre Akımı	kA	16
R/X	-	0,1

4.1.6 Bağcılar 154 / 34,5 kV TEİAŞ İndirici Merkezi

Kirazlı transformatör merkezinin beslendiği şalt sahası Bağcılar şalt sahasıdır. İlgili şalt sahasında 100 MVA TEİAŞ transformatörü bulunmakta olup bu transformatör merkezinden Kirazlı transformatör merkezine OG kablolar üzerinden enerji temini sağlanmaktadır.

Çizelge 4. 6 Bağcılar indirici merkezi

Bağcılar TM YG Barası		
Parametre	Birim	Değer
En Yüksek Kısa Devre Akımının Gerçekleştiği Dönem	-	2016 Yaz Puant
3 Faz Kısa Devre Gücü	MVA	4.827,918
3 Faz Kısa Devre Akımı	kA	18,1
Faz-Toprak Kısa Devre Gücü	MVA	4.161,079
Faz-Toprak Kısa Devre Akımı	kA	15,6
R/X	-	0,1

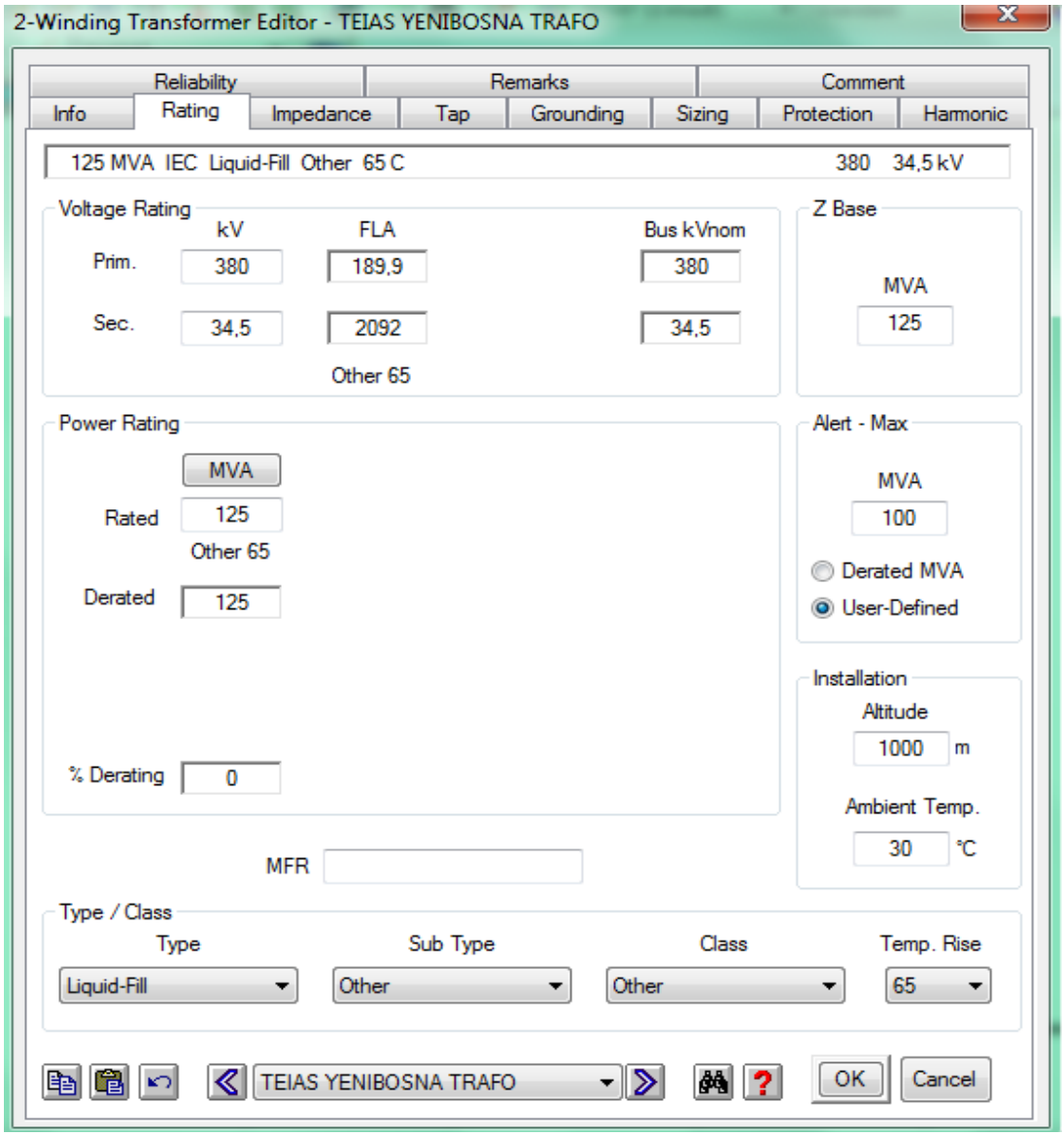
4.2 TEİAŞ 100 MVA 154 / 34,5 kV Transformatör Modeli

M1A-M1B hattı OG şebekesinin tamamı 154 kV TEİAŞ TM'lerin sekonder çıkışlarının bağlı olduğu 34,5 kV OG baralarından beslenmektedir. TEİAŞ TM'lerde 154kV-34,5kV baraları arasında 100 MVA'lık transformatörler bulunmaktadır. 100 MVA'lık TEİAŞ tip transformatör elektrifikasyon parametreleri için TEİAŞ şartnamelerinden bilgi alınmıştır. Model içerisinde oluşturulan TEİAŞ transformatörlarının karakteristikleri aşağıdaki çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4. 7 TEİAŞ 100 MVA İndirici transformatör etiket değerleri

100 MVA TEİAŞ Transformatörları		
Parametre	Birim	Değer
Görünür güç	MVA	100
Nominal frekans	Hz	50
YG gerilimi	kV	154
AG gerilimi	kV	34,5
Uk	%	13
Bakır kayıpları	kW	310
Sıfır bileşen empedansı	%	13
Bağlantı şekli	-	YNyn0
Kademe	-	±12x%1,25

ETAP modeli oluşturulurken her bir şalt sahasında bulunan transformatörler incelenerek farklı güçteki ve karakteristikteki transformatörler ayrıca simule edilmiştir. Genel olarak 100 MVA gücünde ototransformatörler kullanılmasına karşın Yenibosna şalt sahasında 125 MVA gücünde transformatör kullanıldığı tespit edilmiştir. TEİAŞ şalt sahaların standart 100 MVA gücündeki transformatörların etiket değerleri birbirlerine yakın olmakta iken farklı güçteki dağıtım transformatörlarının etiket değerinde büyük oranda değşiklikler olabilmektedir. Bu durumdan dolay dağıtım transformatör etiket değerlerine ulaşılarak gerçek etiket değerleri ETAP programında modellenerek gerçeğe en yakın model oluşturulması amaçlanmıştır. Yenibosna 125 MVA ototransformatörünun örnek ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) modellemesi aşağıdaki Şekil 4.2 'de paylaşılmıştır.



Şekil 4. 2 TEİAŞ 125 MVA transformatör etiket değeri

4.3 ORTA GERİLİM KABLOLARIN MODELLENMESİ

M1A-M1B hattı elektrifikasyon sisteminde OG şebekede 4 tip kablo kullanılmaktadır.

- 120 mm^2 XLPE izoleli, tek damar, bakır kablo,
- 185 mm^2 XLPE izoleli, tek damar, bakır kablo,
- 240 mm^2 XLPE izoleli, tek damar, bakır kablo,
- 240 mm^2 XLPE izoleli, tek damar, alüminyum kablo

Bu kabloların karakteristikleri bilgileri için şebeke analiz yazılımının orijinal kütüphanesi kullanılmıştır. Diğer taraftan şebeke analiz yazılımı içerisinde yer alan kabloların karakteristikleri çeşitli üretici firmaların taahhüt ettiği değerler ile karşılaştırılmıştır. Fark çok az olduğu (hatta bazı değerlerde fark olmadığı) için yazılım kütüphanesinde bulunan modellerin kullanımı uygun görülmüştür.

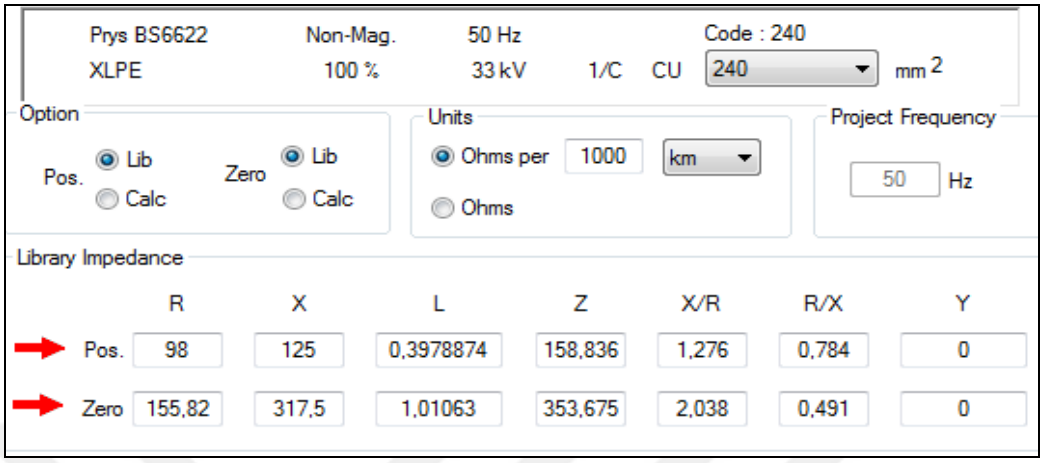
Model içerisinde kullanılan kabloların karakteristikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4. 8 Kablo etiket bilgileri

Kablolar								
ID	Malzeme	Kesit (mm2)	Akım Taşıma Kapasitesi (kA)	Kısa Devre Dayanımı (1s/kA)	R11 (ohm/km)	X1 (ohm/km)	R0 (ohm/km)	X0 (ohm/km)
N2XS2Y 1x120RM 18/34.5 kV	Bakır	120	0,410	17,2	0,166	0,206	0,961	0,571
N2XS2Y 1x185RM 18/34.5 kV	Bakır	185	0,503	26,5	0,118	0,193	0,723	0,317
N2XS2Y 1x240RM 18/34.5 kV	Bakır	240	0,576	32,3	0,093	0,185	0,698	0,313
NA2XS2Y 1x240RM 18/34.5 kV	Alüminyum	240	0,460	22,6	0,143	0,185	0,748	0,313

[1] 20°C'de (ortam sıcaklığı)

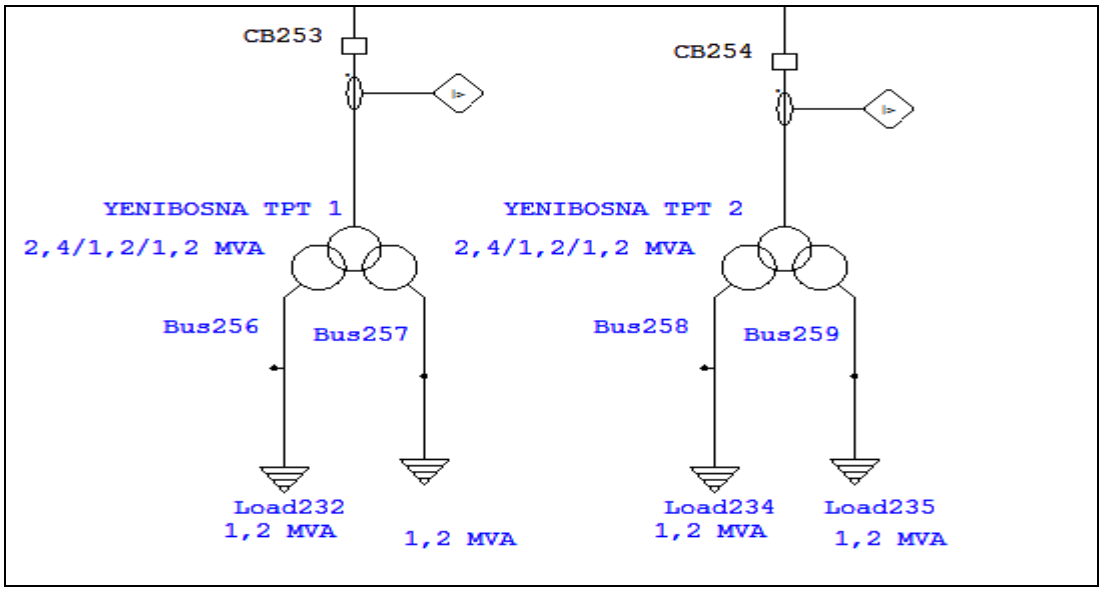
ETAP programının kütüphanesinde oldukça geniş bir yelpazeye yayılmış ürün seçeneklerinin birebir kablo etiket değerleri bulunabilir. Aşağıdaki resimde örnek olarak üretici bir markanın OG kablo örnek resmi programdan alınarak verilmiştir.



Şekil 4. 3 240 MM2 kablo ETAP modeli

4.4 Cer Transformatörlarının Modellenmesi

M1A-M1B Hattında ASEA , ABB , SIEMENS , MF Trasfor gibi çeşitli marka ve güçlerin cer transformatörları bulunmaktadır. ETAP programının kütüphanesinde özel olarak cer transformatörlarının markasının seçilebileceği bir seçenek bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı her bir farklı cer transformatörünun parametreleri girilerek spesifik cer transformatörları kütüphanede manuel olarak oluşturulmuştur.



Şekil 4. 4 Cer transformatör ETAP modeli

4.4.1 2400 kVA Cer Transformatör

M1A-M1B hattı kuruluşunda yapılan simülasyonlar sonucunda 2400 kVA gücünde cer transformatörları seçilerek hattın kurulumunda montajı yapılmıştır. Mevcut durumda Ulubatlı , Sağmalcılar , Belpa , Mimarsinan , Bahçelievler, Yenibosna ve DTM transformatör merkezlerinde 2400 KVA gücünde ASEA marka cer transformatörları bulunurken Aksaray transformatör merkezinde ise 2400 kVA gücünde ABB marka cer transformatörları kullanılmaktadır. 2012 yılında işletmeye açılan M1B hattında bulunan Menderes, Bağcılar ve Kirazlı transformatör merkezlerinde ise MF Transformatör isimli cer transformatörları kullanılmaktadır. ETAP kütüphanesinde 2400 kVA gücündeki ilgili transformatör merkezleri için aşağıda parametreleri verilen değerler kullanılarak farklı cer transformatörları için model oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 9 MF trasfor 2400 KVA cer transformatör etiket bilgisi

MF Trasfor		
Parametre	Birim	Değer
Nominal Güç (Primer)	MVA	2,4
(Sekonder 1)	MVA	1,2
(Sekonder 2)	MVA	1,2
Gerilim (Primer)	kV	34,5
(Sekonder 1)	kV	0,6
(Sekonder 2)	kV	0,6
Bağlantı Şekli	-	Y0y0d11
Uk (P,S1,S2)	%	7,2
Bakır Kayıpları (PS1-PS2)	kW	30
Kademe (Primer Tarafta)	-	-2+4x%2,5

Çizelge 4. 10 ASEA 2400 KVA cer transformatör etiket bilgisi

ASEA		
Parametre	Birim	Değer
Nominal Güç (Primer)	MVA	2,4
(Sekonder 1)	MVA	1,2
(Sekonder 2)	MVA	1,2
Gerilim (Primer)	kV	34,5
(Sekonder 1)	kV	0,6
(Sekonder 2)	kV	0,6
Bağlantı Şekli	-	Y0d11yn0
Uk (P,S1,S2)	%	8,6
Bakır Kayıpları (PS1-PS2)	kW	20
Kademe (Primer Tarafta)	-	±2x%2,5

Çizelge 4. 11 ABB 2400 KVA cer transformatör etiket bilgisi

ABB DTE2400/36		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç (Primer)	MVA	2,4
(Sekonder 1)	MVA	1,2
(Sekonder 2)	MVA	1,2
Gerilim (Primer)	kV	34,5
(Sekonder 1)	kV	0,6
(Sekonder 2)	kV	0,6
Bağlantı Şekli	-	Y0d11yn0
Uk (P,S1,S2)[1]	%	7,4
Bakır Kayıpları (PS1-PS2)	kW	30
ABB DTE2400/36		

4.4.2 3300 kVA Cer Transformatör

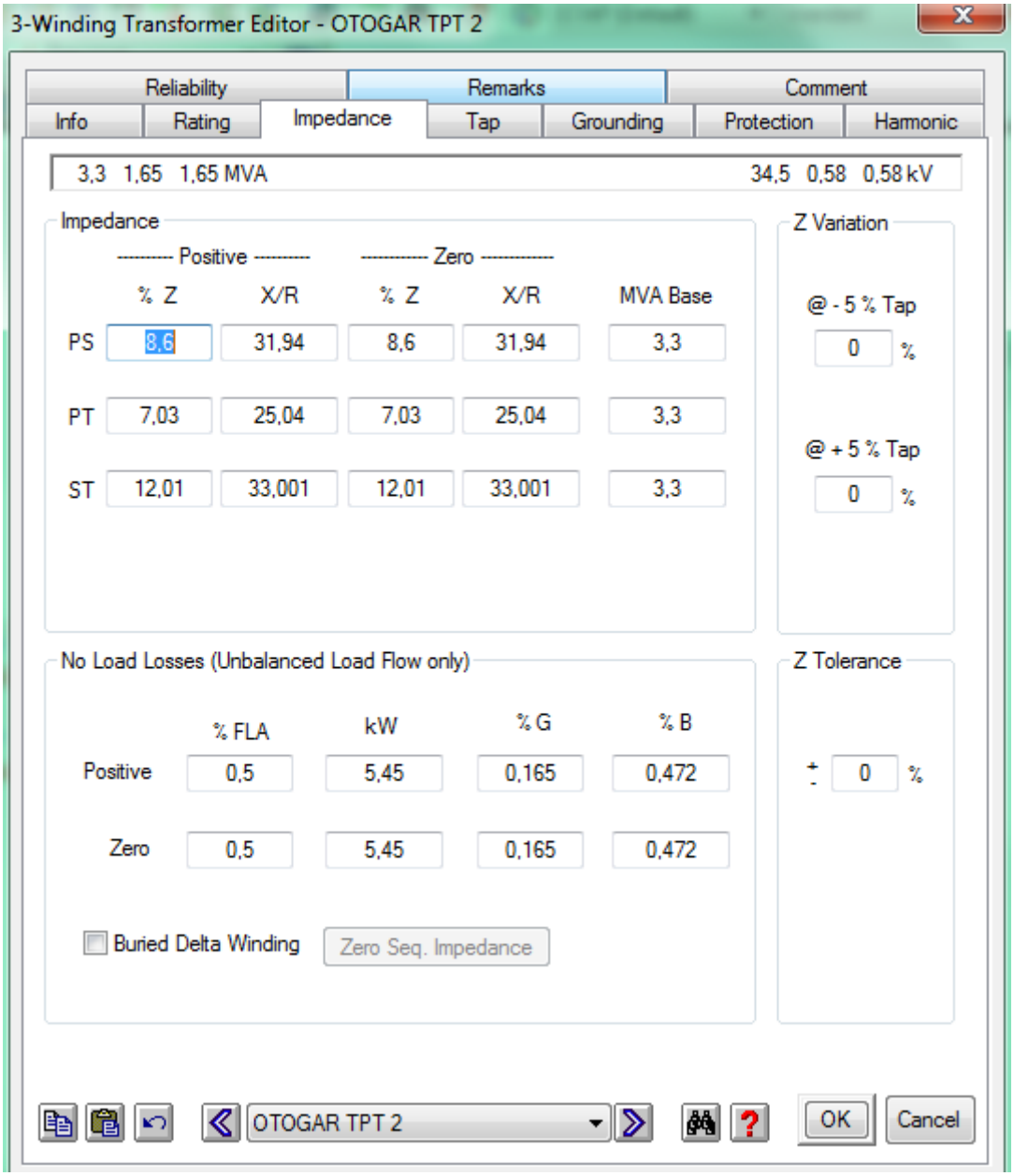
Yenikapı ve Otogar transformatör merkezleri için 3300 kVA gücünde SIEMENS marka cer transformatörları kullanılmakta olup bu transformatör merkezleri için aşağıda elektriksel parametreleri verilen değerler girilerek ETAP programında transformatör modelleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 12 Siemens 3300 KVA cer transformatör etiket bilgisi

Siemens Geafol		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç (Primer)	MVA	3,3
(Sekonder 1)	MVA	1,65
(Sekonder 2)	MVA	1,65
Gerilim (Primer)	kV	34,5
(Sekonder 1)	kV	0,59
(Sekonder 2)	kV	0,59
Bağlantı Şekli	-	D0d0y11
Uk (P,S1,S2)	%	7,2
Bakır Kayıpları (PS1-PS2)	kW	23,5
Kademe (Primer Tarafta)	-	±4x%2,5

[1] **P=** Primer Sargı, **S1=** 1. Sekonder Sargı, **S2=** 2. Sekonder Sargı

Şekil 4.5'de örnek olarak ETAP programında kullanılan 3300 kVA gücündeki Siemens marka cer transformatörü için oluşturulan transformatörnun modeli gösterilmiştir.



Şekil 4. 5 3300 KVA cer transformatör ETAP programı empedans bilgisi

4.5 İç ihtiyaç Transformatörleri

Metro İstanbul A.Ş. M1 hattının iç ihtiyaç enerji temini OG hücrelerine bağlı 34,5/0,4 kV transformatörler aracılığıyla temin edilmektedir. İlgili iç ihtiyaç transformatörları alçak gerilim tarafında Havalandırma fanları, Harmonik filtreli AG kompanzasyon sistemleri, istasyon ve aydınlatmalar gibi çeşitli sistemleri beslemektedir.

Model kütüphanesinde oluşturulan transformatör modelleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Model içerisindeki oluşturulan transformatörler için cer transformatörlerinde olduğu gibi gerçek etiket değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4. 13 ABB 1600 KVA cer transformatör etiket bilgisi

ABB 1,6 MVA TR		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç	MVA	1,6
Gerilim	kV	34,5/0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn11
Uk	%	5,32
Bakır Kayıpları	kW	14
Kademe (Primer Tarafta)	-	±2x%2,5

Çizelge 4. 14 ABB 1000 KVA cer transformatör etiket bilgisi

ABB 1 MVA TR		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç	MVA	1
Gerilim	kV	34,5/0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn11
Uk	%	7,02
Bakır Kayıpları	kW	9
Kademe (Primer Tarafta)	-	±2x%2,5

Çizelge 4. 15 ABB 630 KVA cer transformatör etiket bilgisi

ABB 0,630 MVA TR		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç	MVA	0,630
Gerilim	kV	34,5/0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn11
Uk	%	6
Bakır Kayıpları	kW	6,9
Kademe (Primer Tarafta)	-	±2x%2,5

Çizelge 4. 16 AREVA 630 kVA cer transformatör etiket bilgisi

AREVA 0,630 MVA TR		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç	MVA	0,630
Gerilim	kV	34,5/0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn11
Uk	%	5,76
Bakır Kayıpları	kW	6,9
Kademe (Primer Tarafta)	-	-1+2x%2,5

Çizelge 4. 17 ASEA 1250 kVA cer transformatör etiket bilgisi

ASEA 1,25 MVA TR		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç	MVA	1,25
Gerilim	kV	34,5/0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn11
Uk	%	6
Bakır Kayıpları	kW	11,5
Kademe (Primer Tarafta)	-	±2x%2,5

Çizelge 4. 18 ALSTOM 1000 kVA cer transformatör etiket bilgisi

Alstom 1 MVA TR		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç	MVA	1
Gerilim	kV	34,5/0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn5
Uk	%	6,18
Bakır Kayıpları	kW	9,6
Kademe (Primer Tarafta)	-	±4x%2,5

Çizelge 4. 19 ELTAŞ 1000 kVA cer transformatör etiket bilgisi

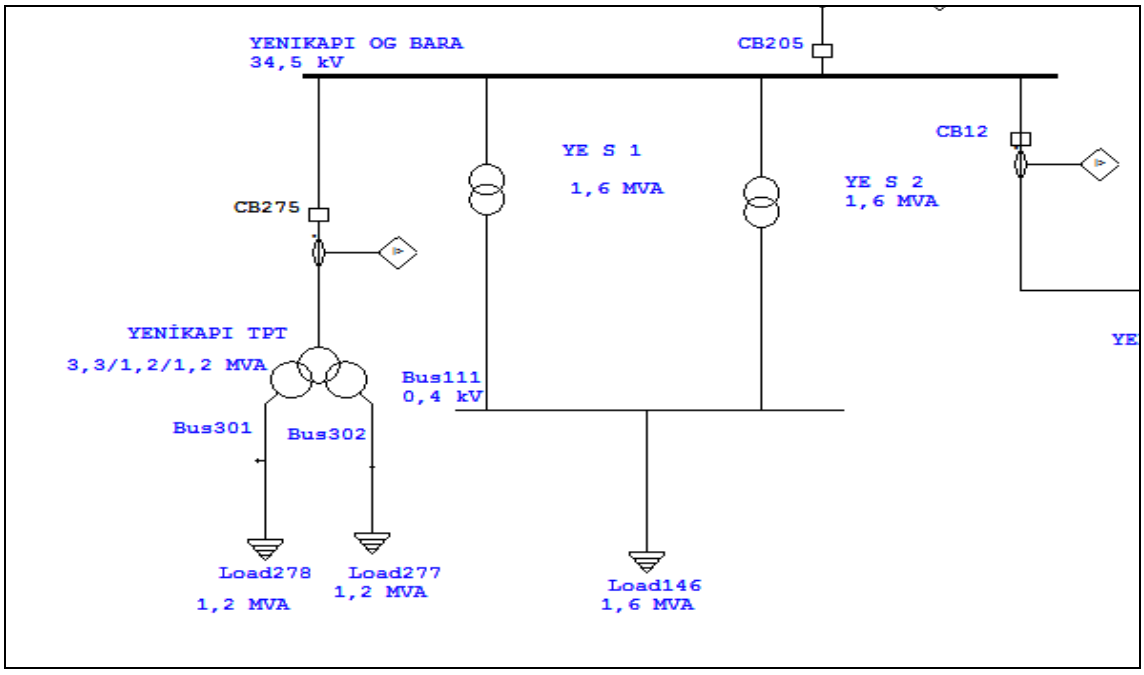
Eltaş 1 MVA TR		
Parametre	**Birim**	**Değer**
Nominal Güç	MVA	1
Gerilim	kV	33/0,4
Bağlantı Şekli	-	Dyn5
Uk	%	8,26
Bakır Kayıpları	kW	9
Kademe (Primer Tarafta)	-	-3+2x%4,5

4.6 Transformatör Merkezleri

Transformatör merkezlerinde 34,5 kV AC orta gerilim baralar bulunmakta olup transformatör merkezleri birbirlerine orta gerilim enerji kabloları üzerinden bağlanarak ring şebeke oluşturmaktadır. Oluşturulan ring şebeke sayesinde herhangi bir TEİAŞ 154/34,5 kV giriş beslemesinde meydana gelen bir enerji kesintisinde ring kesici hücreleri ile manevra yapılarak bir başka indirici merkezden enerji beslemesi sağlanmaktadır. M1A-M1B hattında bulunan toplam 19 adet transformatör merkezinde bulunan transformatör merkezleri içinde bulunan orta gerilim elektrifikasyon sistemleri ile birlikte ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan model ayrıntıları aşağıdaki kısımlarda paylaşılmıştır.

4.6.1 Yenikapı Transformatör Merkezi

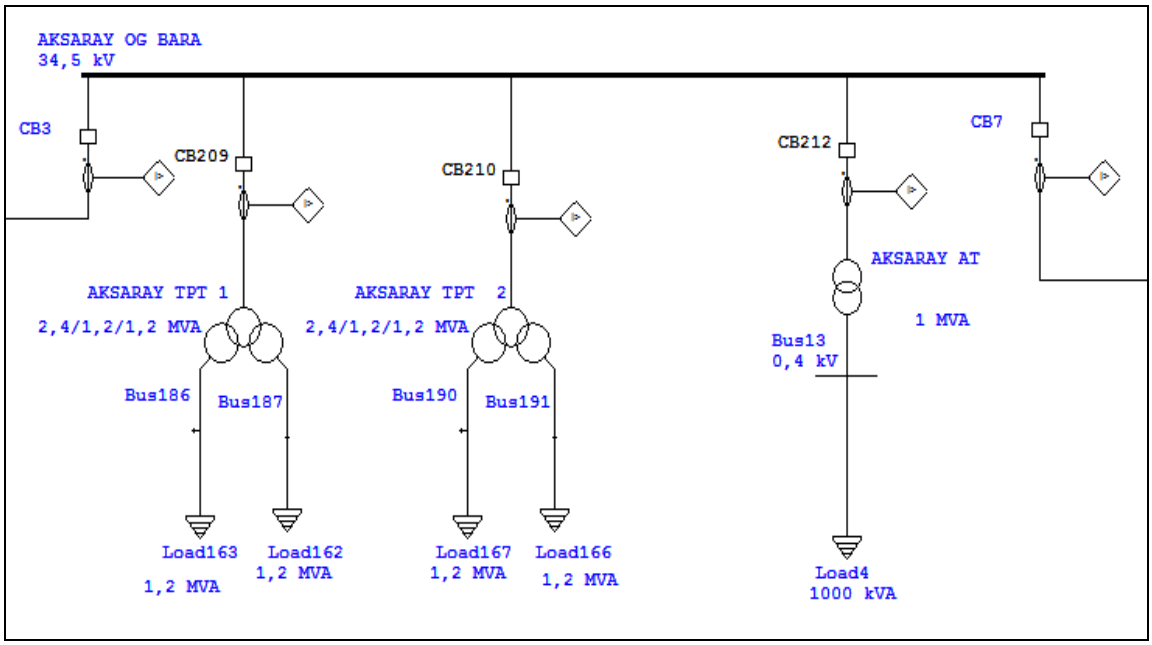
Yenikapı transformatör merkezinde bir adet 3300 kVA cer transformatörü ve iki adet 1600 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Transformatör merkezinin orta gerilim barasına bağlı bulunan bir hücre ile şalt merkezinden enerji temini sağlanmaktadır. Yenikapı transformatör merkezinin ETAP programında oluşturulan modeli aşağıdaki Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 6 Yenikapı transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.2 Aksaray Transformatör Merkezi

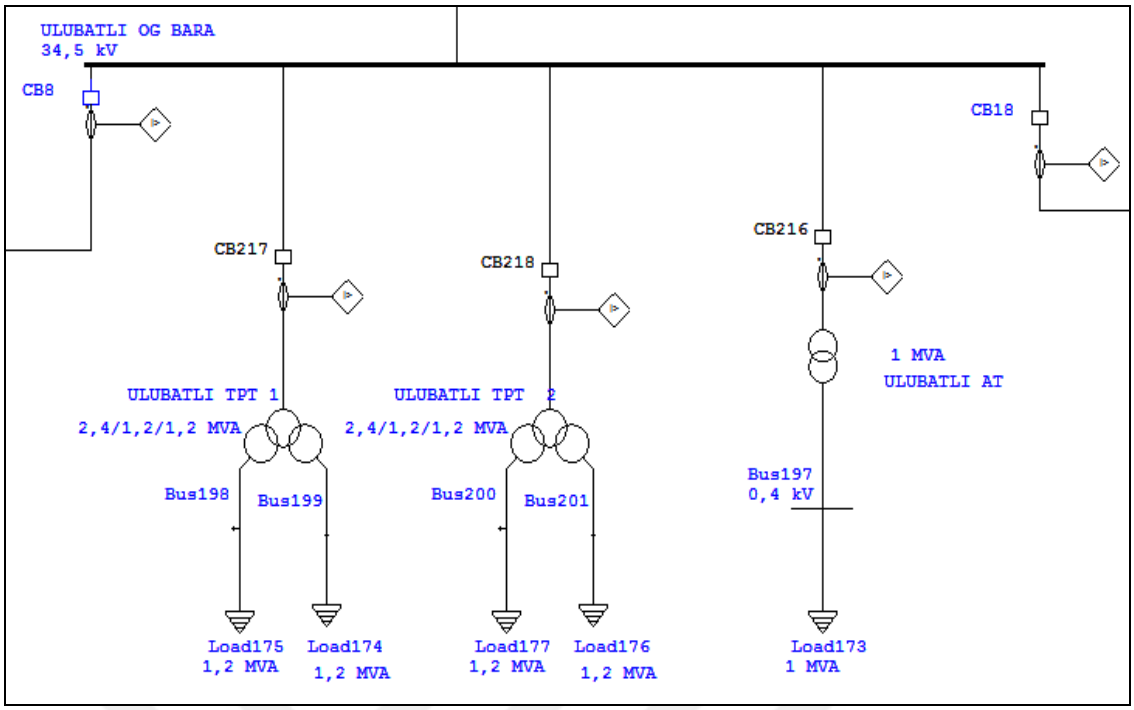
Aksaray transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 1000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Aksaray transformatör merkezinin Yenikapı ve Ulubatlı transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Aksaray transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 7 Aksaray transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.3 Ulubatlı Transformatör Merkezi

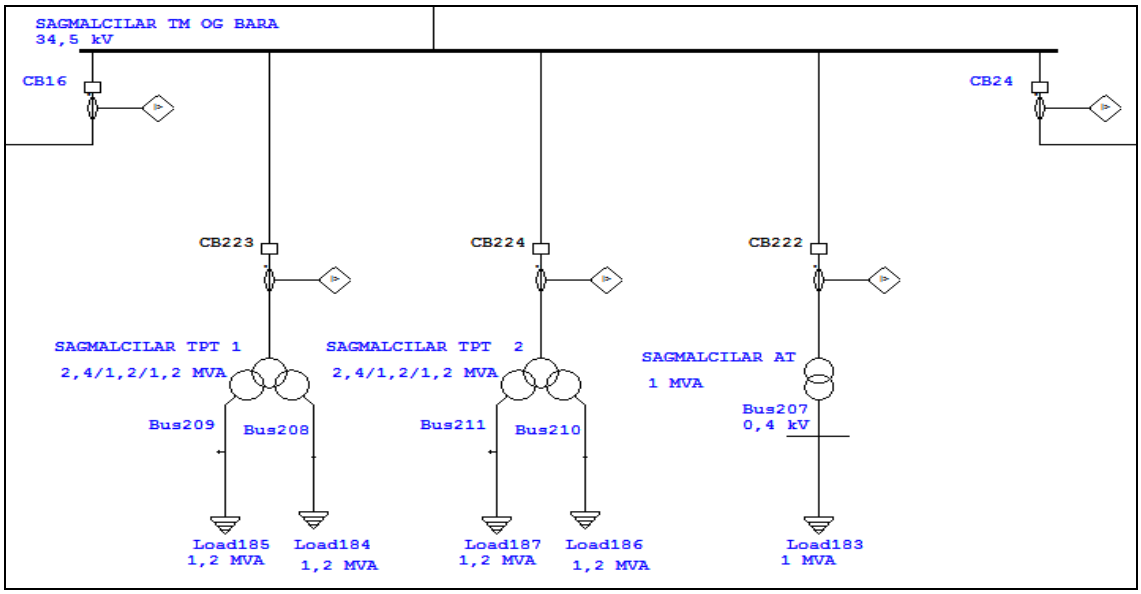
Ulubatlı transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 1000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Ulubatlı transformatör merkezinin Aksaray ve Sağmalcılar transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmaktadır. Ayrıca Topkapı şalt merkezi ile bağlantısı bulunmakta olup şalt merkezinden enerji temini sağlanmaktadır. Ulubatlı transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 8 Ulubatlı transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.4 Sağmalcılar Transformatör Merkezi

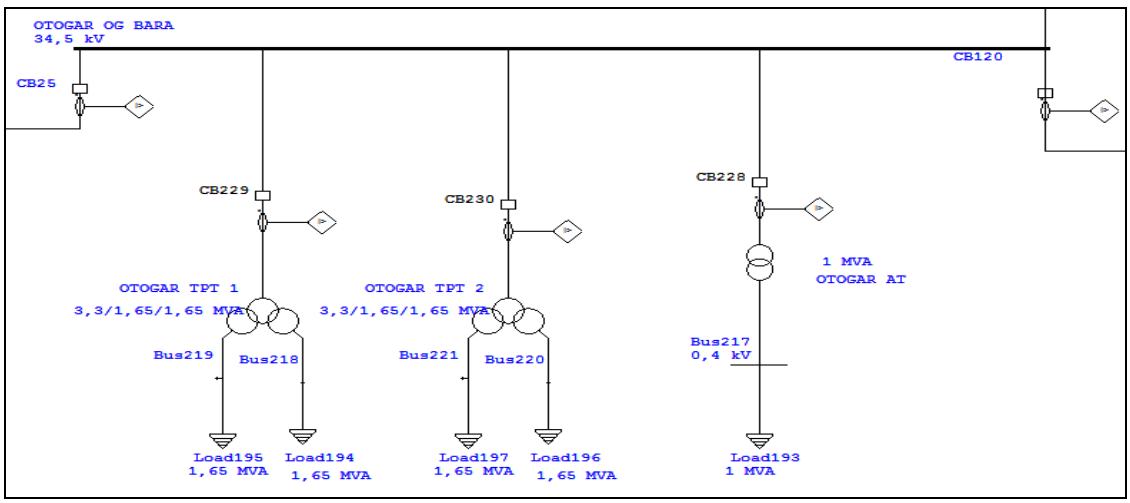
Sağmalcılar transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 1000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Sağmalcılar transformatör merkezinin Ulubatlı ve Otogar transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmaktadır. Ayrıca Sağmalcıalr şalt merkezi ile bağlantısı bulunmakta olup şalt merkezinden enerji temini sağlanmaktadır. Sağmalcılar transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekil 4.9'da gösterilmiştir. Sağmalılar transformatör merkezinin beslediği alanda tren sefer sıklığı M1B ve Otogar- Havalimanı arasındaki seferlere göre daha fazla olduğu için yüklenme oranı en fazla olan transformatör merkezleri arasında bulunmaktadır. Ayrıca M1A-M1B hattında bulunan toplam 19 adet transformatör merkezi içerisinde komşu transformatör merkezine olan en uzun mesafe sağmalcılar transformatör merkezi lokasyonunda bulunmaktadır. Ulubatlı transformatör merkezine 2600 m, Otogar transformatör merkezine ise 2800 m mesafe uzaklığındadır. Hat içerisinde kritik bir öneme sahip olan transformatör merkezi indirici merkez ile de bağlantısı olması sebebiyle önem arz etmektedir.



Şekil 4. 9 Sağmalcılar transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.5 Otogar Transformatör Merkezi

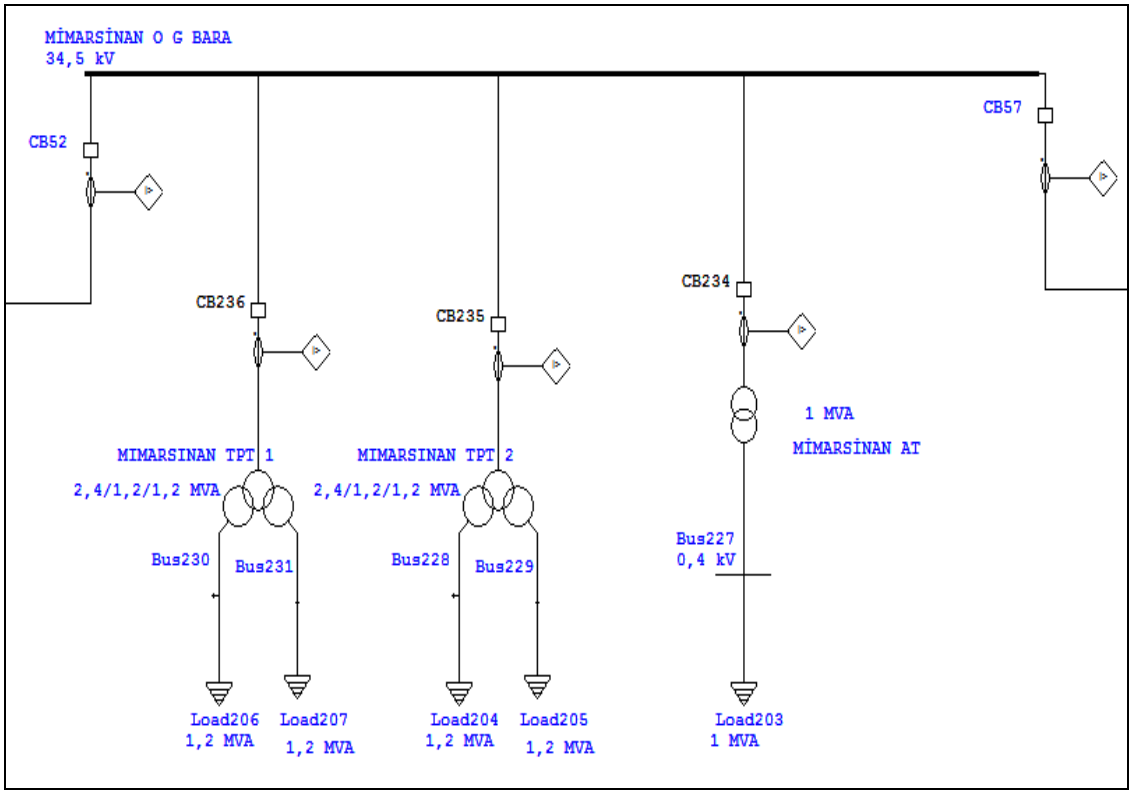
Otogar transformatör merkezinde iki adet 3300 kVA cer transformatörü ve bir adet 1000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Otogar transformatör merkezinin Mimarsinan, Ferhatpaşa ve Sağmalcılar transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Otogar transformatör merkezinin diğer transformatör merkezlerinden farklı olarak üç adet transformatör merkezi ile eneji bağlantısı bulunmaktadır. Otogar transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 10 Otogar transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.6 Mimarsinan Transformatör Merkezi

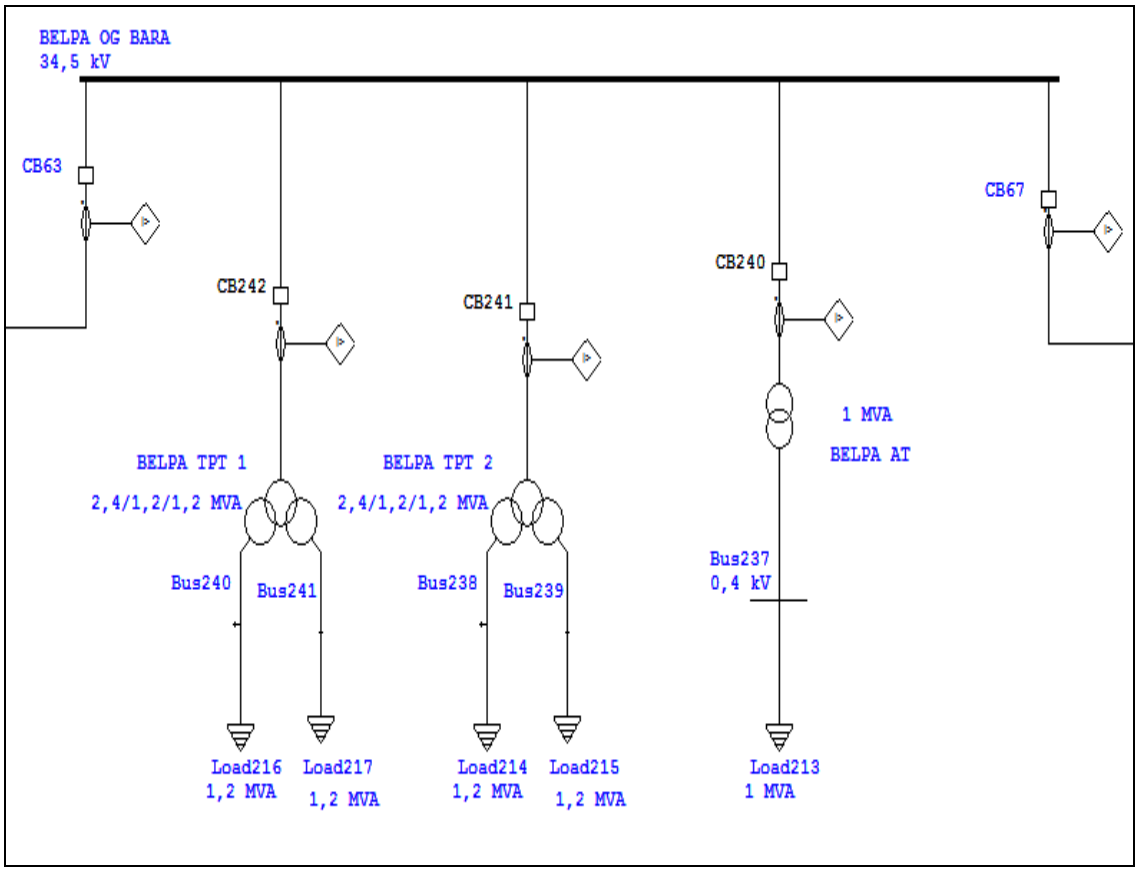
Mimarsinan transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 1000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Mimarsinan transformatör merkezinin Otogar ve Belpa transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki Şekil 4.11'de gösterilmiştir;



Şekil 4. 11 Mimarsinan transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.7 Belpa Transformatör Merkezi

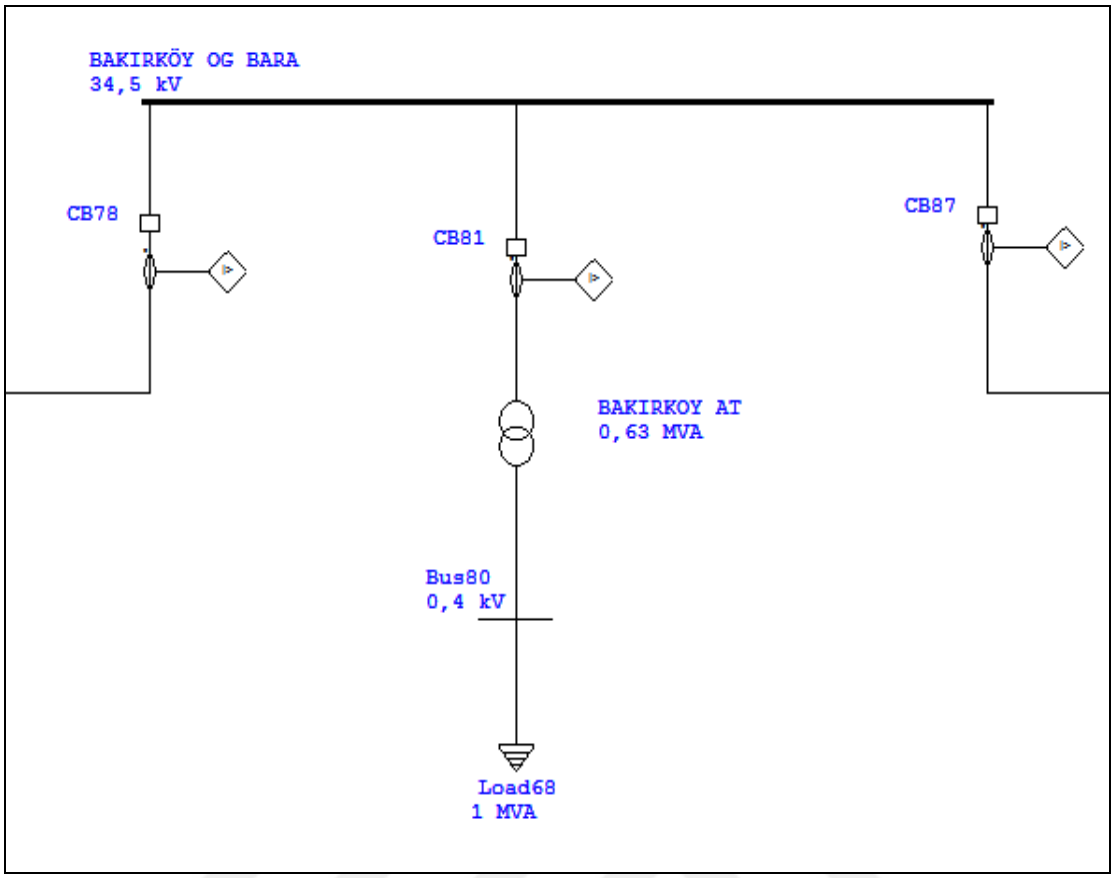
Belpa transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 1000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Belpa transformatör merkezinin Mimarsinan ve Bakırköy transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 12 Belpa transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.8 Bakırköy Transformatör Merkezi

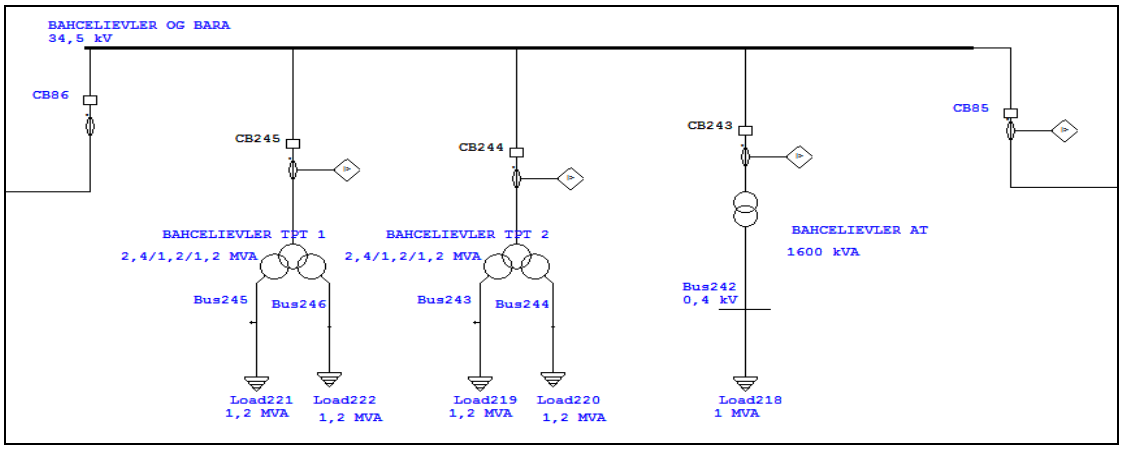
Bakırköy transformatör merkezinde cer transformatörü bulunmamakta olup bir adet 630 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Bakırköy transformatör merkezinin Belpa ve Bahçelievler transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 13 Bakırköy transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.9 Bahçelievler Transformatör Merkezi

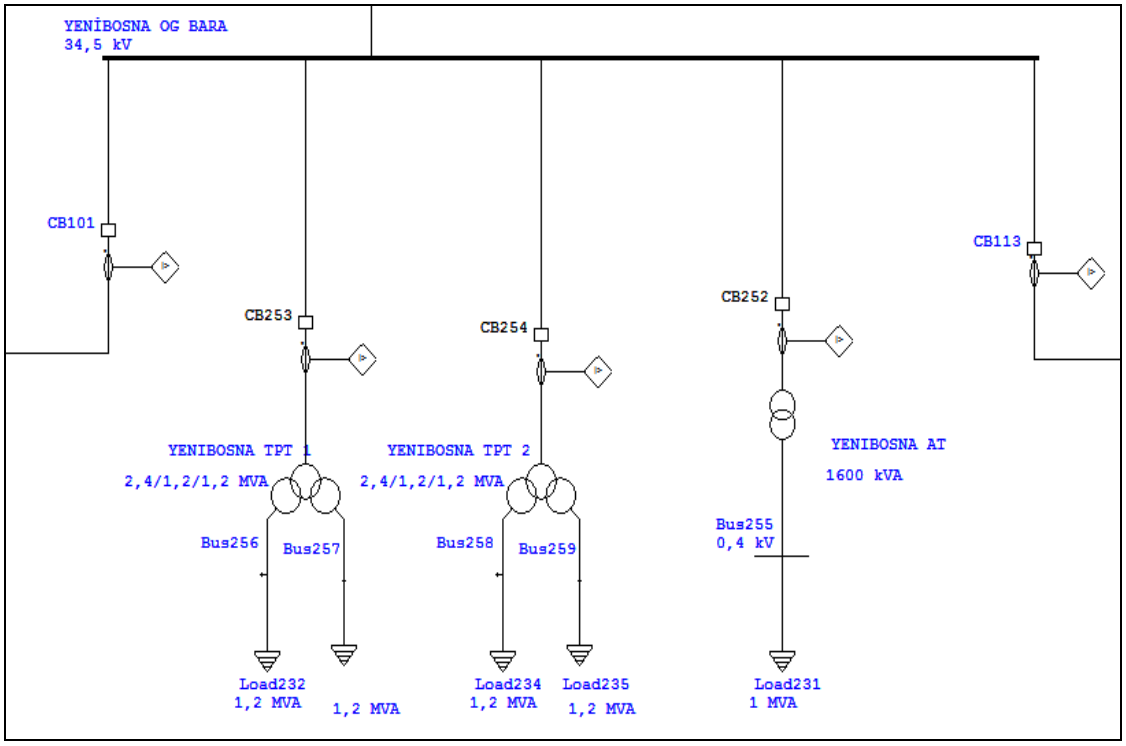
Bahçelievler transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 1600 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Bahçelievler transformatör merkezinin Yenibosna ve Bakırköy transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır.



Şekil 4. 14 Bahçelievler transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.10 Yenibosna Transformatör Merkezi

Yenibosna transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 1600 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Yenibosna transformatör merkezinin DTM ve Bahçelievler transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmaktadır. Ayrıca Yenibosna şalt merkezi ile bağlantısı bulunmakta olup şalt merkezinden enerji temini sağlanmaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Yenibosna transformatör merkezinin TEİAŞ 154/34,5 kV indirici merkez ile bağlantısı bulunduğundan dolayı önem arz etmektedir.

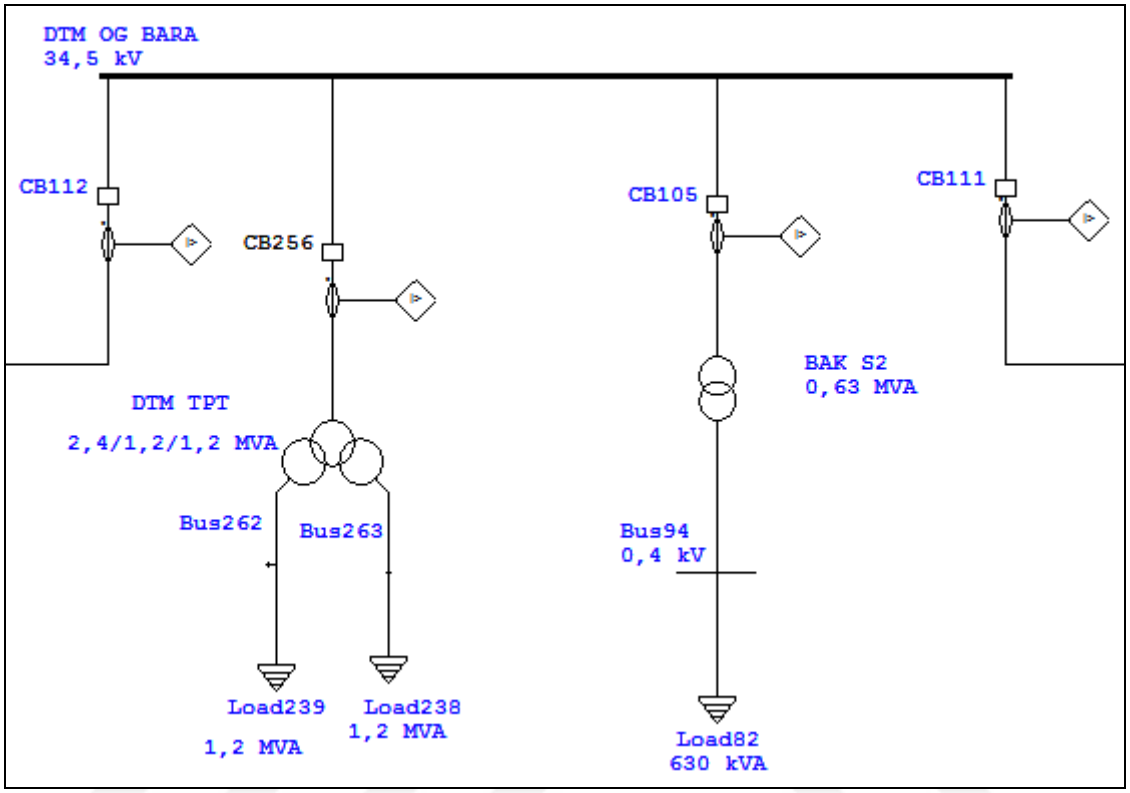


Şekil 4. 15 Yenibosna transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.11 DTM Transformatör Merkezi

DTM transformatör merkezinde diğer transformatör merkezlerinin aksine bir adet 2400 kVA cer transformatörü ve bir adet 630 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. DTM transformatör merkezinin Havalimanı ve Yenibosna transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile

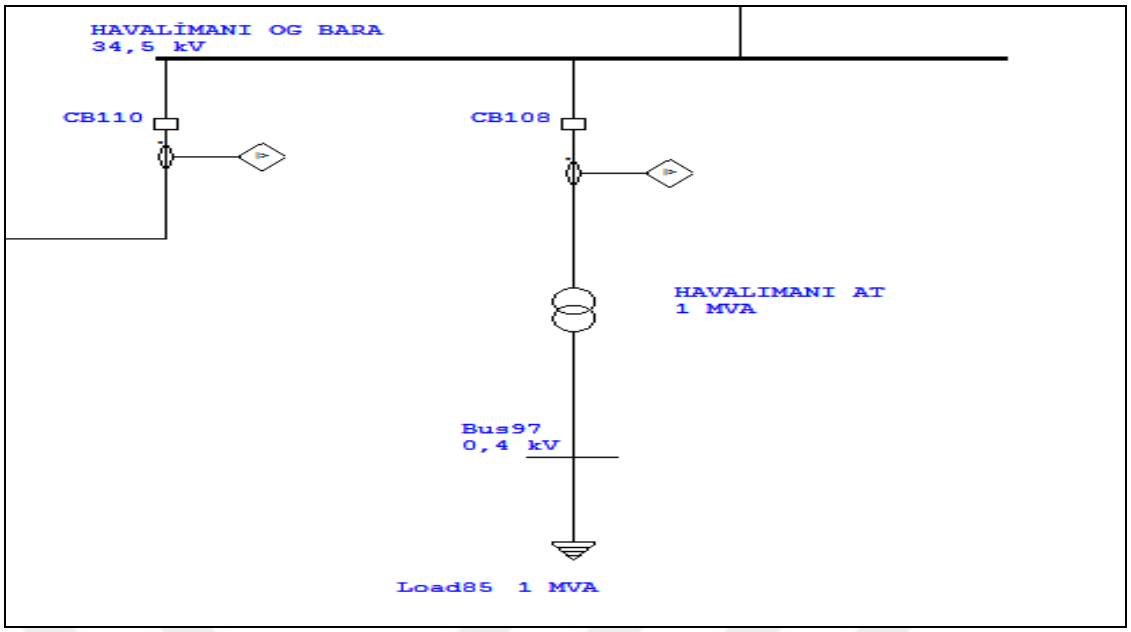
bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 16 DTM transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.12 Havalimanı Transformatör Merkezi

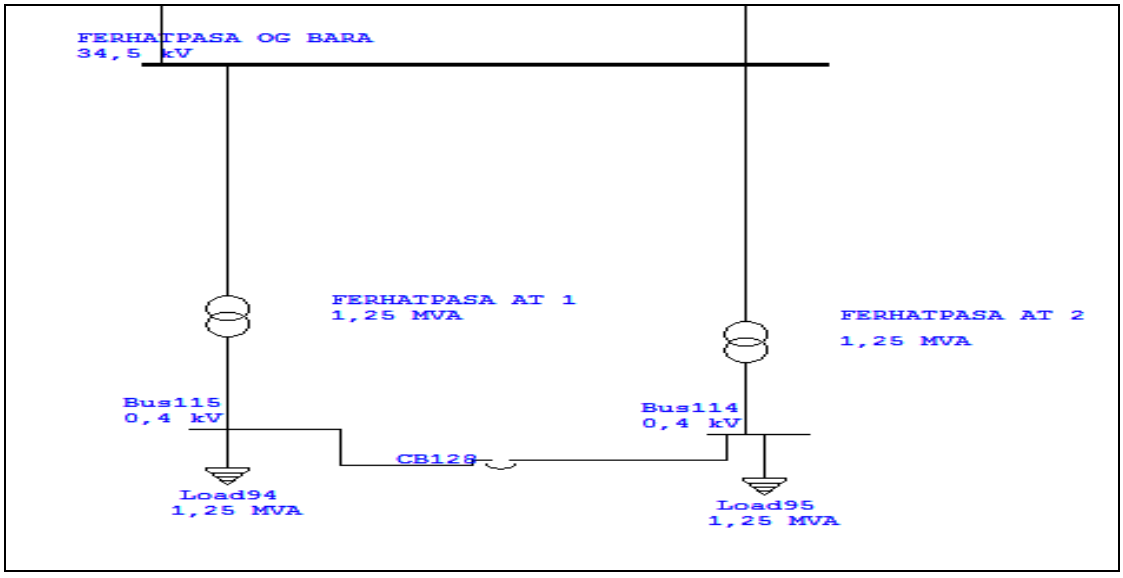
Havalimanı transformatör merkezinde cer transformatörü bulunmamakta olup bir adet 1000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Havalimanı transformatör merkezinin DTM transformatör merkezi ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 17 Havalimanı transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.13 Ferhatpaşa Transformatör Merkezi

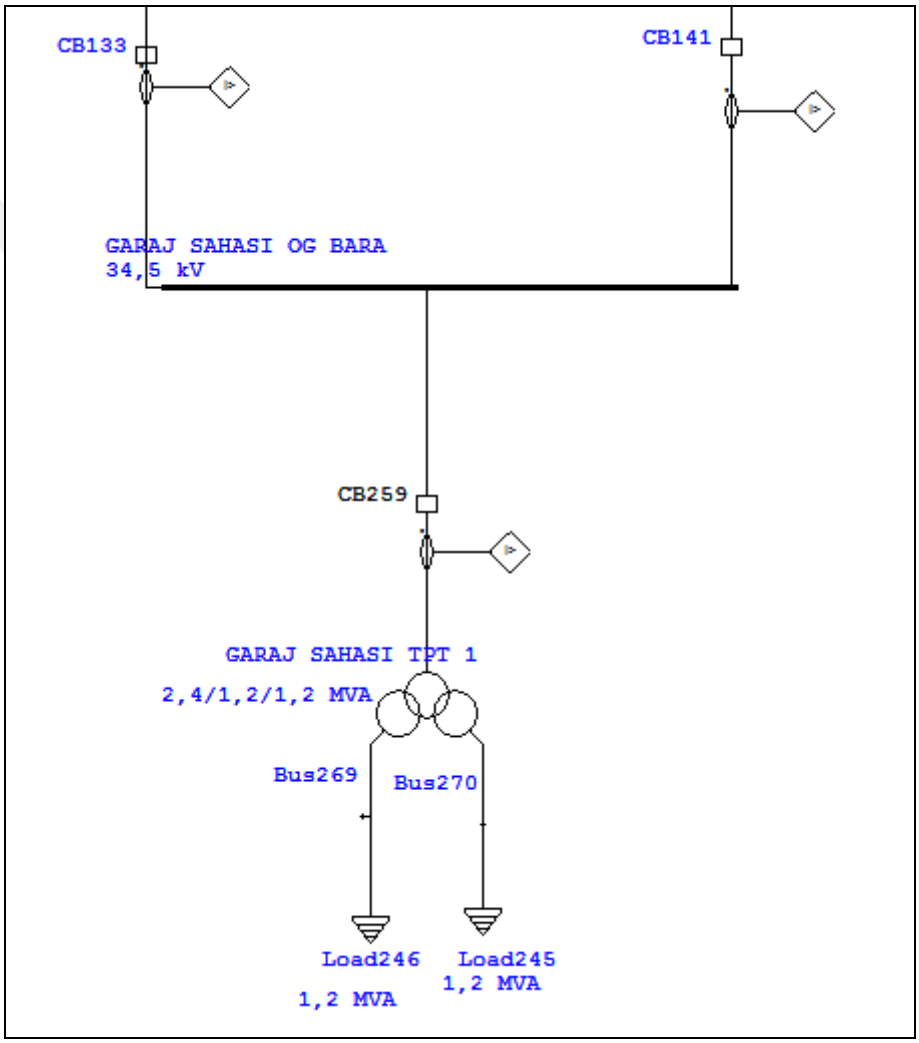
Ferhatpaşa transformatör merkezinde cer transformatörü bulunmamakta olup iki adet 1250 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Ferhatpaşa transformatör merkezinin garaj sahası ve Otagar transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 18 Ferhatpaşa transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.14 Garaj Sahası Transformatör Merkezi

Garaj Sahası transformatör merkezinde bir adet 2400 kVA cer transformatörü bulunmakta iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Garaj Sahası transformatör merkezinin Ferhatpaşa ve Esenler transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir

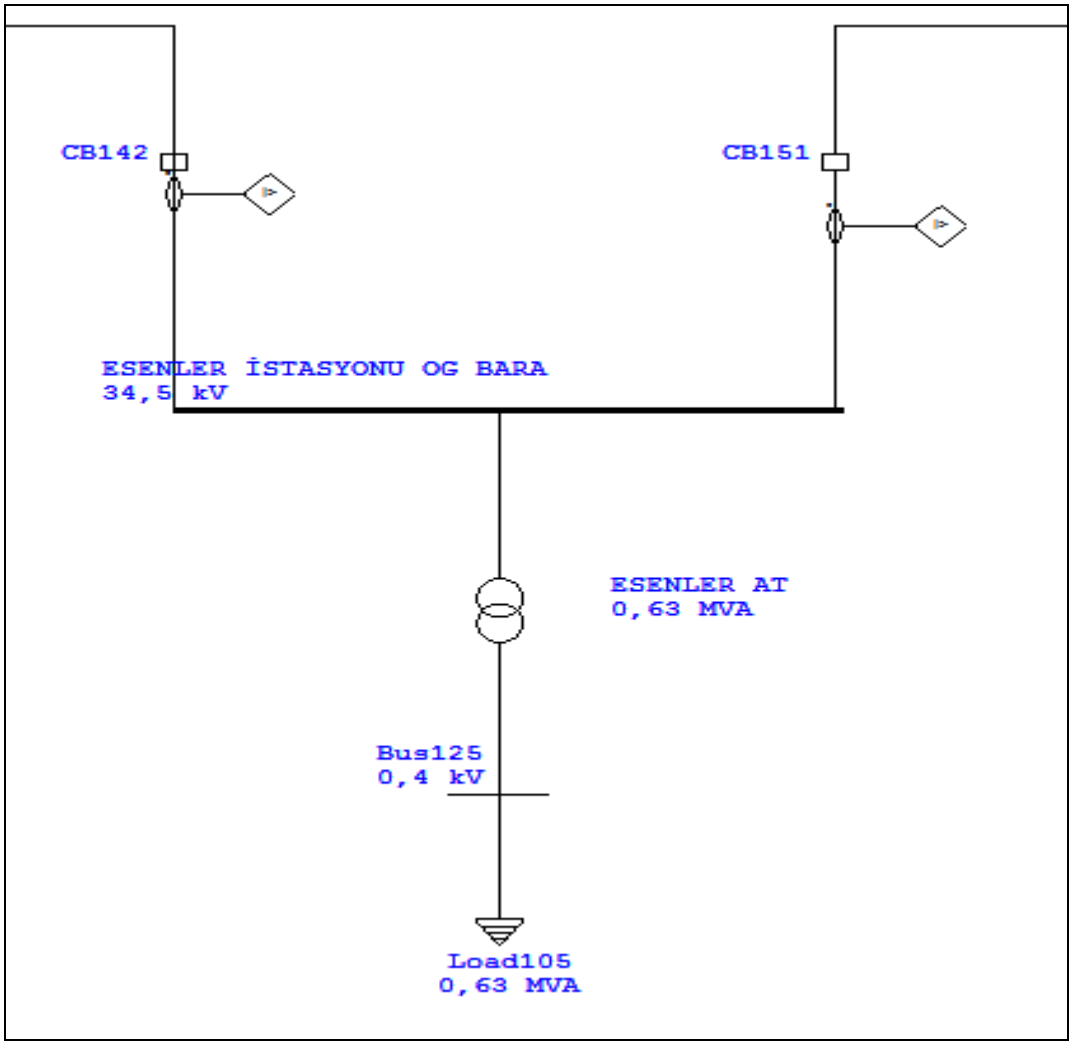


Şekil 4. 19 Garaj transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.15 Esenler Transformatör Merkezi

Esenler transformatör merkezinde bir adet cer transformatörü bulunmamakta olup bir adet 630 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Esenler transformatör merkezinin Garaj Sahası ve Menderes transformatör merkezleri ile orta gerilim

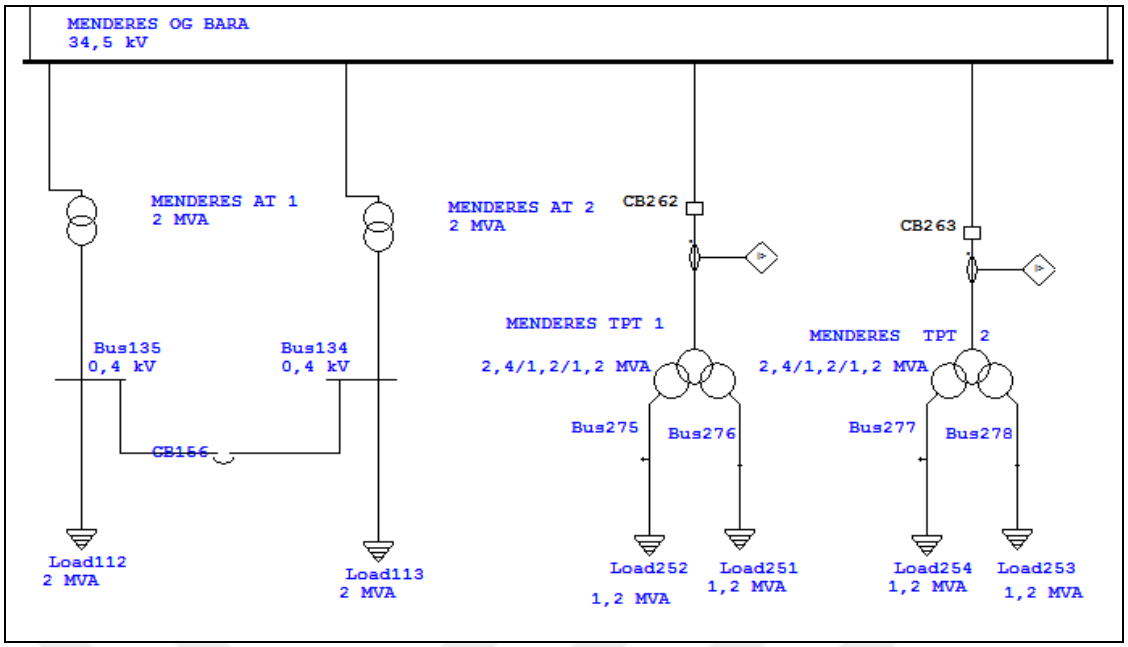
bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezi ile bağlantısı bulunmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 20 Esenler transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.16 Menderes Transformatör Merkezi

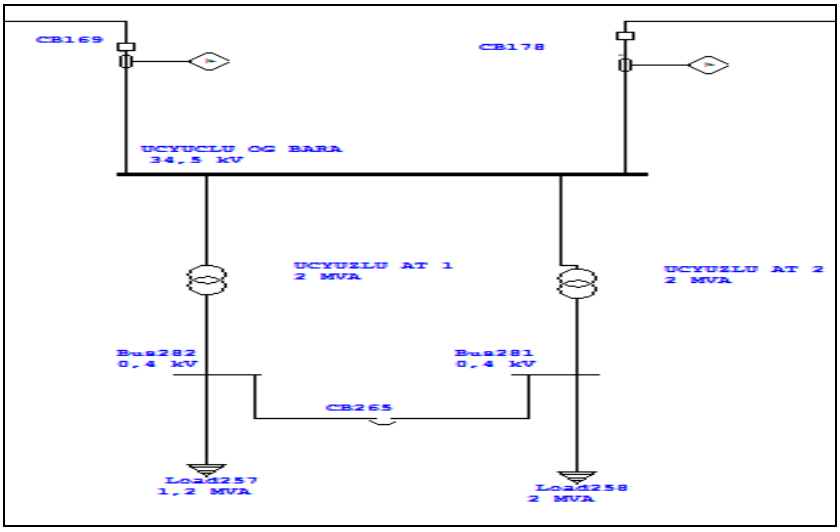
Menderes transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve iki adet 2000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Menderes transformatör merkezinin Esenler ve Üçyüzlü transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezinden enerji temini sağlanmamaktadır. Menderes Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 21 Menderes transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.17 Üçyüzlü Transformatör Merkezi

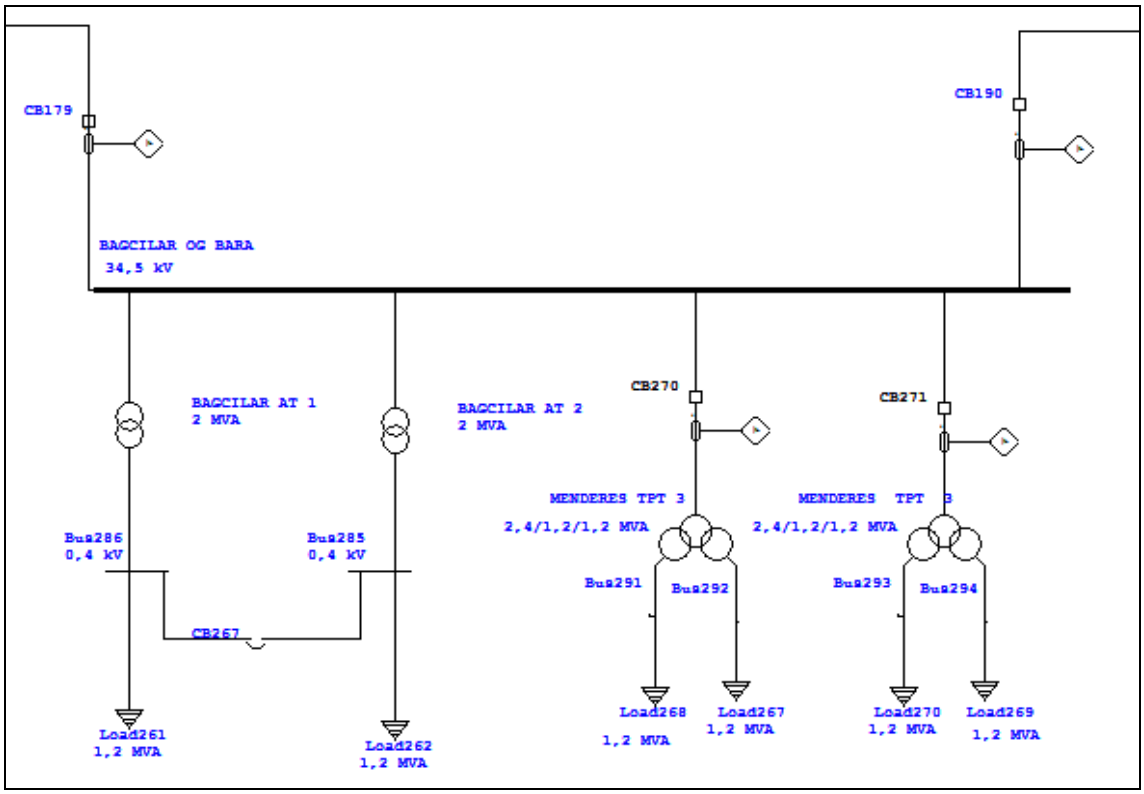
Üçyüzlü transformatör merkezinde cer transformatörü bulunmamakta olup iki adet 2000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Üçyüzlü transformatör merkezinin Menderes ve Bağcılar transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezinden enerji temini sağlanmamaktadır. Üçyüzlü Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 22 Üçyüzlü transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.18 Bağcılar Transformatör Merkezi

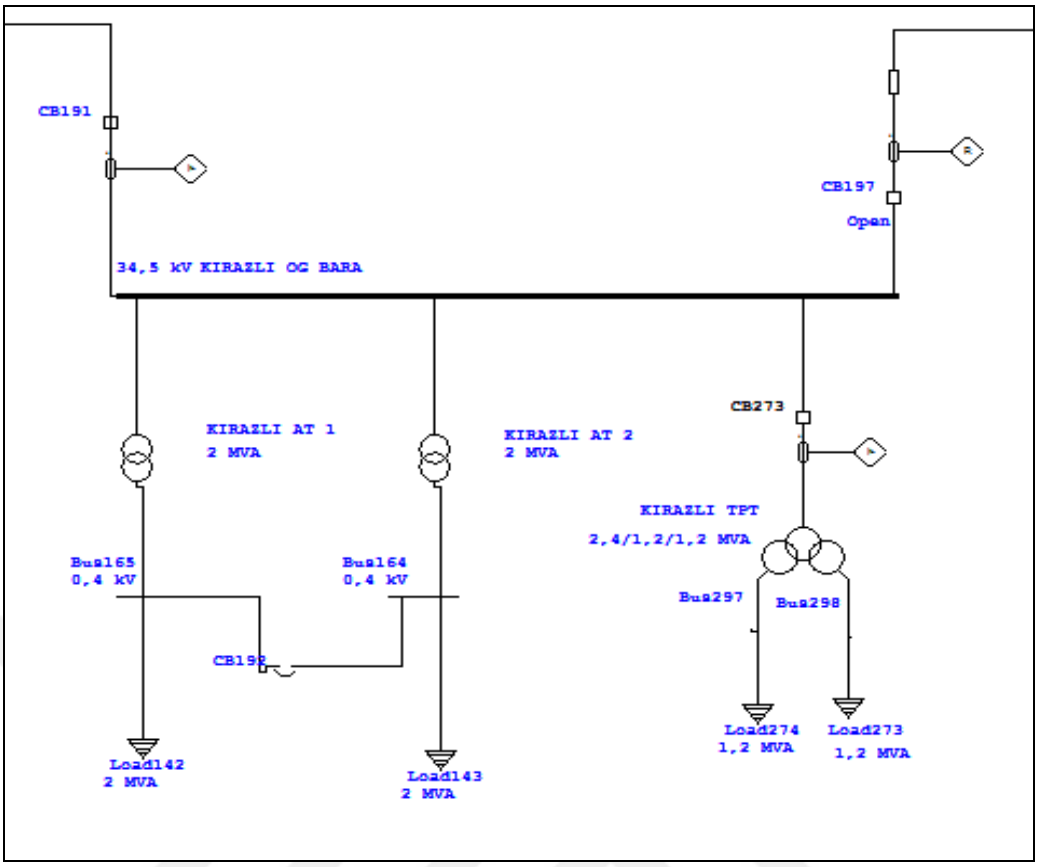
Bağcılar transformatör merkezinde iki adet 2400 kVA cer transformatörü ve iki adet 2000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Bağcılar transformatör merkezinin Menderes ve Kirazlı transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup şalt merkezinden enerji temini sağlanmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 23 Bağcılar transformatör merkezi ETAP modeli

4.6.19 Kirazlı Transformatör Merkezi

Kirazlı transformatör merkezinde bir adet 2400 kVA cer transformatörü ve iki adet 2000 kVA iç ihtiyaç transformatörü bulunmaktadır. Bağcılar transformatör merkezinin Menderes ve Kirazlı transformatör merkezleri ile orta gerilim bağlanıtısı bulunmakta olup Bağcılar şalt merkezinden enerji temini sağlanmamaktadır. Transformatör merkezinin ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 24 Kirazlı transformatör merkezi ETAP modeli

BÖLÜM 5

SİMULASYON SONUÇLARI

Bölüm 4 içerisinde ayrıntılı bir şekilde TEİAŞ 154 / 34.5 kV indirici merkezlerin , M1A-M1B hattında bulunan tüm istasyonlaın enerji teminini sağlayan 19 adet transformatör merkezinin , transformatör merkezi içerisinde yer alan cer transformatörleri ve yardımcı servis transformatörlerinin , transformatör merkezleri arasında bulunan orta gerilim kablolarının ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) programında oluşturulan modelleri paylaşılmıştır.

Model içerisinde oluşturulan orta gerilim kesicilerin açık-kapalı konumları kullanılarak enerji besleme senaryoları oluşturulmuştur. M1A-M1B hattı genel besleme senaryoları ve ther bir TEİAŞ 154 / 34,5 kV indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu gerçekleştirilerek yük akış analizi gerçekleştirilmiştir.

5.1 Genel Enerji Besleme Senaryosu

Genel enerji besleme senaryosu yıl içerisinde en uzun süre uygulanan enerji besleme senaryosu olmakta olup herhangi bir zorunluluk olmadığı sürece bu senaryo değiştirilmemektedir. Genel enerji besleme senaryosunda TEİAŞ indirici merkezlerin enerji temin ettiği transformatör merkezleri aşağıda verilmiştir;

- **Ulubatlı İndirici Merkezi** : Aksaray TM, Ulubatlı TM
- **Sağmalcılar İndirici Merkezi**: Sağmalcılar TM,Otogar TM, Mimarsinan TM, Ferhatpaşa TM

- **Yenibosna İndirici Merkezi**: Yenibosna TM, Bahçelievler TM, Bakırköy TM, Belpa TM,
- **Havalimanı İndirici Merkezi**: Havalimanı TM, DTM TM,
- **Bağcılar İndirici Merkezi**: Kirazlı TM, Bağcılar TM, Üçyüzlü TM, Menderes TM, Esenler TM

Genel enerji beslemesi senaryosuna göre gerçekleşen yük akış sonuçları , transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim ring kablo yüklenme oranları ve indirici merkezler ve transformatör merkezleri arasında bulunan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bu bölümde incelenmiştir.

5.1.1 Yük Akış analizi

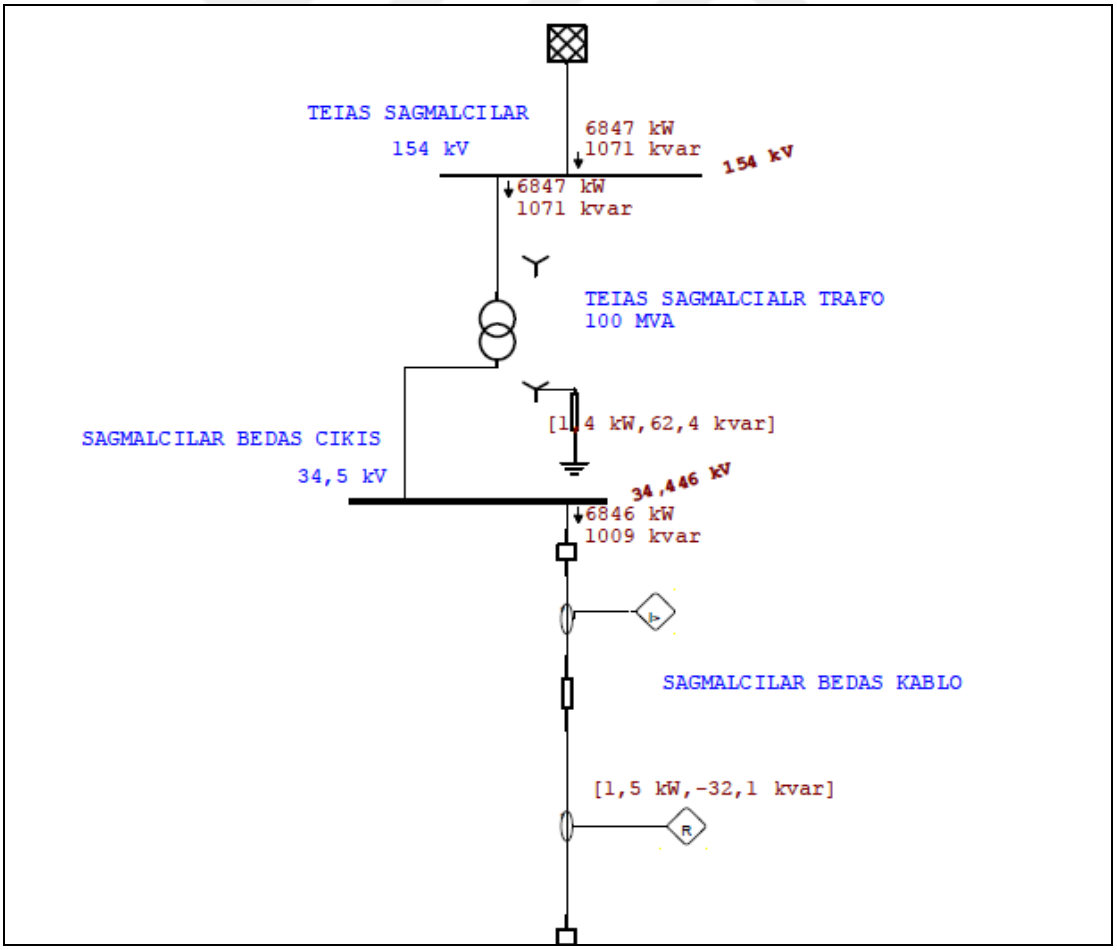
Çizelge 5.1 GEBS Yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	34451,7	0,159	0,095	2,673
AKSARAY OG BARA	34451,7	1,726	0,346	29,51
ULUBATLI OG BARA	34465,5	3,059	0,638	52,35
SAGMALCILAR TM OG BARA	34437,9	6,844	1,041	116,1
OTOGAR OG BARA	34375,8	4,706	0,99	80,76
MİMARSİNAN O G BARA	34368,9	1,276	0,283	21,95
BELPA OG BARA	34451,7	1,199	0,194	20,36
BAKIRKÖY OG BARA	34458,6	1,375	0,137	23,15
BAHCELIEVLER OG BARA	34465,5	2,244	0,285	37,89
YENİBOSNA OG BARA	34486,2	3,076	0,392	51,92
DTM OG BARA	34489,7	0,657	0,132	11,22
HAVALİMANI OG BARA	34493,1	0,99	0,058	16,61
FERHATPASA OG BARA	34372,4	0,875	0,142	14,9

Çizelge 5.1 GEBS Yük akış analizi (devamı)

GARAJ SAHASI OG BARA	34441,4	0,175	0,036	2,995
ESENLER İSTASYONU OG BARA	34441,4	0,268	0,05	4,563
MENDERES OG BARA	34444,8	1,412	0,218	23,95
UCYUCLU OG BARA	34448,3	1,755	0,289	29,81
BAGCILAR OG BARA	34458,6	2,605	0,467	44,34
KIRAZLI OG BARA	34465,5	3,637	0,556	61,63

Genel enerji besleme senaryosunda en düşük bara gerilimi Mimarsinan transformatör merkezinde gerçekleşerek 34368 V olmuştur. 138 V değerinde meydana gelen gerilim düşümü kabul edilebilir bir değer olmakta olup tren hareketi ve istasyon enerji beslemesi açısından negatif bir duruma sebep olmayacaktır.



Şekil 5.1 Sağmalcılar indirici merkezi yük akış analizi

Genel enerji beslemesi senaryosu sonucu yük akış analizi sonuçlarına göre en fazla aktif güç Sağmalcılar transformatör merkezinden çekilerek 6847 KW değerinde aktif gücün çekildiği görülmüştür.

5.1.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.2 GEBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENIKAPI - AKSARAY	2,673	0,5
AKSARAY - ULUBATLI	29,51	5,1
SAGMALCILAR - OTOGAR	80,76	17,6
OTOGAR - MİMARSİNAN	21,95	4,8
MİMARSİNAN - BELPA	1,43	0,3
BELPA - BAKIRKÖY	20,18	4,4
BAKIRKÖY - BAHCELİEVLER	23,15	5
BAHCELİEVLER - YENİBOSNA	37,89	8,2
YENİBOSNA - DTM	2,155	0,4
DTM - HAVALİMANI	11,22	2,2
OTO - FERTHAPAŞA	14,9	3,2
GARAJ SAHASI - ESENLER	2,995	0,5
ESENLER - MENDERES	4,563	0,8
MENDERES - UCYUZLU	23,95	4,2
UCYUZLU - BAGCILAR	29,81	5,2
BAGCILAR - KIRAZLI	44,34	7,7

Raylı sistem hatlarının tasarım aşamasında çoklu indirici merkezler olmasına rağmen tek bir indirici merkezden hattın tamamının enerji temini düşünüldüğü için genel besleme senaryosunda kablo yüklenme oranları oldukça düşük çıkmaktadır.

5.1.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.3 GEBS İndirici merkez kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENİKAPI İNDİRİCİ MERKEZİ	0,558	0,1
TOPKAPI İNDİRİCİ MERKEZİ	52,35	9,1
SAĞMALCILAR İNDİRİCİ MERKEZİ	116,1	20,1
YENIBOSNA İNDİRİCİ MERKEZİ	51,69	9
DTM İNDİRİCİ MERKEZİ	16,76	2,9
BAGCILAR İNDİRİCİ MERKEZİ	61,63	10,7

Çizelgede indirici merkezler ile transformatör merkezleri arasında enerji teminini sağlayan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bulunmaktadır. Genel besleme enerji senaryosuna göre en yüksek yüklenme oranının (% 20,1) Sağmalcılar indirici ile Sağmalcılar transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablosunda görüldüğü tespit edilmiştir. Genel besleme enerji senaryosu yük akış analizine göre kablo kapasiteleri yüklenme oranları oldukça düşük olduğundan dolayı kablo kapasitelerini aşan herhangi bir durum sözkonusu olmayıp riskli durum sözkonusu değildir.

5.2 Yenikapı İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu

Yenikapı 154/34,5 kV TEİAŞ indirici merkezinden M1A-M1B hattı elektrifikasyon sisteminin tamamını besleyen toplam 19 adet transformatör merkezinin enerji teminini sağladığı senaryo uygulanmıştır.

Yenikapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre gerçekleşen yük akış sonuçları , transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim ring kablo yüklenme oranları ve indirici merkez ve transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bu bölümde incelenmiştir.

5.2.1 Yük Akış Analizi

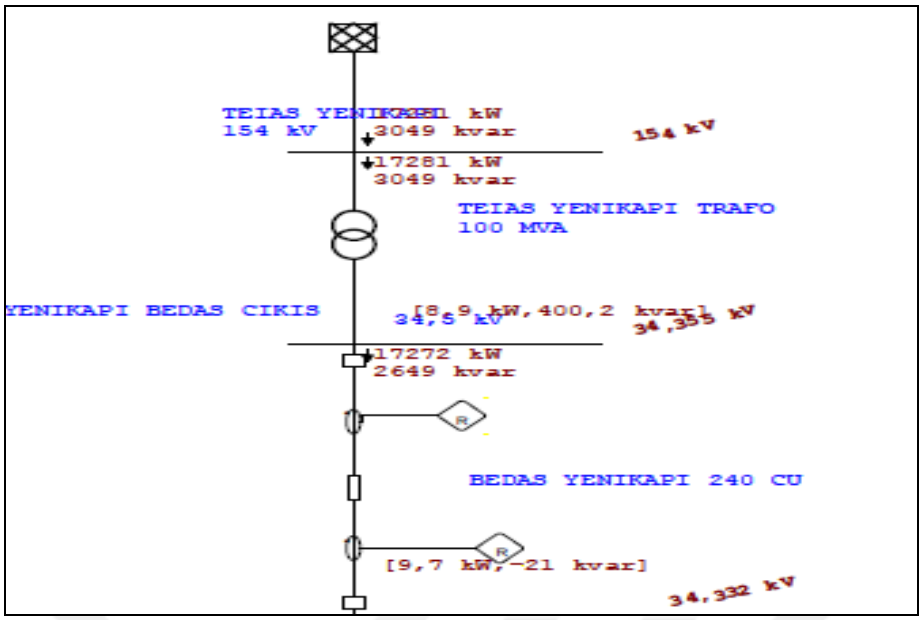
Çizelge 5.4 YİMEBS Yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	34330,95	17,263	2,67	293,8
AKSARAY OG BARA	34279,2	17,082	2,639	291,1
ULUBATLI OG BARA	34168,8	15,489	2,275	264,5
SAGMALCILAR TM OG BARA	34041,15	14,133	1,927	241,9
OTOGAR OG BARA	33896,25	12,007	1,823	206,9
MİMARSİNAN O G BARA	33861,75	5,156	0,588	88,48
BELPA OG BARA	33851,4	3,916	0,394	67,13

Çizelge 5.4 YİMEBS Yük akış analizi (devamı)

BAKIRKÖY OG BARA	33834,15	2,757	0,204	47,18
BAHCELIEVLER OG BARA	33820,35	2,587	0,177	44,27
YENİBOSNA OG BARA	33810	1,75	0,102	29,93
DTM OG BARA	33803,1	0,951	0,127	16,39
HAVALİMANI OG BARA	33799,65	0,32	0,052	5,538
FERHATPASA OG BARA	33879	4,362	0,677	75,22
GARAJ SAHASI OG BARA	33875,55	3,511	0,539	60,54
ESENLER İSTASYONU OG BARA	33872,1	3,342	0,504	57,6
MENDERES OG BARA	33854,85	3,251	0,488	56,06
UCYUCLU OG BARA	33847,95	2,145	0,326	37
BAGCILAR OG BARA	33841,05	1,813	0,256	31,24
KIRAZLI OG BARA	33837,6	0,994	0,086	17,02

Bu besleme senaryosunda en fazla gerlim düşümü Havalimanı transformatör merkezinde gerçekleşerek 33799,65 V olmuştur. Yaklaşık yüzde % 2,03 oranında meydana gelen gerilim düşümü kabul edilebilir bir oran olmakta olup tren hareketi ve istasyon enerji beslemesi açısından negatif bir duruma sebep olmayacaktır.



Şekil 5.2 Yenikapı indirici merkezi yük akış analizi

Yenikapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre Yenikapı indirici merkezinden 17281 KW değerinde aktif gücün çekildiği görülmüştür. Yük akış senaryosu sonucunda indirici merkezin ETAP programındaki sonuçları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

5.2.2 Ring Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.5 YİMBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENİKAPI-AKSARAY 240 CU	291,1	50,5
AKSARAY-ULUBATLI 240 CU	264,4	45,9
ULU-SAG 240 AL	241,9	42
SAG-OTO 240 AL	206,9	45
OTO-MİM 240 AL	88,48	19,2
MİM-BELPA 240 AL	67,13	14,6
BELPA-BAK 240 AL	47,18	10,3
BAK-BAHCE 240 AL	44,27	9,6

Çizelge 5.5 YİMBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı (devamı)

BAH-YENİBOSNA 240 AL	29,89	6,5
YENİBOSNA-DTM CU 185	16,29	3,2
DTM-HAVALİMANI CU 185	5,601	1,1
OTO-FERTHAPAŞA 240 AL	75,22	16,3
FPASA-GARAJ SAHASI 240 CU	60,54	10,5
GARAJ SAHASI - ESENLER 240 CU	57,6	10
ESENELR-MENDERES 240 CU	56,06	9,7
MENDERES-UCYUZLU 240 CU	37	6,4
UCYUZLU-BAGCILAR CU 240	31,24	5,4
BAGCILAR-KIRAZLI CU 240	17,02	3

Raylı sistem hatlarının tasarım aşamasında çoklu indirici merkezler olmasına rağmen tek bir indirici merkezden hattın tamamının enerji temini düşünüldüğü için genel besleme senaryosunda kablo yüklenme oranları oldukça düşük çıkmaktadır. Yenikapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosuna göre en yüksek kablo yüklenme oranı Yenikapı – Aksaray transformatör merkezleri arasında görülmüş olup bu değer % 50,5 olmuştur.

5.2.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.6 YİMBS İndirici merkez kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENİKAPI İNDİRİCİ MERKEZİ	293,7	51
TOPKAPI İNDİRİCİ MERKEZİ	0,567	0,1
SAĞMALCILAR İNDİRİCİ MERKEZİ	0,573	0,1
YENIBOSNA İNDİRİCİ MERKEZİ	0,573	0,1
DTM İNDİRİCİ MERKEZİ	3,437	0,6
BAGCILAR İNDİRİCİ MERKEZİ	0,859	0,1

Çizelgede indirici merkezler ile transformatör merkezleri arasında enerji teminini sağlayan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bulunmaktadır. Topkapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu göre en yüksek yüklenme oranının (% 51,2) Topkapı indirici merkezi ile Ulubatlı transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablosunda görüldüğü tespit edilmiştir. Topkapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu yük akış analizine göre kablo kapasiteleri yüklenme oranları oldukça düşük olduğundan dolayı kablo kapasitelerini aşan herhangi bir durum sözkonusu olmayıp riskli bir durum sözkonusu değildir.

5.3 Topkapı İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu

Topkapı 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezinden M1A-M1B hattı elektrifikasyon sisteminin tamamını besleyen toplam 19 adet transformatör merkezinin enerji teminini sağladığı senaryo uygulanmıştır.

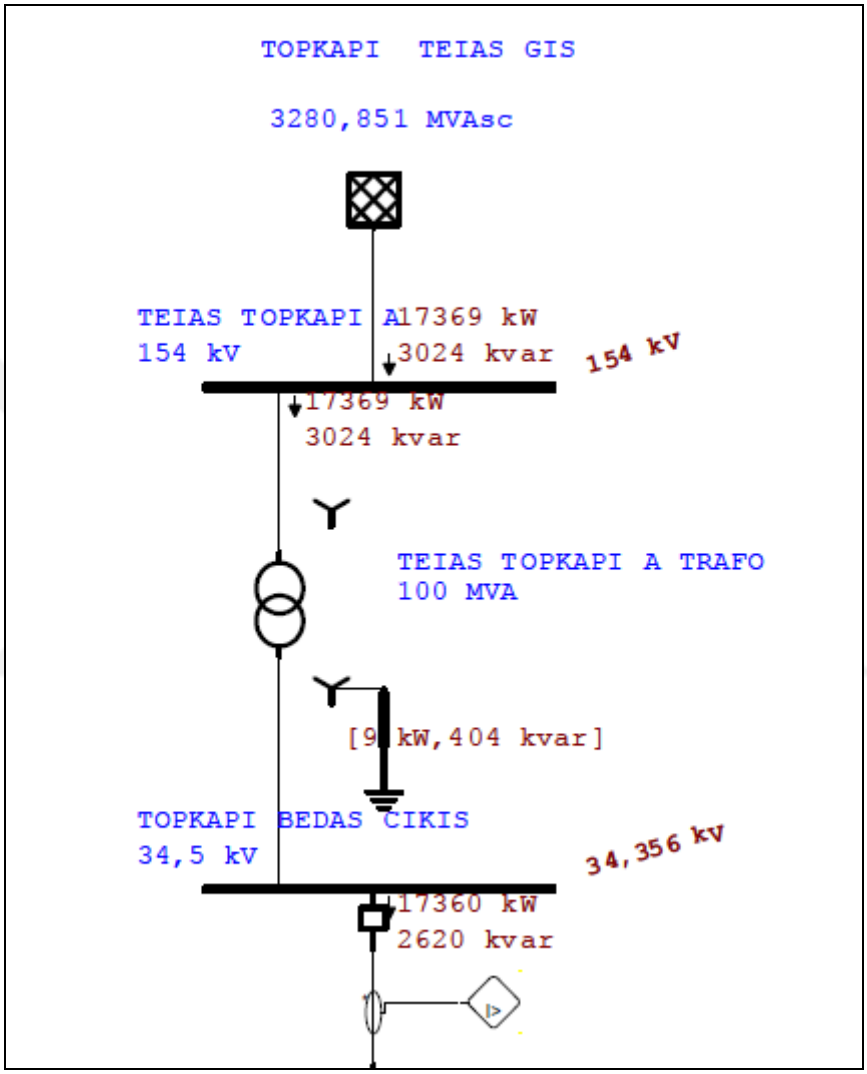
Topkapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre gerçekleşen yük akış sonuçları , transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim ring kablo yüklenme oranları ve indirici merkez ve transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bu bölümde incelenmiştir.

5.3.1 Yük Akış Analizi

Çizelge 5.7 TİMEBS Yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	34320,6	0,158	0,092	2,662
AKSARAY OG BARA	34320,6	1,713	0,344	29,39
ULUBATLI OG BARA	34334,4	17,35	2,641	295,1
SAGMALCILAR TM OG BARA	34203,3	14,268	1,946	243,1
OTOGAR OG BARA	34058,4	12,122	1,84	207,9
MİMARSİNAN O G BARA	34023,9	5,205	0,594	88,9
BELPA OG BARA	34010,1	3,954	0,398	67,45
BAKIRKÖY OG BARA	33992,85	2,784	0,206	47,41
BAHCELIEVLER OG BARA	33982,5	2,612	0,179	44,48
YENİBOSNA OG BARA	33968,7	1,767	0,102	30,08
DTM OG BARA	33965,25	0,96	0,128	16,47
HAVALİMANI OG BARA	33961,8	0,323	0,053	5,565
FERHATPASA OG BARA	34041,15	4,404	0,684	75,58
GARAJ SAHASI OG BARA	34037,7	3,545	0,544	60,83
ESENLER İSTASYONU OG BARA	34034,25	3,374	0,508	57,88
MENDERES OG BARA	34017	3,282	0,493	56,32
UCYUCLU OG BARA	34010,1	2,165	0,329	37,18
BAGCILAR OG BARA	33999,75	1,831	0,259	31,39
KIRAZLI OG BARA	33996,3	1,003	0,086	17,1

Topkapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosunda en düşük bara gerilimi Havalimanı transformatör merkezinde gerçekleşerek 33961,8 V olmuştur. Yaklaşık yüzde %1,56 oranında meydana gelen gerilim düşümü kabul edilebilir bir oran olmakta olup tren hareketi ve istasyon enerji beslemesi açısından negatif bir duruma sebep olmayacaktır.



Şekil 5.3 Topkapı indirici merkezi yük akış analizi

Topkapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre Ulubatlı indirici merkezinden 17369 KW değerinde aktif gücün çekildiği görülmüştür.

5.3.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.8 TİMEBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENİKAPI-AKSARAY 240 CU	2,662	0,5
AKSARAY-ULUBATLI 240 CU	29,39	5,1
ULU-SAG 240 AL	243,1	42,2
SAG-OTO 240 AL	207,9	45,2
OTO-MİM 240 AL	88,9	19,3
MİM-BELPA 240 AL	67,45	14,7
BELPA-BAK 240 AL	47,41	10,3
BAK-BAHCE 240 AL	44,48	9,7
BAH-YENİBOSNA 240 AL	30,03	6,5
YENİBOSNA-DTM CU 185	16,37	3,3
DTM-HAVALİMANI CU 185	5,628	1,1
OTO-FERTHAPAŞA 240 AL	75,58	16,4
FPASA-GARAJ SAHASI 240 CU	60,83	10,6
GARAJ SAHASI- ESENLER 240 CU	57,88	10
ESENELR-MENDERES 240 CU	56,32	9,8
MENDERES-UCYUZLU 240 CU	37,18	6,5
UCYUZLU-BAGCILAR CU 240	31,39	5,5
BAGCILAR-KIRAZLI CU 240	17,1	3

Raylı sistem hatlarının tasarım aşamasında çoklu indirici merkezler olmasına rağmen tek bir indirici merkezden hattın tamamının enerji temini düşünüldüğü için genel besleme senaryosunda kablo yüklenme oranları oldukça düşük çıkmaktadır. Ulubatlı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosuna göre en yüksek kablo yüklenme oranı sagmalcılar – otogar transformatör merkezleri arasında görülmüş olup bu değer % 45,2 olmuştur .

5.3.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.9 TİMEBS İndirici merkez kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENİKAPI İNDİRİCİ MERKEZİ	0,558	0,1
TOPKAPI İNDİRİCİ MERKEZİ	295	51,2
SAĞMALCILAR İNDİRİCİ MERKEZİ	0,573	0,1
YENIBOSNA İNDİRİCİ MERKEZİ	0,573	0,1
DTM İNDİRİCİ MERKEZİ	3,437	0,6
BAGCILAR İNDİRİCİ MERKEZİ	0,859	0,1

Çizelgede indirici merkezler ile transformatör merkezleri arasında enerji teminini sağlayan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bulunmaktadır. Topkapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu göre en yüksek yüklenme oranının (% 51,2) Topkapı indirici merkezi ile Ulubatlı transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablosunda görüldüğü tespit edilmiştir. Topkapı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu yük akış analizine göre kablo kapasiteleri yüklenme oranları oldukça düşük olduğundan dolayı kablo kapasitelerini aşan herhangi bir durum sözkonusu olmayıp riskli bir durum sözkonusu değildir.

5.4 Sağmalcılar İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu

Sağmalcılar 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezinden M1A-M1B hattı elektrifikasyon sisteminin tamamını besleyen toplam 19 adet transformatör merkezinin enerji teminini sağladığı senaryo uygulanmıştır.

Ulubatlı indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre gerçekleşen yük akış sonuçları , transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim ring kablo yüklenme oranları ve indirici merkez ve transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bu bölümde incelenmiştir.

5.4.1 Yük Akış Analizi

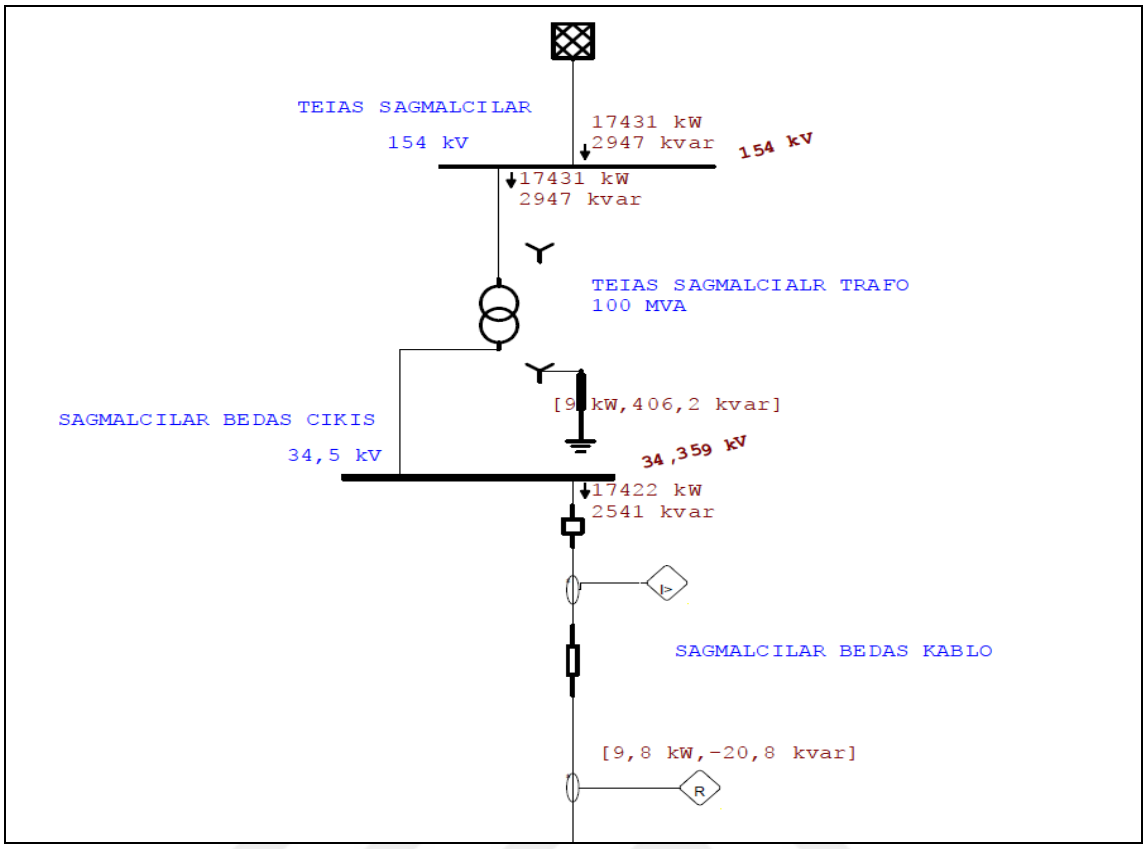
Çizelge 5.10 SİMEBS Yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	34293	0,158	0	2,66
AKSARAY OG BARA	34296,45	1,711	0,343	29,37
ULUBATLI OG BARA	34306,8	3,031	0,632	52,11
SAGMALCILAR TM OG BARA	34337,85	17,413	2,562	295,9
OTOGAR OG BARA	34189,5	12,216	1,854	208,7
MİMARSİNAN O G BARA	34155	5,245	0,598	89,24
BELPA OG BARA	34144,65	3,984	0,401	67,71

Çizelge 5.10 SİMEBS Yük akış analizi (devamı)

BAKIRKÖY OG BARA	34127,4	2,805	0,208	47,59
BAHCELIEVLER OG BARA	34113,6	2,633	0,18	44,66
YENİBOSNA OG BARA	34103,25	1,78	0,103	30,19
DTM OG BARA	34096,35	0,968	0,129	16,53
HAVALİMANI OG BARA	34092,9	0,326	0,053	5,586
FERHATPASA OG BARA	34172,25	4,438	0,689	75,88
GARAJ SAHASI OG BARA	34168,8	3,572	0,548	61,07
ESENLER İSTASYONU OG BARA	34165,35	3,4	0,512	58,1
MENDERES OG BARA	34148,1	3,307	0,497	56,54
UCYUCLU OG BARA	34140,1	2,182	0,331	37,32
BAGCILAR OG BARA	34134,3	1,845	0,261	31,51
KIRAZLI OG BARA	34130,85	1,011	0,087	17,17

Sağmalcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosunda en düşük bara gerilimi Havalimanı transformatör merkezinde gerçekleşerek 34092,9 V olmuştur. Yaklaşık yüzde %1,18 oranında meydana gelen gerilim düşümü kabul edilebilir bir oran olmakta olup tren hareketi ve istasyon enerji beslemesi açısından negatif bir duruma sebep olmayacaktır.



Şekil 5.4 Sağmalcılar indirici merkezi yük akış analizi

Sağmalcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre Sağmalcılar indirici merkezinden 17431 KW değerinde aktif gücün çekildiği görülmüştür. Yük akış senaryosu sonucunda indirici merkezin ETAP programındaki sonuçları şekilde gösterilmiştir.

5.4.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.11 SİMEBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENIKAPI-AKSARAY 240 CU	2,66	0,5
AKSARAY-ULUBATLI 240 CU	29,37	5,1
ULU-SAG 240 AL	51,99	9
SAG-OTO 240 AL	208,7	45,4
OTO-MİM 240 AL	89,24	19,4
MİM-BELPA 240 AL	67,71	14,7
BELPA-BAK 240 AL	47,59	10,3
BAK-BAHCE 240 AL	44,66	9,7
BAH-YENİBOSNA 240 AL	30,15	6,6

Çizelge 5.11 SİMEBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı (devamı)

YENİBOSNA-DTM CU 185	16,43	3,3
DTM-HAVALİMANI CU 185	5,65	1,1
OTO-FERTHAPAŞA 240 AL	75,88	16,5
FPASA-GARAJ SAHASI 240 CU	61,07	10,6
GARAJ - ESENLER 240 CU	58,1	10,1
ESENELR-MENDERES 240 CU	56,54	9,8
MENDERES-UCYUZLU 240 CU	37,32	6,5
UCYUZLU-BAGCILAR CU 240	31,51	5,5
BAGCILAR-KIRAZLI CU 240	17,17	3

Raylı sistem hatlarının tasarım aşamasında çoklu indirici merkezler olmasına rağmen tek bir indirici merkezden hattın tamamının enerji temini düşünüldüğü için Sağmalcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji besleme senaryosunda kablo yüklenme oranları oldukça düşük çıkmaktadır. En yüksek kablo yüklenme oranı sagmalcılar – otogar transformatör merkezleri arasında görülmüş olup bu değer % 45,4 olmuştur .

5.4.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.12 SİMEBS İndirici merkez kablo yüklenme oranı

BEDAS YENIKAPI 240 CU	0,558	0,1
TOPKAPI BEDAS KABLO	0,57	0,1
SAGMALCILAR BEDAS KABLO	295,9	51,4
YENIBOSNA BEDAS 240 CU	0,573	0,1
DTM BEDAS 240 CU	3,437	0,6
BAGCILAR BEDAS CU 240	0,859	0,1

Çizelgede indirici merkezler ile transformatör merkezleri arasında enerji teminini sağlayan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bulunmaktadır. Sağmalcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu göre en yüksek yüklenme oranının (% 51,4) Sağmalcılar indirici merkezi ile Sağmalcılar transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablosunda görüldüğü tespit edilmiştir. Sağmalcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu yük akış analizine göre yüklenme oranları oldukça düşük olduğundan dolayı kablo kapasitelerini aşan herhangi bir durum sözkonusu olmayıp riskli bir durum sözkonusu değildir.

5.5 Yenibosna İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu

Yenibısna 154 / 34,5 kV TEİAŞ indirici merkezinden M1A-M1B hattı elektrifikasyon sisteminin tamamını besleyen toplam 19 adet transformatör merkezinin enerji teminini sağladığı senaryo uygulanmıştır.

Yenibosna indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre gerçekleşen yük akış sonuçları , transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim ring kablo yüklenme oranları ve indirici merkez ve transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bu bölümde incelenmiştir.

5.5.1 Yük Akış Analizi

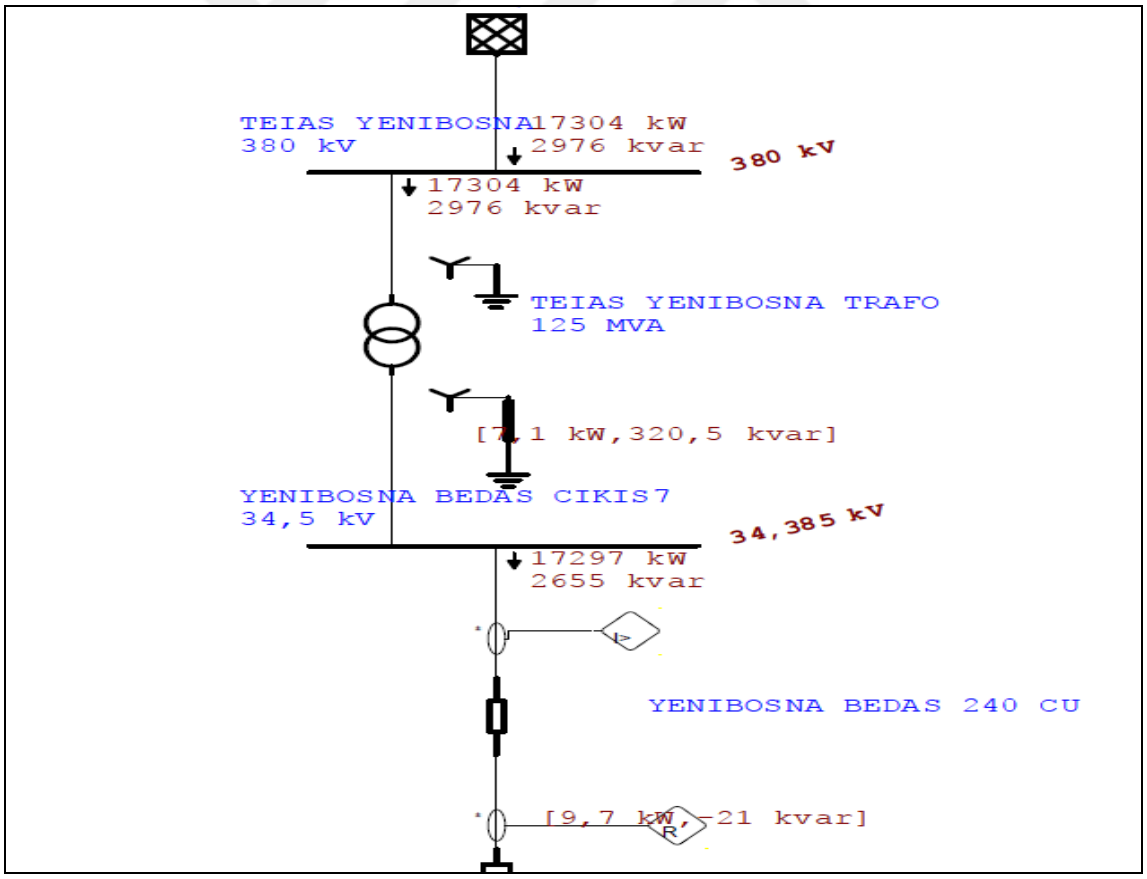
Çizelge 5.13 YEİMEBS Yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	33827,3	0,154	0	2,624
AKSARAY OG BARA	33827,3	1,664	0,334	28,97
ULUBATLI OG BARA	33841,1	2,949	0,615	51,4
SAGMALCILAR TM OG BARA	33868,7	5,013	0,625	86,12
OTOGAR OG BARA	33927,3	11,881	1,867	204,7
MİMARSİNAN O G BARA	34010,1	13,154	2,179	226,3
BELPA OG BARA	34055	14,34	2,305	246,2
BAKIRKÖY OG BARA	34148,1	14,545	2,381	249,2
BAHCELIEVLER OG BARA	34220,6	15,427	2,563	263,8
YENİBOSNA OG BARA	34362	17,288	2,747	294,1
DTM OG BARA	34355,1	0,983	0,131	16,66
HAVALİMANI OG BARA	34355,1	0,331	0,054	5,629
FERHATPASA OG BARA	33913,5	4,371	0,678	75,3
GARAJ SAHASI OG BARA	33910,1	3,518	0,54	60,6

Çizelge 5.13 YEİMEBS Yük akış analizi (devamı)

ESENLER İSTASYONU OG BARA	33906,6	3,348	0,505	57,66
MENDERES OG BARA	33889,4	3,257	0,489	56,11
UCYUCLU OG BARA	33882,5	2,149	0,326	37,04
BAGCILAR OG BARA	33872,1	1,817	0,257	31,27
KIRAZLI OG BARA	33868,7	0,996	0,086	17,04

Yenibosna indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosunda en düşük bara gerilimi Yenikapı transformatör merkezinde gerçekleşerek 33827,3 V olmuştur. Yaklaşık yüzde % 1,95 oranında meydana gelen gerilim düşümü kabul edilebilir bir oran olmakta olup tren hareketi ve istasyon enerji beslemesi açısından negatif bir duruma sebep olmayacaktır.



Şekil 5.5 Yenibosna indirici merkezi yük akış analizi

Yenibosna indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre indirici merkezden 17304 KW değerinde aktif gücün çekildiği görülmüştür.

5.5.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.14 YEİMEBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENIKAPI-AKSARAY 240 CU	2,624	0,5
AKSARAY-ULUBATLI 240 CU	28,97	5
ULU-SAG 240 AL	51,29	8,9
SAG-OTO 240 AL	86,12	18,7
OTO-MİM 240 AL	204,7	44,5
MİM-BELPA 240 AL	226,1	49,2
BELPA-BAK 240 AL	246,2	53,5
BAK-BAHCE 240 AL	249,2	54,2
BAH-YENİBOSNA 240 AL	263,8	57,4
YENİBOSNA-DTM CU 185	16,56	3,3
DTM-HAVALİMANI CU 185	5,693	1,1
OTO-FERTHAPAŞA 240 AL	75,3	16,3
FPASA-GARAJ SAHASI 240 CU	60,6	10,5
GARAJ - ESENLER 240 CU	57,66	10
ESENELR-MENDERES 240 CU	56,11	9,7
MENDERES-UCYUZLU 240 CU	37,04	6,4
UCYUZLU-BAGCILAR CU 240	31,27	5,4
BAGCILAR-KIRAZLI CU 240	17,04	3

Raylı sistem hatlarının tasarım aşamasında çoklu indirici merkezler olmasına rağmen tek bir indirici merkezden hattın tamamının enerji temini düşünüldüğü için Yenibosna indirici merkezinden tüm hattın enerji besleme senaryosunda kablo yüklenme oranları oldukça düşük çıkmaktadır. En yüksek kablo yüklenme oranı Yenibosna – Bahçelievler transformatör merkezleri arasında görülmüş olup bu değer % 57,4 olmuştur .

5.5.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı

Çizelgede indirici merkezler ile transformatör merkezleri arasında enerji teminini sağlayan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bulunmaktadır. Yenibosna indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu göre en yüksek yüklenme oranının (% 51) Yenibosna indirici merkezi ile Bahçelievler transformatör merkezi arasında

bulunan orta gerilim kablosunda görüldüğü tespit edilmiştir. Yenibosna indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu yük akış analizine göre yüklenme oranları oldukça düşük olduğundan dolayı kablo kapasitelerini aşan herhangi bir durum sözkonusu olmayıp riskli bir durum sözkonusu değildir.

Çizelge 5.15 YEİMEBS İndirici merkez kablo yüklenme oranı

BEDAS YENIKAPI 240 CU	0,558	0,1
TOPKAPI BEDAS KABLO	0,562	0,1
SAGMALCILAR BEDAS KABLO	0,573	0,1
YENIBOSNA BEDAS 240 CU	293,8	51
DTM BEDAS 240 CU	3,437	0,6
BAGCILAR BEDAS CU 240	0,859	0,1

5.6 DTM İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu

DTM 34,5 kV indirici merkezinden M1A-M1B hattı elektrifikasyon sisteminin tamamını besleyen toplam 19 adet transformatör merkezinin enerji teminini sağladığı senaryo uygulanmıştır.

DTM indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre gerçekleşen yük akış sonuçları , transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim ring kablo yüklenme oranları ve indirici merkez ve transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bu bölümde incelenmiştir

5.6.1 Yük Akış Analizi

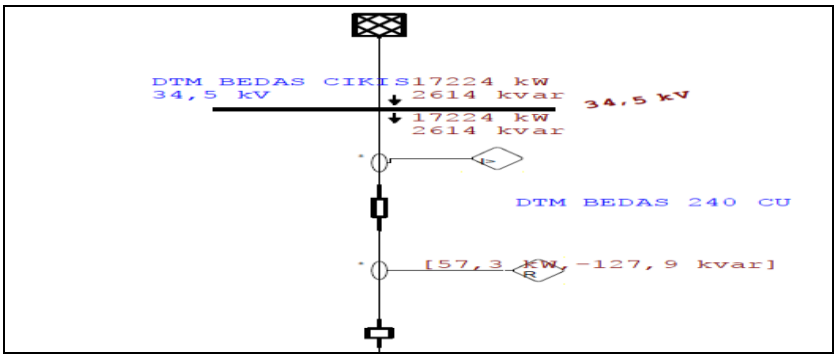
Çizelge 5.16 DTMİMEBS Yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	33606,45	0,152	0	2,607
AKSARAY OG BARA	33606,45	1,643	0,329	28,78
ULUBATLI OG BARA	33620,25	2,911	0,607	51,06
SAGMALCILAR TM OG BARA	33647,85	4,948	0,617	85,56
OTOGAR OG BARA	33706,5	11,727	1,842	203,3

Çizelge 5.16 DTMİMEBS Yük akış analizi (devamı)

MİMARSİNAN O G BARA	33789,3	12,983	2,15	224,9
BELPA OG BARA	33830,7	14,154	2,275	244,6
BAKIRKÖY OG BARA	33927,3	14,357	2,35	247,6
BAHCELIEVLER OG BARA	33996,3	15,226	2,53	262,1
YENİBOSNA OG BARA	34137,75	16,093	2,711	276
DTM OG BARA	34248,15	16,787	2,763	286,8
HAVALİMANI OG BARA	34365,45	17,167	2,742	292,1
FERHATPASA OG BARA	33692,7	4,314	0,67	74,81
GARAJ SAHASI OG BARA	33689,25	3,473	0,533	60,21
ESENLER İSTASYONU OG BARA	33685,8	3,305	0,498	57,28
MENDERES OG BARA	33668,55	3,215	0,483	55,75
UCYUCLU OG BARA	33661,65	2,121	0,322	36,8
BAGCILAR OG BARA	33651,3	1,793	0,254	31,07
KIRAZLI OG BARA	33647,85	0,983	0,085	16,93

DTM indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosunda en düşük bara gerilimi Yenikapı transformatör merkezinde gerçekleşerek 33606,45 V olmuştur. Yaklaşık yüzde % 2,59 oranında meydana gelen gerilim düşümü kabul edilebilir bir oran olmakta olup tren hareketi ve istasyon enerji beslemesi açısından negatif bir duruma sebep olmayacaktır.



Şekil 5.2 DTM indirici merkezi yük akış analizi

DTM indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre Yenibosna indirici merkezinden 17224 KW değerinde aktif gücün çekildiği görülmüştür. Yük akış senaryosu sonucunda indirici merkezin ETAP programındaki sonuçları şekilde gösterilmiştir.

5.6.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.17 DTMİMEBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENIKAPI-AKSARAY 240 CU	2,607	0,5
AKSARAY-ULUBATLI 240 CU	28,78	5
ULU-SAG 240 AL	50,95	8,8
SAG-OTO 240 AL	85,56	18,6
OTO-MİM 240 AL	203,3	44,2
MİM-BELPA 240 AL	224,6	48,8
BELPA-BAK 240 AL	244,6	53,2
BAK-BAHCE 240 AL	247,6	53,8
BAH-YENİBOSNA 240 AL	262,1	57
YENİBOSNA-DTM CU 185	275,6	54,8
DTM-HAVALİMANI CU 185	286,4	57,1
OTO-FERTHAPAŞA 240 AL	74,81	16,2
FPASA-GARAJ SAHASI 240 CU	60,21	10,5
GARAJ - ESENLER 240 CU	57,28	9,9
ESENELR-MENDERES 240 CU	55,75	9,7
MENDERES-UCYUZLU 240 CU	36,8	6,4
UCYUZLU-BAGCILAR CU 240	31,07	5,4
BAGCILAR-KIRAZLI CU 240	16,93	2,9

Raylı sistem hatlarının tasarım aşamasında çoklu indirici merkezler olmasına rağmen tek bir indirici merkezden hattın tamamının enerji temini düşünüldüğü için DTM indirici merkezinden tüm hattın enerji besleme senaryosunda kablo yüklenme oranları oldukça düşük çıkmaktadır. En yüksek kablo yüklenme oranı Havalimanı – DTM transformatör merkezleri arasında görülmüş olup bu değer % 57,1 olmuştur .

5.6.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı

Çizelgede indirici merkezler ile transformatör merkezleri arasında enerji teminini sağlayan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bulunmaktadır. DTM indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu göre en yüksek yüklenme oranının (% 50,6) DTM indirici merkezi ile Havalimanı transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablosunda görüldüğü tespit edilmiştir. DTM indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu yük akış analizine göre yüklenme oranları oldukça düşük olduğundan dolayı kablo kapasitelerini aşan herhangi bir durum sözkonusu olmayıp riskli bir durum sözkonusu değildir.

Çizelge 5.18 DTMİMEBS İndirici merkez kablo yüklenme oranı

BEDAS YENIKAPI 240 CU	0,558	0,1
TOPKAPI BEDAS KABLO	0,558	0,1
SAGMALCILAR BEDAS KABLO	0,573	0,1
YENIBOSNA BEDAS 240 CU	0,573	0,1
DTM BEDAS 240 CU	291,5	50,6
BAGCILAR BEDAS CU 240	0,859	0,1

5.7 Bağcılar İndirici Merkezinden Tüm Hattın Enerji Temini Besleme Senaryosu

Bağcılar 154 / 34,5 kV indirici merkezinden M1A-M1B hattı elektrifikasyon sisteminin tamamını besleyen toplam 19 adet transformatör merkezinin enerji teminini sağladığı senaryo uygulanmıştır.

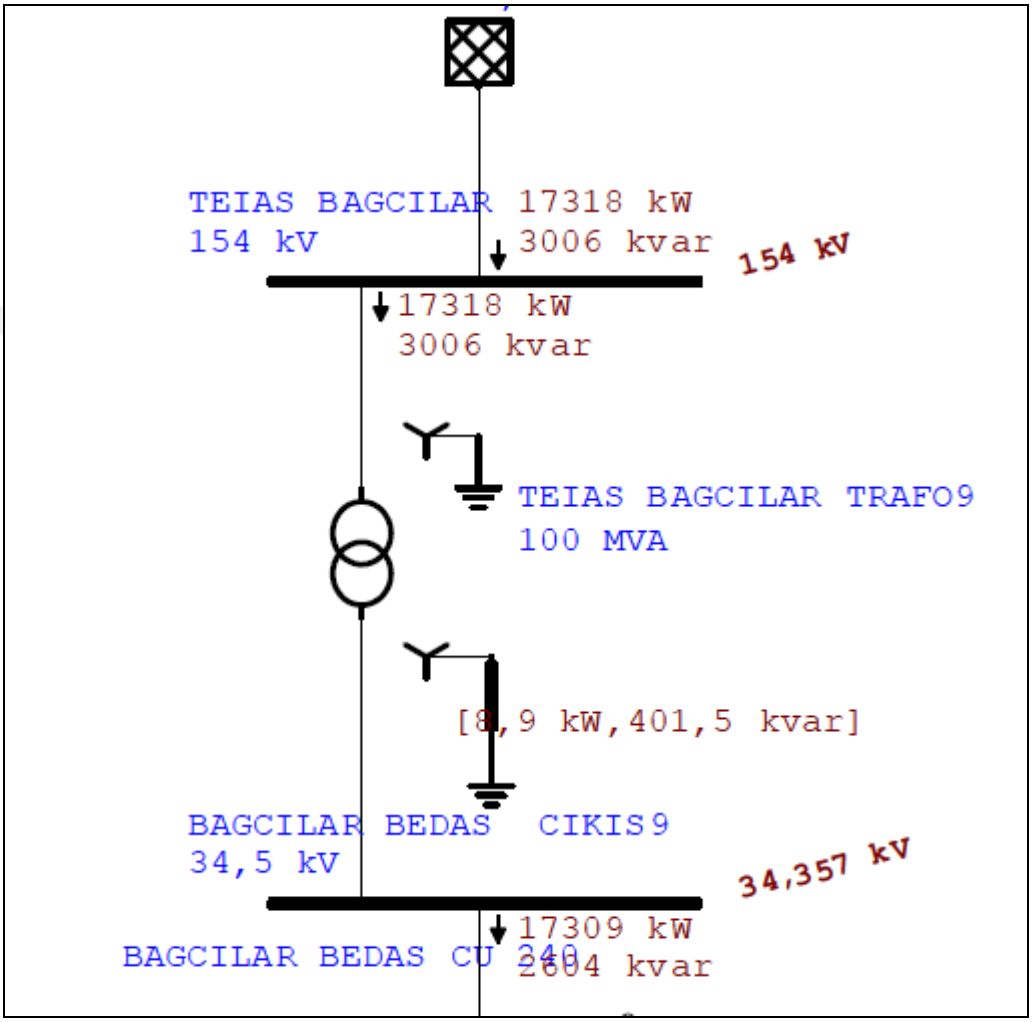
Bağcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre gerçekleşen yük akış sonuçları , transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim ring kablo yüklenme oranları ve indirici merkez ve transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bu bölümde incelenmiştir

5.7.1 Yük Akış Analizi

Çizelge 5.19 BİMEBS Yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	33896,25	154	0,432	2,629
AKSARAY OG BARA	33896,25	1671	335	29,03
ULUBATLI OG BARA	33910,05	2961	617	51,5
SAGMALCILAR TM OG BARA	33937,65	5033	627	86,29
OTOGAR OG BARA	33996,3	12731	1789	218,3
MİMARSİNAN O G BARA	33965,25	5187	591	88,74
BELPA OG BARA	33951,45	3940	396	67,33
BAKIRKÖY OG BARA	33934,2	2774	206	47,32
BAHCELIEVLER OG BARA	33923,85	2603	178	44,41
YENİBOSNA OG BARA	33910,05	1760	102	30,02
DTM OG BARA	33903,15	957	128	16,44
HAVALİMANI OG BARA	33903,15	322	52,434	5,555
FERHATPASA OG BARA	34041,15	13603	1948	233,1
GARAJ SAHASI OG BARA	34054,95	13778	1989	236
ESENLER İSTASYONU OG BARA	34072,2	13875	2010	237,6
MENDERES OG BARA	34141,2	15024	2209	256,8
UCYUCLU OG BARA	34189,5	15380	2303	262,6
BAGCILAR OG BARA	34265,4	16249	2517	277
KIRAZLI OG BARA	34324,05	17295	2635	294,3

Bağcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosunda en düşük bara gerilimi Yenikapı transformatör merkezinde gerçekleşerek 33896,25 V olmuştur. Yaklaşık yüzde % 1,75 oranında meydana gelen gerilim düşümü kabul edilebilir bir oran olmakta olup tren hareketi ve istasyon enerji beslemesi açısından negatif bir duruma sebep olmayacaktır.



Şekil 5.7 Bağcılar indirici merkezi yük akış analizi

Bağcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini besleme senaryosuna göre Bağcılar indirici merkezinden 17318 KW değerinde aktif gücün çekildiği görülmüştür. Yük akış senaryosu sonucunda indirici merkezin ETAP programındaki sonuçları şekilde gösterilmiştir.

5.7.2 Transformatör Merkezi Ring Kablo Yüklenme Oranı

Çizelge 5.20 BİMEBS transformatör mekezi ring kablo yüklenme oranı

Kablo İsmi	Akım Değeri (A)	Kablo Yüklenme Oranı (%)
YENIKAPI-AKSARAY 240 CU	2,629	0,5
AKSARAY-ULUBATLI 240 CU	29,03	5
ULU-SAG 240 AL	51,39	8,9
SAG-OTO 240 AL	86,29	18,8
OTO-MİM 240 AL	88,74	19,3
MİM-BELPA 240 AL	67,33	14,6
BELPA-BAK 240 AL	47,32	10,3
BAK-BAHCE 240 AL	44,41	9,7
BAH-YENİBOSNA 240 AL	29,98	6,5
YENİBOSNA-DTM CU 185	16,34	3,2
DTM-HAVALİMANI CU 185	5,618	1,1
OTO-FERTHAPAŞA 240 AL	218,3	47,4
FPASA-GARAJ SAHASI 240 CU	233,1	40,5
GARAJ - ESENLER 240 CU	236	41
ESENELR-MENDERES 240 CU	237,6	41,2
MENDERES-UCYUZLU 240 CU	256,8	44,6
UCYUZLU-BAGCILAR CU 240	262,6	45,6
BAGCILAR-KIRAZLI CU 240	277	48,1

Raylı sistem hatlarının tasarım aşamasında çoklu indirici merkezler olmasına rağmen tek bir indirici merkezden hattın tamamının enerji temini düşünüldüğü için Bağcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji besleme senaryosunda kablo yüklenme oranları oldukça düşük çıkmaktadır. En yüksek kablo yüklenme oranı Bağcılar – Kirazlı transformatör merkezleri arasında görülmüş olup bu değer % 48,1 olmuştur .

5.7.3 İndirici Merkez Kablo Yüklenme Oranı

Çizelgede indirici merkezler ile transformatör merkezleri arasında enerji teminini sağlayan orta gerilim kablolarının yüklenme oranları bulunmaktadır. Bağcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu göre en yüksek yüklenme oranının (% 51,1) Bağcılar indirici merkezi ile Kirazlı transformatör merkezi arasında bulunan orta gerilim kablosunda görüldüğü tespit edilmiştir. Bağcılar indirici merkezinden tüm hattın enerji temini senaryosu yük akış analizine göre yüklenme oranları oldukça düşük olduğundan dolayı kablo kapasitelerini aşan herhangi bir durum sözkonusu olmayıp riskli bir durum sözkonusu değildir.

Çizelge 5.21 BİMEBS İndirici merkez kablo yüklenme oranı

BEDAS YENIKAPI 240 CU	0,558	0,1
TOPKAPI BEDAS KABLO	0,563	0,1
SAGMALCILAR BEDAS KABLO	0,573	0,1
YENIBOSNA BEDAS 240 CU	0,573	0,1
DTM BEDAS 240 CU	3,437	0,6
BAGCILAR BEDAS CU 240	294,1	51,1

5.8 Gerilim Seviyesi Değişikliğinin Simulasyona Olan Etkisi

Yurtiçinde literatürde yapılan çalışmalarda TEİAŞ orta gerilim seviyesi 34500 V alınarak yük akış analizi gerçekleştirilmiştir. TEİAŞ 154 / 34,5 kV indirici merkezlerin gerilim seviyeleri incelendiğinde hemen hemen gün içinde hiçbir zaman 34500 V gerilim seviyesine ulaşmadığı gözlemlenmiştir.

Yenikapı indirici merkezinden tüm hattın enerji beslemesi gerçekleştirilirken gerilim düzeyinin yük akış sonuçlarına olan etkisini incelemek için iki farklı gerilim düzeyinde aynı simülasyon tekrarlanmıştır. Birinci senaryoda TEİAŞ indirici transformatörünün sekonder gerilim 34500 V alınırken ikinci senaryoda TEİAŞ indirici transformatörünün sekonder gerilim değeri 33600 V olarak alınmıştır.

5.8.1 Simülasyon 1

Çizelge 5.22 Simulasyon 1 34500 V

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	34330,95	17,263	2,67	293,8
AKSARAY OG BARA	34279,2	17,082	2,639	291,1
ULUBATLI OG BARA	34168,8	15,489	2,275	264,5
SAGMALCILAR TM OG BARA	34041,15	14,133	1,927	241,9
OTOGAR OG BARA	33896,25	12,007	1,823	206,9
MİMARSİNAN O G BARA	33861,75	5,156	0,588	88,48

Çizelge 5.22 Simulasyon 1 34500 V (devamı)

BELPA OG BARA	33851,4	3,916	0,394	67,13
BAKIRKÖY OG BARA	33834,15	2,757	0,204	47,18
BAHCELIEVLER OG BARA	33820,35	2,587	0,177	44,27
YENİBOSNA OG BARA	33810	1,75	0,102	29,93
DTM OG BARA	33803,1	0,951	0,127	16,39
HAVALİMANI OG BARA	33799,65	0,32	0,052	5,538
FERHATPASA OG BARA	33879	4,362	0,677	75,22
GARAJ SAHASI OG BARA	33875,55	3,511	0,539	60,54
ESENLER İSTASYONU OG BARA	33872,1	3,342	0,504	57,6
MENDERES OG BARA	33854,85	3,251	0,488	56,06
UCYUCLU OG BARA	33847,95	2,145	0,326	37
BAGCILAR OG BARA	33841,05	1,813	0,256	31,24
KIRAZLI OG BARA	33837,6	0,994	0,086	17,02

Simulasyon 1 numaralı çalışmada en düşük gerilim seviyesi Havalimanı transformatör merkezinde gerçekleşerek 33799,65 V olmuştur. Bu besleme senaryosunda Yenikapı indirici merkezinin ilk bağlandığı transformatör merkezi olan Yenikapı transformatör merkezinin orta gerilim barasından çekilen aktif güç 17236 KW olmuştur.

5.8.2 Simülasyon 2

Çizelge 5.23 Simulasyon 2 33600 V yük akış analizi

Transformatör Merkezi	Gerilim (V)	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Akım (A)
YENIKAPI OG BARA	33444,3	16381	2534	286,2
AKSARAY OG BARA	33392,55	16210	2505	283,6
ULUBATLI OG BARA	33285,6	14698	2159	257,7
SAGMALCILAR TM OG BARA	33161,4	13412	1829	235,7
OTOGAR OG BARA	33019,95	11394	1730	201,5
MİMARSİNAN O G BARA	32985,45	4892	558	86,19
BELPA OG BARA	32975,1	3716	374	65,4
BAKIRKÖY OG BARA	32957,85	2617	194	45,96
BAHCELIEVLER OG BARA	32947,5	2455	168	43,13
YENİBOSNA OG BARA	32933,7	1661	96,346	29,16
DTM OG BARA	32930,25	903	120	15,97
HAVALİMANI OG BARA	32926,8	304	49,458	5,395
FERHATPASA OG BARA	33002,7	4139	643	73,28
GARAJ SAHASI OG BARA	32999,25	3332	512	58,98
ESENLER İSTASYONU OG BARA	32995,8	3171	478	56,11
MENDERES OG BARA	32978,55	3085	464	54,61
UCYUCLU OG BARA	32971,65	2035	309	36,05
BAGCILAR OG BARA	32964,75	1721	243	30,44
KIRAZLI OG BARA	32961,3	943	81,244	16,58

Simulasyon 2 numaralı çalışmada en düşük gerilim seviyesi Havalimanı transformatör merkezinde gerçekleşerek 32926,8 V olmuştur. Bu besleme senaryosunda Yenikapı indirici merkezinin ilk bağlandığı transformatör merkezi olan Yenikapı transformatör merkezinin orta gerilim barasından çekilen aktif güç 16381 KW olmuştur.

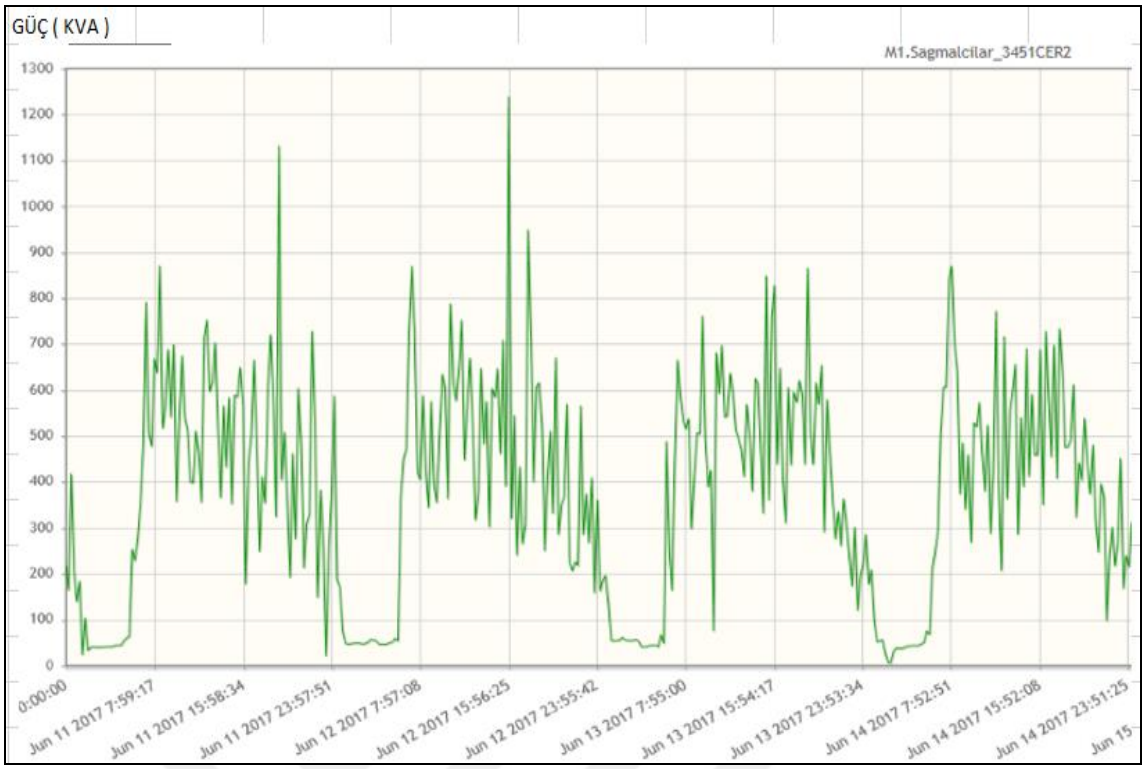
BÖLÜM 6

RAYLI SİSTEMLER HATLARINDA ENTERKONNEKTE ŞEBEKE İLE ETKİLEŞİM VE POTANSİYEL ENERJİ VERİMLİLİK ALANLARI

Raylı sistemlerde orta gerilim seviyesinden enerji alındığı için raylı sistemlerde görülen enerji tüketim karakteristikleri TEİAŞ enterkonnekte elektrik şebeke hattını belirli derecelerde etkilemektedir. Bu bölümde raylı sistem enerji tüketim karakteristikleri, raylı sistem enerji tüketimlerinin bağlı olduğu kriterler ve gelecekte yapılması planlanan raylı sistemlerin enterkonnekte elektrik şebeke hattına olan potansiyel etkileri incelenecektir.

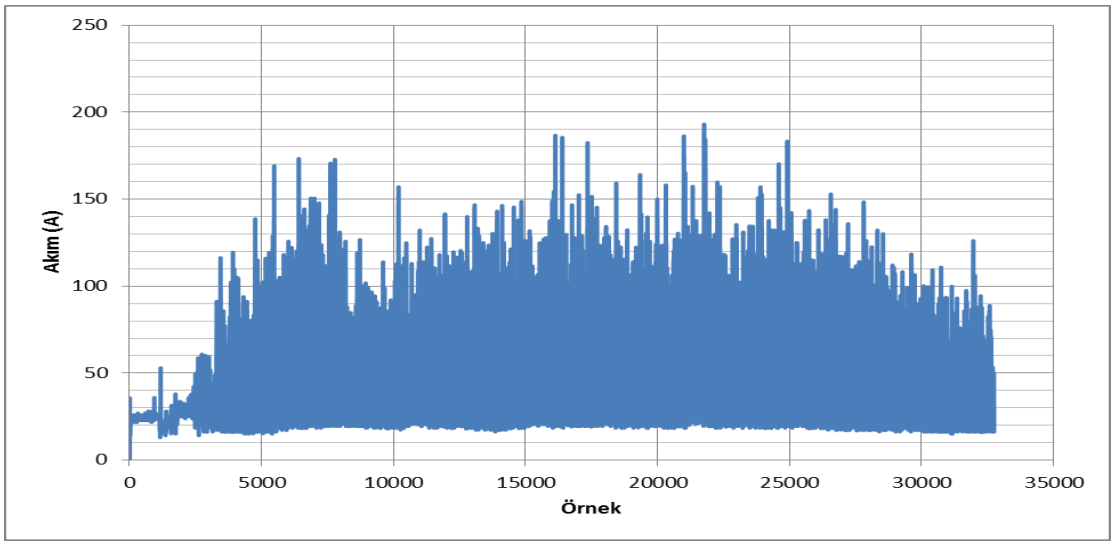
6.1 Kent İçi Raylı Sistemlerin Enerji Tüketim Karakteristikleri

Kent içi DC sistem tahrikli raylı sistemlerde transformatör merkezlerinde bulunan çift sekonderli cer transformatörları besleme alanına tren geldiği anda çalışmaya başlayıp tren akım-zaman grafiğinin çalışma eğrisine göre tepe akım değerine ulaştıktan sonra minumum akım çekme seviyesine geri gelmektedir. Bu çalışma durumundan dolayı cer transformatörları sabit akım çekmemekte olup çok hızlı bir şekilde değişen dinamik güç değerlerinde çalışmaktadır. Şekil 6.1’ de Sağmalcılar transformatör merkezinde bulunan cer transformatörünün güç-zaman grafiği verilmiştir. Dinamik değişen enerji tüketimleri şekilde görülmektedir. Cer transformatörü 1200-1300 kVA enerji tüketim değerlerine çıkıp keskin bir eğri ile 20-30 kVA enerji tüketim değerlerine iniş yapmaktadır.



Şekil 6.1 Sağmalcılar cer transformatörü görünür güç-zaman grafiği

Cer transformatörlerindeki dinamik değişen yük proflili TEİAŞ indirici merkezlerinin metro hattını besleyen fiderlerinede yansımaktadır. Şekil 5.9'da Kirazlı transformatör merkezinden 2 saniye aralıklarla alınan toplam 32476 adet akım örneğinin grafiği bulunmaktadır. Cer transformatörlarının dinamik değişen yük profilinin indirici merkezlerden temin edilen enerji noktalarına olan etkisi grafikten analiz edilebilmektedir.



Şekil 6.2 Kirazlı indirici merkezi akım örnekleme grafiği

6.2 Raylı Sistemler Ve Enerji Tüketimi

Raylı sistemlerde enerji tüketimini etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Tren sefer sıklığı, araç elektrik tahrik gücü, yolcu sayısı, sürüş yöntemleri gibi yöntemler işletme sırasında enerji verimlilik potansiyeli açısından değerlendirilen alanlar olmaktayken tasarım aşamasında genellikle enerji verimliliği üzerinde durulmamaktadır.

6.2.1 Farklı hat eğim değerlerinin enerji tüketimine olan etkisi

Raylı sistemlerde enerji tüketimini etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Tren sefer sıklığı, araç elektrik tahrik gücü, sürüş yöntemleri gibi yöntemler işletme sırasında enerji verimlilik potansiyeli açısından değerlendirilen alanlar olmaktayken tasarım aşamasında genellikle enerji verimliliği üzerinde durulmamaktadır.

Raylı sistem proje tasarım çalışması sırasında ilk olarak yolcu potansiyeli, nüfus yoğunlukları ve altyapı uygunluğuna göre hat güzergahı belirlenir. Hat güzergahı belirlendikten sonra elektrifikasyon ve hat yapım tasarımları simülasyon ile proje tasarım kriterleri belirlenir. Araç enerji tüketimine etki eden en büyük etkenlerden bir tanesi hat güzergahı ve hat eğimidir.

Çizelge 6.1 Hat eğim yüzdesi ve enerji tüketimi ilişkisi [12]

Eğim	Enerji Tüketimi (kWh/ km)
-5%	0,62
-3%	1,66
-1%	3,35
0%	4,46
1%	5,78
3%	8,61
5%	11,55

Eğim yüzdesi artıkça km başına düşen enerji tüketim eğerleri artış göstermektedir. Eğim değerinin % 5 olan bir kent içi raylı sistem hattı tüm parametreleri aynı olan fakat eğim değeri % 0 olan hatta göre % 159 daha fazla enerji tüketimi gerçekleştirmektedir. İlgili değerler Çizelge 6.1 ‘de paylaşılmıştır. Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi güzergah seçimi enerji tüketimini büyük oranda etkilemektedir. Bu sebepten dolayı raylı sistem hatlarının planlanma aşamasında enerji tüketimi değerlendirme kriterleri arasına alınmalıdır.

6.2.2 Yolcu Sayısının Enerji Tüketimine Olan Etkisi

Enerji tüketimini etkileyen unsurlardan bir taneside yolcu sayısı olmaktadır. Araç doluluk oranına göre araç ağırlığı değişmekte ve eğişen ağırlığa göre enerji tüketim eğrisi değişmektedir.

Çizelge 6.2 Farklı ağırlık değerleri için enerji tüketim değerleri [12]

Yolcu Sayısı	Araç Ağırlığı	Araç Ağırlığı Farkı	Enerji Tüketimi (kWh)	Enerji Tüketimi Farkı
0	31900		2,92	
50	35400	11%	3,21	9,93%
100	38900	22%	3,5	19,86%
150	42400	33%	3,8	30,10%
200	45900	44%	4,1	40,40%
250	49400	55%	4,39	50,30%

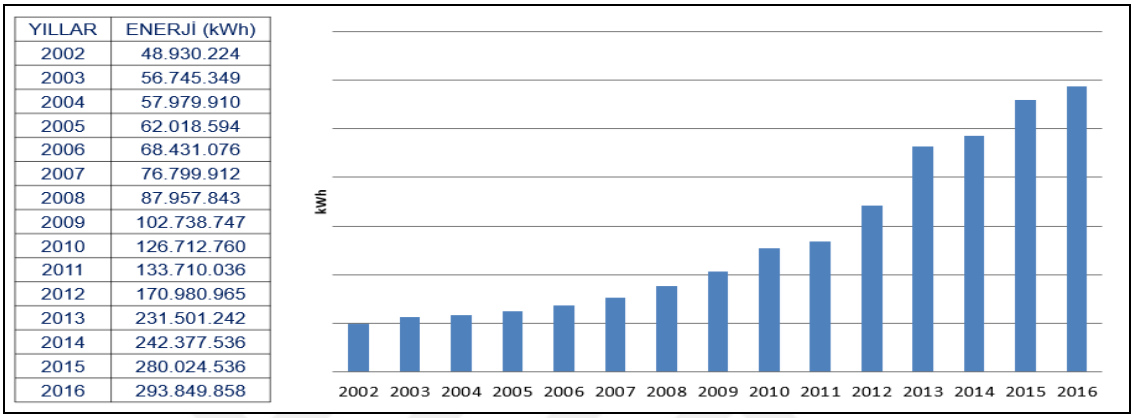
Tam dolu bir araç yolcusu olmayan bir araca göre %50,3 daha fazla enerji tüketmektedir. Bu sebepten ötürü DC cer sistemlerindeki dinamik yük değişikliğinin yanında yolcu yoğunluğunun etkisi dinamik değişen enerji tüketim değerlerini etkili bir şekilde değiştirmesine sebep olmaktadır. Teorik olarak Çizelge 6.2 'de verilen yolcu sayısı – enerji tüketimi ilişkisi M1A-M1B hattının aylara göre yolcu sayısı , km ve tüketilen enerji bilgileri verilen Çizelge 6.3 ile doğrulanabilir.

Çizelge 6.3 2016 yılı M1A-M1B hattı cer enerji tüketim çizelgesi [12]

Ay	CER (Kwh)	Kişi	Km	CER/Kişi	CER/km
Ocak	2.851.057	12.123.969	1.437.792,0	0,235	1,983
Şubat	2.378.421	12.175.759	1.343.768,0	0,195	1,770
Mart	2.853.802	12.791.931	1.436.994,4	0,223	1,986
Nisan	2.593.448	12.961.810	1.389.735,6	0,200	1,866
Mayıs	2.945.321	13.118.212	1.433.444,8	0,225	2,055
Haziran	2.930.295	11.666.346	1.413.604,1	0,251	2,073
Temmuz	3.226.227	12.452.499	1.450.473,6	0,259	2,224
Ağustos	3.263.267	12.202.016	1.480.269,8	0,267	2,205
Eylül	2.803.477	11.678.624	1.389.605,2	0,240	2,017
Ekim	2.811.811	13.683.935	1.435.212,2	0,205	1,959
Kasım	2.773.668	13.458.473	1.405.048,0	0,206	1,974
Aralık	3.072.979	13.208.920	1.451.227,9	0,233	2,118

6.2.3 Metro İstanbul AŞ Enerji Tüketimi

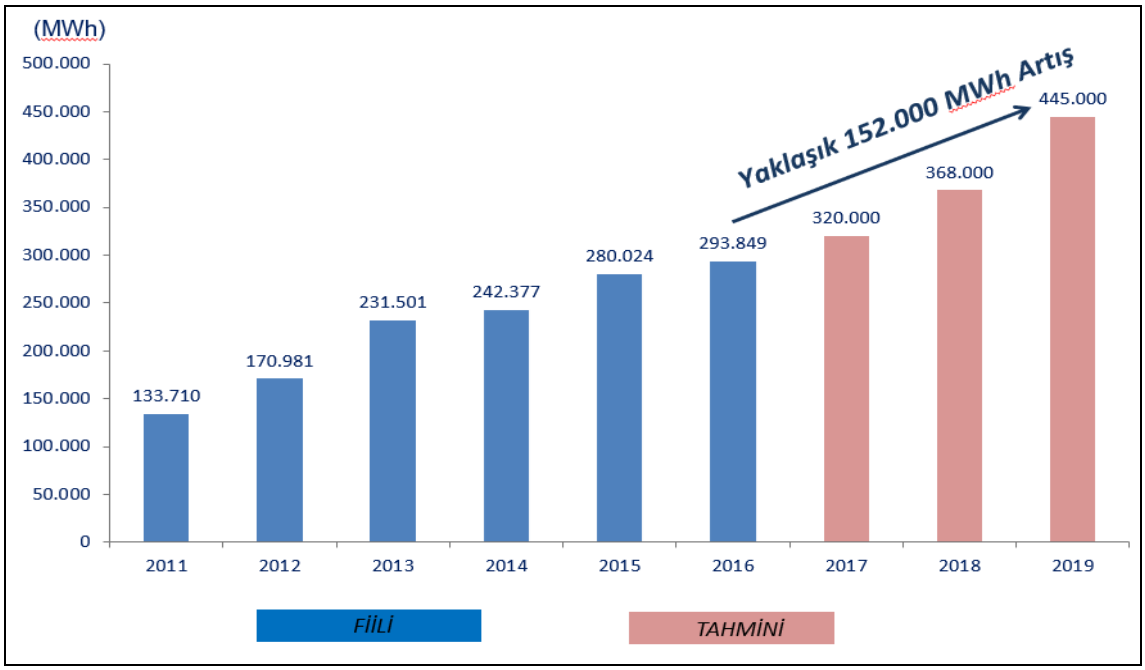
Metro İstanbul AŞ şirketi İstanbul ili içerisinde bulunan metro, tramvay, funikiler ve teleferik hatlarının işletmeciliğini yapan bir operatör firma olarak Türkiye sınırarı içerisinde en fazla enerji tüketimini yapan raylı sistem işletmeci firmasıdır. Raylı sistem yolcu sayısı ve yeni açılan raylı sistem hatları ile birlikte enerji tüketimi hızlı bir şekilde artmaktadır.



YILLAR	ENERJİ (kWh)
2002	48.930.224
2003	56.745.349
2004	57.979.910
2005	62.018.594
2006	68.431.076
2007	76.799.912
2008	87.957.843
2009	102.738.747
2010	126.712.760
2011	133.710.036
2012	170.980.965
2013	231.501.242
2014	242.377.536
2015	280.024.536
2016	293.849.858

Şekil 6.3 Metro İstanbul AŞ 2002-2016 yılları arası yıllık enerji tüketimi

Şekil 6.3 de Metro İstanbul AŞ firmasının 2002 ve 2016 yılları arasındaki yıllık enerji tüketimi paylaşılmıştır. 2002 yılında 48 milyon kwh enerji tüketimim yapılırken 2016 yılında tüketilen enerji miktarı 293 milyon kwh miktarına ulaşmıştır.



Şekil 6.4 Metro İstanbul AŞ 2002-2016 yılları arası yıllık enerji tüketimi

Yeni yapılacak olan hatlar ve artan yolcu sayısı ile birlikte 2019 yılında enerji tüketiminin 445 milyon kwh olması beklenmektedir. Aşağıdaki çizelgede 2011 ve 2016 yılları içerisinde Türkiye geneli enerji tüketimi ve Metro İstanbul enerji tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.4 2011 ve 2016 yılları için Metro İstanbul- Türkiye enerji tüketimleri

Yıl	**Metro İstanbul Enerji tüketimi**	**Türkiye Enerji Tüketimi**
2011	133,7 Milyon KWh	229,4 Milyar KWh
2016	294 Milyon KWh	274 Milyar KWh

5 yıl içerisinde Türkiye geneli enerji tüketimi %20 artış gösterirken Metro İstanbul firmasının enerji tüketimi %121 artış göstermiştir. 2016 yılı için 1000 tane Metro İstanbul firmasının enerji tüketimi tüm Türkiye'nin enerji tüketimine eşit olmaktadır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nüfus yoğunluğu gittikçe artan günümüz dünyasında kent merkezleri için en büyük problem ulaşım ve trafik sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Trafik ve ulaşım problemlerini çözmek adına yapılacak en faydalı yatırım raylı sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

İstanbul içinde 149,95 km raylı sistem hattı bulunurken 2023 ve sonrası yıllarda İstanbul içi raylı sistem hattının 1000 km olması hedeflenmektedir. 2016 yılında Türkiye geneli enerji tüketimi 2011 yılına göre %20 artış gösterirken, Metro İstanbul işletmesinin enerji tüketimi %121 artış göstermiştir. 2016 yılında İstanbul içi raylı sistemlerin enerji tüketimi, Türkiye geneli enerji tüketiminin yaklaşık 1/1000 oranı olan 293 milyon kwh değerine ulaşmıştır. İstanbul haricinde diğer kent merkezlerinde de raylı sistem yatırımları hızla yapılmaktadır. İstatistiklerden anlaşılacağı gibi önümüzdeki yıllarda raylı sistemlerin enerji tüketimi hızlı bir şekilde artış gösterek ulusal enerji ağımızda önemli bir yer alacaktır.

Yapılan çalışmada M1A-M1B hafif metro hattının elektrifikasyon sistemini oluşturan 19 adet transformatör merkezi ve bu transformatör merkezlerine enerji temin eden 6 adet TEİAŞ indirici merkezin ETAP programında modellenmesi yapılarak orta gerilim yük akış simülasyonu gerçekleştirilmiştir. En riskli senaryo olarak 5 indirici merkezin tamamından enerji temin edilemediği simule edilerek geriye kalan bir indirici merkezden tüm hattın enerji temini edildiği besleme senaryosu modellenmiştir. 6 adet indirici merkezin tamamı için ayrı olarak bu kötü durum senaryosu simule edilerek yük

akış analizi yapılmıştır. Kötü durum senaryoları haricinde genel enerji besleme senaryosunun da analizi yapılarak sonuçlar paylaşılmıştır. Yapılan analizlerde elektrifikasyon altyapısının (transformatörlar, orta gerilim kabloları, kablo yüklenme oranları, OG kesiciler, transformatör merkezi orta gerilim baraları vb.) analiz edilen 7 besleme senaryosı için uygun olduğu tespit edilmiştir. Yük akış analiz sonuçları TEİAŞ ve yerel elektrik dağıtım şirketi ile paylaşılarak ilgili merkezlerin elektrifikasyon altyapılarının uygunluğu için araştırma yapılması istenmelidir.

M1A-M1B hafif metro hattının kurulu güç bilgisi Çizelge 3.1'de paylaşılarak toplam kurulu gücün 93.49 MVA olduğu tespit edilmiştir. 7 farklı senaryo içinde çekilen en yüksek aktif güç değerinin 17,463 MVA değerinde Sağmalcılar indirici merkezinden çekildiği Çizelge 5.10'da yük akış analizi ile birlikte paylaşılmıştır.M1-M1B hafif metro hattının enerji teminini sağlayan indirici merkezler ile yapılan toplam sözleşme gücü 72,038 MVA'dır. Güvenli tarafda kalınmak için yüksek seçilen sözleşme güçleri, raylı sistemlerin yaygınlaşması ile birlikte önümüzdeki yıllarda ulusal enerji ağımızda bir problem olarak karşımıza çıkacaktır. TEİAŞ ile yapılan sözleşme güçlerinde tek bir değer yerine iki farklı güç değerinde anlaşma veya protokol düzenlenmelidir. Raylı sistem hattının orta gerilim simülasyonu yapılarak genel enerji besleme senaryosuna ve kötü durum enerji besleme senaryosuna göre iki farklı güç değeri TEİAŞ tarafından değerlendirmeye alınmalıdır.

Literatürde yapılan çalışmalarda teorik olarak gerilim seviyesi 34500 V olarak kabul edilmesine rağmen TEİAŞ 154 / 34,5 kV indirici merkezlerinde veya yerel elektrik dağıtım şirketi orta gerilim dağıtım merkezlerinde bu değerlerin görülmesi çok nadir olmaktadır. Gün içerisinde genellikle 33 kV ve 34 kV arasındaki gerilim seviyesi üzerinden enerji temini yapılabilmektedir. Yapılan simülasyonlarda gerçeğe en yakın değerlere ulaşmak için gerilim değişikliğinin yük akış analiz sonuçlarına olan etkisi araştırılmıştır. Tek bir besleme noktasından tüm hattın enerji temini 34500 V ve 33600 V orta gerilim değerleri için ayrı olarak yapılarak sonuçlar paylaşılmıştır. 33600 V gerilim seviyesinde yapılan simülasyon sonucunda 16381 kW aktif güç çekilirken, 34500 V gerilim değerinde 17263 kW aktif güç çekildiği tespit edilmiştir. Gerçek orta gerilim seviyesi 33600 V olan bir sistem için bu değerler göstermektedir ki 34500 V olarak gerilim seviyesi kabul edilen simülasyonlar sadece gerilim seviyesi yanlış kabul

edildiğinden dolayı %5,38 sapma gösterecektir. Gerilim seviyesinin 32-33 kV gibi daha düşük olduğu sistemlerde bu sapma oranı daha fazla artacaktır.

Raylı sistemlerde eğim ve enerji tüketimi arasındaki ilişki değerlendirilerek hat eğim seviyesinin %5 olma durumu ile %0 olduğu durum karşılaştırılarak %5 eğim olma durumunda %158 oranında enerji tüketiminin arttığını tespit eden çalışmalar paylaşılmıştır. Raylı sistem hatlarının projelendirilme aşamasında hat güzergahı belirlenirken enerji verimlilik performans göstergeleride muhakkak karar verme kriterleri arasına girmelidir. Hat kurulumu bir kez yapılırken yüksek enerji maliyeti hat ömrü boyunca devam edecektir. Bu sebepten ötütü genellikle hat kurulumunda ihmal edilen enerji performans göstergelerinin zorunlu olarak hat güzergahı belirlenme aşamasında alternatiflere göre hazırlanması gerekmektedir.

Demiryolu taşımacılığında kesintisiz enerji sürekliliğini sağlayarak, arızalardan etkilenmeyen konforlu bir işletme sunma amacıyla yedekleme yapılması zorunlu bir durumdur. Fakat işletme güvenliği ve enerji verimliliği arasında optimum dengeyi sağlamak önem arz etmektedir. Optimum besleme senaryolarının belirlenmesi ve enerji sarfiyatının minumum seviyede tutulması için simülasyon programlarının efektif olarak kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Pang, Y. ve Xu, Y. (2016) “Analysis and treatment of harmonic in power network with railway based on ETAP software”, Power and Engineering Conference, 25-28 October 2016, China.

[2] Saber, A. (2015) “Power system stabilizer tuning using swarm based optimization in ETAP”, IEEE International Conference on Power Electronic, 16-19 December 2014, Mumbai.

[3] Afifi, S., Wang, H., Taylor, G. ve Irving, M. (2014) “Impact of DFIG wind turbines on short circuit levels in distribution networks using ETAP”, UPEC Power Engineering Conference, 2-5 September 2013, Dublin.

[4] Kapahi, R. (2013) “Load Flow Analysis of 132 kV substation using ETAP Software” International Journal of Scientific & Engineering Research, 4:48-55

[5] Mahdi, N. (2013) “Power flow analysis of Rafah governorate distribution network using ETAP software” International Journal of Physical Sciences, 1: 19-26

[6] Farhad, S., Saeed, T. Ve Seyed, H. (2006) "Power Dıstrıbutıon System Analysıs Of Urban Electrified Railways", Power Electronics Specialists Conference, 18-22 June 2006, South Korea

[7] International Energy Agency, Railway Handbook 2012- Energy Consumption https://www.uic.org/com/IMG/pdf/iea-uic_2012final-lr.pdf , 11 Mart 2016.

[8] European Commission "Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource efficient transport system" http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:en:PDF, 26 Mayıs 2016

[9] Official Journal of the European Union, Decision No 406/2009/EC on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community’s greenhouse gas emission reduction commitments .http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:EN:PDF, 18 Eylül 2017

[10] European Comission 2050 Low Carbon Economies "Energy Efficiency Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050" – https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2050/docs/roadmap_fact_sheet_en.pdf, 27 Haziran 2016

[11] Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP, (2006), ''Raylı Sistem Teknolojisi'', Ankara

[12] Keskin, D., (2013). Kent İçi Raylı Sistemlerde Elektromekanik Sistemler Yatırım Maliyetleri, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.

[13] Aydın, T., (2013). Hafif Raylı Sistemlerin Elektrik Güç Beslemesinde Güvenilirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] Kara, H., (2016). Enerji Tüketim Bazlı AHP Yöntemi İle Raylı Sistem Güzergah Seçimi Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] Ulusoy, A., (2010). Ulaşımda Raylı Sistemler ve KAYSERAY, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

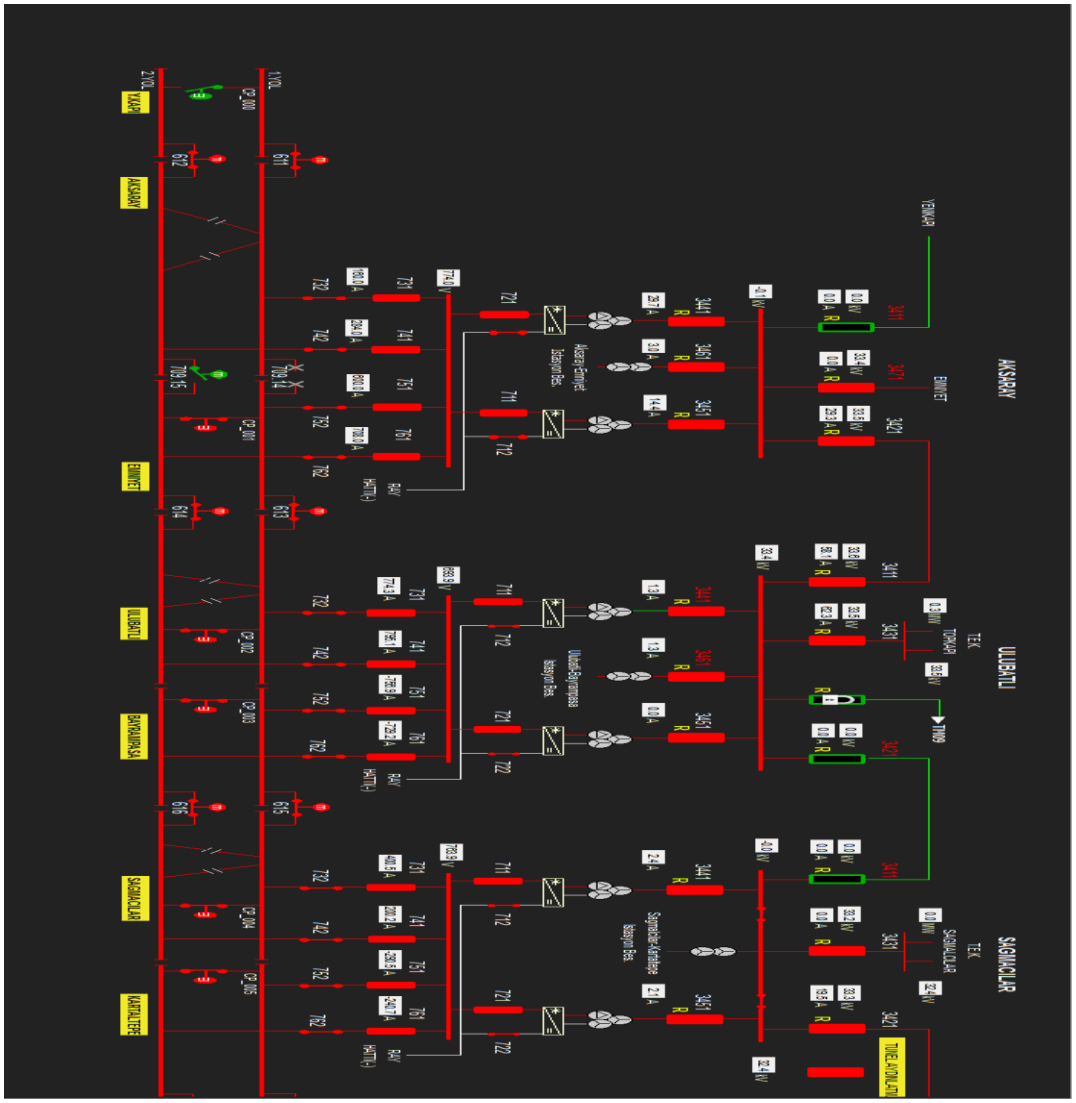
[16] Açıkbaş, S. (2008). Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Kontrolü, Doktara Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

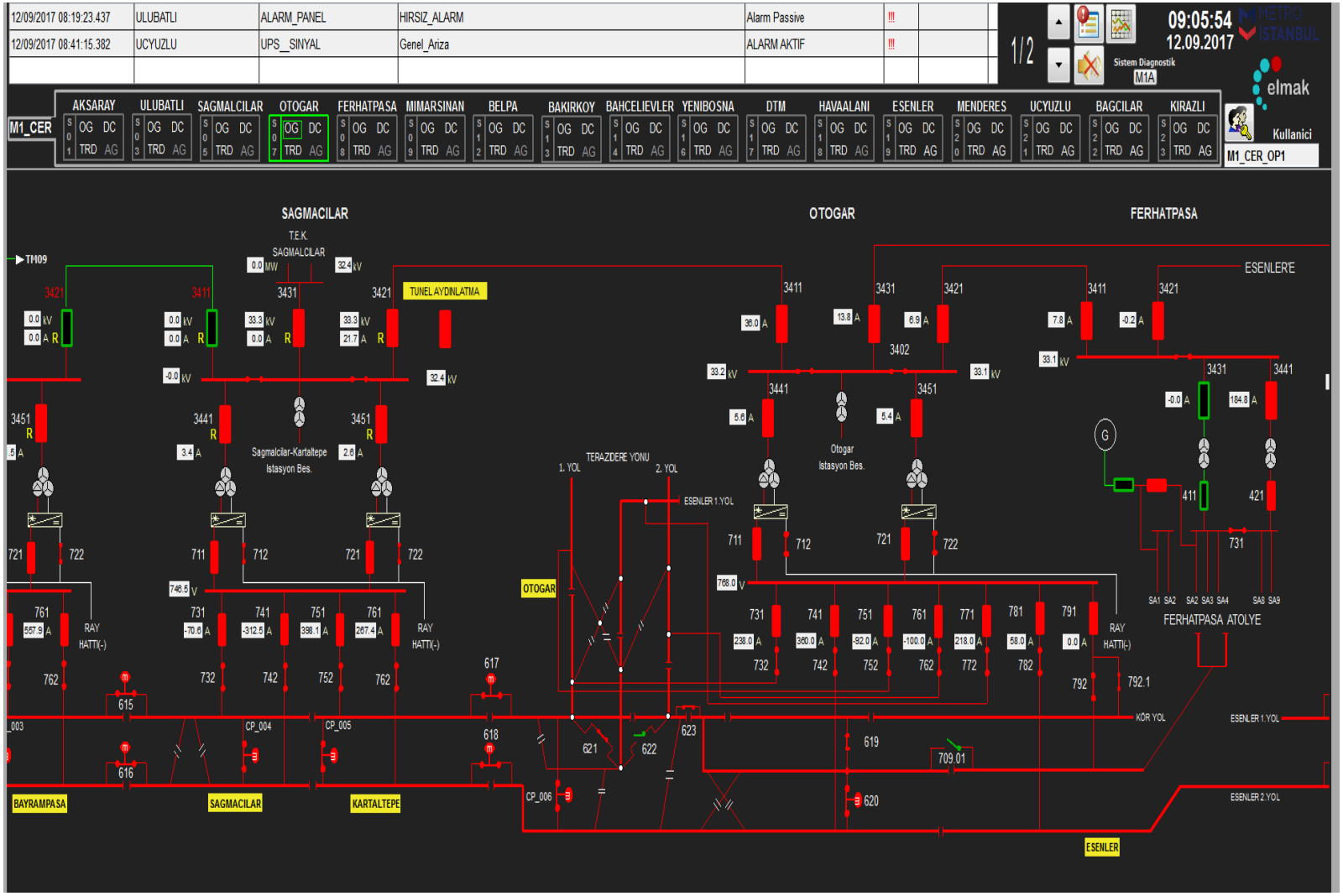
[17] Keskin, İ., (2013). Raylı Sistemlerde Yol Tasarımının Enerji Tüketimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.

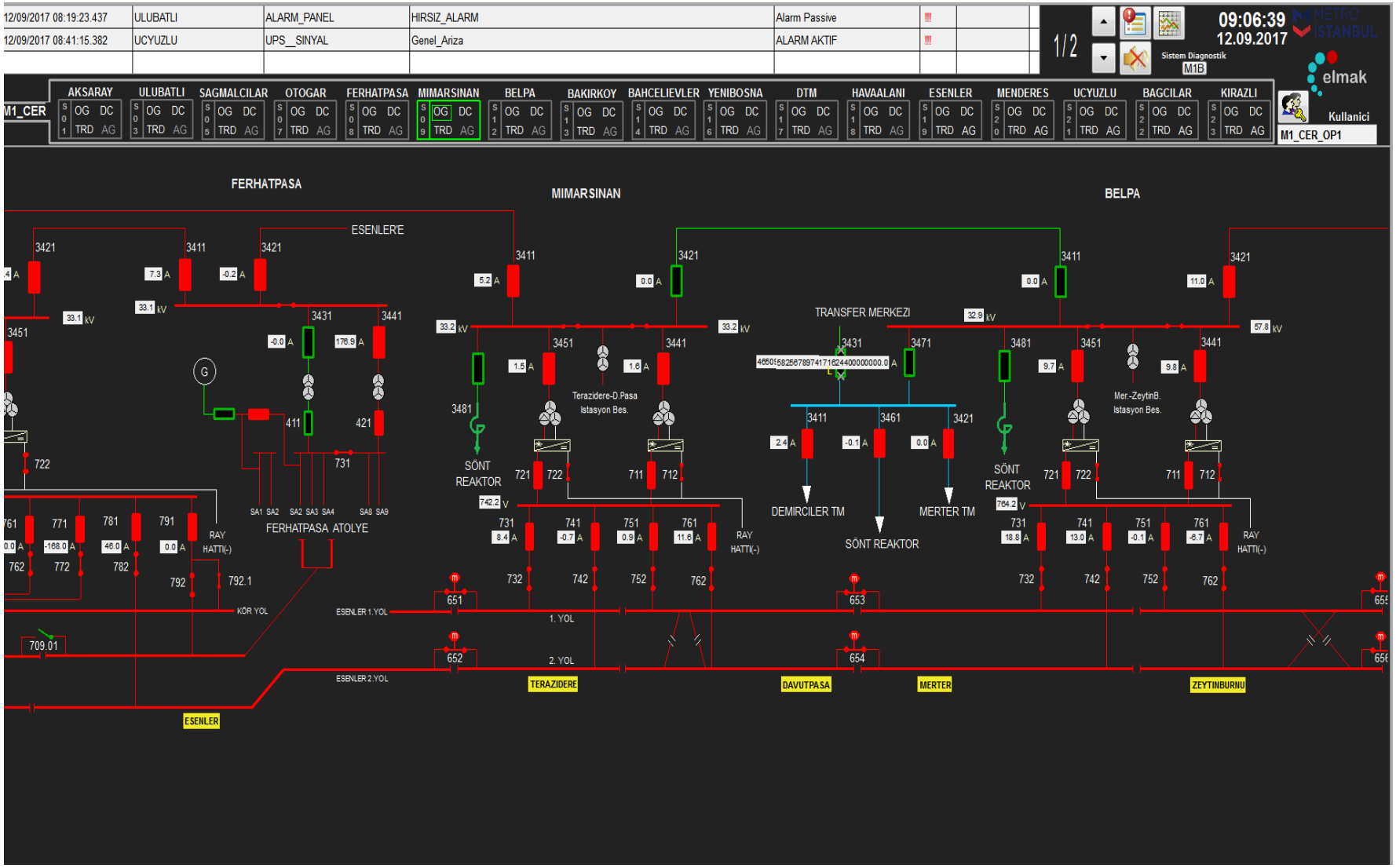
[18] Baran, S. (2008). Şehir İçi Raylı Sistem İşletiminde Rejenaratif Frenleme Enerjisinin Kullanımı Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

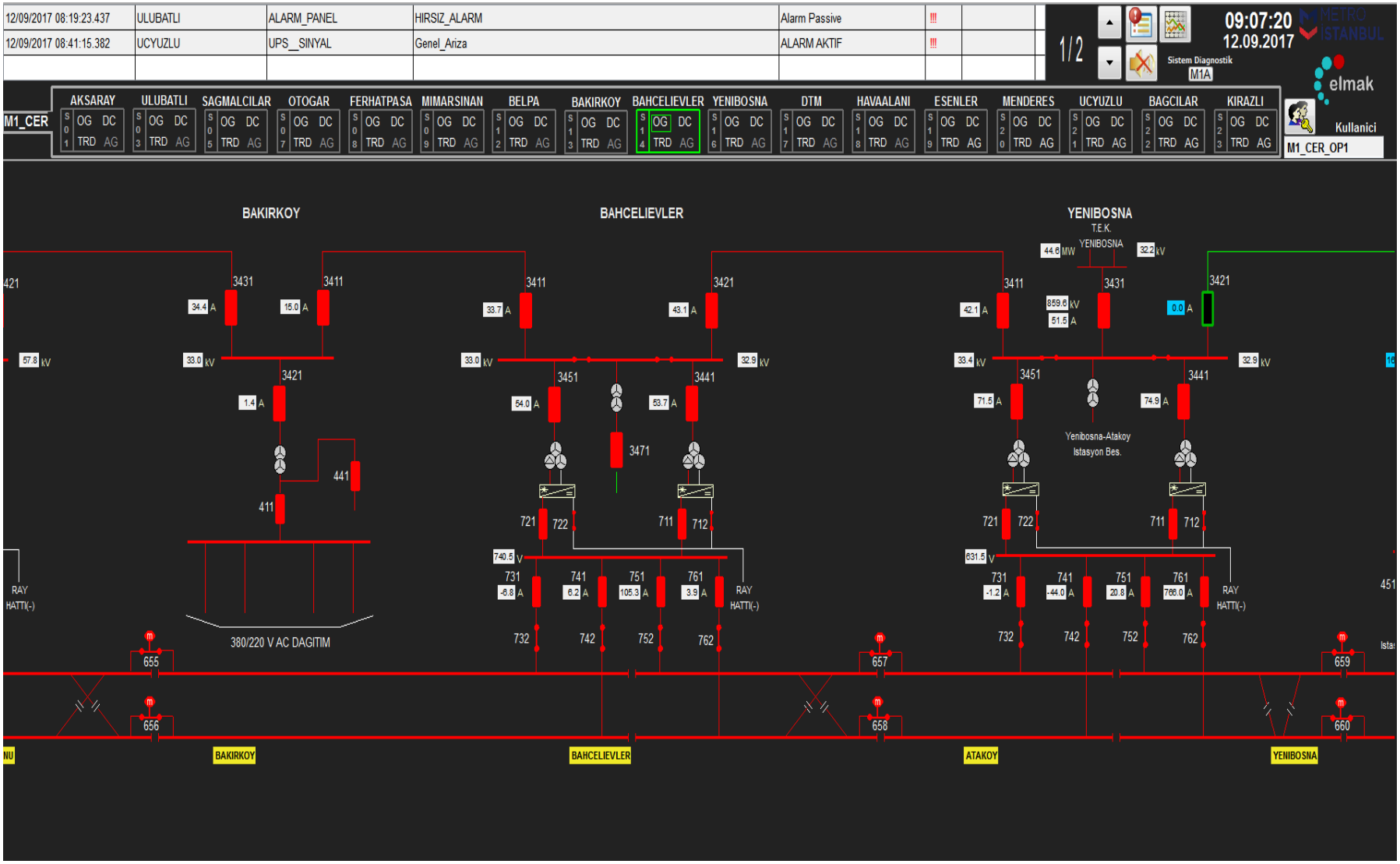
EK-A

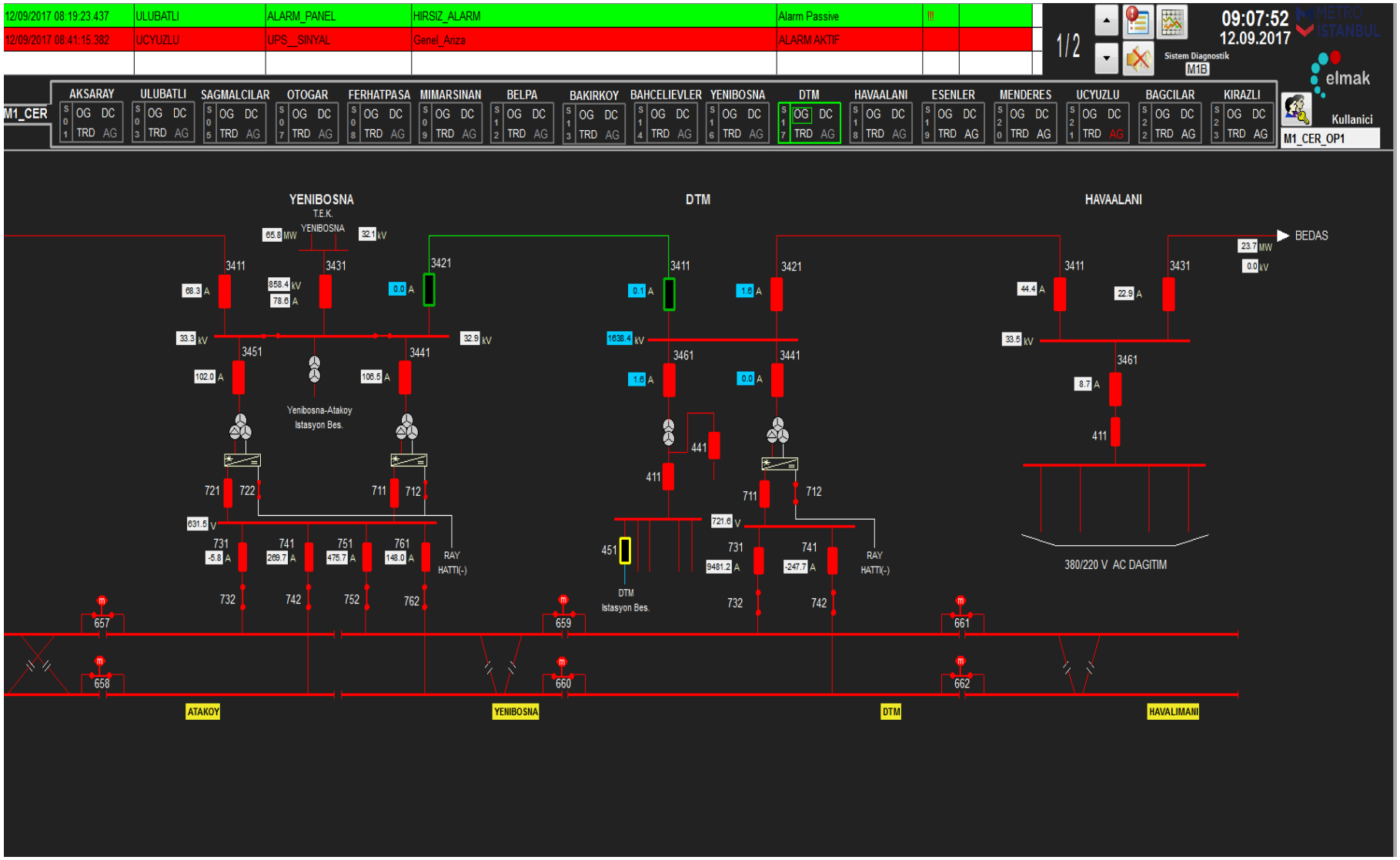
M1A-M1B HATTI ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİ

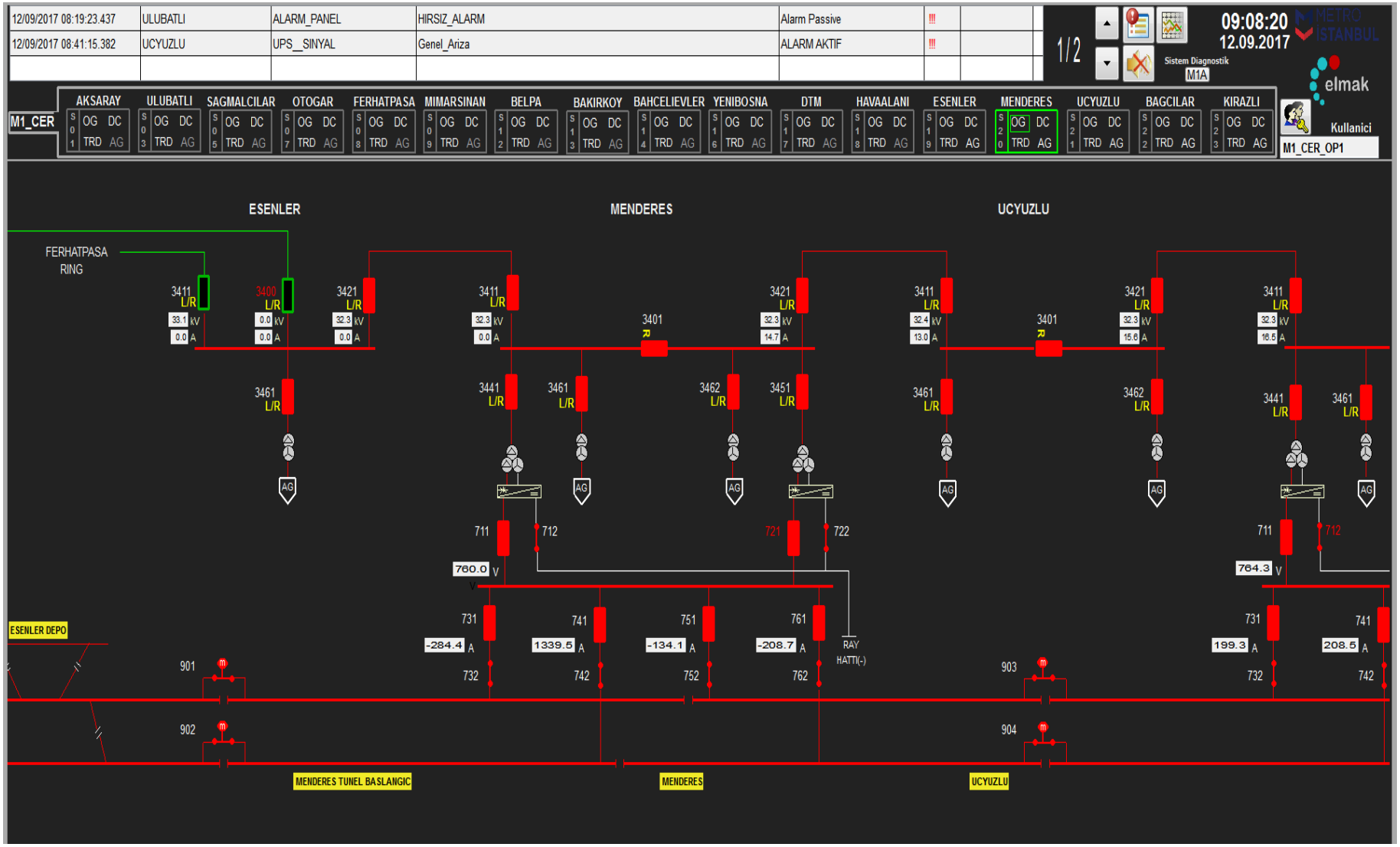


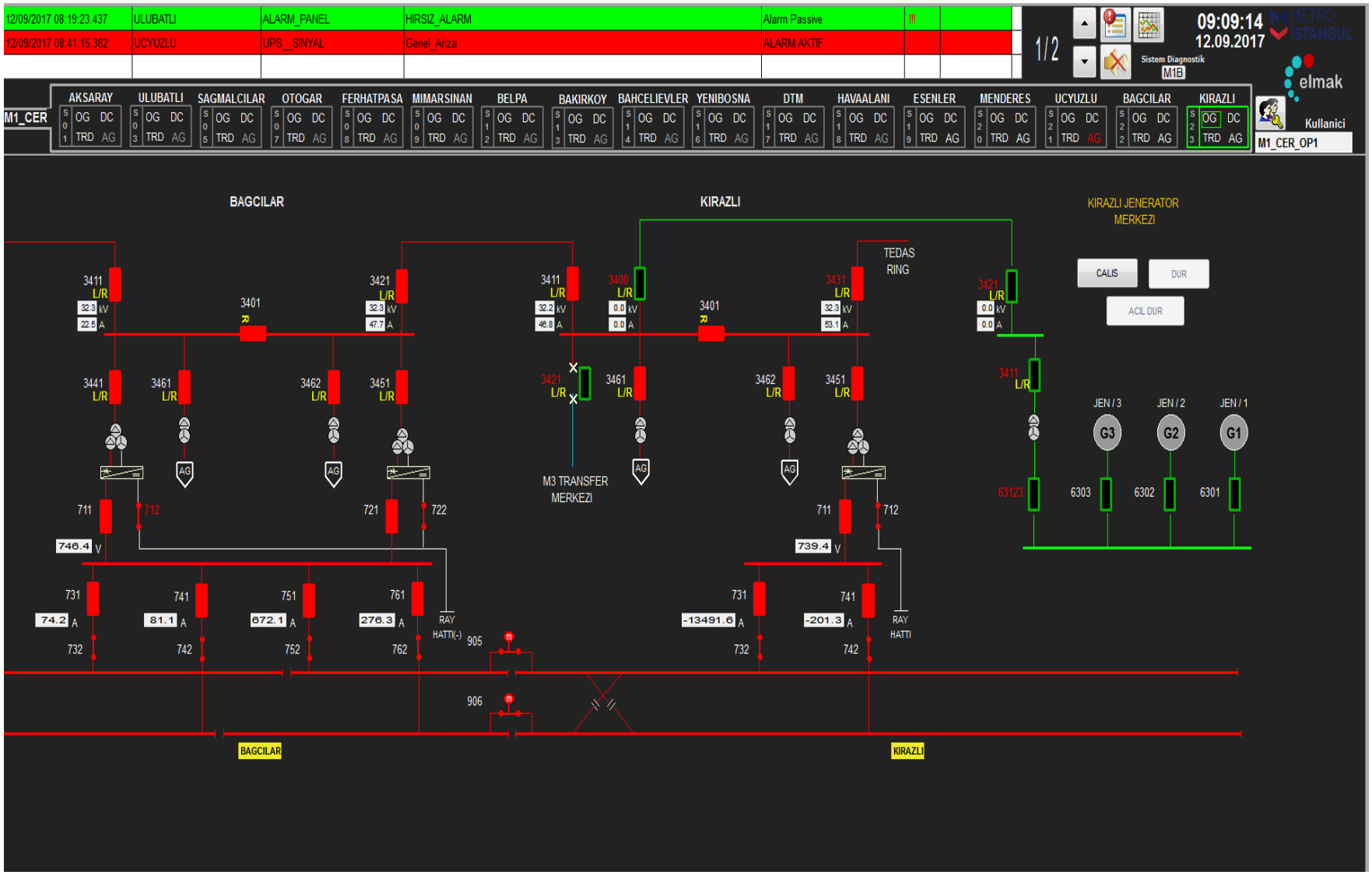

12/09/2017 08:19:23.437 ULUBATLI ALARM_PANEL HIRSIZ_ALARM Alarm Passive !!!
12/09/2017 08:41:15.382 UCYUZLU UPS_SINYAL Genel_Ariza ALARM AKTIF !!!
1/2
09:05:54
12.09.2017
METRO ISTANBUL
Sistem Diagnostik
M1A
elmak
Kullanici
M1_CER_OP1
M1_CER
AKSARAY ULUBATLI SAGMALCILAR OTOGAR FERHATPASA MIMARSINAN BELPA BAKIRKOY BAHCELIEVLER YENIBOSNA DTM HAVAALANI ESENLER MENDERES UCYUZLU BAGCILAR KIRAZLI
OG DC TRD AG
SAGMACILAR
OTOGAR
FERHATPASA
T.E.K.
SAGMALCILAR
TM09
TUNEL AYDINLATMA
Sagmalcilar-Kartaltepe Istasyon Bes.
Otogar Istasyon Bes.
TERAZDERE YONU
1. YOL
2. YOL
ESENLER 1.YOL
ESENLER 2.YOL
ESENLER'E
FERHATPASA ATOLYE
RAY HATTI(-)
KOR YOL
CP_003
CP_004
CP_005
CP_006
BAYRAMPASA
SAGMACILAR
KARTALTEPE
ESENLER


12/09/2017 08:19:23.437 ULUBATLI ALARM_PANEL HIRSIZ_ALARM Alarm Passive !!!
12/09/2017 08:41:15.382 UCYUZLU UPS__SINYAL Genel_Ariza ALARM AKTIF !!!
1/2
09:06:39
12.09.2017
METRO ISTANBUL
Sistem Diagnostik
M1B
elmak
Kullanici
M1_CER_OP1
M1_CER
AKSARAY ULUBATLI SAGMALCILAR OTOGAR FERHATPASA MIMARSINAN BELPA BAKIRKOY BAHCELIEVLER YENIBOSNA DTM HAVAALANI ESENLER MENDERES UCYUZLU BAGCILAR KIRAZLI
OG DC TRD AG
FERHATPASA
MIMARSINAN
BELPA
ESENLER'E
TRANSFER MERKEZI
Terazidere-D.Pasa Istasyon Bes.
Mer.-ZeytinB. Istasyon Bes.
SÖNT REAKTOR
DEMIRCILER TM
MERTER TM
FERHATPASA ATOLYE
RAY HATTI(-)
KÖR YOL
ESENLER 1.YOL
ESENLER 2.YOL
1. YOL
2. YOL
TERAZIDERE
DAVUTPASA
MERTER
ZEYTINBURNU
ESENLER


12/09/2017 08:19:23.437 ULUBATLI ALARM_PANEL HIRSIZ_ALARM Alarm Passive !!!
12/09/2017 08:41:15.382 UCYUZLU UPS__SINYAL Genel_Ariza ALARM AKTIF !!!
1/2
09:07:20
12.09.2017
Sistem Diagnostik
M1A
METRO ISTANBUL
elmak
Kullanici
M1_CER_OP1
M1_CER
AKSARAY ULUBATLI SAGMALCILAR OTOGAR FERHATPASA MIMARSINAN BELPA BAKIRKOY BAHCELIEVLER YENIBOSNA DTM HAVAALANI ESENLER MENDERES UCYUZLU BAGCILAR KIRAZLI
OG DC TRD AG
BAKIRKOY
BAHCELIEVLER
YENIBOSNA
T.E.K.
YENIBOSNA
44.6 MW
32.2 kV
57.8 kV
33.0 kV
32.9 kV
33.4 kV
3411
3431
3421
3451
3441
3471
441
411
34.4 A
15.0 A
1.4 A
33.7 A
43.1 A
54.0 A
53.7 A
42.1 A
859.6 kV
51.5 A
0.0 A
71.5 A
74.9 A
Yenibosna-Atakoy
Istasyon Bes.
721 722 711 712
740.5 V
631.5 V
731 741 751 761
-6.8 A 6.2 A 105.3 A 3.9 A
-1.2 A -44.0 A 20.8 A 766.0 A
732 742 752 762
RAY HATTI(-)
380/220 V AC DAGITIM
655 656 657 658 659 660
NU
BAKIRKOY
BAHCELIEVLER
ATAKOY
YENIBOSNA

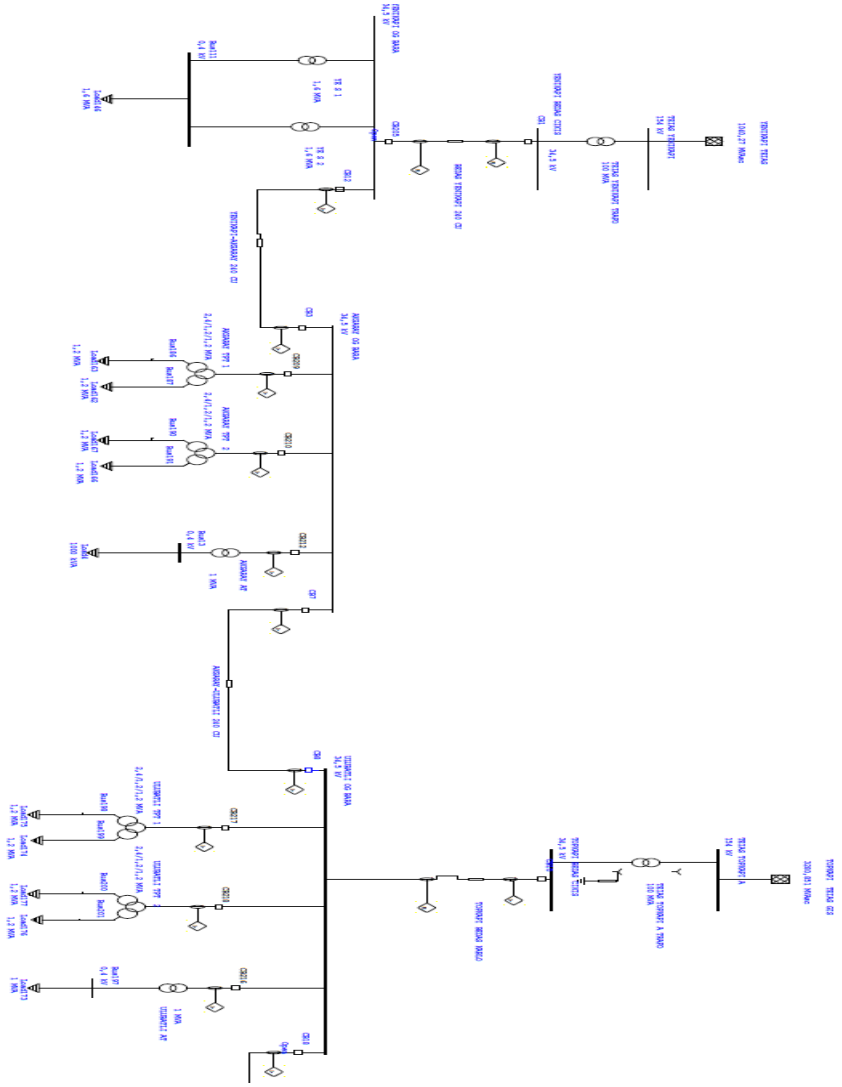

12/09/2017 08:19:23.437 ULUBATLI ALARM_PANEL HIRSIZ_ALARM Alarm Passive
12/09/2017 08:41:15.382 UCYUZLU UPS__SINYAL Genel_Ariza ALARM AKTIF
1/2
09:07:52
12.09.2017
Sistem Diagnostik
M1B
METRO ISTANBUL
elmak
Kullanici
M1_CER_OP1
M1_CER
AKSARAY ULUBATLI SAGMALCILAR OTOGAR FERHATPASA MIMARSINAN BELPA BAKIRKOY BAHCELIEVLER YENIBOSNA DTM HAVAALANI ESENLER MENDERES UCYUZLU BAGCILAR KIRAZLI
OG DC TRD AG
YENIBOSNA
T.E.K.
65.6 MW
32.1 kV
3411
3431
3421
68.3 A
858.4 kV
78.6 A
0.0 A
33.3 kV
32.9 kV
3451
3441
102.0 A
106.5 A
Yenibosna-Atakoy
Istasyon Bes.
721
722
711
712
631.5 V
731
-5.8 A
741
269.7 A
751
475.7 A
761
148.0 A
RAY
HATTI(-)
732
742
752
762
657
658
659
660
661
662
ATAKOY
YENIBOSNA
DTM
HAVALIMANI
DTM
0.1 A
1.6 A
1638.4 kV
3461
3441
1.6 A
0.0 A
441
411
451
DTM
Istasyon Bes.
721.6 V
731
9481.2 A
741
-247.7 A
RAY
HATTI(-)
732
742
HAVAALANI
BEDAS
23.7 MW
0.0 kV
3411
3431
44.4 A
22.9 A
33.5 kV
3461
8.7 A
411
380/220 V AC DAGITIM

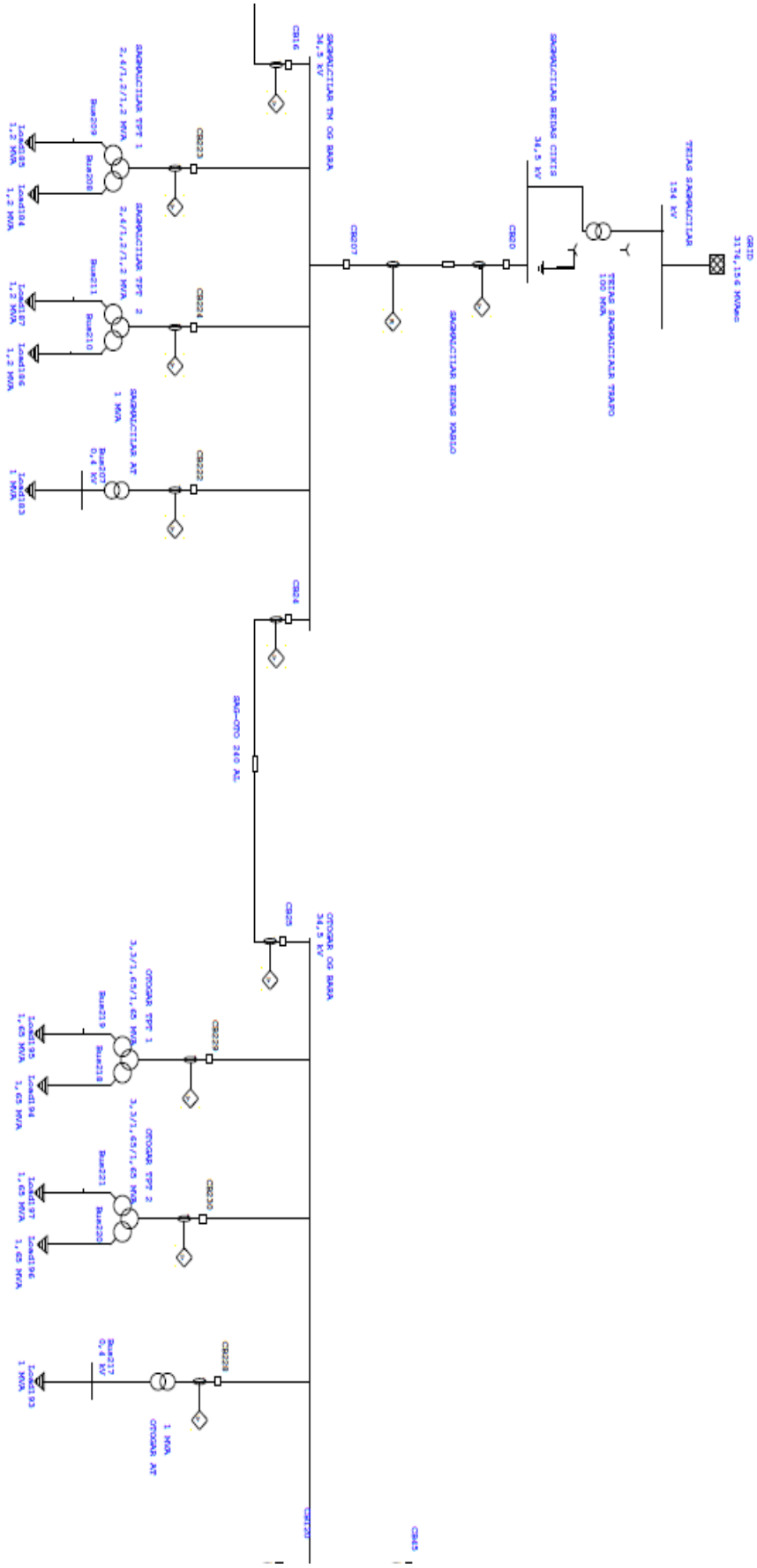

12/09/2017 08:19:23.437 ULUBATLI ALARM_PANEL HIRSIZ_ALARM Alarm Passive !!!
12/09/2017 08:41:15.382 UCYUZLU UPS__SINYAL Genel_Ariza ALARM AKTIF !!!
1/2
09:08:20
12.09.2017
METRO ISTANBUL
Sistem Diagnostik
M1A
elmak
Kullanici
M1_CER_OP1
M1_CER
AKSARAY ULUBATLI SAGMALCILAR OTOGAR FERHATPASA MIMARSINAN BELPA BAKIRKOY BAHCELIEVLER YENIBOSNA DTM HAVAALANI ESENLER MENDERES UCYUZLU BAGCILAR KIRAZLI
OG DC TRD AG
ESENLER
MENDERES
UCYUZLU
FERHATPASA RING
3411 L/R
3400 L/R
3421 L/R
3401
3461 L/R
3441 L/R
3462 L/R
3451 L/R
AG
711
712
721
722
760.0 V
764.3 V
731
741
751
761
-284.4 A
1339.5 A
-134.1 A
-208.7 A
199.3 A
208.5 A
732
742
752
762
RAY HATTI(-)
ESENLER DEPO
901
902
903
904
MENDERES TUNEL BASLANGIC
MENDERES
UCYUZLU

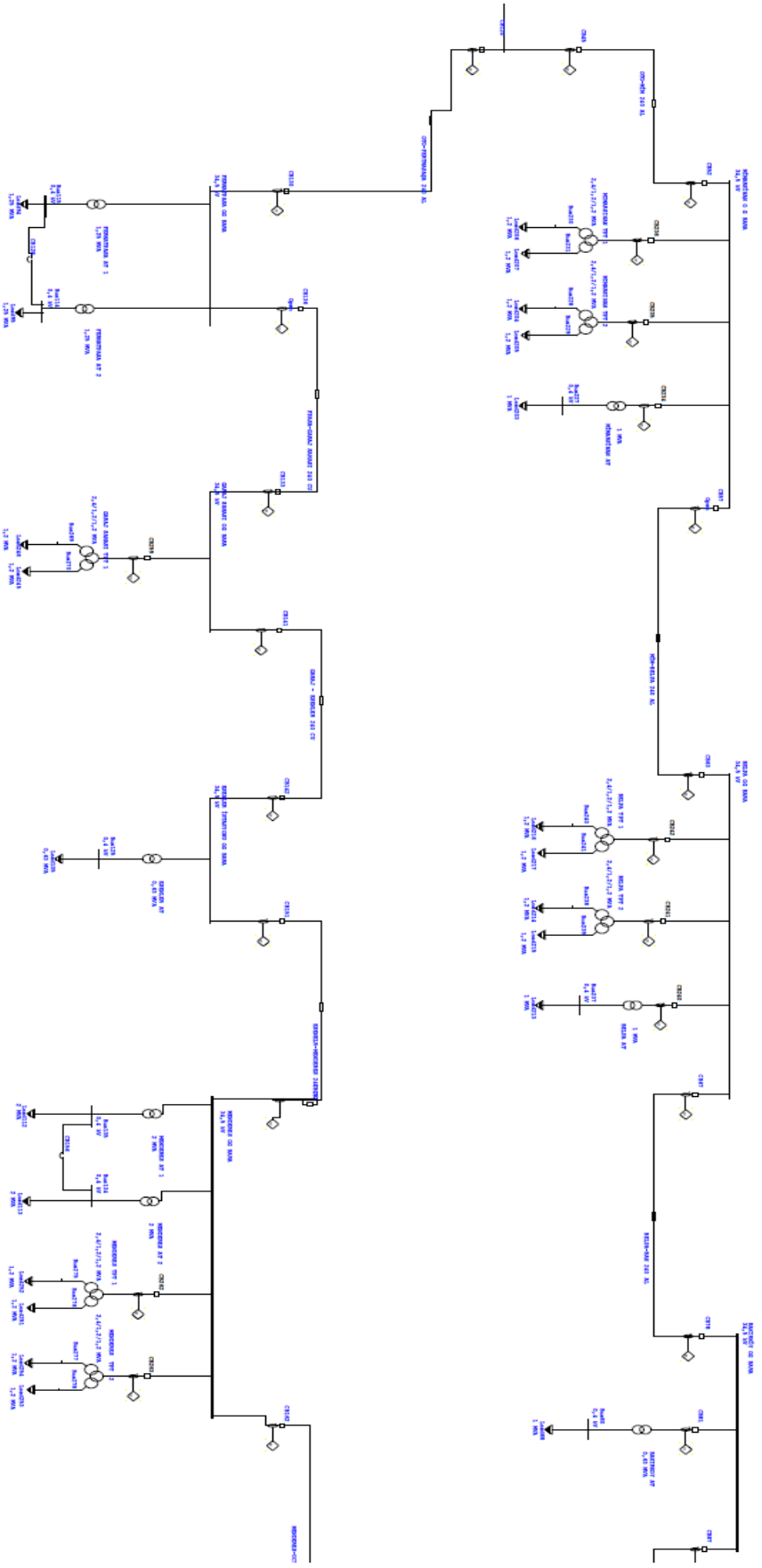

12/09/2017 08:19:23.437 ULUBATLI ALARM_PANEL HIRSIZ_ALARM Alarm Passive III
12/09/2017 08:41:15.382 UCYUZLU UPS__SINYAL Genel_Ariza ALARM AKTIF
1/2
09:09:14
12.09.2017
METRO ISTANBUL
Sistem Diagnostik
M1B
elmak
Kullanici
M1_CER_OP1
M1_CER
AKSARAY ULUBATLI SAGMALCILAR OTOGAR FERHATPASA MIMARSINAN BELPA BAKIRKOY BAHCELIEVLER YENIBOSNA DTM HAVAALANI ESENLER MENDERES UCYUZLU BAGCILAR KIRAZLI
OG DC TRD AG
BAGCILAR
KIRAZLI
KIRAZLI JENERATOR MERKEZI
TEDAS RING
CALIS
DUR
ACIL DUR
3411 L/R 32.3 kV 22.5 A
3401
3421 L/R 32.3 kV 47.7 A
3441 L/R
3461 L/R
3462 L/R
3451 L/R
3411 L/R 32.2 kV 46.8 A
3400 L/R 0.0 kV 0.0 A
3421 L/R
3461 L/R
M3 TRANSFER MERKEZI
3401
3431 L/R 32.3 kV 53.1 A
3462 L/R
3451 L/R
3421 L/R 0.0 kV 0.0 A
3411 L/R
63123
JEN / 3
JEN / 2
JEN / 1
G3
G2
G1
6303
6302
6301
711
712
721
722
746.4 V
731 74.2 A 732
741 81.1 A 742
751 672.1 A 752
761 276.3 A 762
RAY HATTI(-)
905
906
711
712
739.4 V
731 -13491.6 A 732
741 -201.3 A 742
RAY HATTI
BAGCILAR
KIRAZLI

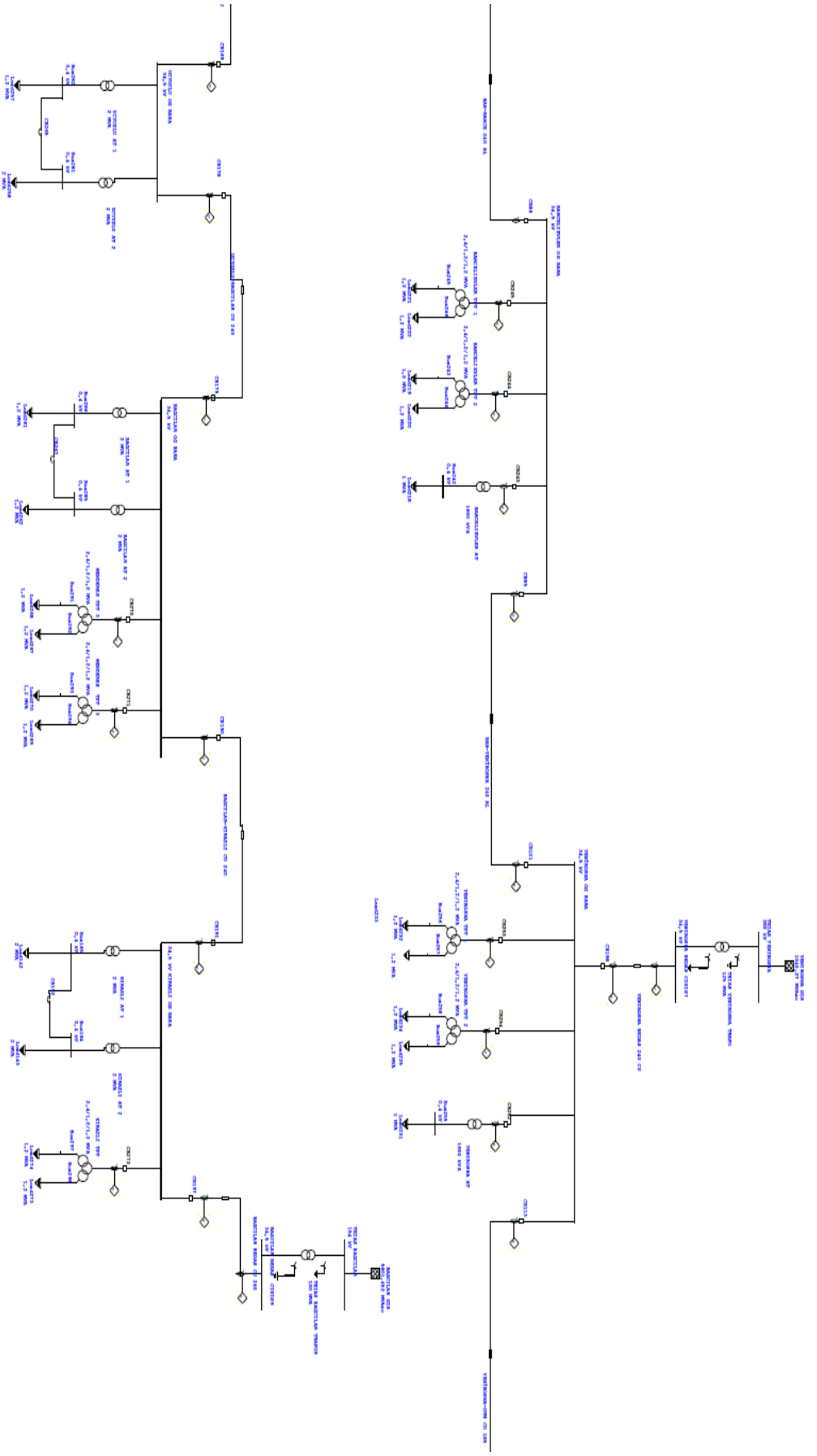
EK-B

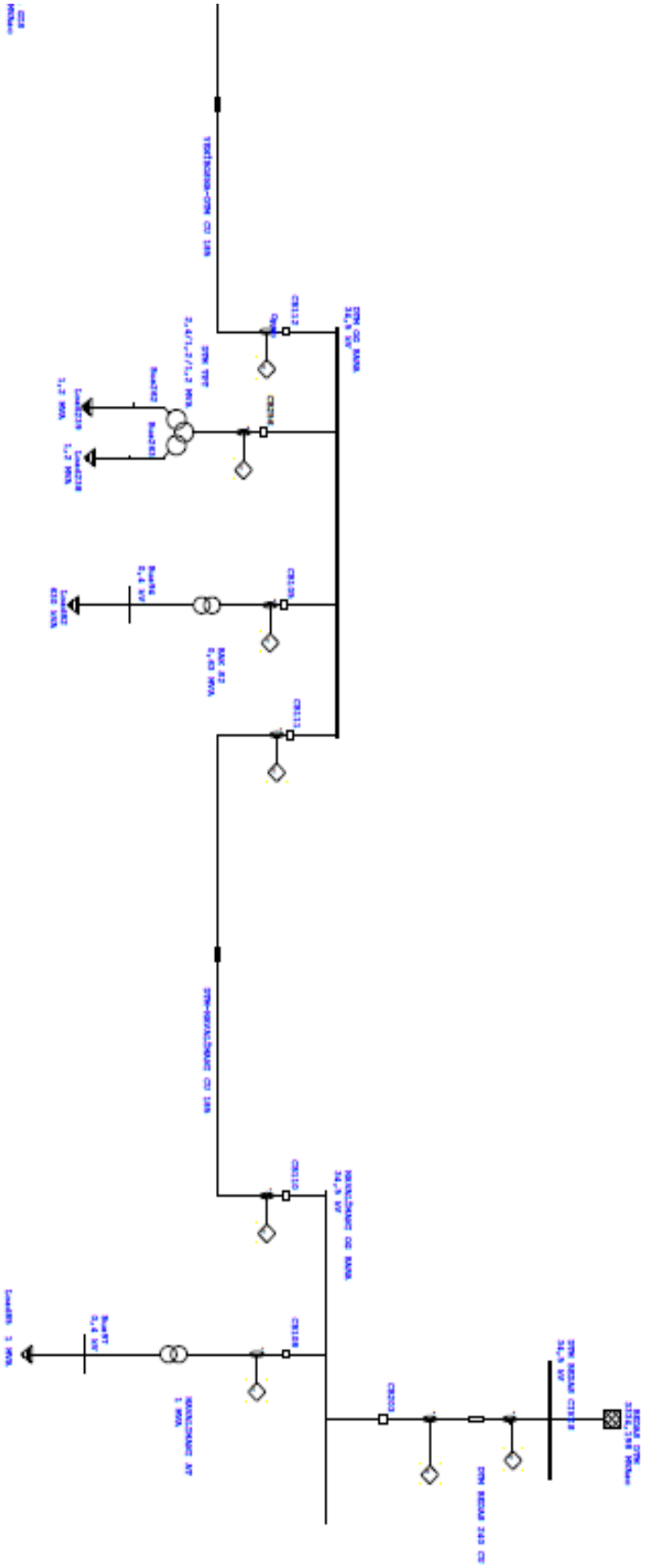
M1A-M1B HATTI ETAP MODELİ

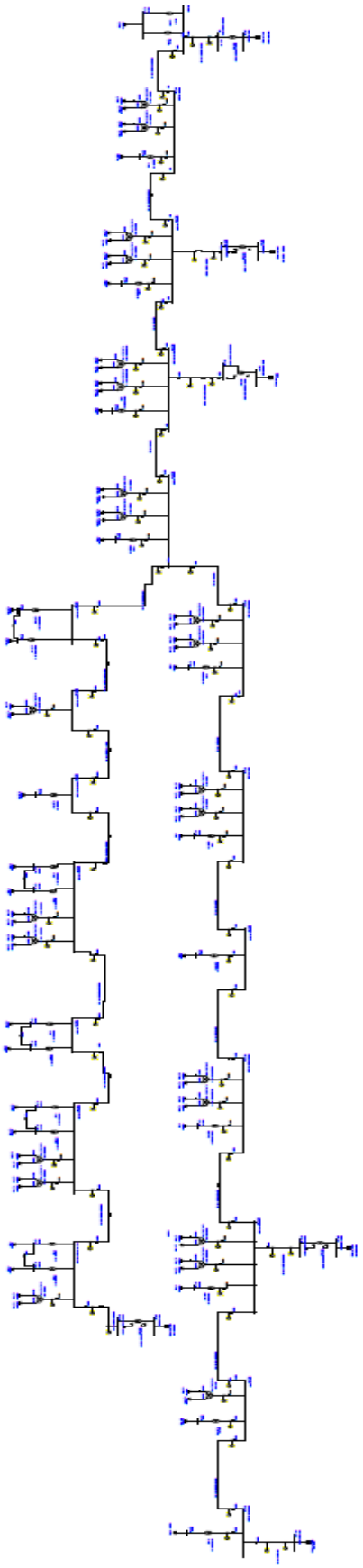



SAGRAJCIJAR TM OG BASA
34,5 kV
CB16
SAGRAJCIJAR TPT 1
2,4/1,2/1,2 MVA
Bus209
Bus208
Load185
1,2 MVA
Load184
1,2 MVA
CB223
SAGRAJCIJAR TPT 2
2,4/1,2/1,2 MVA
Bus211
Bus210
Load187
1,2 MVA
Load186
1,2 MVA
CB224
SAGRAJCIJAR AT
1 MVA
Bus207
0,4 kV
Load183
1 MVA
CB222
CB24
SAG-OTO 240 AL
CB25
OTOGAR OG BASA
34,5 kV
OTOGAR TPT 1
3,3/1,65/1,65 MVA
Bus219
Bus218
Load195
1,65 MVA
Load194
1,65 MVA
CB229
OTOGAR TPT 2
3,3/1,65/1,65 MVA
Bus221
Bus220
Load197
1,65 MVA
Load196
1,65 MVA
CB230
Bus217
0,4 kV
Load193
1 MVA
CB228
1 MVA
OTOGAR AT
CB107
CB210
SAGRAJCIJAR BEDAS KABLO
SAGRAJCIJAR BEDAS CIKIS
34,5 kV
TEIAS SAGRAJCIJAR TRAFO
100 MVA
TEIAS SAGRAJCIJAR
154 kV
GRID
3174,154 MVAsc









ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Furkan KARAKUŞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 01.07.1990

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : furkankarakus@yandex.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Çınar Koleji	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-	Metro İstanbul AŞ	Elektrik Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrifikasyon Sisteminin Modellenmesi Ve Besleme Senaryolarının Belirlenmesi – 1. Ulusal Elektrik Enerjisi Dönüşümü Kongresi

Doç. Dr. Recep Yumurtacı, Elk. Müh. Furkan Karakuş

Proje

1. Yerli Hareketli Katener Sistemi Kurulumu- Metro İstanbul AŞ 2014

Ödül

1. Araç Üstü Sabit HD Kamera İle Katener Hat Kontrolü- Metro İstanbul AŞ 2015