



**İSTANBUL METROSU M3-M9 HATLARI
SİNYALİZASYON SİSTEMİ TASARIMI VE
NESNE KONTROL SİMÜLASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

Oktay VURAL

Eskişehir 2025

İSTANBUL METROSU M3-M9 HATLARI SİNYALİZASYON SİSTEMİ
TASARIMI VE NESNE KONTROL SİMÜLASYONU

Oktay VURAL

Yüksek Lisans Tezi

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk YILMAZ

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet FİDAN)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2025

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Oktay VURAL'ın İSTANBUL METROSU M3-M9 HATLARI SİNYALİZASYON SİSTEMİ TASARIMI VE NESNE KONTROL SİMÜLASYONU başlıklı tezi 17/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Üye

Üye

Üye

Unvan Adı Soyadı

[Dr. Öğr. Üyesi Haluk YILMAZ]

[Doç. Dr. Fatih Hayati ÇAKIR]

[Dr. Öğr. Üyesi Fatih BOZKURT]

İmza

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans đrencisi Oktay VURAL, İSTANBUL METROSU M3-M9 HATLARI SİNYALİZASYON SİSTEMİ TASARIMI VE NESNE KONTROL SİMÜLASYONU başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı
Dr. Öğr. Üyesi Haluk YILMAZ

ÖZET

İSTANBUL METROSU M3-M9 HATLARI SİNYALİZASYON SİSTEMİ TASARIMI VE NESNE KONTROL SİMÜLASYONU

Oktay VURAL

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Raylı Sistemler Mühendisliği Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk YILMAZ

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet FİDAN)

Raylı sistemlerin kent içi taşımacılık kollarından biri olan metro sistemlerinin önemi günden güne artmaktadır. Metro sistemlerinin olmazsa olmazı sinyalizasyon sistemleridir. Sinyalizasyon sistemleri raylı araç trafiğini yöneterek güvenli yolcu işletmesi yapmaya olanak sağlar. Ülkemizin nüfus yoğunluğu en fazla olan İstanbul ili için metro sistemleri hayati önem taşımaktadır. Her geçen gün artan yolcu talebine cevap vermek ve de ayrıca trafik sıkışıklığını gidermek için yeni raylı sistem projeleri gündeme gelmektedir. Bu çalışmada İstanbul Metrosu M3-M9 metro hatlarında uygulanan City flo 350 sinyalizasyon sistemi tüm yönleriyle anlatılacak ardından Python programı ile oluşturulan simülasyon programı ile M9 hattındaki Atatürk Mahallesi-Mimar Sinan istasyonları arası hat kesimi simülasyon programında uygulanıp rota tanzim etme uygulama örnekleri gösterilecektir. Ayrıca anlaşılan algoritmasını oluştururken her nesnenin konfigürasyon işlemlerinin nasıl yapıldığına değinilecektir.

Anahtar Sözcükler: Kent içi taşımacılık, Sinyalizasyon sistemi, City flo 350, M3-M9 hatları, Python.

ABSTRACT

ISTANBUL METRO M3-M9 LINES SIGNALING SYSTEM DESIGN AND OBJECT CONTROL SIMULATION

Oktay VURAL

Department of Railway Systems Engineering

Programme in Railway Systems Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2025

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Haluk YILMAZ

(Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet FİDAN)

The importance of metro systems, which are one of the urban transportation branches of rail systems, is increasing day by day. Signaling systems are indispensable for metro systems. Signaling systems allow for safe passenger operation by managing rail vehicle traffic. The metro systems are of vital importance for Istanbul, which has the highest population density in our country. New rail system projects are on the agenda to meet the increasing passenger demand and to relieve traffic congestion. In this study, the City flo 350 signaling system applied on the Istanbul Metro M3-M9 metro lines will be explained in all its aspects, then the simulation program created with the Python program will be applied to the line section simulation program between Atatürk Mahallesi-Mimar Sinan stations on the M9 line and route arrangement application examples will be shown. In addition, it will be mentioned how the configuration processes of each object are done while creating the interlocking algorithm.

Keywords: Urban transportation, Signalization system, City flo 350, M3-M9 lines, Python.

TEŞEKKÜR

Öncelikle John MARSHALL’a DCC Model Railway Signalling programını tezimde kullanmama izin verdiği ve tezimi oluştururken karşılaştığım sorunlarda yardımları için teşekkürlerimi sunarım. Danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Haluk YILMAZ’a, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet FİDAN’a, M3-M9 uzatma hatlarında çalıştığım süre boyunca desteklerini benden esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Oktay VURAL



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Oktay VURAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	II
DANIŞMAN ONAYI.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İhtiyaçların Belirlenmesi ve Gereksinim Toplama.....	1
1.2. Sistem Tasarımı ve Planlama	1
1.3. Teknoloji Seçimi	2
1.4. Simülasyon ve Test	2
1.5. Uygulama ve Entegrasyon	2
1.6. Devreye Alma ve Eğitim.....	2
1.7. Bakım ve Güncellemeler	2
2. HATLARA AİT GENEL BİLGİLER	3
2.1 M3 Bakırköy-Kayaşehir Hattı.....	3
2.2 M9 Ataköy-Olimpiyat Hattı	3
3. CİTYFLO 350	5
3.1 Hat Boyu Ekipmanları	6
3.1.1. Ray devreleri	6
3.1.2. Sinyaller	9

3.1.3. Balizler	10
3.1.4. Makaslar	11
3.1.5. Peron acil durdurma butonları.....	13
3.1.6. Tren hatboyu iletişimi (TWC) erişim noktaları (access points)	14
3.2 Sinyal Odaları	15
3.2.1 TC kabinet	16
3.2.2 Nesne kontrol kabinetleri	17
3.2.3 Anlaşman bilgisayarları	18
3.2.4 Lokal iş istasyonları	20
3.2.5 Besleme panoları ve UPS'ler	20
3.2.6 Fiber optik bağlantı kabinetleri.....	21
4. ARAÇÜSTÜ SİNYALİZASYON SİSTEMİ.....	22
5. CTC (KUMANDA MERKEZİ)	25
6. SIL (GÜVENLİK BÜTÜNLÜK SEVİYESİ).....	26
7. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	28
8. NESNE KONTROL SİMÜLASYONU	30
8.1. Hat Kesiminin Oluşturulması.....	30
8.2. Rotalar	36
8.2.1 Atatürk Mahallesi peron 2'den Mimar Sinan peron 2'ye normal işletme.....	36
8.2.2 Mimar Sinan peron 2 den Atatürk Mahallesi peron 2'ye işletmenin tersi yönü.....	38
8.2.3 Mimar Sinan peron 1'den Atatürk Mahallesi peron 1'e işletme yönü	39
8.2.4 Atatürk mahallesi peron 1'den Mimar Sinan peron 1'e işletmenin tersi yönü.....	41
8.2.5 Mimar Sinan peron 2- 15 Temmuz peron 1- Halkalı istasyonu peron 1- Geceleme Bölgesi 21 numaralı ray devresi rotası	42
8.2.6 Mimar Sinan peron 1- 15 Temmuz peron 2 -Halkalı peron 2- Geceleme Bölgesi 22 numaralı ray devresi rotası	43

8.2.7 Geceleme Bölgesinden Halkalı peron 2 bölgesine rota	44
8.2.8 Geceleme Bölgesinden Halkalı peron bir bölgesine rota	46
8.2.9 Atatürk Mahallesi peron 1'den Halkalı peron 2 bölgesine rota.....	47
8.3. Anlaşman Konfigürasyonu	49
8.3.1. Sinyallerin konfigürasyonu	49
8.3.1.1. Hat 2 sinyalleri konfigürasyonu	49
8.3.1.2. Hat 1 sinyalleri konfigürasyonu	51
8.3.1.3. Geceleme hattı sinyali konfigürasyonu	54
8.3.2. Track Section (hat bölümü) konfigürasyonu	54
8.3.2.1 Hat 2 Track Section (hat bölümü) konfigürasyonu.....	54
8.3.2.2 Hat 1 track section (hat bölümü) konfigürasyonu.....	57
8.3.2.3 Geceleme bölgesi track section (hat bölümü) konfigürasyonu	58
8.3.3. Track sensor (hat sensörü) konfigürasyonu	59
8.3.3.1. Hat 2 track sensor (hat sensörü) konfigürasyonu	59
8.3.3.2. Hat 1 track sensor (hat sensörü) konfigürasyonu	60
8.3.4. Makasların konfigürasyonu	61
9. SONUÇ	64
KAYNAKÇA	65
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Otomasyon dereceleri [12].....	5
Tablo 6.1. Kontrol-komuta ve sinyalizasyon için zorunlu standartlar [21]	26
Tablo 6.2. SIL tablosu (European Commission, 2012) [21]	27
Tablo 6.3. THR ve SIL ilişkisi [21]	27
Tablo 8.1. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	36
Tablo 8.2. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	38
Tablo 8.3. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	39
Tablo 8.4. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	41
Tablo 8.5. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	42
Tablo 8.6. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	43
Tablo 8.7. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	45
Tablo 8.8. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	46
Tablo 8.9. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. M3 istasyonları [10]	3
Şekil 2.2. M9 istasyonları [11]	3
Şekil 3.1. Sistem şeması [13].....	6
Şekil 3.2. Basit bir ses frekanslı ray devresi örneği [14].....	7
Şekil 3.3. Ray devresinin tipik bir gösterimi [13]	7
Şekil 3.4. Makas bölgesi haricinde montajı yapılmış bir ray devresi.....	8
Şekil 3.5. Sol:CU, empedans bond, izole cebire, loop kablosu sağ: izole cebire ve atlama kabloları.....	8
Şekil 3.6. Sol: Kırmızı üstü beyaz (ATP rotası) sağ: kırmızı sinyal (dur)	10
Şekil 3.7. Sol: yeşil sinyal görünümü sağ: buffer stop öncesi tekli kırmızı sinyal.....	10
Şekil 3.8. Hat üzerinde baliz ve baliz anteni etkileşimi [13].....	11
Şekil 3.9. Sol: Bombardier makas motoru sağ: Volstalpine makas motoru	12
Şekil 3.10. Basit makas sinyalizasyon uygulaması [16].....	13
Şekil 3.11. Atatürk Mahallesi-Mimar Sinan hat kesimi makasları.....	13
Şekil 3.12. Peron acil durdurma butonu sol: M9, sağ: m3	14
Şekil 3.13. İstasyonlarda TWC yerleşimi	14
Şekil 3.14. Hat boyu TWC (TAP)	15
Şekil 3.15. Tren hat boyu iletişimi haberleşmesi.....	15
Şekil 3.16. Ray devresi kabineti; solda reciver sağda transmitter ünitesi	16
Şekil 3.17. TC cabinet	17
Şekil 3.18. Sol: elektronik kart üniteleri orta: westermo switchler sağ: oc kabinet güç ünitesi	17
Şekil 3.19. Eblok şeması [13]	18
Şekil 3.20. Anlaşman haberleşmesi	19
Şekil 3.21. Sol: anlaşman kabin ön görünüm sağ: anlaşman kabin arka görünüm	19
Şekil 3.22. Lokal iş istasyonu	20
Şekil 3.23. Sol: M3 hattı UPS ve akü kabinler orta: M9 Akü kabinleri sağ: M9 UPS kabinleri	21
Şekil 3.24. Besleme panosu:filtrelenen enerji bu panadon kabinetlere gider.....	21
Şekil 3.25. ODF kabinet	21
Şekil 4.1. Araçüstü ekipman sistem mimarisi [13].....	22

Şekil 5.1. M3-M9 ATS ekranı olimpiyat CTC	25
Şekil 8.1. Araçlar soldan sağa: çizgi, sinyal lambası, makas motoru, rota, hat bölümü, hat sensörü	31
Şekil 8.2. Çizgi sekmesi	31
Şekil 8.3. Nominal yön hat 1 ve buffer stop geceleme	31
Şekil 8.4. Sinyal lambası sekmesi	32
Şekil 8.5. Makas 1 sola makas 2 sağa makaslardır.....	32
Şekil 8.6. Sol:Halkalı makas sağ:15 Temmuz makas.....	32
Şekil 8.7. Basit makasların birbiri ile ilişkilendirilmesi	33
Şekil 8.8. Kruvazman makasların birbiri ile ilişkilendirilmesi.....	33
Şekil 8.9. Makasların birbiri ile ilişkilendirilmesinden sonraki durumu	33
Şekil 8.10. Ray devreleri track sectionlar	34
Şekil 8.11. Hat Sensörü sekmesi	34
Şekil 8.12. Hat Sensörü sekmesi	35
Şekil 8.13. Hat kesiminin run modunda görünümü.....	36
Şekil 8.14. A.M2-M.S2-N	37
Şekil 8.15. A.M2-M.S2-N gereken konfigürasyon	37
Şekil 8.16. M.S2-A.M2-R	38
Şekil 8.17. M.S2-A.M2-R gereken konfigürasyon.....	39
Şekil 8.18. M.S1-A.M1-N	40
Şekil 8.19. M.S1-A.M1-N gereken konfigürasyon	40
Şekil 8.20. A.M1-M.S1-R işletmenin tersi yönü.....	41
Şekil 8.21. A.M1-M.S1-R işletmenin tersi yönü gereken konfigürasyon	41
Şekil 8.22. M.S2-15T1-HAL1-ST21 rotası	42
Şekil 8.23. M.S2-15T1-HAL1-ST21 rotası gereken konfigürasyon	43
Şekil 8.24. M.S1-15T2-HAL2-ST22 rotası	44
Şekil 8.25. M.S1-15T2-HAL2-ST22 rotası gereken konfigürasyon	44
Şekil 8.26. Geceleme-HAL2 rotası.....	45
Şekil 8.27. Geceleme-HAL2 rotası gereken konfigürasyon.....	45
Şekil 8.28. Geceleme-HAL1 rotası.....	46
Şekil 8.29. Geceleme-HAL1 rotası gereken konfigürasyon.....	47
Şekil 8.30. A.M1-HAL2 rotası	48
Şekil 8.31. A.M1-HAL2 rotası gereken konfigürasyon	48

Şekil 8.32. Sinyal 1 anlaşıman konfigürasyonu.....	49
Şekil 8.33. Sinyal 3 anlaşıman konfigürasyonu.....	49
Şekil 8.34. Sinyal 5 anlaşıman konfigürasyonu.....	50
Şekil 8.35. Sinyal 9 anlaşıman konfigürasyonu.....	50
Şekil 8.36. Sinyal 11 anlaşıman konfigürasyonu.....	51
Şekil 8.37. Sinyal 14 anlaşıman konfigürasyonu.....	51
Şekil 8.38. Sinyal 4 anlaşıman konfigürasyonu.....	52
Şekil 8.39. Sinyal 6 anlaşıman konfigürasyonu.....	52
Şekil 8.40. Sinyal 7 anlaşıman konfigürasyonu.....	53
Şekil 8.41. Sinyal 8 anlaşıman konfigürasyonu.....	53
Şekil 8.42. Sinyal 10 anlaşıman konfigürasyonu.....	54
Şekil 8.43. Sinyal 12 anlaşıman konfigürasyonu.....	54
Şekil 8.44. Track section 1 anlaşıman konfigürasyonu	55
Şekil 8.45. Track section 3 anlaşıman konfigürasyonu	55
Şekil 8.46. Track section 5 ve 7 anlaşıman konfigürasyonu	55
Şekil 8.47. Track section 9 ve 11 anlaşıman konfigürasyonu	56
Şekil 8.48. Track section 13 ve 15 anlaşıman konfigürasyonu	56
Şekil 8.49. Track section 17 ve 19 anlaşıman konfigürasyonu.	56
Şekil 8.50. Track section 2 ve 4 anlaşıman konfigürasyonu	57
Şekil 8.51. Track section 6 ve 8 anlaşıman konfigürasyonu	57
Şekil 8.52. Track section 10 ve 12 anlaşıman konfigürasyonu	57
Şekil 8.53. Track section 14 ve 16 anlaşıman konfigürasyonu	58
Şekil 8.54. Track section 14 ve 16 anlaşıman konfigürasyonu	58
Şekil 8.55. Track section 21 ve 22 anlaşıman konfigürasyonu	58
Şekil 8.56. Track sensor 4 konfigürasyonu	59
Şekil 8.57. Track sensör 10 ve 7 konfigürasyonu.....	59
Şekil 8.58. Track sensör 9 ve 2 konfigürasyonu.....	60
Şekil 8.59. Track sensör 1 konfigürasyonu	60
Şekil 8.60. Track sensör 6 ve 5 konfigürasyonu.....	60
Şekil 8.61. Track sensör 8 ve 3 konfigürasyonu.....	61
Şekil 8.62. Track sensör 11 konfigürasyonu	61
Şekil 8.63. Makas 1 anlaşıman konfigürasyonu	61
Şekil 8.64. Makas 3 anlaşıman konfigürasyonu	62

Şekil 8.65. Makas 5 konfigürasyonu ve anlaşıman konfigürasyonu	62
Şekil 8.66. Makas 9 konfigürasyonu ve anlaşıman konfigürasyonu	62
Şekil 8.67. Makas 11 konfigürasyonu ve anlaşıman konfigürasyonu	63
Şekil 8.68. Makas 8 konfigürasyonu ve anlaşıman konfigürasyonu	63
Şekil 8.69. Makas 8 konfigürasyonu ve anlaşıman konfigürasyonu	63



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ATP	: Otomatik Tren Koruma
ATO	: Otomatik Tren İşletmesi
GoA	: Otomasyon Derecesi
CTC	: Merkezi Trafik Kontrolü
ATS	: Otomatik Tren Gözetleme
MA	: Hareket Yetkisi
TU	: Ayar Ünitesi
CU	: Birleştirme Ünitesi
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
TX	: Verici Ünite
RX	: Alıcı Ünite
MU	: Eşleştirme Ünitesi
PSM	: Hassas Duruş İşaretleyici
Sync	: Senkronizasyon
PESB	: Peron Acil Durdurma Butonu
ESB	: Acil Durdurma Butonu
TWC	: Tren Hat boyu İletişimi
TAP	: Tren Erişim Noktası
TC	: Ray Devresi
OC	: Nesne Kontrolü
F/O	: Fiber Optik
ODF	: Optik Dağıtım Çatısı
COTS	: Ticari Kullanıma Hazır Yazılım
TCP/IP	: İletim Kontrol Protokolü / İnternet Protokolü
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı
CTIU	: Kodlu Ray Devresi Arayüz Ünitesi
CAU	: Kompakt Anten Hep Ünitesi
BTM	: Baliz İletim Modülü
MVB	: Çok Fonksiyonlu Araç Veriyolu
MFSD	: Çok Fonksiyonlu Hız Ekranı

SDU	:	Hız Uzaklık Ünitesi
MD	:	Sürücü Kabini
COMC	:	ATP Bilgisayarı
VCU-lite	:	ATO Bilgisayarı
İ/O	:	İnput / Output
SIL	:	Güvenlik Bütünlük Seviyesi
THR	:	Tolere Edilebilir Tehlike Oranı
PFD	:	Talep Üzerine Tehlikeli Bir Arızanın Ortalama Olasılığı
PFH	:	Saat Başına Tehlikeli Bir Arıza Olasılığı
IEC	:	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
CENELEC	:	Avrupa Elektroteknik Standartlar Komitesi
CBTC	:	Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü

1. GİRİŞ

Metropollerde artan nüfus ve buna bağlı olarak ortaya çıkan trafik yoğunluğu ile kent içi taşımacılığın en önemli unsurlarından olan metro sistemlerinin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda, İstanbul'da toplam metro hattı uzunluğunun, şehrin ulaşım ağını geliştirmek ve yolcu talebine cevap vermek amacıyla son yıllarda kayda değer şekilde arttığı görülmektedir. M3 ve M9 hatları, şehrin önemli bölgelerini birbirine bağlayarak hem toplu ulaşım standartlarının yükseltilmesine hem de trafik sıkışıklığının azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Gelişen teknolojiyle beraber raylı sistemlerin yolcu yoğunluğu olarak en yüksek kapasiteli taşıma kolu olan metro sistemleri de teknolojik gelişmelerden nasibini almaktadır. Önceleri hiçbir haberleşme sistemi kullanılmadan başlayan kent içi yolcu taşımacılığı, bugünlerde en gelişmiş haberleşme sistemleri kullanılarak işletim yapılmasını sağlamaktadır. Kitleleri bir yerden başka bir yere güvenli bir şekilde seyahatini gerçekleştirmeye yarayan metro sistemleri, bu işlevi günümüzde olmazsa olmaz sistem haline gelmiş sinyalizasyon sistemleri sayesinde yerine getirmektedir. Sinyalizasyon sistemi, güvenli ve etkili bir metro işletimi için hayati öneme sahiptir ve metro hatlarının güvenli ve etkin bir şekilde işletilmesinin temel taşlarından biridir. Bu sistem, trenlerin hareketini kontrol ederek, çarpışma risklerini en aza indirir ve yolcu güvenliğini artırır. M3 ve M9 hatları için tasarlanan Cityflo 350 sinyalizasyon sistemi, gelişmiş teknolojilerle donatılmış olup, trenlerin gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanır. Bu teknoloji sayesinde, trenlerin hızları, konumları ve duraklama süreleri izlenebilir ve gerektiğinde müdahale edilebilir. Bir metro sisteminde oluşturulacak sinyal sisteminin tasarımının belirlenmesi elzemdir. Ortaya çıkarılacak tasarım, ihtiyaçlara verimli ve sürdürülebilir şekilde cevap vermelidir. Sinyalizasyon sistemleri tasarım sürecinde aşağıdaki adımlar dikkate alınmaktadır;

1.1. İhtiyaçların Belirlenmesi ve Gereksinim Toplama

Mevcut altyapının analizini yaparak yeni sinyalizasyon sistemi için gereksinimleri belirlenir [1]. Tren sıklığı, yolcu hacmi ve güvenlik standartları gibi faktörleri göz önünde bulundurulur [2].

1.2. Sistem Tasarımı ve Planlama

Sinyalizasyon sisteminin detaylı tasarımını, ray döşemesi, sinyal yerleşimi ve kontrol merkezleri dahil olmak üzere geliştirilir [3]. Mevcut sistemlerle entegrasyon ve gelecekteki genişlemeler için plan yapılır [1].

1.3. Teknoloji Seçimi

Communication-Based Train Control (CBTC), Automatic Train Protection (ATP) veya Automatic Train Operation (ATO) gibi uygun sinyalizasyon teknolojilerinden biri seçilir [2]. Teknolojinin uluslararası standartlara ve yerel düzenlemelere uygun olduğundan emin olunur [4].

1.4. Simülasyon ve Test

Çeşitli senaryolar altında sistemin performansını modellemek için simülasyon araçları kullanılır [1]. Tasarımı doğrulamak ve potansiyel sorunları belirlemek için testler gerçekleştirilir [5].

1.5. Uygulama ve Entegrasyon

Sinyalizasyon ekipmanları montajı yapılır ve mevcut altyapı ile entegrasyonunu sağlanır [6]. Hat boyu ve araç üzerindeki sistemler arasında kesintisiz iletişimi sağlanır [7].

1.6. Devreye Alma ve Eğitim

Sistem gerçek ortam koşullarında test edilir ve gerekli düzenlemeler yapılır [8]. Operatörler ve bakım personeli için eğitimler verilir [1].

1.7. Bakım ve Güncellemeler

Sistemin güvenilirliğini sağlamak için bir bakım programı oluşturulur [2]. Artan trafik ve teknolojik gelişmelere uyum sağlamak için gelecekteki güncellemeleri planlanır [9].

Bu çalışmada amaç nüfus yönünden ülkemizin en yoğun ili olan İstanbul'daki M3 ve M9 hatlarında uygulanan cityflo 350 Sinyalizasyon sistem tasarımını analiz etmek ve çalışma sonunda Python programı kullanılarak oluşturulan DCC model railway signalling uygulamasında oluşturulan bir hat kesiminde nesnelerin kontrolü ve buna bağlı olarak rota tanzim etme işlemleri olacaktır.

2. HATLARA AİT GENEL BİLGİLER

2.1 M3 Bakırköy-Kayaşehir Hattı

İstasyonlar



Şekil 2.1. M3 istasyonları [10]

Bakırköy Sahil ve Kayaşehir Merkez istasyonları arasında hizmet veren 26,7 km uzunluğundaki hattın 19 istasyonu bulunmaktadır. 3. Etapta yer alan Yıldıztepe istasyonunun inşaatı devam etmektedir. Hattın depo sahası ve atölye binası Olimpiyat Yerleşkesi'nde bulunmaktadır. Hattın ilk etabı 2013 yılında hizmete alınmıştır. Ana hat işletmesi dışında İkitelli Sanayi ve Olimpiyat istasyonları arasında mekik işletme yapılmış olup, Ziya Gökalp Mahallesi ve Olimpiyat istasyonlarının M9 işletmesine dahil edilmesi ile bu mekik işletmeye son verilmiştir. 2023 yılında Çam ve Sakura Şehir Hastanesi ve Kayaşehir Merkez'e uzatılan hat, 2024 yılı Mart ayında güney uzatmasının tamamlanması ile birlikte Bakırköy Sahil-Kayaşehir Merkez arasında hizmet vermeye başlamıştır. İstasyonlar 8'li trenlerle (172 metre uzunluğunda 2'li set) işletmeye olanak sağlayan 180 metre uzunluğundaki peronlara sahiptir. Mahmutbey İstasyonu, araç parkına olanak sağlayan ilave 3. yol ile inşa edilmiştir. Hattın tüm istasyonları, tünel/yer altı istasyon olarak inşa edilmiştir [10].

2.2 M9 Ataköy-Olimpiyat Hattı

İstasyonlar



Şekil 2.2. M9 istasyonları [11]

Olimpiyat-Ataköy istasyonları arasında hizmet veren 17,2 km uzunluğundaki hattın 14 istasyonu bulunmaktadır. İstasyonlar 4'lü trenlerle (86 metre uzunluğunda tekli set) işletmeye olanak sağlayan 90 metre uzunluğundaki peronlara sahiptir. M9 Ataköy-Olimpiyat metro hattı şehrin kuzey batısında yer alan Atatürk Olimpiyat Stadı ve Başakşehir sanayi bölgeleri ile Halkalı ve İkitelli aksındaki yerleşim alanlarını doğu batı aksında omurga taşımacılık yapan M1A Yenikapı-Atatürk Havalimanı metro hattı, B1

Halkalı-Gebze banliyö hattı ve Metrobüs hattına ulaştırmaktadır. Güzergahı ve fonksiyonu itibari ile kuzey-güney aksında önemli bir dağıtıcı hat olarak konumlandırılmıştır. 1. etabı Bahariye ve Masko istasyonları 29 Mayıs 2021 tarihinde hizmete açılmıştır. M3 işletmesi içerisinde mekik işletme olarak hizmet veren İkitelli Sanayi, Ziya Gökalp ve Olimpiyat istasyonları ile birleştirilerek Bahariye-Olimpiyat istasyonları arasında yolculu işletmeye başlamıştır. 2. etabı Ataköy ile Bahariye arasında tek parça olarak 18 Mart 2024 tarihinde hizmete alınmıştır [11].

Her iki hatta toplam 20 adet 4'lü set (M3'te 8'li set araç kullanılabilmekte) Alstom Metropolis trenleri kullanılmaktadır. İlerleyen süreçte her iki hatta da yeni araç alım işleri planlanmaktadır.



3. CITYFLO 350

Cityflo 350 sinyalizasyon sistemi Bombardier firması tarafından geliştirilmiş sabit bloklı ray devreleri vasıtasıyla otomatik tren kontrolünü mümkün kılan bir sistem olarak bilinmektedir. Bombardier firması 2021 yılında Alstom firması tarafından satın alındığından bahsi geçen 2 metro hattı montaj test ve devreye alma işleri ilk etapları Bombardier firması tarafından, uzatma kısımları ise (Başakşehir-Kayaşehir, Kirazlı-Bakırköy Sahil, Ataköy-İkitelli) Alstom firması tarafından yürütülmüştür. İlgili sistemin otomasyon derecesi 2 olup otomatik sürüş olarak bilinen ATO sürüşü vasıtasıyla hattın fiziki ve geometrik özelliklerine göre optimum sürüş gerçekleştirilmesine mümkün kılınmaktadır.

Bu sistem sayesinde;

- Trenler arası güvenli mesafe her daim temin edilmekte (trenler birbirini en az bir blok mesafe ile takip eder),

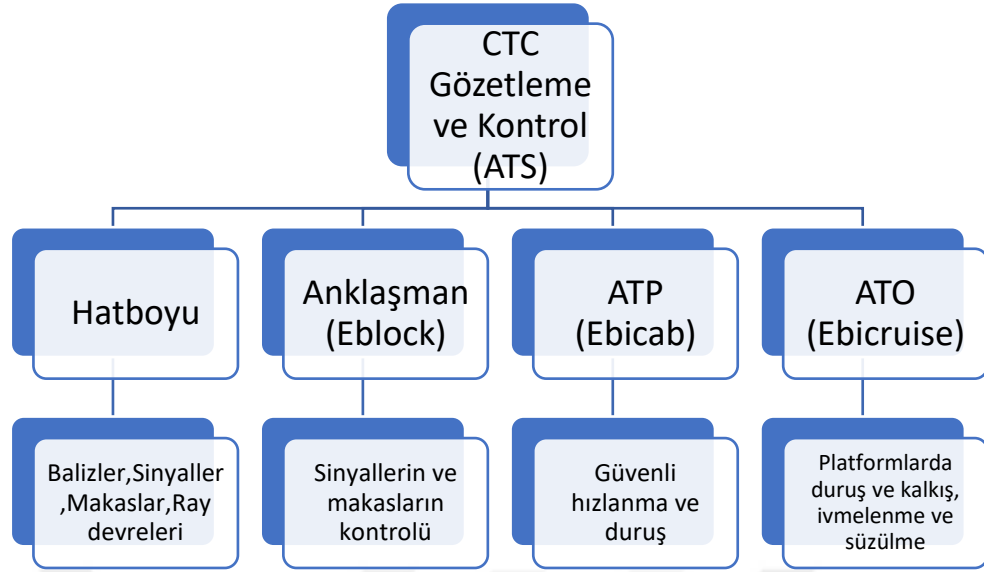
- Makaslardan güvenli geçiş sağlanmakta,

- Sürücüler ATP ve DEPO modunda denetlenmekte,

- ATO modunda optimum sürüşle minimum enerji gereksinimiyle verimli sürüş sağlanmaktadır.

Tablo 3.1. Otomasyon dereceleri [12]

Otomasyon Derecesi	Tren İşletimi	Tren Hareketi	Sürüş ve Durma	Kapı Kapatma	Herhangi bir olumsuz durumda müdahale
GoA1	Sürücülü (ATP)		SÜRÜCÜ		
GoA2	Sürücülü (ATP+ATO)				
GoA3	Sürücüsüz (Katılımcı)		OTOMATİK		KATILIMCI
GoA4	Sürücüsüz				



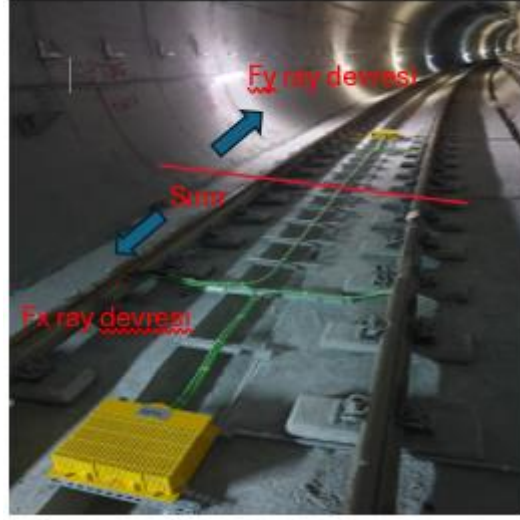
Şekil 3.1. Sistem şeması [13]

Sistem şemasında görüleceği üzere hatboyuna montajı yapılan sinyal ekipmanları, ray devrelerinin durumuna göre sinyallerin ve makasların kontrolünü gerçekleştiren anlaşmandan, hat boyu ile metro aracının ara yüzü olan Ebicab ve de tüm sistemin tam olarak çalışması yani optimum koşulların sağlandığı durumda ATO'nun (Ebicruise) gerçekleşmesi ve tüm bu birbirleri ile doğrudan ilişkili olan alt sistemlerin kumanda merkezi ya da trenlerin trafik merkezi olarak bilinen gözetleme ve kontrol lokasyonlarında operatörler tarafından bu tren trafiğinin gözetlenmesi, kontrol edilmesi ve işletilmesine imkan sağlayan bu sistemi her yönüyle analiz etmiş olacağız.

3.1 Hat Boyu Ekipmanları

3.1.1. Ray devreleri

İlgili hatlarda kullanılan ray devreleri eksiz ses frekanslı(kodlu) AC akımla çalışan ray devreleridir (TI-21M)[13].Kodlu ray devrelerinde ray bölgeleri arasında kapasitif ayırıcılar kullanılır, bu nedenle rayların izole cebire ile ayrılmasına gerek yoktur (Makas bölgesi dışında). Ray bölgesinin bir ucundan verici ile raya uygulanan ses frekansı, ray bölgesinin diğer ucundan bir alıcı vasıtası ile ölçülür. Şekil'de basit bir ses frekanslı ray devresi örneği görülmektedir [13].



Şekil 3.4. Makas bölgesi haricinde montajı yapılmış bir ray devresi

Makas bölgelerinde ise TU'lerden farklı olarak CU'lar kullanılarak ray devreleri oluşturulmuştur. Bunun nedeni makas bölgelerinde 50 metreden kısa ray devreleri olacağından frekansların birbirine karışmaması için meşguliyet bilgisinde CU'lar kullanılmış ilaveten makas içerisine döngü besleme kabloları çekilerek ATP telegram bilgilerinin gönderilmesi sağlanmıştır. Ayrıca yine makas bölgelerinde CU'ların olmadığı yerde açılacak rota sonucu (sapana ya da doğruya) izole cebirelerden dolayı elektriksel devamlılık sağlanması için atlama kabloları montajı yapılmıştır. CU'ların olduğu yerde ise empedans bond kullanılarak bu fonksiyon sağlanmıştır.



Şekil 3.5. Sol:CU, empedans bond, izole cebire, loop kablosu sağ: izole cebire ve atlama kabloları

İki hatta da ger enerjisi 1500 V DC'dir. (Rijit katener sistemi) Ray devresi konusunun başında kullanılan akımın AC olduğundan bahsetmiştik. Yani enerji kaynağından bir AC akım gönderilir ve röleler enerjilenir. DC ray devrelerinde olduğu gibi belirlenen ray devreleri yerine göre 'izole cebireler' vasıtasıyla ray devrelerinin elektriksel ayırımı sağlanmış olur. Ancak DC sistemlerden farklı olarak bu izole cebire

ile kesilen rayın her iki tarafına birbiri ile bağlanacak şekilde ‘Empedans bond’ montajı yapılır. Bu sayede DC geri dönüş akımı ray devreleri sınırından herhangi bir kesinti olmadan geçebilir ancak enerji kaynağından gönderilen AC akım empedans bond sayesinde diğer ray devresine geçemez. Çünkü, AC ray devrelerinde kullanılan enerji kaynağı, cer akımı için kullanılan 50 Hz'den daha büyüktür, örneğin 83,5 Hz, 80 Hz, 180 Hz. gibi, dolayısıyla cer geri dönüş akımı ve ray devresi için kullanılan akım birbirine karışmaz ve böylece, DC ray devrelerinin aksine, AC ray devresi, AC veya DC akımıyla beslenen tüm elektrikli hatlarda kullanılabilir [15].

Ray devrelerinde hata olayları sık karşılaşılan istenmeyen bir durumdur. Ray devrelerinde kimi durumlarda kalıcı meşguliyet durumları görülmektedir. Meşgul olan ray devresinden tren ATP ya da ATO moduyla hareket edememektedir. Çünkü trene telegram akışı kesilmiştir. Bu istenmeyen hatanın muhtemel sebepleri,

- Ray devresine ait kablolar hasar almış olabilir.
- Ray devresine ait km aralıklarında rayın izolasyon problemi olabilir. (Raydan Toprak tel vs. teması, rayın suyla teması vb.)
- Meşguliyet ya da yön rölelerinin bozulmuş olabilir.
- İlgili ray devrelerine bağlı hardware ekipmanları (TU, CU, Verici, Alıcı, Eşleştirme ünitesi, ilgili ray devresi kartı) arızalanmış olabilir.

Tüm bu sıralanan durumlar kontrol edilerek arızaların çözülmesi sağlanabilir.

3.1.2. Sinyaller

Trenlerin ilerlemesini sağlayan ışıklı, renkli bildirim veren sistemlerdir. Makinist yol boyunca (gidiş yönüne göre sağda) bulunan sinyallerin verdiği renk bildirimlerine göre hareket eder [16].

M3 ve M9 hatlarında 3'lü (makas ve istasyon bölgeleri) ve tekli (buffer stoplardan önce) olarak iki çeşit LED sinyal kullanılmıştır. Makas önlerine (ters yönden gelen tren için) ve de istasyon bölgelerine yerleştirilmişlerdir. Renk bildirileri;

- KIRMIZI: DUR,
- YEŞİL: GEÇ, optik rota oluşturulduğunda kullanılır (Sinyalden sinyale rota açılması),
- KIRMIZI + BEYAZ: düzgün çalışan ATP yerleşik sistemlerine sahip trenler tarafından göz ardı edilecektir.

BEYAZ LED kapalıysa, tüm trenler sinyalde gösterilen renk bildirisini takip etmelidir [13].



Şekil 3.6. Sol: Kırmızı üstü beyaz (ATP rotası) sağ: kırmızı sinyal (dur)



Şekil 3.7. Sol: yeşil sinyal görünümü sağ: buffer stop öncesi tekli kırmızı sinyal

Sinyallerde bazı durumlarda hata durumları meydana gelebilir. Sinyallerin flaş yapma ya da yanması gereken ledlerin yanmama durumları olabilir.

Olası Sebepleri;

- İlgili Sinyal lambası kablosu zedelenmiş hasar görmüş olabilir.
- Sinyalin Led Modülü yanmış ya da hasar almış olabilir.
- İlgili Sinyal kartı arızalanmış olabilir.

Sıralı olarak gerekli kontroller yapıp arıza giderilebilir.

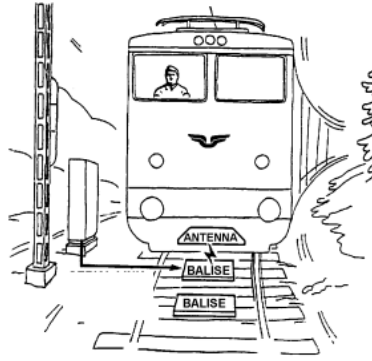
3.1.3. Balizler

Demiryolu hattına döşenen ve üzerinden tren geçtiğinde üzerindeki kodlanmış sinyalizasyon verilerini trene aktaran iletim elemanlarıdır. Pasif baliz ve aktif baliz olmak üzere iki çeşittir. Pasif baliz üzerinden geçen trenin altına yerleştirilmiş baliz anteni sayesinde aktif hale gelerek, hafızasına kaydedilen veriyi trene aktaran iletim elemanıdır. Aktif baliz ise, programlanabilir ünite sayesinde içerisindeki bilgi sürekli olarak değiştirilebilen ve güncellenebilen iletim elemanıdır [17].

Sabit Balizler, trenin konumunu çok yüksek bir hassasiyetle anlamasını sağlamak için hat üzerinde Hassas Durdurma İşaretçileri (PSM) olarak kullanılır. Peron bölgelerinde ve istasyonlara yaklaşırken hat üzerine iki rayın tam ortasına montajlanırlar. Kabloya ihtiyaç duymazlar ve peron duruşu için konum referansları olarak Araç üstü ekipmandaki ATO ekipmanı tarafından okunurlar [13]. Balizler sayesinde ATO modunda hareket eden tren, peronun arzu edilen yerinde durur. M3 hattında peronlar 180 metredir, balizler sayesinde 86 metre uzunluğundaki 4'lü araç peronun tam olarak ortasında duruşu sağlamaktadır. Ayrıca Turnback (Terminal istasyonlar ancak bazı ara istasyonlara da terminal istasyon özelliği eklenmiştir.) İstasyonu denilen bölgelerde **PSM Sync** balizleri yerleştirilmiştir. Bu pasif balizlerin görevi ise;

- Terminal istasyonlarında geri dönüşü sağlamak için kullanılırlar.
- ATO odometresini sıfırlar ve böylece geri dönüş işletmesinde tren tekrardan 0'dan saymış olur.
- Tren bu balizi okuduktan sonra duruş noktası hat boyu ATO sistemine gönderilir. (Terminal olmayan istasyonlarda bu görevi PSM1 yapar.)

Kontrollü Balizler, Anlaşman sistemi tarafından yönetilir ve kırmızı sinyal geçişi durumunda ATP tren yolculuğunu elde etmek için depoya sinyallerin yanına yerleştirilir.



Şekil 3.8. Hat üzerinde baliz ve baliz anteni etkileşimi [13]

Araç anteni ile baliz arasındaki iletişim, endüktif kuplaja dayanır. Ön aracın altına monte edilen araç anteni, baliz elektroniklerini çalıştırmak için 27 MHz frekansında bir sinyal iletir. Balizden araca bilgi, 4,5 MHz'lik frekans dalgaları yoluyla 50 kHz hızında gönderilir [13].

3.1.4. Makaslar

Demiryolu araçlarının bir hattan diğer hatta geçmeleri makaslar vasıtasıyla olur. Önceleri elle tanzim edilebilen manuel makaslar kullanılırken teknolojinin gelişmesi ile uzaktan kumanda edilebilen elektronik makas motorları demiryollarında kullanılmaya

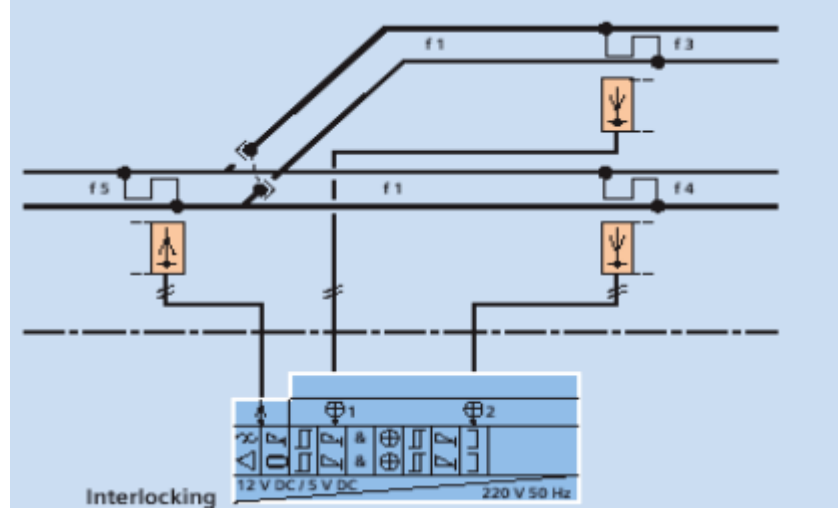
başlanmıştır. M3-M9 hatlarının ilk etaplarında Bombardier makas motorları, uzatma hatlarında ise Volstalpine Unistar Hr. 4.0 makas motorları kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Sol: Bombardier makas motoru sağ: Volstalpine makas motoru

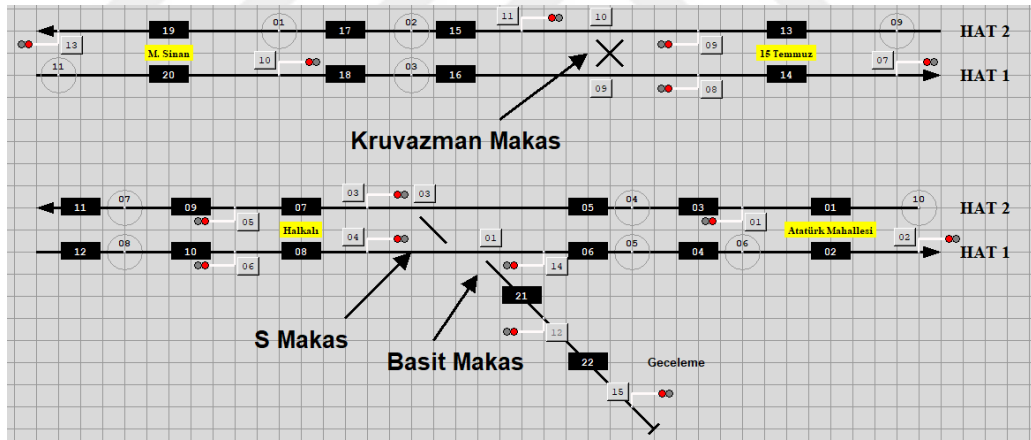
Makaslar da sinyalizasyon sisteminde fail-safe (hata güvenli) mantığına göre bölgede araç olduğu veya geçtiği durumda komut almaz ve makasların konumu ile ilgili bir şüpheli durum olduğunda da yine makasın kumandasına izin verilmez [14]. Yani Makas kurulan rota gereği ilgili yollara tanzim edilir ve de kilitlenir. Bu süreçte makasların konumu sabit kalır ve ilgili rotada trenin hareketi beklenir. Makas ray devrelerinde tren varken ya da herhangi bir sebeple ray devrelerinde meşguliyet varken rota tanzimi yani makaslara komut gönderimi yapılamaz. Bir başka komut gönderememe durumu ise makasların kontrol dışı olma durumudur. Bu durum makasta raylar arasına yabancı madde vs. sıkışması sonucu son noktasına ulaşamama durumu, enerji hattı problemleri ya da makasın konum bilgileriyle ilgili kablolarının zarar görmesi vesaire nedenlerine ilaveten donanım kaynaklı olabilir.

2 metro hattında da istasyonlar arası basit makas, S makas ve çapraz (kravazman) makas kullanılmıştır. Basit makaslar Trenlerin yalnız iki yol değiştirmesini sağlar. Doğru yoldan sapan yola veya sapan yoldan doğru yola kumanda eder. Geçiş sağa sapıyorsa Basit Sağ Makas, sola sapıyorsa Basit Sol Makas'tır. Makasın dil ucu istikametinde bakıldığında içtinap hattı ana hattın solunda kalıyorsa, makas “sol makas” sağında kalıyorsa “sağ makas” olarak adlandırılır [18].



Şekil 3.10. Basit makas sinyalizasyon uygulaması [16]

S makas ise birbirine paralel iki yoldan, birinden diğerine geçişi sağlayan iki basit makastan oluşan gruptur [19]. Çapraz makas kesişen iki yolda karşılıklı geçişi sağlar. Birden fazla yöne geçiş sağlar. Üç veya dört basit makasla sağlanabilecek geçişi temin ettiklerinden atölye, istasyon ve gar sahalarında manevra sahalarını etkin kullanmak ve araziden tasarruf amacı ile kullanılır. Bu makaslarda yön değiştirmesi olmaz [16].



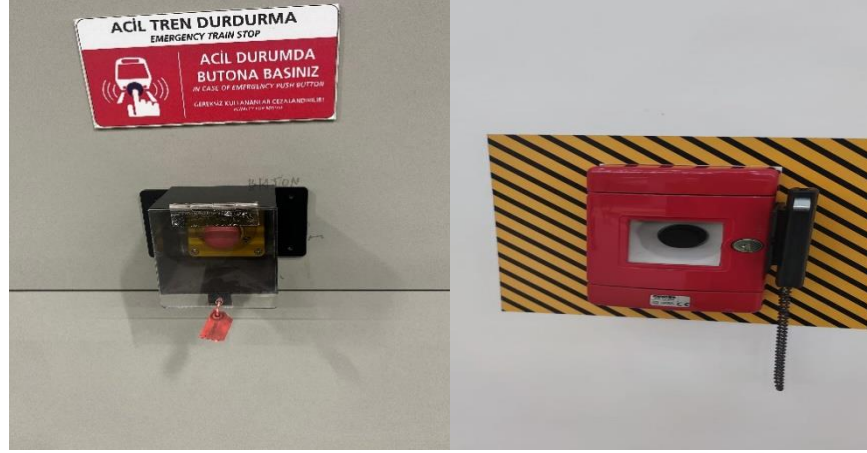
Şekil 3.11. Atatürk Mahallesi-Mimar Sinan hat kesimi makasları

Terminal İstasyonlarda kruvazman makas kullanılarak esneklik artırılmış, bazı ara istasyonlarda ise S makas kullanılmıştır. (M9- Halkalı Makas) Makasların herhangi bir hatta meydana gelebilecek olumsuz durumlara karşı diğer hatta geçip işletmenin devamını sağlayabilmesi adına 3 istasyonda bir olması gibi genel bir yorum vardır.

3.1.5. Peron acil durdurma butonları

Her peronda iki, bir istasyonda 4 adet bulunur. M3 hattındakiler push pull (it-çek), M9 hattındakiler mantar buton şeklinde yapılmıştır. Hatta yolcu inmesi vb. sebeple tehlikeli durumlarda yolcular tarafından kullanılması gerekir. Hangi peron bölgesinde

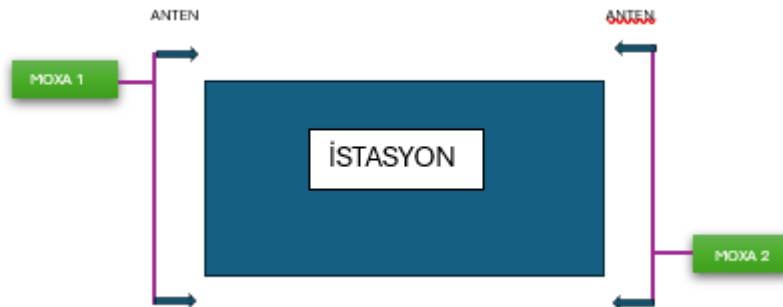
butona basılırsa, o peron bölgesindeki ray devresi meşgul edilmiş olur ve böylece perona tren girişini engellenir.



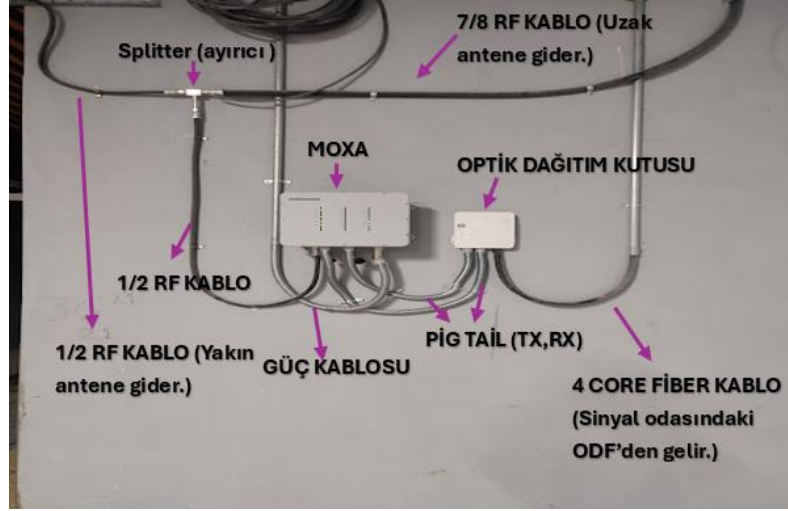
Şekil 3.12. Peron acil durdurma butonu sol: M9, sağ: m3

3.1.6. Tren hatboyu iletişimi (TWC) erişim noktaları (access points)

İstasyonlardaki TWC ekipmanı, trenler istasyona varmadan önce kapsama alanı sağlamak için kurulan Wifi erişim noktalarından oluşur ve böylece veri aktarımı için mevcut zaman en üst düzeye çıkarılır. Bu ekipman kurumsal ağa özel bir çift fiber optik kablo ile bağlanır. Erişim noktaları, birden fazla istemcinin erişim noktasına ilişkilendirilmesine olanak tanıyan birkaç kanala bölünmüş bir frekans aralığında çalışır. Kullanılan teknoloji MOXA'dır. TWC veya Araç Üstü Modem ünitesi (MDR), tren üzerindeki ATC sistemi ile istasyonlardaki yer kontrol sistemi arasında ATO modunu etkinleştirmek vb. için iletişim sağlamak üzere radyo iletişimi sağlar. TWC, ATO'ya 10 Base T (RJ45 Soketi) aracılığıyla, N Tipi Soket aracılığıyla antene bağlanmıştır [13]. Hat boyu TWC ekipmanları, moxalar, antenler ve de bağlantı kablolarından oluşur. Bir istasyonda 2 moxa 4 anten bulunur. Moxalar her iki hatta benzer kapsama alanı oluşturmak için çapraz monte edilmişlerdir.

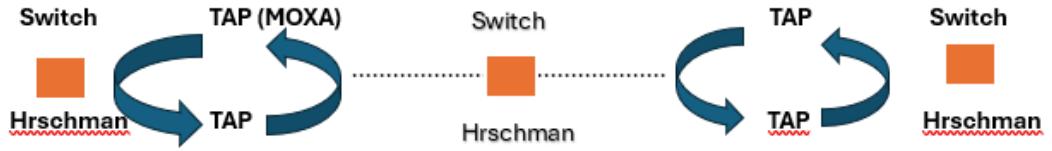


Şekil 3.13. İstasyonlarda TWC yerleşimi



Şekil 3.14. Hat boyu TWC (TAP)

Şekil 3.14'te hat boyu TWC sistemi verilmiştir. Moxa'dan gelen yayın yakındaki antene daha küçük kesitli bir kablo ile giderken frekans kayıplarını en aza indirmek için uzak antene daha büyük kesitli bir kablo kullanılmıştır. Sinyal odası odf'ten gelen 4 core'luk fiber optik dağıtım kutusu sayesinde 2 adet pig tail'e bölünmüş ve bu şekilde moxa ünitesine bağlanmıştır.



Şekil 3.15. Tren hat boyu iletişimi haberleşmesi

Şekilde görüldüğü üzere TAP üniteleri Hrschman Merkezi switchlerine bağlanmıştır. Bu switchlere bağlanılarak TAP'ların haberleşme durumları kontrol edilebilir. Ayrıca esneklik sağlanması açısından haberleşme ağı birbirini yedekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Yani X istasyonunda TAP1 haberleşmesinde sorun olduğu zaman sistem Tap 2 üzerinden haberleşmeye devam eder. Tren tarafında daha önce belirtildiği üzere onboard (Araç üstü) Ato Ekipmanına bağlanan ve de dörtlü aracın her iki sürücü kabininde bulunan bir modem ünitesi vardır. Bu şekilde hattaki moxalardan yapılan yayınlar trene bu modem sayesinde iletilmiş olur, ATO sürüşü gerçekleştirilir.

3.2 Sinyal Odaları

Hat boyu ekipmanların bağlanması gereken donanımları sinyal ve server odalarında bulunur. Sinyal odalarında ray devresi kabinetleri, nesne kontrol kabinetleri, anlaşılan

bilgisayarları, lokal iş istasyonları, besleme panoları, fiber optik bağlantı kabinetleri, ups cihazları bulunur. Server odalarında ise ekipmanların haberleşme ağını yönetecek ana switchler bulunur.

3.2.1 TC kabinet

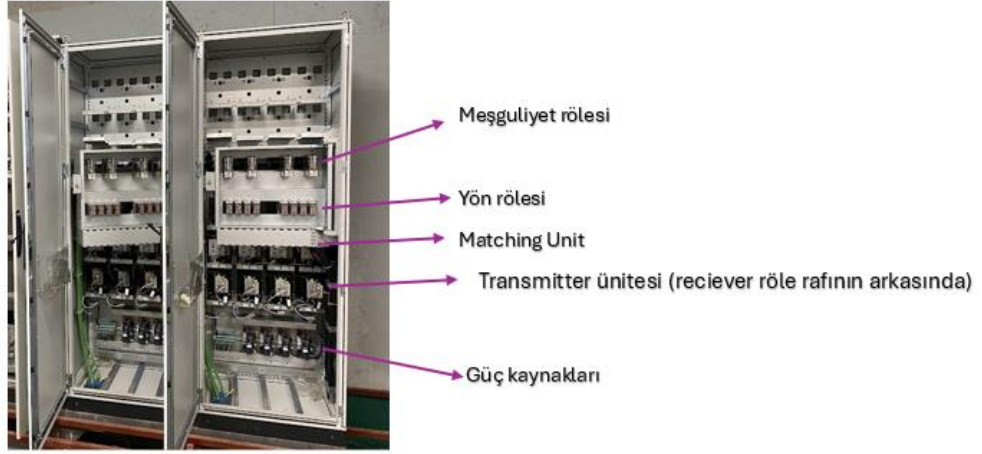
Ray devresi ünitelerinden gelen kabloların bağlantısının yapıldığı kabinetlerdir. Her odada en az bir adet veya daha fazla olabilir. Bu kabinetlerden ilgili ray devresinin set ayarları değiştirilebilir.



Şekil 3.16. Ray devresi kabineti; solda reciver sağda transmitter ünitesi

Bu kabinetlerde hatta tren varlığının tespitine yarayan meşguliyet röleleri, trenin hangi yöne gittiğinin belirlenmesini sağlayan yön röleleri, ilgili ray devresine ait verici ve alıcı üniteler, eşleştirme üniteleri ve bunlara ait güç kaynakları bulunur. Meşguliyet rölesinin çalışma mantığı normalde kapalı şeklindedir. Yani hatta tren yokken röle kontağı kapalı ve ilgili ray devresi kesiminde enerji var şeklindedir. İlgili ray devresini tren girdiği anda ray devresi kısa devre etmiş olur ve kontaklar çeker bu da ilgili ray devresinde enerji olmadığını dolayısıyla hattın meşgul olduğunu gösterir. Hattaki alıcı ve verici üniteler trenin hareketine göre matching unit (eşleştirme ünitesi) adı verilen üniteler sayesinde ilgili değişim işlemlerini (hangi ünitenin verici veya alıcı olacağı) gerçekleştirir. Yani tren hangi yöne gidiyorsa, ona göre bir verici alıcı kombinasyonu sağlanmış olur.

Bir ray devresinde herhangi bir nedenle meşguliyet kalması durumunda ilk olarak bakılacak yer, ilgili ray devresine ait kabinet olacaktır. İlgili ray devresine ait donanım ekipmanları kontrol edilir. Hattın izolasyon durumuna göre çalışma seviyeleri belirlenir ve arıza giderilmeye çalışılır. Sinyal odasındaki kontroller sağlanır ancak herhangi bir aksaklık görülmez ise ilgili ray devresinin sahadaki kablolarına, verici ve alıcı ünitelerine ve ray hat kesiminde izolasyon kaçağı olup olmadığına bakılır.

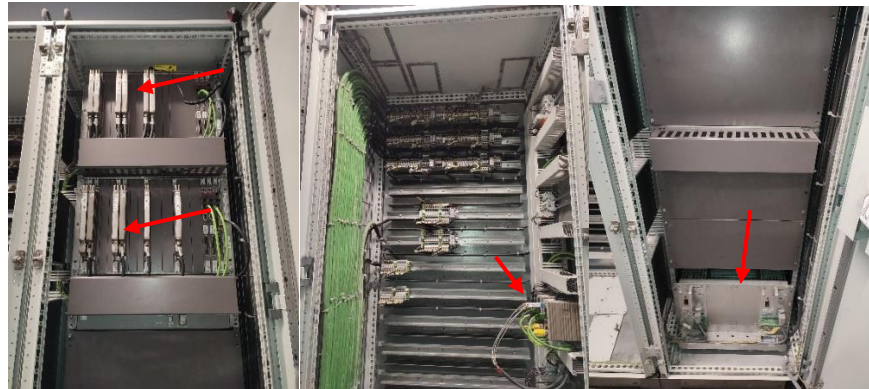


Şekil 3.17. TC cabinet

3.2.2 Nesne kontrol kabinetleri

Hattaki nesnelerin durumlarını anlaşılan kabinlerine bildiren ve anlaşılmadan gelen emirleri hat nesnelere ileten switch ve elektronik kart ünitelerinden oluşan kabinetlerdir. Her sinyal odasında bir veya daha fazla bulunabilir. İçlerinde ray devresi kartları, makas motorları kartları (sadece makas olan istasyonlarda), ESB buton kartları, Alarm kartları, sinyal lambaları kartları ve haberleşme görevini sağlayan Com kartları bulunur. Hatlar arasında haberleşme 12 core'luk F/O kablo ile sağlanır. Hat 1 ve hat 2'den gelen 12 core'luk fiber optik kablo öncelikle odf denilen fiberoptik rafa gelir, 4 core buradan atlama kabloları sayesinde OC kabinlerde bulunan westermo switchlere gider.

Bu kabinetten ilgili saha ekipmanı ile ilgili kartı yeniden başlatma işlemi yapılır. Örneğin ray devresi reset işlemi vs.



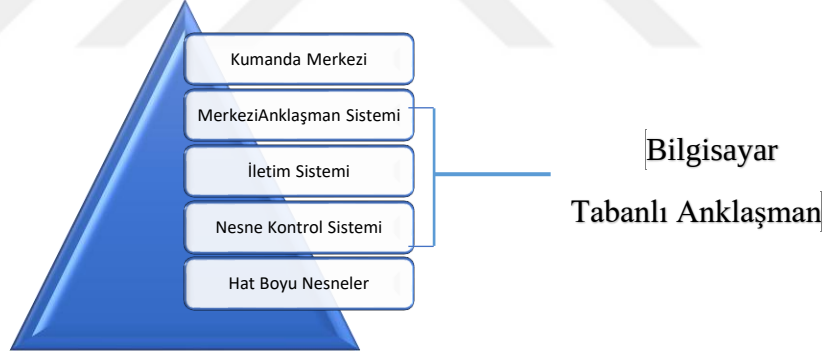
Şekil 3.18. Sol: elektronik kart üniteleri orta: westermo switchler sağ: oc kabinet güç ünitesi

3.2.3 Anlaşman bilgisayarları

Anlaşman tüm sinyal ekipmanlarının uyum içerisinde çalışmasını ayrıca eğer hataya sebep olacak bir durum varsa engellenmesini sağlayan (fail-safe) genel sinyalizasyon terimidir. Hattaki nesnelerin güvenli şekilde tren hareketini sağlaması organizasyonudur. Anlaşmanlar Mekanik, Röle Tabanlı veya Elektronik olabilir. M3-M9 hatlarında Bilgisayar tabanlı Elektronik Anlaşman Sistemi (Eblock 950) kullanılmıştır. Elektronik anlaşmanda, hat üzerindeki tüm ekipmanlar yazılımdaki birbirlerinin durumlarına bağlı olarak şartlara bağlanır ve tüm ekipmanların birbirine bağlı olarak çalışması sağlanır [20].

Eblok özellikleri;

- Donanım, işletim sistemi ve hayati işlevler için uygulama seviyelerinde çift kanal çeşitliliğine sahip hayati platform konsepti;
- Standartlaştırılmış bir uygulama programlama arayüzüne sahip ticari olarak hazır (COTS) donanım ve işletim sistemlerinin kullanımı;
- COTS Ethernet anahtarları ve TCP/IP protokolü kullanılarak dahili ve harici iletişim [13].



Şekil 3.19. Eblok şeması [13]

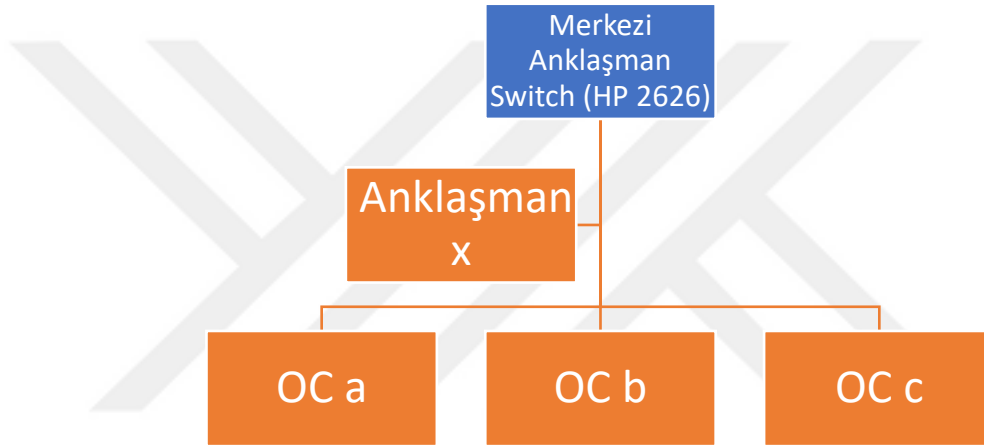
Bilgisayar tabanlı anlaşman esas olarak şunları yapar:

- Demiryolu trafik kontrol merkezinden (yerel veya merkezi) komutlar alır ve bunları trafik güvenliği kuralları ve gerçek trafik durumu açısından değerlendirir. Yalnızca güvenli komutlar yürütülebilir;
- Demiryolu altyapısını ve trafiğin durumunu sürekli olarak izler ve bunlarla ilgili bilgileri kontrol merkezine (yerel ve merkezi) geri gönderir [13].

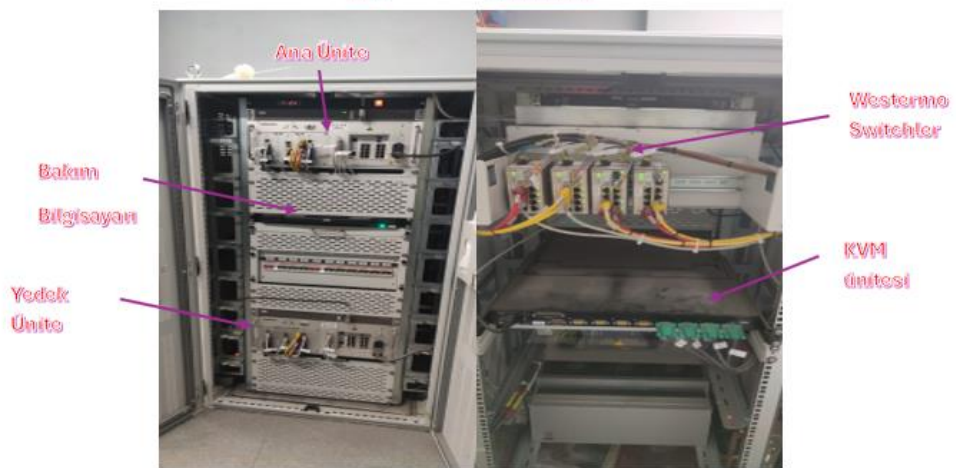
Hatta bir anlaşmanın en fazla 4 istasyona kadar yönetim yaptığı görülmüştür. Yani ilgili 4 istasyonunun hat boyu nesnelerinin fail safe mantığına göre yönetimi anlaşman tarafından yapılmaktadır. Nesne kontrol kabinetlerinden gelen bilgiyi işler güvenli tren

trafiği sağlanacak şekilde etkinleştirilecek komutları yine nesne kontrol kabinetlerine gönderir, buradan da ilgili hat ekipmanlarına komut gitmiş olur.

Anklaşman kabinleri birisi ana birisi yedek olmak üzere 2 adet anklaşman ünitesinden, bir adet bakım bilgisayarından, bir adet fandan, bir adet KVM ünitesinden ve de 4 adet haberleşme westermo switch'ten oluşur. Anklaşmanın ünitelerinde ana kabin aktif olan ünitelerdir ve kendi içerisinde de yedeklidir buna ilaveten ana akabinde aynı özelliklere sahip yedek ünite bulunur ana kabinde bir arıza meydana gelmesi durumunda bu yedek ünite çalışmaya hazır bekler. Bu sisteme double backbone (çift omurga) sistemi denir.



Şekil 3.20. Anklaşman haberleşmesi



Şekil 3.21. Sol: anklaşman kabin ön görünüm sağ: anklaşman kabin arka görünüm

M3-M9 hatlarında depo hattı dahil 13 adet Anklaşman bulunmaktadır.

3.2.4 Lokal iş istasyonları

Anklaşman olan istasyonlarda bakım işlerinde ve de arıza durumlarında rota tanzim işlemleri yapabilmek için lokal iş istasyonları kurulmuştur. Anklaşmandan çekilen bir çift ethernet hattına bağlanan bilgisayardan oluşur. Kumanda merkezinden yetki verilmeden rota tanzim etmek mümkün değildir. Kumanda merkezinden müsaade istenir ve yetki alınır, böylelikle rota tanzim işlemleri yapılabilir. İlgili rota işlemleri sadece anklaşmanın yönettiği bölgede yapılabilir. Başka bir bölgede rota tanzimi mümkün değildir. Ekranda Anklaşman bölgesinin hat kesimi bulunur.



Şekil 3.22. Lokal iş istasyonu

3.2.5 Besleme panoları ve UPS'ler

Sinyal ekipmanları hayati ekipmanlar olduğundan, bu ekipmanlar gerilim dalgalanmalarından etkilenmemelidir. Ayrıca olası enerji kesintilerinde sinyalizasyon sistemi belirli bir süre ayakta kalmalıdır. Bu nedenle her sinyal odasında UPS bulunmaktadır. UPS enerjisini besleme panolarından alır. Enerjiyi filtreleyerek sinyal ekipmanlarını besler. Ayrıca enerji kesintilerinde aküleri sayesinde yaklaşık 3 saat çalışabilmekte sinyal ekipmanlarını besleyebilmektedir.



Şekil 3.23. Sol: M3 hattı UPS ve akü kabinler orta: M9 Akü kabinleri sağ: M9 UPS kabinleri



Şekil 3.24. Besleme panosu: filtrelenen enerji bu panadon kabinetlere gider

3.2.6 Fiber optik bağlantı kabinetleri

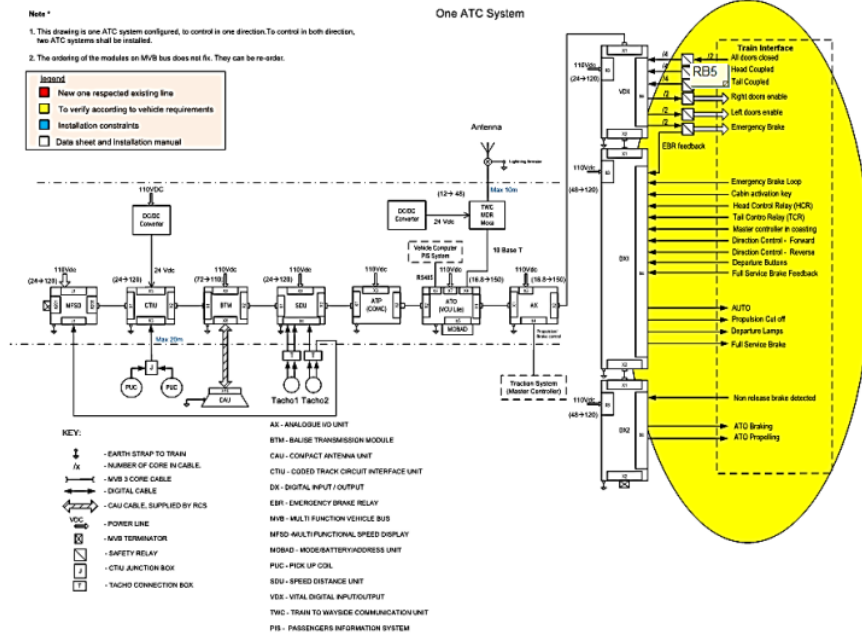
Her sinyal odasında bulunurlar. Bir önceki ve bir sonraki istasyonların Hat 1 ve Hat 2'lerinden gelen 12 core'luk F/O kablolar bu kabinetlerde sonlanır. Burada pig tail bağlantıları yapılır, haberleşme bağlantıları birleşmiş olur. Ayrıca TAP ve OC'lere bu kabinetten bağlantı yapılır böylelikle OC loop ve Tap bağlantıları tamamlanır.



Şekil 3.25. ODF kabinet

4. ARAÇÜSTÜ SİNYALİZASYON SİSTEMİ

Araç üstü sinyalizasyon sistemi hatta kullanılan sinyalizasyon sistemi ile uyumlu olmak mecburiyetindedir. Yani hattaki sinyalizasyon sistemi araç üstüne montajı yapılmış sinyalizasyon sistemi ile haberleşebilmeli ayrıca bu haberleşme sonucunda kumanda merkezinden trenlerin konumları hatasız olarak takip edilebilmelidir.



Şekil 4.1. Araçüstü ekipman sistem mimarisi [13]

Yukarıda sistem mimarisinde görülen sistem bileşenleri kısaca işlevleri aşağıdaki gibi açıklanabilir;

Pick Up Coil: Ray devrelerindeki ses frekansını okuyabilen bobinlerdir. Bir hat için biri sağ ray biri sol ray için olmak üzere 2 adettir ve her iki MD kabin için bulunur. Yani bir 4'lü araçta 4 adettir. Bu bobinler CTIU bağlantı kutusuna dijital bir kablo ile bağlanır. Dijital kablo kullanılmasının nedeni hatta ilgili ray devresinde ses frekansı kullanılarak oluşturulmuş güzergaha ait kodları iletebilmektir. CTIU bağlantı kutusundan yine dijital bir kablo vasıtasıyla CTIU arayüz ünitesine gider.

CTIU: Ray devrelerinden yayımlanan ses frekansının çözümlendiği ray devresi arayüz ünitesidir. MVB kablo vasıtasıyla MFSD'ye ve BTM'e bağlanır. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir.

CAU: Kompakt anten ünitesi daha önce belirtildiği gibi hat üzerine montajı yapılmış balizlere 27 MHz bir dalga frekansı göndererek balizlerdeki bilginin

okunmasını sağlar. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir. BTM modülüne koaksiyel kablo ile bağlanır.

BTM: Baliz iletim modülü balizlerden gelen bilgilerin işlendiği ünedir. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir. MVM kablo ile CTIU ve SDU'ya bağlanır.

Takometre: Aracın tekerlek aksına montajı yapılır. (Bir bojide biri bir aksa sol ray tarafına, diğeri diğeri aksa sağ ray tarafına.) Aksların dönmesi ile elektronik bir pulse üretir. Bu üretilen pulsa göre hız analog olarak hesaplanır. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 2'er adet) 4 adettir. Bağlantısı tako bağlantı kutusuna yapılır. (Konnektör şeklinde) Buradan da tako 1 SDU ünitesine direkt bağlanır, tako 2 ise hem SDU'ya hem de MFSD'ye bağlanır.

SDU: Hız uzaklık ünitesi, takometrelerden gelen bilgiyi işleyen ünedir. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir. MVB kablo ile ATP bilgisayarına (COMC) ve de BTM'e bağlanır.

ATP (COMC): Trenin tüm hayati bilgilerinin bağlandığı ve tren tarafından gelen vital inputlara göre (tüm kapılar kapalı, kuplaj bilgisi) vital outputlar (sağ kapı etkinleştirme, sol kapı etkinleştirme) Acil durum freni)) üreten ve sürücüyü denetleyen hayati ünedir. ATP ünitesinin çalışmasında ya da gelen inputlarda herhangi bir sorun olması durumunda ATO moda geçmek mümkün olmaz. Yani ATP mod aktif olmadan ATO mod aktif olamaz. ATP sürüş modunda sürücü 5 sn de bir ivme kolunda bulunan totman düğmesine basmalıdır aksi taktirde araç acil fren uygular. Ayrıca aracın ilgili MA hızı sürekli denetlenir. Yani örneğin MA hızının 60 km/h olduğu ray devresi bölgesinde sürücü 63 km/h hıza çıktığında onboard sistemi sesli ikaz vermeye başlar, sürücü bu ikaz sesini dikkate almaz 66 km/h hıza çıkarsa sistem frenlemeye başlar (servis freni) ve yine sürücü ikazı dikkate almaz 69 km/h hıza çıkarsa sistem acil fren uygular. Aracın ATP moduna geçmesi için kumanda merkezinden rotasının tanzim edilmesi gerekir. Sistem tanzim edilen rotanın dışına çıkılmasına müsaade etmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Üstte bahsedilen tüm araç üstü sinyalizasyon ekipmanları ile doğrudan bağlıdır ve de sürekli içindeki yazılım sayesinde ekipmanlardan gelen bilgiyi işler ve denetler. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir. Sürücü kabini altındaki dolaplara montajı yapılmıştır.

ATO (VCU-lite): Otomatik sürüşü sağlayan ünedir. ATP ünitesine, Analog İ/O ünitesine, Araç TWC modem ünitesine bağlıdır. İçindeki yazılım sayesinde tüm koşulları

sağlandığında, hat profiline göre optimum sürüş sağlar. Bu sürüş modunda ivme kolu nötr (sıfır) pozisyonunda sabit kalır ve de ATP modundaki gibi sürücünün totman pedalına basması gerekmez. ATO modu hayati bir mod değildir. Sistemde ATO modunun gereksinimlerinden herhangi birinde sorun olması durumunda (TWC haberleşme arızaları, ray devresi arızaları, sürücünün ivme kolunu sıfırdan farklı bir duruma alması vb.) otomatik olarak ATP moduna geçer. ATO modunda hattaki araçların kumanda merkezinden seçilecek sürüş modları yavaş, normal, hızlı seçilebilir. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir. Sürücü kabini altındaki dolaplara montajı yapılmıştır.

Sürüş modlarında ATP ve ATO modu dışında bir de DEPO modu mevcuttur. Ray devresinden telegram akışında bir problem olduğunda ya da ATP'nin ray devresinden bilgi alamadığı durumlarda, Çağrı (Call on: Meşgul ray devresinden geçmek için uygulanan komut, kumanda merkezinden teyit alınarak uygulanır.), geri tren hareketinde, başlangıç testinde kullanılır. Müsaade edilen hız ileri yönde harekette maksimum 25 km/h, geri yönde maksimum 5 km/h'tir [13].

AX Ünitesi: Araç tarafından input sinyallerinin ve de onboard ünitesinden araç tarafına giden output sinyallerinin dağıtıldığı ünedir. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir. Sürücü kabini altındaki dolaplara montajı yapılmıştır. ATO ünitesiyle, cer sistemiyle, VDX (hayati dijital i/o) ünitesiyle bağlantısı vardır. (vdx → dx1, dx2)

MFSD: Onboard sisteminin sürücüye görsel bilgi verdiği sistemdir. Sürücüler, tren hızı, hedef hızı, hedef mesafeyi, aracın hangi modda hareket ettiğini ayrıca sinyal sisteminden meydana gelen hataları buradan takip edebilirler. Takometre 2'ye ve CTIU'ya bağlıdır. 4'lü araçta, (her iki MD kabin için 1'er adet) 2 adettir. Sürücü masası sağ tarafında bulunur.

5. CTC (KUMANDA MERKEZİ)

Tüm hat kesiminin video wall ekranlarına yansıtıldığı operatörler tarafından tren işletmesinin iş istasyonları vasıtasıyla yönetildiği sistem odasıdır. M3-M9 hatlarının kumanda merkezi Olimpiyat Depo sahasında bulunmaktadır. Tüm anlaşımlardan ve de TWC hat boyundan gelen bilgilere göre tren trafiği buradan yönetilmektedir. İşletmenin ihtiyaçlarına göre time table'lar (trenlerin zaman çizelgesi) burada oluşturulmakta ve de hatta işletilecek trenler sisteme girilerek işletme yapılabilmektedir. Kullanılan ATS sisteminin adı EBISCREEN 2000'dir. Burada yapılan işlemlere ait loglar (kayıtlar) tutulmaktadır. Hatta yaşanabilecek herhangi olumsuz durumlara karşı bu kayıtlar incelenebilir.

Otomatik rota tanzim özelliğiyle belirli bir rota tanzim edilerek tekrar tekrar aynı rotayı açmak yerine tekrarlayan rota açma özelliği sayesinde ilgili rotaya girecek her tren için otomatik tanzim işlemleri yapılmasına olanak sağlar. Yine hattın belli bir bölgesinde ya da daha özele gidersek belli bir ray devresinde hatsal ya da sinyalizasyon sisteminde meydana gelebilecek arızalara karşı ilgili bölgeye ray devreleri vasıtasıyla hız sınırlaması kumanda merkezinden konulabilir. Hatta tüm sinyalizasyon modları aktif bir şekilde çalışıyorsa tüm trenler ATO modunda hareket eder. Sistemde yaşanan herhangi bir sorunla karşılaşırsa (Sistem ATO moduna geçmemesi ya da ATO modundan ATP moduna düşmesi vs.) sürücüler ilgili durumu ya da sorunu kumanda merkezlerine CTC operatörlerine (dispeçer) bildirirler, gelecek talimatlara uyarak hareket ederler.



Şekil 5.1. M3-M9 ATS ekranı olimpiyat CTC

Kumanda merkezleri işlevleri bakımından hayati noktalar olduğundan giriş kapıları şifrelidir. Sadece müsaade edilen personelin girmesi gerekir. Sürekli hattaki ve depo sahasındaki araçların takibi ara vermeksizin bu merkezden yapılmaktadır.

6. SIL (GÜVENLİK BÜTÜNLÜK SEVİYESİ)

Sinyalizasyon sistemlerinde belirtildiği gibi güvenlik en önemli konu olarak değerlendirilebilir. Kullanılan sinyalizasyon sisteminin güvenlik bütünlük seviyesi, sistemde meydana gelebilecek olumsuz durumların yani ekipmanların tüm hayat döngülerindeki hata durumuna düşme olasılığı denilebilir. Demiryolu uygulamalarında kullanılacak ekipmanlar ve yazılımlar belirli standartları karşılaması gerekmektedir. Bu standartlar demiryolu sinyalizasyon sistemlerinde mutlaka karşılanması gereken elzem uygulanması gereken kurallardır.

Tablo 6.1. Kontrol-komuta ve sinyalizasyon için zorunlu standartlar [21]

Referans	Belge adı ve yorumlar
EN 50126	Demiryolu uygulamaları Güvenilirlik, kullanılabilirlik, bakım yapılabilirlik ve emniyetin (RAMS) spesifikasyonu ve gösterimi
EN 50128	Demiryolu uygulamaları- Haberleşme, sinyalizasyon ve işleme sistemleri- Demiryolu kontrol ve koruma sistemleri için yazılım
EN 50129	Demiryolu uygulamaları — İletişim, sinyalizasyon ve işleme sistemleri — Sinyalizasyon için emniyetle ilgili elektronik sistemler
EN 50129-1	Demiryolu uygulamaları — İletişim, sinyalizasyon ve işleme sistemleri — Bölüm 1
EN 50129-2	Demiryolu uygulamaları — İletişim, sinyalizasyon ve işleme sistemleri — Bölüm 2: Açık iletim sistemlerinde güvenlikle ilgili iletişim

Güvenlik Bütünlüğü Seviyesi (SIL), belirli bir güvenlik açısından kritik işlevin tolere edilebilir tehlike oranını (THR) veya tehlike oranını belirtmenin bir yoludur. Güvenlik açısından kritik bir sistemin belirli bir güvenlik bütünlüğü seviyesine ulaştığını söylemek yanlıştır. SIL, güvenlik açısından kritik işlevlere ve bu işlevleri uygulayan ilgili alt sistemlere tahsis edilir. Güvenlik açısından kritik bir sistemin, farklı SIL'lere sahip birçok kritik işlevi olabileceği unutulmamalıdır [21].

IEC 61508 standardı, SIL kavramını PFD ve PFH açısından tanımlamaktadır [21].

Tablo 6.2. SIL tablosu (European Commission, 2012) [21]

Güvenlik Bütünlük Seviyesi	Talebe bağlı tehlikeli arıza olasılığı	Saat başına tehlikeli arıza olasılığı
SIL4	10^{-5} - 10^{-4} arası	10^{-9} - 10^{-8} arası
SIL3	10^{-4} - 10^{-3} arası	10^{-8} - 10^{-7} arası
SIL2	10^{-3} - 10^{-2} arası	10^{-7} 10^{-6} arası
SIL1	10^{-2} - 10^{-1} arası	10^{-6} 10^{-5} arası

Tablo 6.3. THR ve SIL ilişkisi [21]

SIL	THR (h ⁻¹)
SIL4	$10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$
SIL3	$10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$
SIL2	$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$
SIL1	$10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$

City flo 350 sinyalizasyon sisteminde Makas motorları, EBI Lock 950 anlaşıman sistemleri ve EBI Cab 800 ATP sistemlerinin tamamı CENELEC SIL 4 ile uyumludur.

7. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sinyalizasyon sistemleri için kullanılan simülasyon programları hattı oluştururken hattın kapasite ve işletme senaryolarını belirlemek için veya tasarımı yapılmış bir metro hattında uygulanmış bir modelin hattı işletecek kurum personeli için eğitimi amaçlı kullanılabilir. Bu çalışmada hattı işletecek personel için eğitim amaçlı bir simülasyon programı yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın konusuna benzer yapılan çalışmalar şu şekildedir; CITYFLO 350 Signaling System Interface between ATP Telegrams and Brake curve Istanbul new Metro Line Study case çalışmasında ATP telegramları ile metro aracının fren eğrileri arayüzünün etkileşimi incelenmiş optimum sürüşün nasıl gerçekleştiğine vurgu yapılmıştır [13]. Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Anlaşman Tablosu Oluşturma: Başakşehir Metrosu Örneği çalışmasında ise bir raylı ulaşım sistemi için anlaşman tablosu oluşturmanın mantığı anlatılmış, örnek bir metro hattı için bir anlaşman tablosu oluşturulmuştur [22]. A simulation-based approach for the optimal design of signalling block layout in railway networks çalışmasında ise sabit bloklu sinyalizasyon sistemlerinde blok sayıları ve uzunlukları ile ilgili stokastik (belirsiz) çok trenli simülasyon modeli ve black-box (girdiye göre en iyi çıktı) optimizasyon algoritmasının sentezlenmesi ile optimum bir hat oluşturulması ele alınmıştır. Yani demiryolu ağlarındaki sinyalizasyon sistemlerinin daha verimli ve maliyet etkin bir şekilde tasarlanması için bu yöntem Napoli ‘Cuman’ Metro hattı için uygulanmış ve mevcut sisteme göre avantajları belirtilmiş ayrıca konvansiyonel hatlar için de uygulanabilir olduğu anlatılmıştır [23]. Smart Trip Prediction Model for Metro Traffic Control Using Data Mining Techniques çalışmasında metro sistemlerinde seyahat sürelerini ve talebi doğru bir şekilde tahmin edebilecek bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Araştırma, metro sistemlerinden elde edilen büyük veri setlerini, örneğin akıllı kart verilerini analiz etmek için veri madenciliği tekniklerini kullanır. Seyahat davranışlarındaki kalıpları ve trendleri belirler. Çalışmada destek vektör makinesi regresyonu (SVMR) ve rastgele orman regresyonu (RFR) gibi yöntemler kullanılarak seyahat süreleri ve talep yüksek doğrulukla tahmin edilmiştir. Bu teknikler, çok değişkenli doğrusal regresyon (MVLRL) ve yarı parametrik regresyon (SPR) gibi geleneksel yöntemlerin performansını aşmıştır. Bu araştırma, Tahran Metro'su için gerçekleştirilmiştir ve kontrol merkezi yöneticileri için etkili bir karar verme yazılımı olarak kullanılabilecektir [24]. Railway traffic on high density urban corridors: Capacity, signalling and timetable çalışmasında kullanılan simülasyon modeli, trenlerin

hareketlerinin ve çalışmasının belirsizliklerini dikkate alan bir simülasyon destekli analizdir. Tren Çalışma Belirsizlikleri: Trenlerin başlangıç ve bekleme sürelerindeki belirsizlikler simülasyon modelinde dikkate alınır. Bu, trenlerin gerçek dünyadaki davranışlarını daha doğru bir şekilde yansıtmak için önemlidir. Zaman Çizelgesi Esnekliği ve Kurtarma Zamanları: Simülasyon modeli, zaman çizelgesi esnekliğini (yani, kurtarma kabiliyetini) ve gecikmeleri telafi etmek için gereken kurtarma ve tampon sürelerini de dikkate alır. Kısa Blok Bölümleri ve Hizmet Seviyesi: Kısa blok bölümlerinin benimsenmesi, trenler arasındaki mesafeyi azaltarak yüksek kapasite seviyelerine ulaşmayı ve hizmet seviyesini artırmayı hedefler. Simülasyon modeli, trenlerin istasyonlara yaklaşma, kuyruk oluşumunu önleme ve gecikmeleri azaltma gibi dinamiklerini analiz etmek için kullanılır. Böylece, demiryolu ağının kapasitesi ve genel performansı optimize edilir [25]. Real-time railway traffic management under moving-block signalling: A literature review and research agenda çalışmasında hareketli blok sinyalizasyon sistemleri ile ilgili çatışma tespiti ve çözümü (CDR) konusunda literatürdeki eksiklikleri tespit ederek ve bu eksiklikleri gidermek için önerilerde birtakım önerilerde bulunulmuştur. Başlıca eksiklik, hareketli blok Sinyalizasyon sisteminin özelliklerini doğru bir şekilde tanımlayan CDR modellerinin olmamasıdır. Bu eksiklikleri gidermek için altyapı ve hız modellemesi üzerinde çalışılması gerektiği belirtilmiştir. Kısacası çalışma, demiryolu operasyonları için daha etkili CDR modellerinin geliştirilmesine yönelik adımları ele almayı önermektedir [26].

Tüm benzer çalışmalar dikkate alındığında oluşturulacak simülasyon anketin tablosu oluşturma çalışmasıyla daha benzer olsa da özgün tarafı gerçek mevcut hat kesiminden alınan bir bölümün farklı bir sinyalizasyon (İngiliz ana hat) sistemi baz alınarak oluşturulması ve de bilgisayar ortamında simüle edilebilir hale getirilmesidir. Bu şekilde normalde ana hat sinyal sistemi için tasarlanan simülasyon programının metro hatları için de uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.

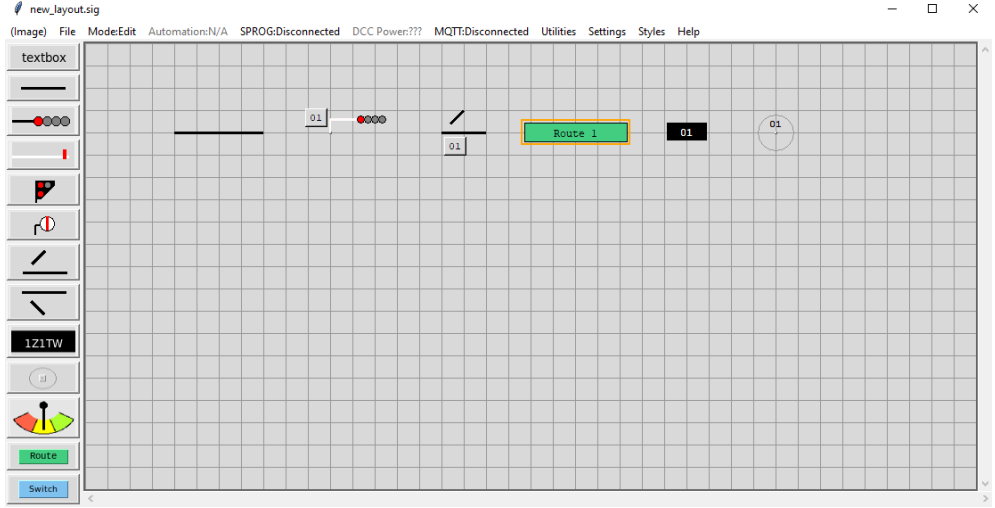
8. NESNE KONTROL SİMÜLASYONU

Çalışmanın bu bölümünde Python programı ile yazılmış DCC Model Railway Signalling uygulaması kullanılarak M9 hattında bulunan Atatürk mahallesi Mimar Sinan istasyonları arası hat kesimi oluşturulmuş ve trenlerin kullanılacağı rota örnekleri anlatılmıştır. Python'da yazılmış bir DCC model demiryolu sinyalizasyon uygulaması, herhangi bir kod yazmaya gerek kalmadan kullanıcı arayüzü üzerinden otomatik ve birbirine bağlı düzen sinyalizasyon şemalarının tasarlanmasını ve yapılandırılmasını sağlar. Uygulama öncelikle Raspberry Pi için tasarlanmıştır, ancak diğer platformlarda da çalışacaktır. Yani tasarlanılan hat şemasının gerçek hayatta bir demosunu yapmak istiyorsanız Raspberry Pi gereklidir. Ancak çalışmamızda rota tanzim işlemleri simülasyon ortamında (Windows işletim sistemli Bilgisayar) gösterimi yapılacaktır. Program aslında İngiliz ana hat sinyalizasyon sistemine göre dizayn edilse de metro sinyal sistemine de uygulanabilir ki bu çalışmada uygulanmıştır.

Anklaşman kumanda merkezinden gelen rota talebini sahadaki ekipmanların durumlarına göre değerlendirir bu rota işleminin uygulanıp uygulanmayacağına karar verir. Eğer rota talebi uygulanacak bölgede herhangi bir sorun yoksa rota tanzim edilir. Ancak rota talebi istenilen bölgede herhangi bir saha ekipmanlarında arıza olması durumunda anklaşman bu rota talebini yerine getirmez. Anklaşman sistemi, bir trenin belirli bir rotada güvenli bir şekilde ilerlemesini sağlamak için sinyalleri ve makasları kontrol eder. Bu sistem, trenin hangi yolda ilerleyeceğini belirler ve bu rotayı kilitler, sinyalleri kontrol ederek trenlerin çarpışmasını önler, makasların doğru konumda olmasını ve tren geçişi sırasında sabit kalmasını sağlar.

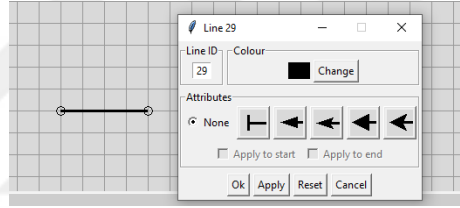
8.1. Hat Kesiminin Oluşturulması

Programda çizgi, makas, sinyal lambası, hat bölümü, rota, hat sensör araçları kullanılarak ilgili hat kesimi oluşturulmuştur.

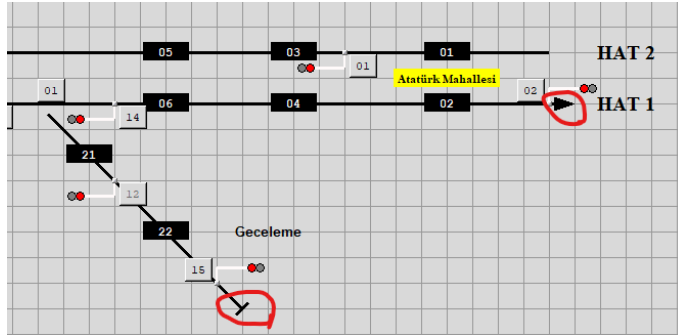


Şekil 8.1. Araçlar soldan sağa: çizgi, sinyal lambası, makas motoru, rota, hat bölümü, hat sensörü

Öncelikle ihtiyacımız kadar çizgi projeye eklenmiştir. Line ID kısmı oluşturacağımız rotalar için önemlidir. Kurulacak rotalarda istenilen yolu yazarken sadece o yoldaki ilgili çizgileri yazmak gerekir.



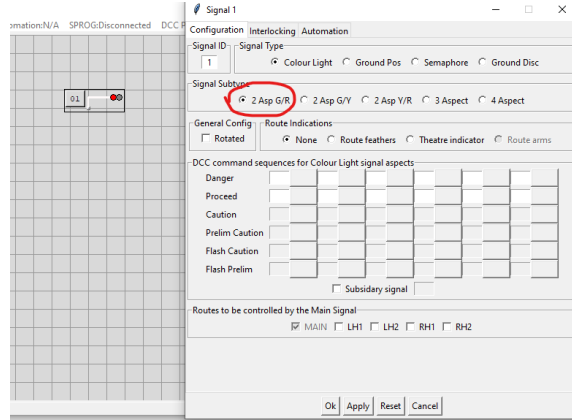
Şekil 8.2. Çizgi sekmesi



Şekil 8.3. Nominal yön hat 1 ve buffer stop geceleme

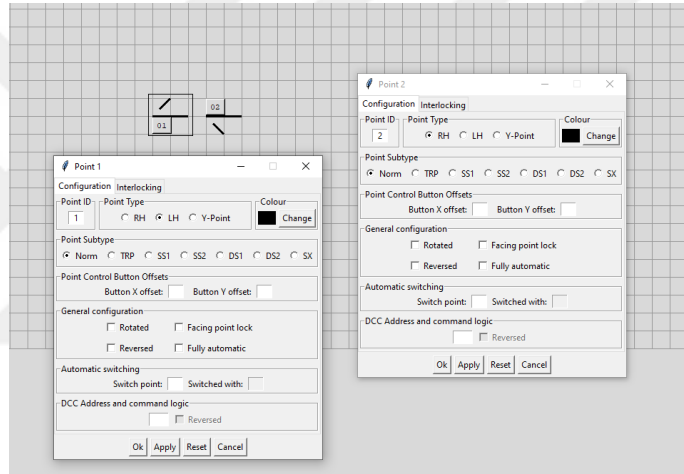
Çizgilere nevine göre şekil 8.3'teki gibi buffer stop işareti ya da yön bildirimi oku eklenebilir.

Sinyal Lambası programda 4 renk bildirimli olarak varsayılan şekilde gelmektedir. İlgili tasarlanılan model 2 renk bildirimli yeşil ve kırmızı olacaktır. Anlamı ise yeşil hareket yetkisi var ilerle, kırmızı hareket yetkisi yok dur anlamındadır. 15 adet sinyal lambası kullanılmıştır. Anlaşman oluştururken ilgili lambaların herbirine gereken değerler girilmelidir. (Karşı sinyali, bir sonraki hedef sinyali vs.)



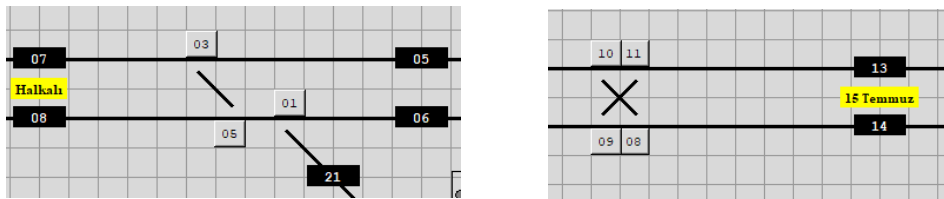
Şekil 8.4. Sinyal lambası sekmesi

Makaslar hat kesimi gereği 4 adet 15 Temmuz istasyonunda (kravazman) 3 adet de Halkalı İstasyonunda (S makas ve Basit Makas) kullanılacaktır.



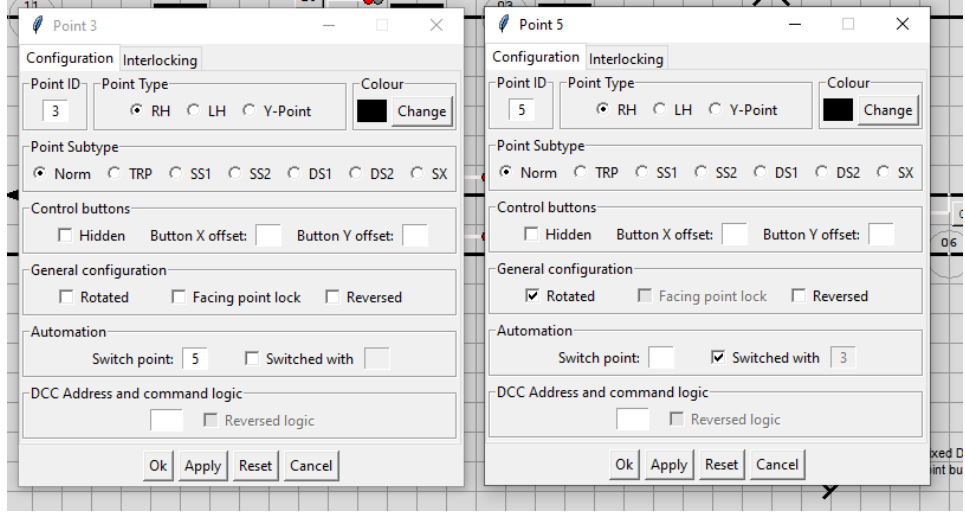
Şekil 8.5. Makas 1 sola makas 2 sağa makaslardır

Gereken 7 makas projeye göre seçilir ve programa yerleştirilir.

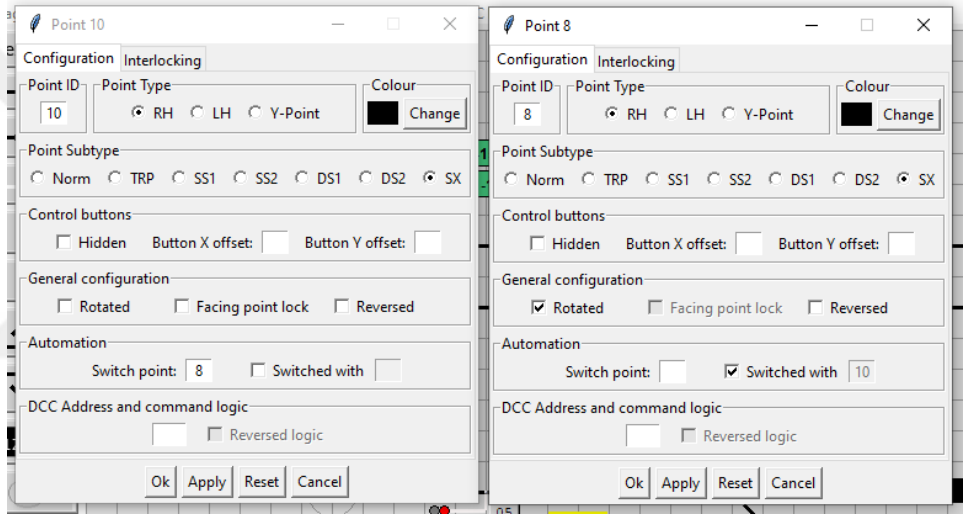


Şekil 8.6. Sol:Halkalı makas sağ:15 Temmuz makas

Makasların anlaşılan algoritmasına göre konfigürasyonları oluşturacak rotalarda yapılacaktır. Makas 3 ve 5, 9 ve 11, 8 ve 10 uyumlu hareket etmesi gerektiğinden otomasyon sekmesinden birbirine ilişkilendirilir. 8,9,10,11 makasları için makas tipi için kravazman seçilir (SX). 3 ve 5 için ise basit makas seçilir. (Norm)

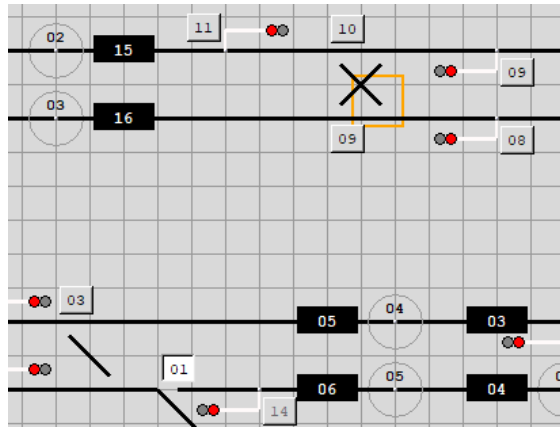


Şekil 8.7. Basit makasların birbiri ile ilişkilendirilmesi



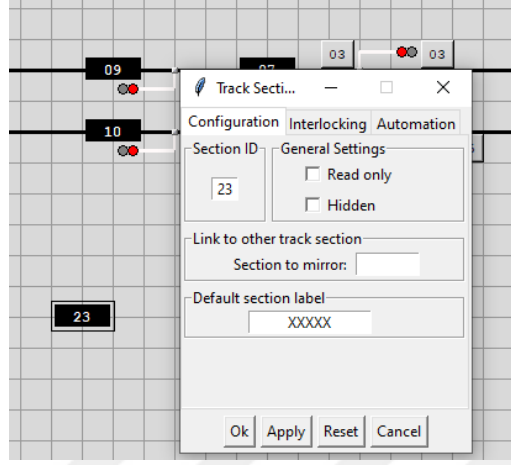
Şekil 8.8. Kruvazman makasların birbiri ile ilişkilendirilmesi

Bu sayede hat kesiminde sadece 10,9,3 ve 1 numaralı makasların simgeleri kalır. 8,11,5 makas simgeleri ekranda görülmeyecek ancak karşısındaki ilişkilendirildikleri makaslarla uyumlu olarak manevra yapacaklardır.



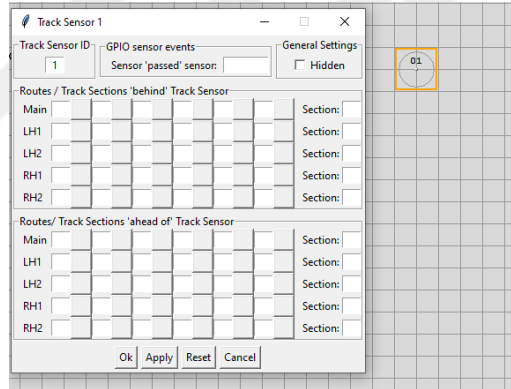
Şekil 8.9. Makasların birbiri ile ilişkilendirilmesinden sonraki durumu

Ray devresi bölgeleri yani track sectionlar hat kesimine eklenir. Track sectionlar da çizgiler gibi ilk etapta projeye eklenir sonradan rota ve anlaşılan oluştururken konfigürasyon işlemleri yapılır.



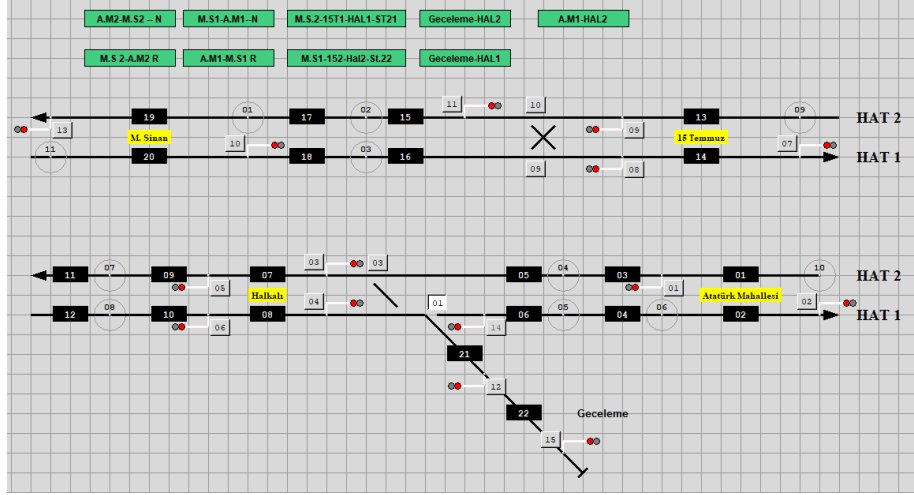
Şekil 8.10. Ray devreleri track sectionlar

Track section'ları ayırmak için sinyallere ilave olarak hat sensörleri eklenir.



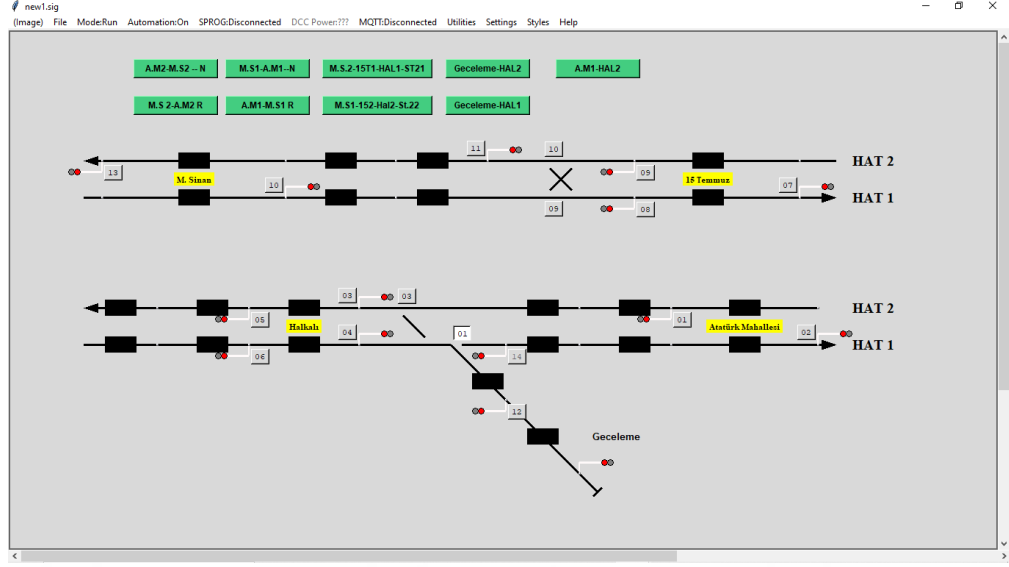
Şekil 8.11. Hat Sensörü sekmesi

Track sectionlarından eklenmesinden sonra çalışma rota, anlaşılan işlemleri için hazır hale gelir.



Şekil 8.12. Hat Sensörü sekmesi

Hattın Nominal yönü Hat 2’de Atatürk mahallesinden Mimar Sinan istasyonuna doğrudur. Hat 1’de ise Mimar Sinan istasyonundan Atatürk mahallesine doğrudur. Ayrıca nominal hat yönleri oklarla da belirtilmiştir. Şekil 8.12.’nin üst tarafındaki yeşil butonlar ilgili hat kesiminde yapılabilecek 9 adet rotayı ifade eder. Bu 9 rota; Atatürk mahallesi peron 2’den Mimar Sinan peron 2’ye yani normal işletme yönü (A.M2-M.S2-N), Mimar Sinan peron 2’den Atatürk mahallesi peron 2’ye yani işletmenin tersi yönü (M.S2-A.M2-R), Mimar Sinan peron 1’den Atatürk mahallesi peron 1’e işletme yönü (M.S1-A.M1-N), Atatürk mahallesi peron 1’den Mimar Sinan peron 1’e işletmenin tersi yönü (A.M1-M.S1-R), Mimar Sinan peron 2 - 15 Temmuz peron 1- Halkalı istasyonu peron 1- Geceleme bölgesi 21 numaralı ray devresi rotası (M.S.2-15T1-HAL1-ST21), Mimar Sinan peron 1- 15 Temmuz peron 2 -Halkalı peron 2 - Geceleme bölgesi 22 numaralı ray devresi rotası (M.S1-15T2-HAL2-ST22), Geceleme bölgesinden Halkalı peron 2 bölgesine olan rota (Geceleme-HAL2), Geceleme bölgesinden Halkalı peron bir bölgesine olan rota (Geceleme-HAL1) ve son olarak Atatürk mahallesi peron 1’den Halkalı peron 2 bölgesine (A.M1-HAL2) olan rota oluşturulmuştur. Şekil 38’de program edit modundadır. Yani çalışmamızda bir değişiklik yapabiliriz anlamına gelir. Gereken rotaları çalıştırmak için program run moduna alınır.



Şekil 8.13. Hat kesiminin run modunda görünümü.

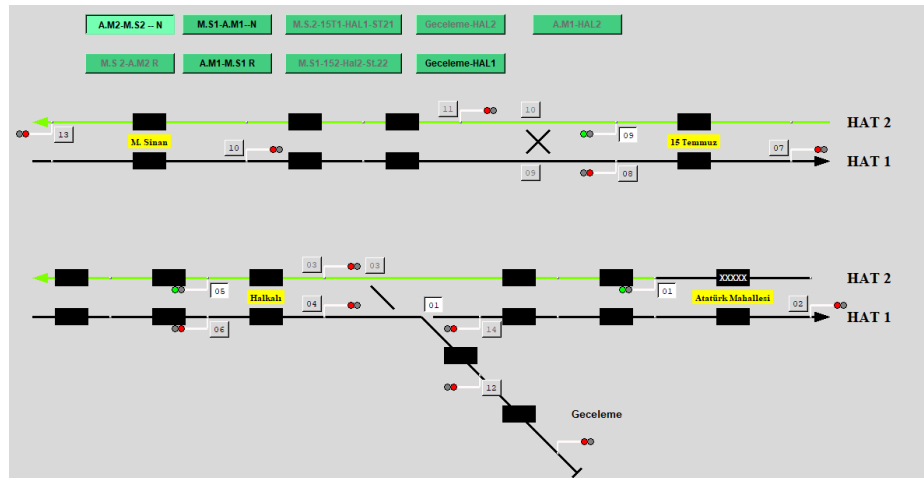
8.2. Rotalar

8.2.1 Atatürk Mahallesi peron 2'den Mimar Sinan peron 2'ye normal işletme

Bu rota hatta işletme saatleri boyunca tercih edilen rota olacaktır. Hatta herhangi bir sorun olmadıkça bu rota uygulanabilir olacaktır. Ayrıca bu rotayı içeren diğer rotalar anlaşılan gereği pasif olmuştur ve programda silik şekilde görülür. Tablo 8.1'de bu rota için açılabilen ve kilitlenen rotalar görülmektedir. Yani bu rota aktifken bu rotayı içeren herhangi bir rota kurulamayacaktır. Bundan sonraki rotalar için de aynı durum geçerli olacaktır.

Tablo 8.1. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
M.S2-A.M2-R M.S2-15T1-HAL1-ST21 M.S1-15T2-HAL2-ST22 Geceleme-HAL2 A.M1-HAL2	M.S1-A.M1-N A.M1-M.S1-R Geceleme-HAL1

[illegible]

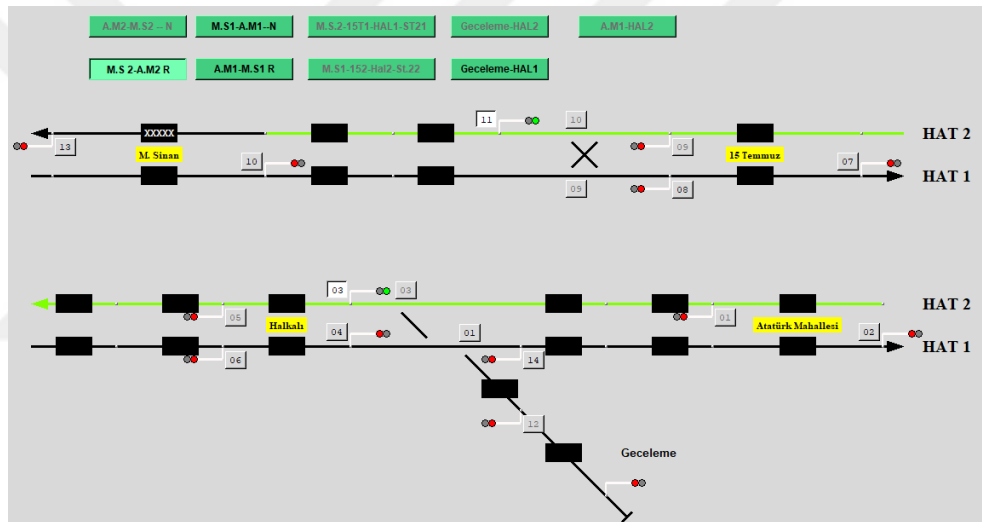
İlgili rotada makaslar 10,11,3,5,8,9 doğru yola kilitlenecektir. 1,5,9 sinyalleri yeşil olmalıdır. Kullanılacak olan çizgiler 3,6,7,9,11,13,19,21,23,25,27'dir. Doğrudan kullanılacak olan makaslar 10,11,3'tür. Tren Atatürk Mahallesinde siyah XXXXX ile gösterilmektedir.

8.2.2 Mimar Sinan peron 2 den Atatürk Mahallesi peron 2'ye işletmenin tersi yönü

Bu rota normalde işletmede tercih edilen bir rota değildir. Ancak bir sorun olması durumunda ya da test veya işletme bitiminde depoya geri giderken vb. amaçla kullanılabilir. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.2'deki gibidir.

Tablo 8.2. *İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar*

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
A.M2-M.S2-N M.S.2-15T1-HAL1-ST21 M.S1-15T2-HAL2-ST22 Geceleme-HAL2 A.M1-HAL2	M.S1-A.M1-N A.M1-M.S1-R Geceleme-HAL1



Şekil 8.16. *M.S2-A.M2-R*

Şekil 8.17. M.S2-A.M2-R gereken konfigürasyon

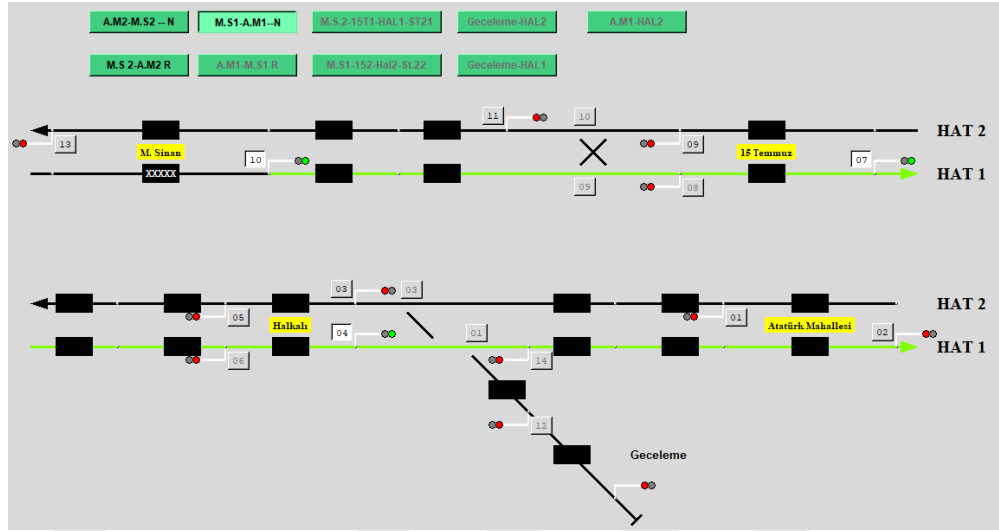
İlgili rotada doğru yola kilitlenecek makaslar 10,11,3,5,8,9'dur. 3,11 sinyali yeşil olmalıdır. 25,23,21,19,13,11,9,7,6,3,1 çizgiler kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 10,11,3'tür.

8.2.3 Mimar Sinan peron 1'den Atatürk Mahallesi peron 1'e işletme yönü

Bu rota da hatta işletme saatleri boyunca tercih edilen rota olacaktır. Hatta herhangi bir sorun olmadıkça bu rota uygulanabilir olacaktır. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.3'teki gibidir.

Tablo 8.3. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
A.M1-M.S1-R M.S.2-15T1-HAL1-ST21 M.S1-15T2-HAL2-ST22 Geceleme-HAL2 Geceleme-HAL1 A.M1-HAL2	A.M2-M.S2-N M.S2-A.M2-R



Şekil 8.18. M.S1-A.M1-N

Route 2

Button ID: 2 Route Name: M.S1-A.M1-N Button width: 15 Chars: 15

Route information

Route description (Run Mode tooltip)

Button colour: Text colour: ☒ Auto ☐ Black ☐ White

Button font: ☐ Courier ☐ Times ☒ Helvetica ☐ TkFixedFont

Font size: Pixels: 9 Font style: ☒ Bold ☐ Italic ☐ Underline

Points to set: 1 → 10 → 11 → 3 → 5 → 8 → 9 → +

DCC Switches to set: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ +

Main signals to clear: 10 7 4 ☐ ☐ ☐ ☐ +

Subsidiary signals to clear: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ +

Route lines to highlight: 26 24 20 14 12 10 8 5 4 2 22 18 + 17 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ + -

Points to highlight: 9 8 5 1 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ +

Route highlighting: Route settings: ☐ Track Sensor to trigger route setup: ☐ Track Sensor to trigger route reset: ☒ Reset points on deselection: ☐ Reset Switches on deselection

Switch delay (ms):

Şekil 8.19. M.S1-A.M1-N gereken konfigürasyon

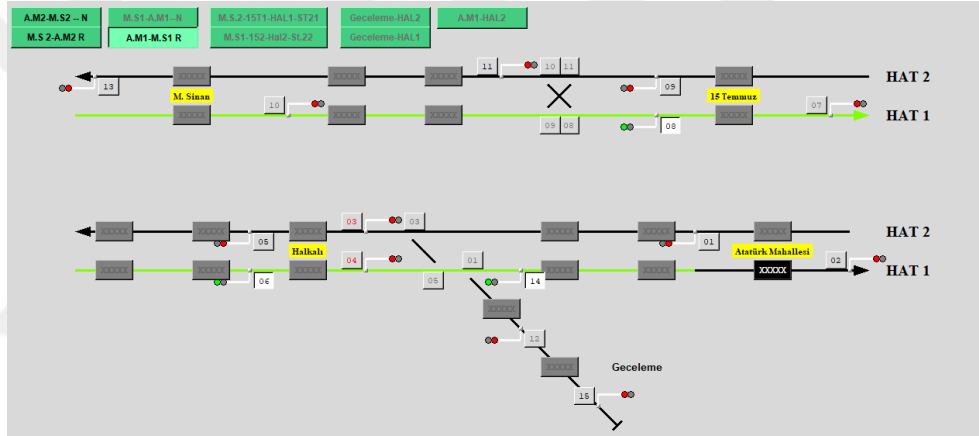
İlgili rotada doğru yola kilitlenecek makaslar 1,10,11,3,5,8,9'dur. 10,7,4 sinyali yeşil olmalıdır. 26,24,20,14,12,10,8,5,4,2,22,18 çizgileri kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 9,8,5,1'dir.

8.2.4 Atatürk mahallesi peron 1'den Mimar Sinan peron 1'e işletmenin tersi yönü

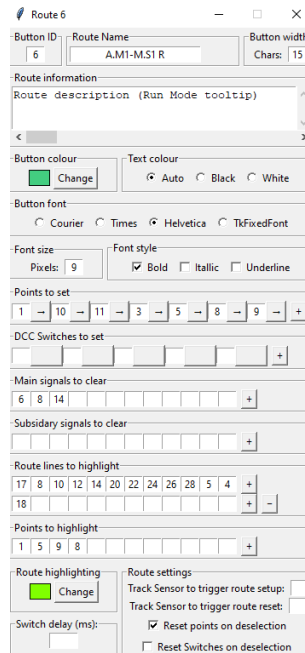
Bu rota da normalde işletmede tercih edilen bir rota değildir. Ancak bir sorun olması durumunda ya da test vb. amaçla kullanılabilir. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.4'teki gibidir.

Tablo 8.4. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
M.S1-A.M1-N M.S2-15T1-HAL1-ST21 M.S1-15T2-HAL2-ST22 Geceleme-HAL2 Geceleme-HAL1 A.M1-HAL2	A.M2-M.S2-N M.S2-A.M2-R



Şekil 8.20. A.M1-M.S1-R işletmenin tersi yönü



Şekil 8.21. A.M1-M.S1-R işletmenin tersi yönü gereken konfigürasyon

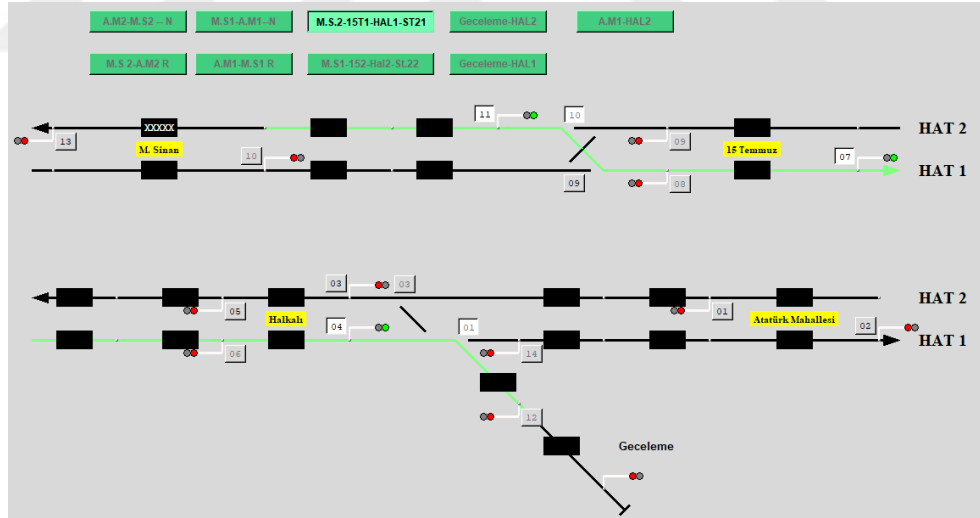
İlgili rotada doğru yola kilitlenecek makaslar 1,10,11,3,5,8,9'dur. 6,8,14 sinyali yeşil olmalıdır. 17,8,10,12,14,20,22,24,26,28,5,4,18 çizgileri kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 9,8,5,1'dir.

8.2.5 Mimar Sinan peron 2- 15 Temmuz peron 1- Halkalı istasyonu peron 1- Geceleme Bölgesi 21 numaralı ray devresi rotası

Bu rota da ihtiyaç halinde kullanılabilir. İşletmede çok sık kullanılan bir rota olmasa da bir sorun olması durumunda ya da test amacıyla veya işletme bitiminde parklanma yapma vb. amaçla kullanılabilir. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.5'teki gibidir.

Tablo 8.5. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
A.M2-M.S2-N M.S2-A.M2-R M.S1-A.M1-N (A.M1-M.S1-R) (M.S1-15T2-HAL2-ST22) (Geceleme-HAL2) (Geceleme-HAL1) (A.M1-HAL2)	



Şekil 8.22. M.S2-15T1-HAL1-ST21 rotası

Şekil 8.23. M.S2-15T1-HAL1-ST21 rotası gereken konfigürasyon

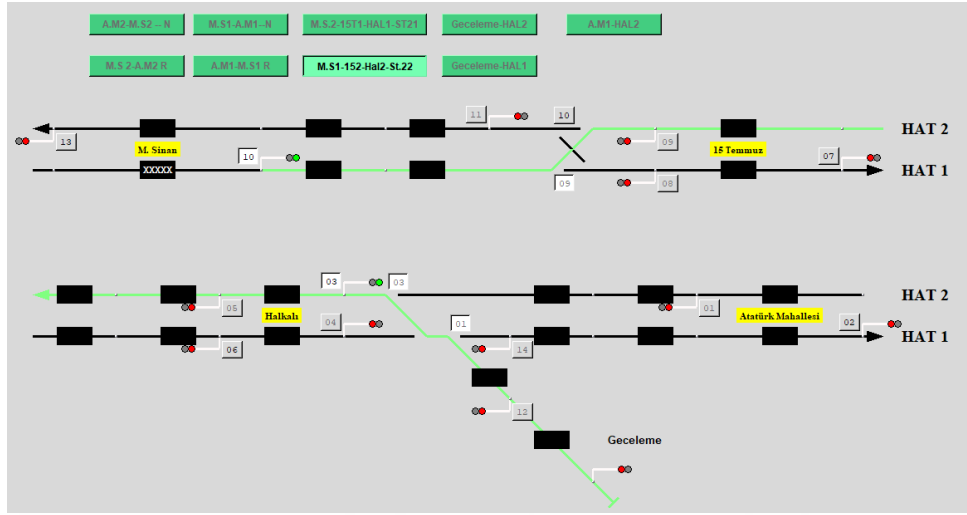
İlgili rotada doğru yola kilitlenecek makaslar 11,3,5,9 sapan yola kilitlenecek makaslar 1,10,8'dir. 11,7,4 sinyali yeşil olmalıdır. 25,23,22,20,14,12,10,8,18,15 çizgileri kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 10,8,5,1'dir.

8.2.6 Mimar Sinan peron 1- 15 Temmuz peron 2 -Halkalı peron 2- Geceleme Bölgesi 22 numaralı ray devresi rotası

İşletmede çok sık kullanılan bir rota olmasa da bir sorun olması durumunda ya da test amacıyla veya işletme bitiminde parklanma yapma vb. amaçla kullanılabilir. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.6'daki gibidir.

Tablo 8.6. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
A.M2-M.S2-N M.S2-A.M2-R M.S1-A.M1-N (A.M1-M.S1-R) (M.S2-15T1-HAL1-ST21) (Geceleme-HAL2) (Geceleme-HAL1) (A.M1-HAL2)	



Şekil 8.24. M.S1-15T2-HAL2-ST22 rotası

Şekil 8.25. M.S1-15T2-HAL2-ST22 rotası gereken konfigürasyon

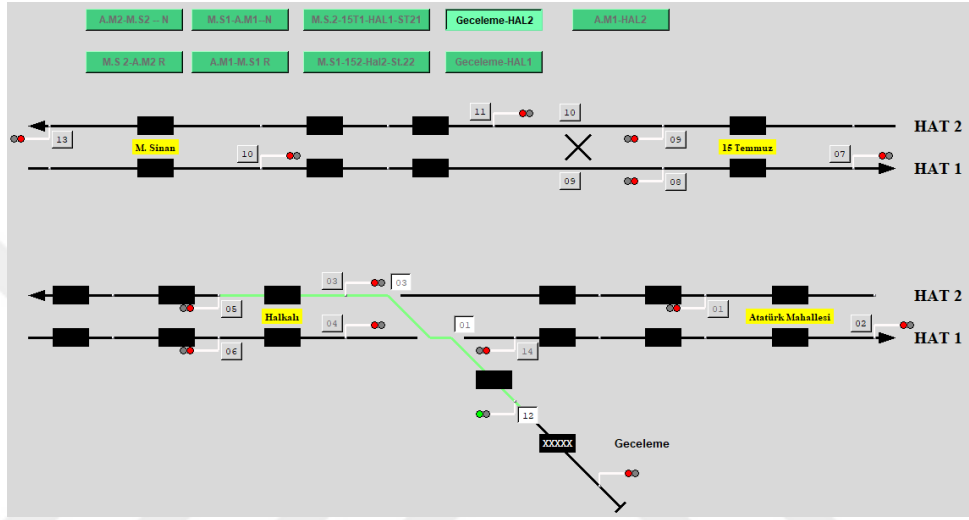
İlgili rotada doğru yola kilitlenecek makaslar 10 ve 8 sapan yola kilitlenecek makaslar 1,11,3,5,9'dur. 10,3 sinyali yeşil olmalıdır. 26,24,21,19,13,11,9,7,18,15,16 çizgileri kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 9,11,3,5,1'dir.

8.2.7 Geceleme Bölgesinden Halkalı peron 2 bölgesine rota

Parklanmada olup hatta alınacak trenler için ilgili rota kullanılabilir. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.7'deki gibidir.

Tablo 8.7. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
A.M2-M.S2-N M.S2-A.M2-R M.S1-A.M1-N A.M1-M.S1-R M.S1-15T2-HAL2-ST22 M.S2-15T1-HAL1-ST21 Geceleme-HAL1 A.M1-HAL2	



Şekil 8.26. Geceleme-HAL2 rotası

Route 3

Button ID: 3 Route Name: Geceleme-HAL2 Button width: 15 Chars: 15

Route information

Route description (Run Mode tooltip)

Button colour: Text colour: ☒ Auto ☐ Black ☐ White

Button font: ☐ Courier ☐ Times ☒ Helvetica ☐ TxFixedFont

Font size: 9 Font style: ☒ Bold ☐ Italic ☐ Underline

Points to set: 1 3 5

DCC Switches to set: +

Main signals to clear: 12 +

Subsidiary signals to clear: +

Route lines to highlight: 15 7 9 18 +

Points to highlight: 1 5 3 +

Route highlighting: Route settings: ☐ Track Sensor to trigger route setup: ☐ Track Sensor to trigger route reset: ☒ Reset points on deselection

Switch delay (ms):

Şekil 8.27. Geceleme-HAL2 rotası gereken konfigürasyon

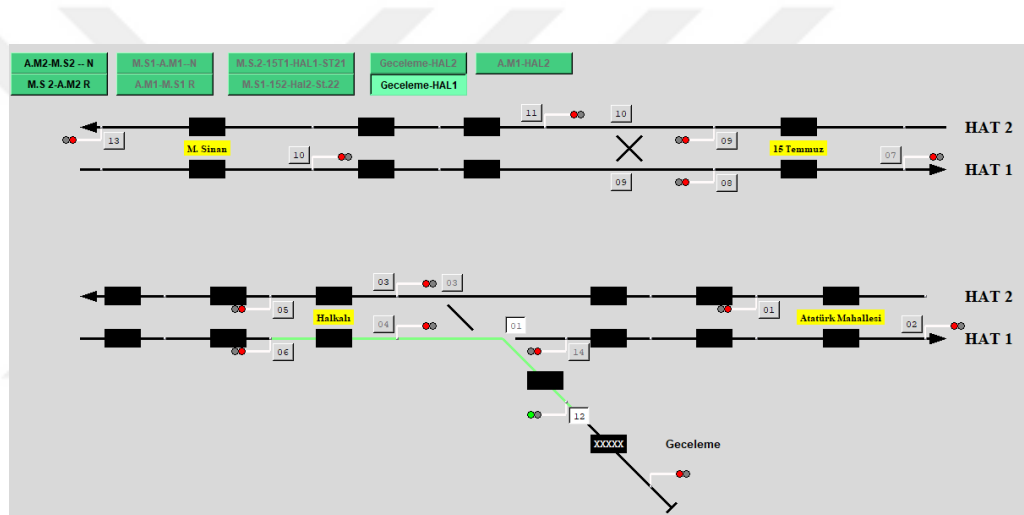
İlgili rotada sapan yola kilitlenecek makaslar 1,3,5'dir. 12 sinyali yeşil olmalıdır. 15,7,9,18 çizgileri kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 1,3,5'tir.

8.2.8 Geceleme Bölgesinden Halkalı peron bir bölgesine rota

Yine bu rota da parklanmada olup hatta alınacak trenler için ilgili rota kullanılabilir. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.8'daki gibidir.

Tablo 8.8. *İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar*

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
M.S1-A.M1-N A.M1-M.S1-R M.S.2-15T1-HAL1-ST21 M.S.1-15T2-HAL2-ST22 Geceleme-HAL2 A.M1-HAL2	A.M2-M.S2-N M.S2-A.M2-R



Şekil 8.28. Geceleme-HAL1 rotası

Şekil 8.29. Geceleme-HAL1 rotası gereken konfigürasyon

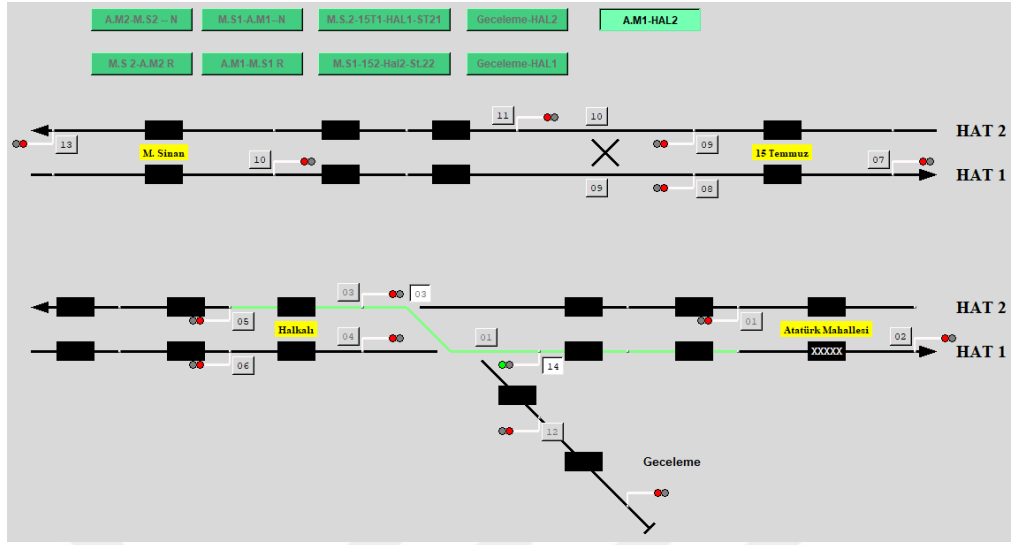
İlgili rotada doğru yola kilitlenecek makaslar 3 ve 5 sapan yola kilitlenecek makas 1'dir. 12 sinyali yeşil olmalıdır. 15,18,8,10 çizgileri kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 1,5'tir.

8.2.9 Atatürk Mahallesi peron 1'den Halkalı peron 2 bölgesine rota

Yine işletmede esnekliği artırmak için kullanabilen, test amaçlı ve de sorun durumunda vb. amaçla kullanabilen bir rotadır. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar tablo 8.9'daki gibidir.

Tablo 8.9. İlgili rota için kilitlenen ve açılabilen rotalar

Bu Rota Açıkken Kilitlenen Rotalar	Bu Rota Açıkken Açılabilen Rotalar
A.M2-M.S2-N M.S2-A.M2-R M.S1-A.M1-N A.M1-M.S1-R M.S.2-15T1-HAL1-ST21 M.S.1-15T2-HAL2-ST22 Geceleme-HAL2 Geceleme-HAL1	



Şekil 8.30. A.M1-HAL2 rotası

Route 9

Button ID: 9 Route Name: A.M1-HAL2 Button width: Chars: 15

Route information

Route description (Run Mode tooltip)

Button colour: ☒ Change Text colour: ☒ Auto ☐ Black ☐ White

Button font: ☐ Courier ☐ Times ☒ Helvetica ☐ TkFixedFont

Font size: Pixels: 9 Font style: ☒ Bold ☐ Italic ☐ Underline

Points to set: 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19

DCC Switches to set: 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19

Main signals to clear: 14

Subsidiary signals to clear: 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19

Route lines to highlight: 4 5 17 18 7 9

Points to highlight: 1 5 3

Route highlighting: ☒ Change

Route settings: ☐ Track Sensor to trigger route setup: ☐ Track Sensor to trigger route reset: ☒ Reset points on deselection

Switch delay (ms):

Şekil 8.31. A.M1-HAL2 rotası gereken konfigürasyon

İlgili rotada sapan yola kilitlenecek makaslar 3 ve 5 doğru yola kilitlenecek makas 1'dir. 14 sinyali yeşil olmalıdır. 4,5,17,18,7,9 çizgileri kullanılmalıdır. Doğrudan kullanılacak makaslar 1,5,3'tür.

8.3. Anlaşman Konfigürasyonu

8.3.1. Sinyallerin konfigürasyonu

8.3.1.1. Hat 2 sinyalleri konfigürasyonu

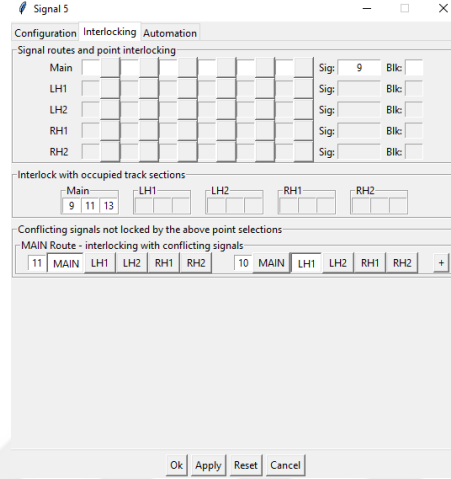
Şekil 8.32. Sinyal 1 anlaşman konfigürasyonu

Şekil 8.32’de görüldüğü üzere Sinyal 1’in konfigürasyonunda 3 ve 5 makasları doğru yola kilitlenecektir. Bir sonraki hedef sinyal 5 numaralı sinyaldir. 3,5,7 numaralı track sectionların meşguliyeti bu sinyalle ilgili olacaktır. Karşı yöndeki sinyali 3 numaralı sinyaldir.

Şekil 8.33. Sinyal 3 anlaşman konfigürasyonu

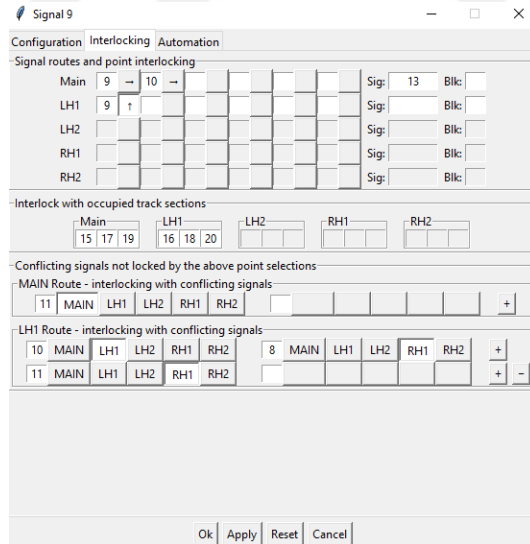
Şekil 8.33.’te görüldüğü üzere sinyal 3’ün konfigürasyonunda ana rotasında 3 makası doğru yola kilitlenecektir. 1,3,5 numaralı track sectionların meşguliyeti bu sinyalin bu rotasıyla ilgili olacaktır. Bu rotasında karşı sinyal 1’dir. Sağa olan birinci rotasında 3 makası sapana, 1 makası doğru yola kilitlenecektir. Bu rotasında hedef sinyali

2, karşı sinyali 14'tür. 6,4,2 numaralı track sectionların meşguliyeti sinyalin bu rotasıyla ilgili olacaktır. Sağa olan 2. rotasında ise 3 ve 1 makası sapana kilitlenecektir. Bu rotasında hedef sinyali 15 karşı sinyali 12'dir. 21,22 numaralı track sectionların meşguliyeti sinyalin bu rotası ile ilgili olacaktır.



Şekil 8.34. Sinyal 5 anlaşman konfigürasyonu

Şekil 8.34.'te görüldüğü üzere gibi sinyal 5'in hedef sinyali 9'dur. 9,11,13 numaralı track sectionların meşguliyeti bu sinyalle ilgili olacaktır. Karşı sinyalleri doğru yolda 11, sapan yol rotasında 10'dur.



Şekil 8.35. Sinyal 9 anlaşman konfigürasyonu

Şekil 8.35.'te görüldüğü üzere sinyal 9'un doğru yol (ana) rotasında; doğru yola kilitlenecek makasları 9,10 hedef sinyali 13, meşguliyeti ile ilişkili olduğu track sectionlar 15,17,19, karşı sinyali 11'dir. Sola sapan rotasında ise; sapana kilitlenecek makası 9, meşguliyeti ile ilişkili olduğu track sectionlar 16,18,20, karşı sinyalleri 10,8,11'dir.

Şekil 8.36. Sinyal 11 anlaşılan konfigürasyonu

Şekil 8.36.'te görüldüğü üzere Sinyal 11'in ana rotasında 10 ve 9 makası doğru yola kilitlenmeli, hedef sinyali 3, meşguliyeti ile ilgili olduğu track sectionlar 13,11,9 ve karşı sinyali 9'dur. Sağa sapan rotasında 10 numaralı makas sapana kilitlenmeli, hedef sinyali 7, meşguliyeti ile ilgili olduğu track section 14, karşı sinyali 8, 9,10,5'tir.

8.3.1.2. Hat 1 sinyalleri konfigürasyonu

Tekrara düşmemek adına diğer sinyallerin konfigürasyonlarının sadece ekran görüntüleri eklenmiştir. 2,13,15 numaralı sinyaller seçilen hattın son sinyalleri olduğundan konfigürasyon yapılmamıştır.

Şekil 8.37. Sinyal 14 anlaşılan konfigürasyonu

The screenshot shows the 'Signal 10' configuration window with the 'Interlocking' tab selected. The window is divided into several sections:

- Signal routes and point interlocking:** A table with columns for Main, LH1, LH2, RH1, RH2, and a 'Sig:' column. The 'Main' row shows a route from 9 to 10. The 'LH1' row shows a route from 9 to 1. The 'LH2' row is empty. The 'RH1' and 'RH2' rows are empty. The 'Sig:' column shows values 7, 3, and empty for the respective rows.
- Interlock with occupied track sections:** A table with columns for Main, LH1, LH2, RH1, and RH2. The 'Main' row shows track sections 18, 16, and 14. The 'LH1' row shows 18, 16, and 13. The 'LH2', 'RH1', and 'RH2' rows are empty.
- Conflicting signals not locked by the above point selections:** Two sections for 'MAIN Route' and 'LH1 Route'. Each section has a table with columns for MAIN, LH1, LH2, RH1, RH2, and a '+' button. The 'MAIN Route' section shows a route from 8 to MAIN. The 'LH1 Route' section shows a route from 9 to MAIN.

At the bottom of the window are buttons for 'Ok', 'Apply', 'Reset', and 'Cancel'.

Şekil 8.42. Sinyal 10 anlaşman konfigürasyonu

8.3.1.3. Geceleme hattı sinyali konfigürasyonu

The screenshot shows the 'Signal 12' configuration window with the 'Interlocking' tab selected. The window is divided into several sections:

- Signal routes and point interlocking:** A table with columns for Main, LH1, LH2, RH1, RH2, and a 'Sig:' column. The 'Main' row shows a route from 1 to 3. The 'LH1' row is empty. The 'LH2' row is empty. The 'RH1' row shows a route from 1 to 3. The 'RH2' row is empty. The 'Sig:' column shows values 6, empty, empty, and 5 for the respective rows.
- Interlock with occupied track sections:** A table with columns for Main, LH1, LH2, RH1, and RH2. The 'Main' row shows track sections 21, 8, and 10. The 'LH1' row is empty. The 'LH2' row is empty. The 'RH1' row shows 21, 7, and 9. The 'RH2' row is empty.
- Conflicting signals not locked by the above point selections:** Two sections for 'MAIN Route' and 'RH1 Route'. Each section has a table with columns for MAIN, LH1, LH2, RH1, RH2, and a '+' button. The 'MAIN Route' section shows a route from 4 to MAIN. The 'RH1 Route' section shows a route from 3 to MAIN.

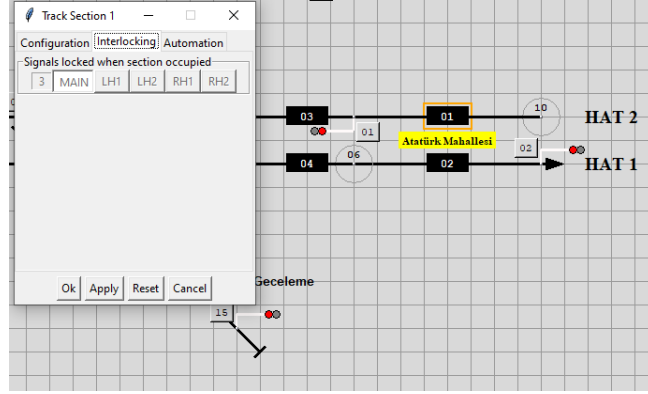
At the bottom of the window are buttons for 'Ok', 'Apply', 'Reset', and 'Cancel'.

Şekil 8.43. Sinyal 12 anlaşman konfigürasyonu

8.3.2. Track Section (hat bölümü) konfigürasyonu

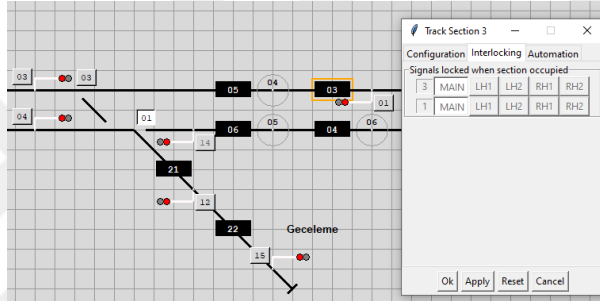
8.3.2.1 Hat 2 Track Section (hat bölümü) konfigürasyonu

Hat bölümlerinin anlaşman konfigürasyonu, ilgili hat bölümü meşguliyet durumuna düştüğünde hangi sinyal ya da sinyalleri etkilemesi yani o sinyali kilitlemesi durumuna göre yapılmıştır.



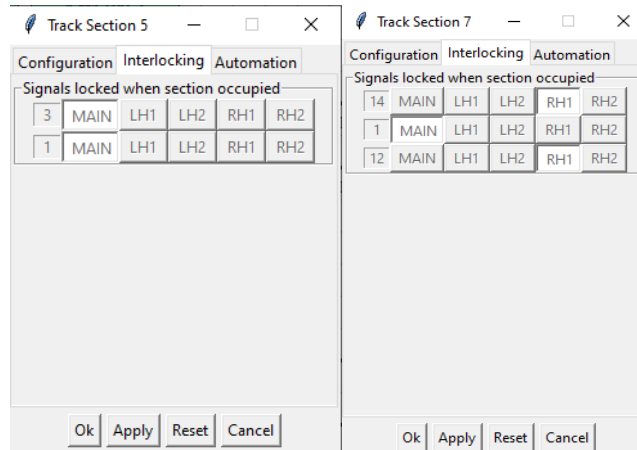
Şekil 8.44. Track section 1 anlaşılan konfigürasyonu

Şekil 8.44.'te 1 numaralı track section meşgul olduğunda 3 numaralı sinyal kilitlenecektir ve bu ana rota için geçerli olacaktır.

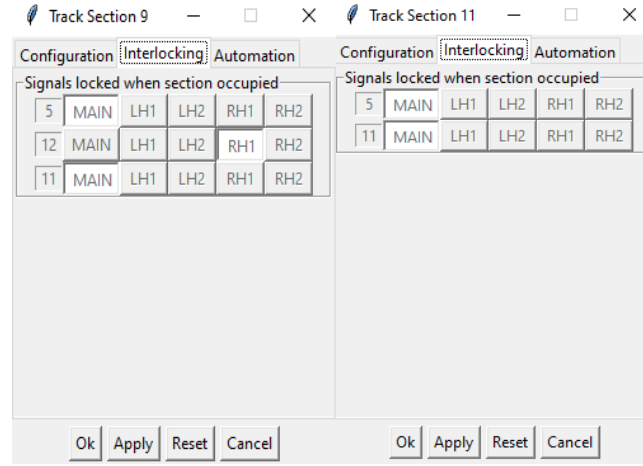


Şekil 8.45. Track section 3 anlaşılan konfigürasyonu

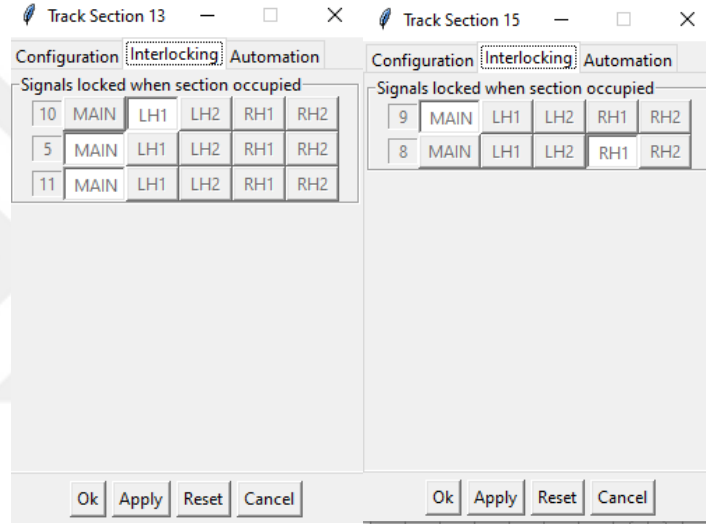
Şekil 8.45.'te görüleceği üzere 3 numaralı track section meşgul olduğunda 3 ve 1 numaralı sinyaller kilitlenecektir ve bu ana rotalar için geçerli olacaktır. Bundan sonraki track sectionların tekrar olmaması için sadece konfigürasyon ekran görüntüleri eklenecektir.



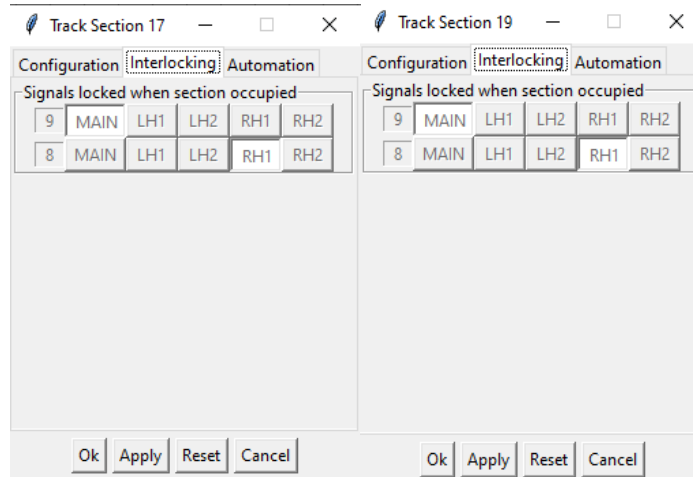
Şekil 8.46. Track section 5 ve 7 anlaşılan konfigürasyonu



Şekil 8.47. Track section 9 ve 11 anlaşman konfigürasyonu



Şekil 8.48. Track section 13 ve 15 anlaşman konfigürasyonu



Şekil 8.49. Track section 17 ve 19 anlaşman konfigürasyonu.

8.3.2.2 Hat 1 track section (hat bölümü) konfigürasyonu

Hat1'in track sectionlarının konfigürasyonları sırasıyla şekiller 8.50.,8.51.,8.52.,8.53.,8.54.'deki gibidir.

Track Section 2

Signal	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
3					
4					

Track Section 4

Signal	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
3					
4					

Şekil 8.50. Track section 2 ve 4 anlaşılan konfigürasyonu

Track Section 6

Signal	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
3					
4					
12					

Track Section 8

Signal	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
7					
14					
12					

Şekil 8.51. Track section 6 ve 8 anlaşılan konfigürasyonu

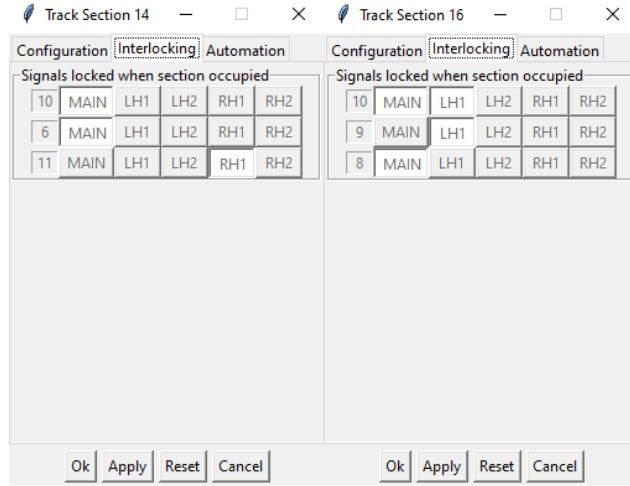
Track Section 10

Signal	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
6					
7					
12					

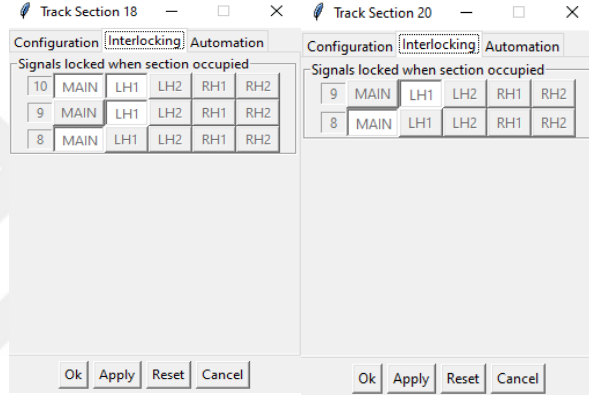
Track Section 12

Signal	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
6					
7					

Şekil 8.52. Track section 10 ve 12 anlaşılan konfigürasyonu



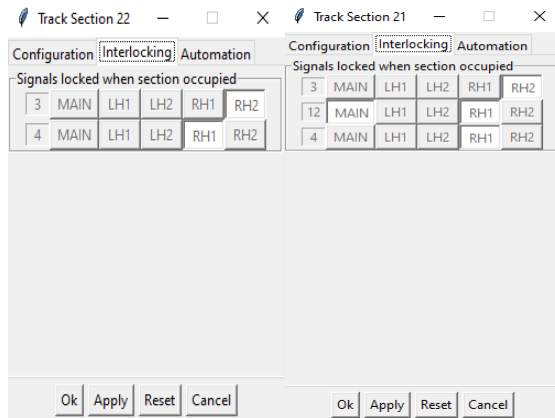
Şekil 8.53. Track section 14 ve 16 anlaşıman konfigürasyonu



Şekil 8.54. Track section 14 ve 16 anlaşıman konfigürasyonu

8.3.2.3 Geceleme bölgesi track section (hat bölümü) konfigürasyonu

Track Section 21 ve 22'nin konfigürasyonu Şekil 8.55.'deki gibidir.

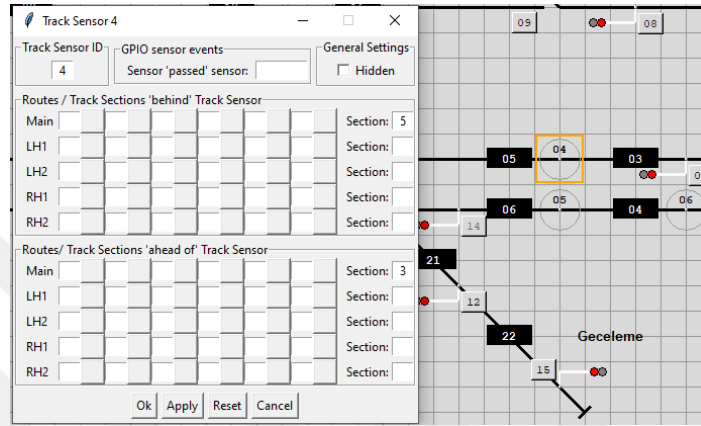


Şekil 8.55. Track section 21 ve 22 anlaşıman konfigürasyonu

8.3.3. Track sensor (hat sensörü) konfigürasyonu

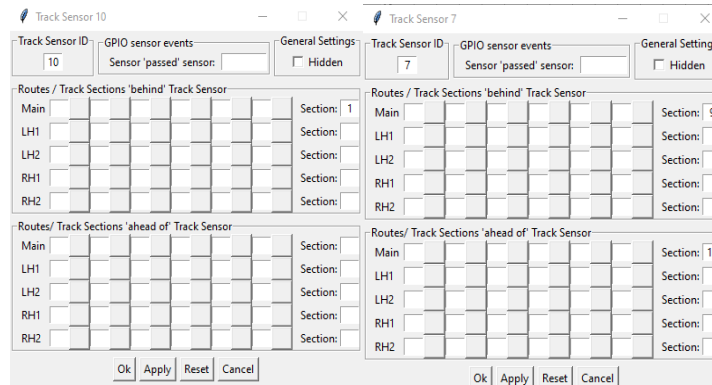
Bu sensörler diğer bir tabirle dingil (aks) sayıcı olarak bilinir. Belirli bir mesafe ile iki sensor aynı hat üzerine montajı yapılır. Tren ilk sensörü geçtiğinde ilk sensor tren dingillerini saymaya başlar. Bu durumda ilgili bölgede tren var demektir. Tren iki sensor arası bölgeden çıkarken sonraki sensor de saymaya başlar. Sonraki sensor ile ilk sensor aynı dingil sayısına ulaştığında ilgili bölgede tren yok anlamına gelir.

8.3.3.1. Hat 2 track sensor (hat sensörü) konfigürasyonu

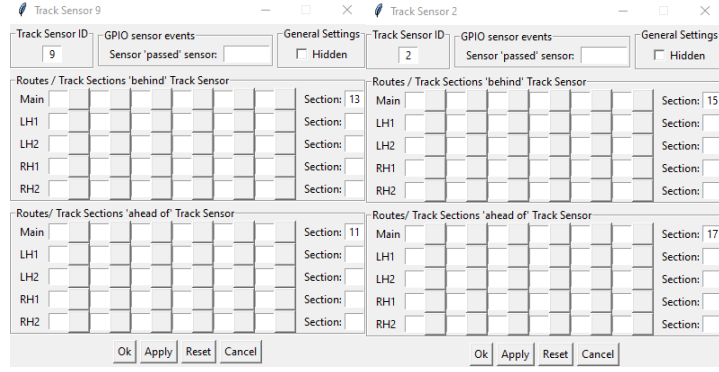


Şekil 8.56. Track sensor 4 konfigürasyonu

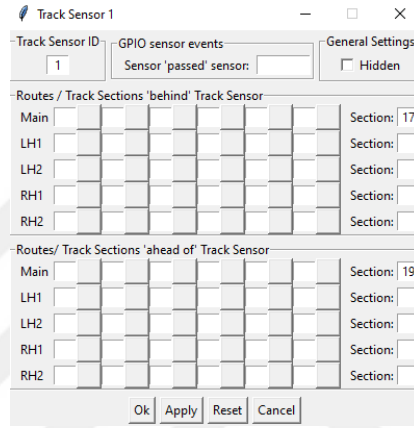
Şekil 8.56.'da görüldüğü gibi ilgili sensörün arkasındaki ve önündeki track sectionlar girilerek konfigürasyon yapılmıştır. Bu mantıkla diğer track sensörlerin konfigürasyon işlemleri yapılmıştır. Ekran görüntüleri aşağıdaki 8.57.,8.58.,8.59. şekillerindeki gibidir.



Şekil 8.57. Track sensör 10 ve 7 konfigürasyonu



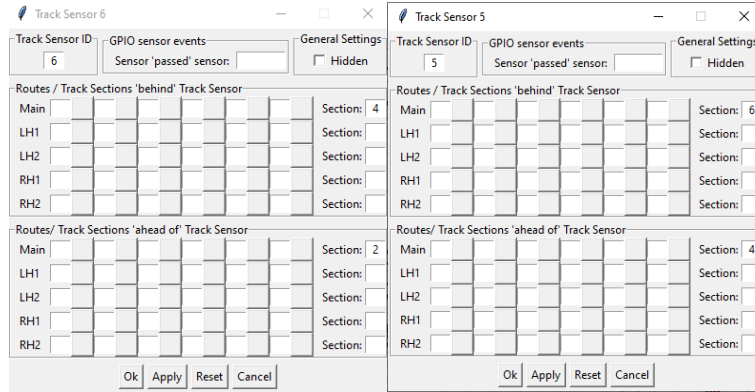
Şekil 8.58. Track sensör 9 ve 2 konfigürasyonu



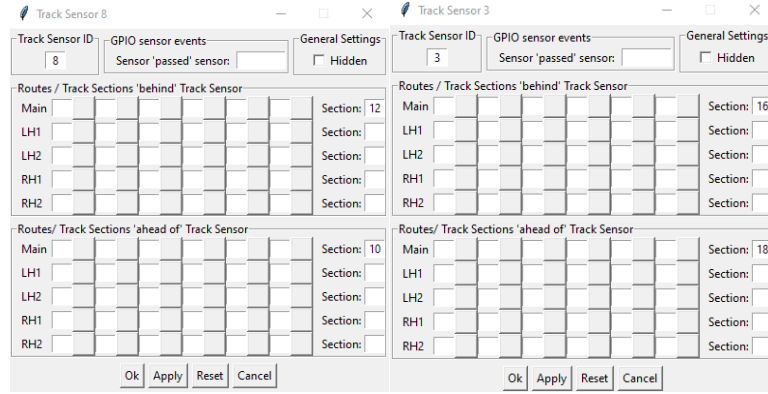
Şekil 8.59. Track sensör 1 konfigürasyonu

8.3.3.2. Hat 1 track sensor (hat sensörü) konfigürasyonu

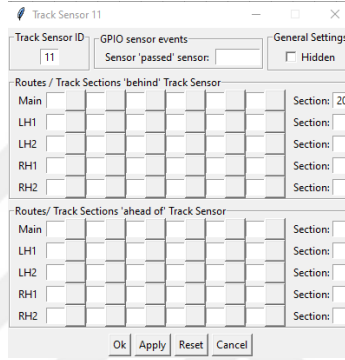
Hat1'in track sensörlerinin konfigürasyonları sırasıyla şekiller 8.60.,8.61.,8.62.'deki gibidir.



Şekil 8.60. Track sensör 6 ve 5 konfigürasyonu



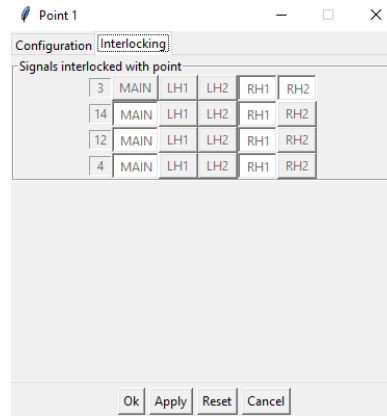
Şekil 8.61. Track sensör 8 ve 3 konfigürasyonu



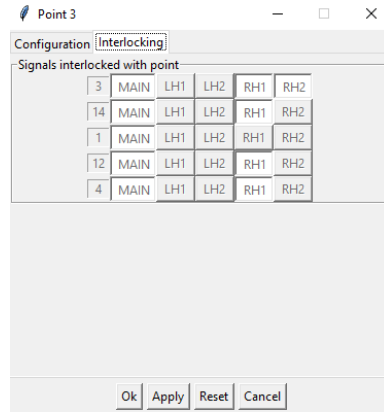
Şekil 8.62. Track sensör 11 konfigürasyonu

8.3.4. Makasların konfigürasyonu

Önceki bölümde sinyallerin konfigürasyonunu yaparken makasları kullanmıştık. Program makasların anlaşılan konfigürasyonu varsayılan olarak oluşturmuştur. Şekil 8.63. ve 8.64.'te 1 ve 3 numaralı makasların anlaşılan konfigürasyonları verilmiştir.

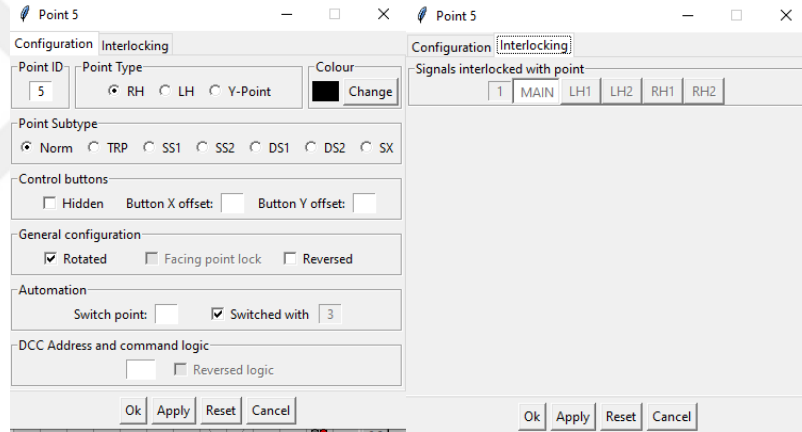


Şekil 8.63. Makas 1 anlaşılan konfigürasyonu



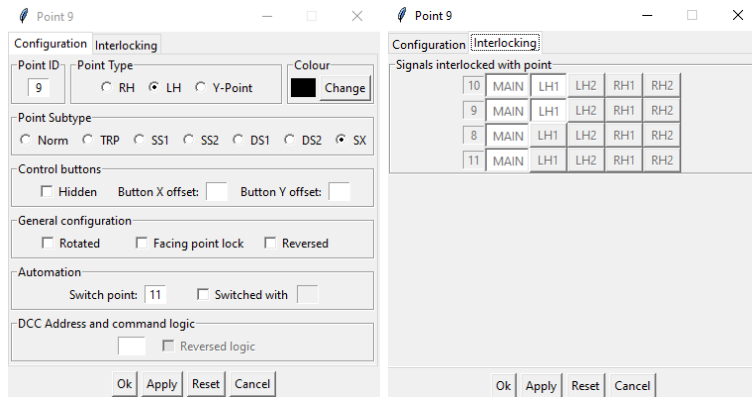
Şekil 8.64. Makas 3 anlaşıman konfigürasyonu

5 numaralı makas ise 3 numaralı makasla birlikte otomatik çalışacaktır ve aynı zamanda anlaşıman konfigürasyonunda 1 numaralı makasla ilişkilidir. Şekil 8.65.'te gösterilmiştir.



Şekil 8.65. Makas 5 konfigürasyonu ve anlaşıman konfigürasyonu

Şekil 8.66.'da görüleceği üzere makas 9, makas 11 ile otomatik çalışacaktır ve anlaşıman konfigürasyonu belirtildiği gibi olacaktır.



Şekil 8.66. Makas 9 konfigürasyonu ve anlaşıman konfigürasyonu

Şekil 8.67.'de görüleceği üzere 11 numaralı makas ile 9 numaralı makas otomatik çalışacaktır, dolayısıyla anlaşılan konfigürasyonuna gerek yoktur.

Şekil 8.67. Makas 11 konfigürasyonu ve anlaşılan konfigürasyonu

Aynı mantıkla makas 8 ve 10 konfigürasyon işlemleri Şekil 8.69. ve Şekil 8.69'da görüldüğü gibi olacaktır.

Şekil 8.68. Makas 8 konfigürasyonu ve anlaşılan konfigürasyonu

10	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
9	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
8	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2
11	MAIN	LH1	LH2	RH1	RH2

Şekil 8.69. Makas 8 konfigürasyonu ve anlaşılan konfigürasyonu

9. SONUÇ

İstanbul Metro M3-M9 metro hatlarının uzatmaları yakın zamanda açılmış, mevcut hattındaki sinyal sistemi uzatma hatlarında da uygulanabilmiş hatlardır. Bunun nedeni, hattın sinyal teknolojisinin çok eski olmamasıdır. Yani ilk hat açılışlarında kullanılan sinyalizasyon sistemi, günümüzde tedariki sağlanabilmiş ayrıca günümüz gereksinimlerini karşılayabilmiş uzatmaları da aynı teknoloji kullanılarak yapılabilmektedir. Ancak bazı hatlarımızda, kullanılan sinyalizasyon sistemi günümüz yolcu talebine yetişememeye başlamış bu nedenle sinyal sistemleri mevcut hatlarıyla birlikte değiştirilmeye başlanmıştır. (İzmir Metro M1 hattı gibi) Sinyalizasyon sistemlerinin amacı, hattaki trenlerin çarpışmadan güvenli yolcu taşımacılığını sağlamaktır. Bu sistemler, her firma tarafından farklı tren algılama teknolojileri kullanılarak kumanda merkezlerinden yönetilebilir şekilde tasarlanmıştır.

Metro hatlarındaki sinyalizasyon sistemlerinin modernize ve optimize edilmesi, güvenli, verimli ve talebe uygun bir ulaşım sağlanmasında hayati öneme sahiptir. Bu amaçla yapılan simülasyonlar ve algoritmalar, sistemin etkinliğini değerlendirmede ve iyileştirmelerde kritik bir rol oynamaktadır. Çalışmada M9 hattının belirli bir kesimi baz alınarak hattaki nesnelerin nasıl kontrol edildiği ve de trenlere rota tanzim işleminin nasıl yapıldığı örneklerle anlatılmaya çalışılmıştır. Kullanılan simülasyon programı, İngiliz ana hat sinyalizasyon sistemine dayandığından, gerçek hayatta bu tasarımın City flo 350'ye göre sefer sıklığı daha az olacaktır. Bu durum, trenlerin çarpışma ihtimalini azaltması açısından bir avantaj olarak düşünülebilir; ancak sefer sıklığının düşeceği de aşıkardır. Çünkü City flo 350 sisteminde trenler birbirini blok mesafesinde takip edebilmektedir. Bu da yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu saatlerde, hatta daha fazla tren ile işletme yapılabilir demektir. Ancak simülasyonda sinyalden sinyale takip mümkündür. Bu çalışmayla hattaki nesnelere göre anlaşılan algoritmalarının nasıl oluşturulduğu örneği verilen hat kesiminde uygulanarak gösterilmiştir. Kullanılan yazılım temel olarak sinyalizasyon sistemleri için bir simülasyon işlevi görmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Simpson, R. (2020). *Railway Signaling and Control Systems*.
- [2] Lamming, C. (2018). *Modern Railway Signalling*.
- [3] UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği). (2019). *UIC Teknik Kılavuzu*.
- [4] UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği). (2020). *Railway Signaling and Control Systems Testing and Validation*.
- [5] UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği). (2020). *Railway Signaling System Integration*.
- [6] UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği). (2020). *Railway Signaling System Commissioning and Testing*.
- [7] IRSE (Institute of Railway Signal Engineers). (2019). *IRSE Teknik Kılavuzu*.
- [8] IEEE Xplore. (2021). *Railway Signalling Standards*.
- [9] IEEE Xplore. (2021). *Future Trends in Railway Signalling*.
- [10] Metro İstanbul. (n.d.). *M3 Line Details*. Retrieved from <https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz/HatDetay?hat=M3>.
- [11] Metro İstanbul. (n.d.). *M9 Line Details*. Retrieved from <https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz/HatDetay?hat=M9>.
- [12] Alstom. (n.d.). *Autonomous Mobility: The Future of Rail Automated*. Retrieved from <https://www.alstom.com/autonomous-mobility-future-rail-automated>.
- [13] Sadigh, H. K. (2018). *CITYFLO 350 Signaling System Interface between ATP Telegrams and Brake curve Istanbul new Metro Line Study case* (Master's thesis).
- [14] Söyler, H., & Açıkbaş, S. (2005). Raylı Toplu Taşımda Sinyalizasyon Sistemleri. In *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*.
- [15] Scalise, J. (2014). *How Track Circuits Detect and Protect Trains*. Retrieved from railwaysignalling.eu.

- [16] Güleney, Y. (2009). *Bir Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemi Gerçekleştirme* (Master's thesis).
- [17] İlhan, O. (2011). *RAYLI Ulaşımında Sinyalizasyon Sistemlerinin Analizi ve Kadıköy-Kartal Metrosu İçin Sinyalizasyon Sistemi Uygulamaları* (Master's thesis).
- [18] Can, C. (2001). *Demiryollarında Sinyalizasyon ve Elektronik Kilitleme, GYTE Mühendislik ve FBE* (Master's thesis).
- [19] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2014). *Raylı Sistemler Teknolojisi: Makaslar*.
- [20] Efe, H. (2022). *Functionality of Virtual Signals in Marshaling Yard And Workshop Area Signaling Systems* (Master's thesis).
- [21] Tang, L. (2015). *Reliability Assessments of Railway Signaling Systems: A Comparison and Evaluation of Approaches* (Master's thesis).
- [22] Çolakkadı, M. (2013). *Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Anlaşman Tablosu Oluşturma: Başakşehir Metrosu Örneği* (Master's thesis).
- [23] Quaglietta, E. (2013). A simulation-based approach for the optimal design of signalling block layout in railway networks. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Elsevier.
- [24] Mirboda, M., & Dehghanib, H. (2023). Smart Trip Prediction Model for Metro Traffic Control Using Data Mining Techniques. In *4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*, Elsevier.
- [25] Dicembre, A., & Ricci, S. (2011). Railway traffic on high-density urban corridors: Capacity, signalling and timetable. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Elsevier.
- [26] Versluis, J., Pellegrini, P., & Van den Boom, M. (2023). Conflict detection and resolution (CDR) under moving-block signalling: A review of models and identification of research gaps. *Journal of Railway Engineering and Operations*, 22(4), 123-145.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO : 0009-0005-1176-6452

Ad Soyad : Oktay VURAL

Yabancı Dil : İngilizce-Almanca

Adres : İzmir / Konak

Eğitim : Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği (İng.)

