

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE
ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURMA:
BAŞAKŞEHİR METROSU ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

MURAT ÇOLAKKADI

İSTANBUL, 2013

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

**DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE ANKLAŞMAN TABLOSU
OLUŞTURMA: BAŞAKŞEHİR METROSU ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

MURAT ÇOLAKKADI

Tez Danışmanı: PROF. DR. AHMET AKBAŞ

İSTANBUL, 2013

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Anlaşman Tablosu
Oluşturma: Başakşehir Metrosu Örneği
Öğrencinin Adı Soyadı: Murat Çolakkadı
Tez Savunma Tarihi: Nisan 2013

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa Ilıcalı
Program Koordinatörü
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

_____ Jüri Üyeleri _____

_____ İmzalar _____

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ

Üye
Prof. Dr. Mustafa ILICALI

Üye
Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN

ÖZET

DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURMA: BAŞAKŞEHİR METROSU ÖRNEĞİ

Murat Çolakkadı

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ

Nisan 2013, 101 Sayfa

Günümüzde yolcu ve yük taşımacılığında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri demiryolu ulaşımıdır. Özellikle büyük şehirlerdeki toplu taşımacılık için raylı ulaşım sistemleri vazgeçilmez bir unsurdur. Dünya metropollerinin neredeyse tamamında şehir içi raylı ulaşım sistemleri, toplu taşımacılıkta kentin omurgasını oluşturmaktadır.

Bir raylı ulaşım sisteminin etkinliği için en önemli faktörlerden biri kullanılan sinyalizasyon sistemidir. Sinyalizasyon sisteminin karakteristiği; hattın güvenli işletilmesi ve yolcu kapasitesi gibi ana bileşenleri doğrudan etkiler. Sinyalizasyon sistemi, hatasız çalışan elektronik donanım ve fonksiyonelliği yüksek bir anlaşıman tablosu temeline dayanmaktadır. Anlaşıman tabloları oluşturulurken olası hiçbir tren hareketi gözden kaçırılmamalı, her hangi bir mantık hatasına yer verilmemelidir. Özellikle karmaşık yapılı demiryolu hatlarında anlaşıman tablosu oluşturulurken bilgisayar algoritmaları kullanılmalıdır.

Etkin bir anlaşıman tablosuna sahip sinyalizasyon sistemi ile hafta içi veya hafta sonlarında, bayram ve resmi tatillerde ya da günün yolcu yoğunluğu değişkenlik gösteren saatlerinde ters yön işletmeciliği, tek hattın kullanılması, hattın bir bölümünde farklı sefer aralığı uygulanması gibi alternatif işletmecilik yöntemleri çok rahat uygulanabilir, hattın verimliliği

arttırılabilir. Bu nedenden dolayı ankaşman tablosunun fonksiyonelliği sadece güvenli tren hareketlerinin sağlanması için değil hattın verimli kullanılması için de önem arz etmektedir. Bu bağlamda Şehir içi raylı ulaşım sistemlerinin performans ve güvenliğinin arttırılması için teknolojik çalışmalar günden güne artmaktadır.

Bu çalışmada, örnek bir demiryolu hattının farklı sefer aralığı uygulamalarına imkan veren hareketli blok temelli sinyalizasyon sistemine göre gerekli donanım geliştirilmesi yapılmış ve bu hat için uygun bir ankaşman tablosu tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu Ulaşımı, Metro Sinyalizasyonu, Ankaşman Tablosu.

ABSTRACT

COMPOSING A ROUTE TABLE ON RAILWAY SIGNALING SYSTEMS: EXAMPLE OF BASAKSEHIR METRO

Murat ÇOLAKKADI

Urban Systems and Transportation Management

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ

April 2013, 101 Pages

Railway transportation is considered as one of the methods most commonly used regarding passenger and freight transportation in our time. In particular, for mass transportation in big cities railway transportation systems are an inevitable aspect. In Almost all world metropol, rail transportation systems are the main core of the mass transportation.

One of the most important components for effective functioning of rail transportation system is the signaling system. Signaling system; affect directly some main components such as the safety of the line and passenger capacity. The main architecture of flawless electronics hardware and high-level functioning of the route table. While composing the route table all possible train movements must be taken into consideration carefully and a careful attention must be paid not to case any kind of logic failure. Especially, composing a route table in highly complex railway environments computer based algorithms must be used.

By the help of a signaling system having an effective route table, both on weekdays and on weekends, national and regional holidays or for the periods density it is very easy to apply alternative operational methods such as reverse commercial operation, using only one line and applying different headway on some part of the line. For this reason, a functional route table is very important for not only safe movements of train, but also for efficient

use of the railway line. In this context, technological studies is increasing day by day to improve the performance and safety of the city rail transit systems.

In this study, developed the necessary equipments and composed a new route table that is moving-based signaling system. The reason for this, moving-based signaling system provides flexible time applications for journeys.

Keywords: Railway transportation, Subway signaling, Route Table.

İÇİNDEKİLER

TABLolar	xii
ŞEKİLLER	xiii
KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. ŞEHİR İÇİ RAYLI ULAŞIM TÜRLERİ VE KULLANILAN SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	3
2.1 ŞEHİR İÇİ RAYLI ULAŞIM TÜRLERİ	3
2.1.1 Tramvay	3
2.1.2 Hafif Metro	4
2.1.3 Metro	5
2.1.4 Banliyo	6
2.2 ŞEHİR İÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ ...	6
2.3 TÜRKİYE’DE RAYLI SİSTEMLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ	7
2.4 RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYONUN GEÇMİŞİ	9
2.4.1 Sabit Hat Sinyalizasyonu	10
2.4.2 Hat Kilitleme	10
2.4.3 Merkezi Anlaşman	11
2.5 TÜRKİYE’DE RAYLI ULAŞIM SİNYALİZASYONUNUN GEÇMİŞİ	11
3. DEMİRYOLU SİNYALİZASYONU	12
3.1 SİNYALİZASYON SİSTEMİNİN TEMEL BİLEŞENLERİ	12
3.1.1 Sinyaller	13
3.1.2 Makas Motorları	14
3.2 RAY DEVRELERİ İLE TREN ALGILAMA	16
3.2.1 İzole Cebireli Ray Devreleri	18
3.2.2 Kodlu Ray Devreleri	18

3.2.3 Aks Sayıclı Ray Devreleri	19
3.3 BİLGİSAYAR TABANLI INTERLOCKING (COMPUTER-BASED INTERLOCKING).....	20
3.4 OTOMATİK TREN KORUMA SİSTEMİ (AUTOMATIC TRAIN PROTECTION = ATP).....	20
3.4.1 ATP Sisteminin Çalışması.....	21
3.4.2 ATP Sisteminin Araç Üstü Bileşenleri (On-board Ekipmanlar)	22
3.5 OTOMATİK TREN İŞLETMESİ (AUTOMATIC TRAIN OPERATION = ATO)	22
3.6 OTOMATİK TREN KONTROLÜ (AUTOMATIC TRAIN CONTROL = ATC)	23
3.7 OTOMATİK TREN DENETİMİ (AUTOMATIC TRAIN SUPERVISION = ATS)	24
3.8 SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE SABİT VE HAREKETLİ BLOK TEKNOLOJİSİ	24
3.8.1 Sabit Blok Sinyalizasyon Sistemi	25
3.8.2 Hareketli Blok Sinyalizasyon Sistemi	27
3.8.3 Hareketli Blok Sinyalizasyonun Avantajları.....	29
3.9 TAM OTOMATİK SÜRÜCÜSÜZ SİSTEMLER VE AVANTAJLARI.....	30
4. BAŞAKŞEHİR METROSU VE ŞİŞHANE-HACIOSMAN METRO HATTI SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ.....	32
4.1 BAŞAKŞEHİR METRO HATTI SİNYALİZASYON SİSTEMİ.....	32
4.1.1 Hattın Genel Yapısı.....	32
4.1.2 Araçlar.....	35
4.1.3 Güvenlik Esasları	35
4.1.4 Sabit Blok Sinyalizasyon Sistemi	36
4.1.4.1 Ana Trafik Kontrol Merkezi (Centralized Traffic Control = CTC) 37	
4.1.4.2 Bilgisayar Tabanlı Interlocking	39
4.1.4.3 Ray Devreleri	41

4.1.4.4 Balisler.....	41
4.1.5 Otomatik Rota Açma	41
4.1.6 Sürüş Stratejileri	42
4.2 ŞİŞHANE-HACIOSMAN METROSU SİNYALİZASYON SİSTEMİ.....	42
4.2.1 Hattın Genel Yapısı.....	42
4.2.2 Hareketli Blok Sinyalizasyon Sistemi	43
4.2.2.1 Anlaşman Fonksiyonları.....	43
4.2.2.1.1 <i>Güzergah Kontrolü</i>	45
4.2.2.1.2 <i>Otomatik Güzergah Ayarlama</i>	46
4.2.2.2 Tren Kontrol Seviyeleri ve İşletim Modları.....	46
4.2.2.3 ATP ve ATO Uygulamaları	48
5. DEMİRYOLU SİNYALİZASYONUNDA ANKLAŞMAN TABLOSU	50
5.1 GÜZERGAH TANZİMİ VE KİLİTLEME.....	51
5.2 ANKLAŞMAN TABLOSU	52
6. DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURMA: BAŞAKŞEHİR METROSU ÖRNEĞİ	60
6.1 ÖRNEK ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURULMASI	60
6.2 BAŞAKŞEHİR METROSU İÇİN ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURMA	71
7. SONUÇ	83
KAYNAKÇA.....	84

TABLULAR

Tablo 2. 1: İstanbul'da Raylı Ulaşımın Gelişim Süreci	8
Tablo 4. 1: Tren Kontrol Seviyeleri ve İşletim Modlarının Anlamları.....	46
Tablo 5. 1: I. Örnek Demiryolu Hattının Anlaşman Tablosu.....	55
Tablo 5. 2: II.Örnek Demiryolu Hattı (rota 1-rota 14).....	57
Tablo 5. 3: II.Örnek Demiryolu Hattı (rota 15-rota 20).....	58
Tablo 6. 1: Örnek Demiryolu Hat Parçasının Anlaşman Tablosu	63
Tablo 6. 2: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 1-16)	75
Tablo 6. 3: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 17-33)	76
Tablo 6. 4: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 34-51)	77
Tablo 6. 5: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 52-69)	78
Tablo 6. 6: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 70-85)	79
Tablo 6. 7: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 86-102)	80
Tablo 6. 8: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 103-110)	81

ŞEKİLLER

Şekil 2. 1: Tramvay.....	4
Şekil 2. 2: Hafif Metro	5
Şekil 2. 3: Metro	5
Şekil 2. 1: Tramvay.....	4
Şekil 2. 2: Hafif Metro	5
Şekil 2. 3: Metro	5
Şekil 2. 4: Banliyo	6
Şekil 3. 1: Çok Görünümlü Sinyaller.....	14
Şekil 3. 2: Bir Makas Motorunun Görünümü.....	15
Şekil 3. 3: İngiliz Tipi Makas	16
Şekil 3. 4: Ray Devresi Boş Blok	17
Şekil 3. 5: Ray Devresi Dolu Blok	17
Şekil 3. 6: DC Ray Devresi	18
Şekil 3. 7: Aks Sayıclı Ray Devresinin Çalışma Prensipleri.....	19
Şekil 3. 8: ATP Sistemine Tanımlanan Emniyetli Hız Sınırlamaları	21
Şekil 3. 9: Sabit Blok Sinyalizasyonu.....	26
Şekil 3. 10: Sabit Blok Sinyalizasyonu.....	26
Şekil 3. 11: Lokal Interlocking Alanları	27
Şekil 3. 12: Radyo Blok Sistemi.....	28
Şekil 4. 1: Başakşehir Metrosu Hat Şeması	34
Şekil 4. 2: CTC Kontrolü Şematik Gösterimi	36
Şekil 4. 3: Sistem Mimarisi	38
Şekil 4. 4: Interlocking Sistem Şeması	39
Şekil 4. 5: Merkezi Interlocking Sistem Şeması	40
Şekil 4. 6: Anlaşman İşletim Sistemi	44
Şekil 4. 7: Karşıdan gelen tren ile çarpışmaya karşı anlaşman koruması	45
Şekil 4. 8: Yandan gelen tren ile çarpışmaya karşı anlaşman koruması	45
Şekil 4. 9: Tren Kontrol Seviyeleri ve İşletim Modları Opsiyonları	47
Şekil 5. 1: Örnek Ray Bölgesi	51

Şekil 5. 2: Güzergah Kilitlemesi örneği.....	52
Şekil 5. 3: Tek makaslı örnek demiryolu hattı	53
Şekil 5. 4: I.Örnek Demiryolu Hattı	54
Şekil 5. 5: II.Örnek Demiryolu Hattı	56
Şekil 6. 1: Örnek Demiryolu Hat Parçası.....	61
Şekil 6. 2: Anlaşman Tablosundaki Birinci Güzergahın Birinci Kısmı.....	64
Şekil 6. 3: Birinci ve Altıncı Güzergahların İkinci Rotalama Aşamaları	65
Şekil 6. 4: Birinci Güzergah Anlaşman Algoritması (a)	66
Şekil 6. 5: Birinci Güzergah Anlaşman Algoritması (b)	67
Şekil 6. 6: Altıncı Güzergah Anlaşman Algoritması (a)	68
Şekil 6. 7: Altıncı Güzergah Anlaşman Algoritması (b)	69
Şekil 6. 8: Altıncı Güzergah Anlaşman Algoritması (c)	70
Şekil 6. 9: Başakşehir Metrosu Yeni Sinyaller Eklenmiş Hat Şeması (a)	73
Şekil 6. 10: Başakşehir Metrosu Yeni Sinyaller Eklenmiş Hat Şeması (b)	74

KISALTMALAR

ATC	: Automatic Train Control – Otomatik Tren Kontrolü
ATO	: Automatic Train Operation – Otomatik tren İşletmesi
ATP	: Automatic Train Protection – Otomatik Tren Koruması
ATS	: Automatic Train Supervision – Otomatik tren Denetimi
CBTC	: Communication Based Train Control – Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü
CIS	: Central Interlocking Sistem – Merkezi Kilitleme Sistemi
CTC	: Centralized Traffic Control – Merkezi Trafik Kontrolü
GPS	: Global Positioning Sistem – Küresel Konumlandırma Sistemi
ID	: Identity - Kimlik
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İUAŞ	: İstanbul Ulaşım A.Ş.
TC	: Track Circuit – Ray Devresi
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

1. GİRİŞ

18.yy.'da buharla çalışan makinelerin keşfedilmesi ve 19.yy.'da ilk buharlı lokomotifin kullanılmaya başlanmasından günümüze kadar raylar üzerinde giden tren dizilerinin yolcu ve yük taşımacılığında etkin kullanımı süregelmektedir. Raylı ulaşımın şehir içinde kullanılması ise lokomotiflerin elektrik gücüyle çalıştırılmasıyla başlamıştır. II. Dünya Savaşından sonra Avrupa'daki büyük şehirler yeniden yapılanma dönemine girmiş ve şehircilik, toplu taşıma gibi kavramlar önemini arttırmıştır. Aynı dönemde hem Avrupa'da hem de Amerika'da şehirler hızla gelişmeye başlamış, günden güne kalabalıklaşmıştır. Buna bağlı olarak trafik sorunu kendini göstermiş, insanlar şehir içi ulaşımında toplu taşıma araçlarını daha fazla kullanmaya başlamıştır. Raylı sistemler ve özellikle süratli yolculuk imkanı sağlayan metrolar, en yüksek yolcu kapasiteli şehir içi yolcu taşıma araçları olarak önemini halen korumaktadır.

Raylı sistemlerin toplu taşımacılıkta etkin olarak kullanılmaya başlanmasından sonra 'nasıl daha verimli kullanılabilir' sorusuna yanıt aranmış ve trenlerin güvenlikten ödün vermeden hızlarının arttırılması hedeflenmiştir. Bunun için, ilkel kabul edilebilecek mevcut sinyalizasyonların yerine gelişmiş demiryolu sinyalizasyon sistemleri tasarlanmıştır. Günümüzde bu sistemler her gün gelişmekte, yeni teknikler kullanılmaktadır. Trenler, insan faktörü en düşük seviyede tutularak gelişmiş otomasyon sistemleriyle işletilmekte, insan hatalarından kaynaklanabilecek kaza ihtimalleri en aza indirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, tren hareketlerini algılayan ve tren trafiğini yöneten sinyalizasyon sistemlerinin trenlere otomatik güzergah tanzim etmesinde referans aldığı anlaşılan tablolarının oluşturulması ele alınmıştır. Önce sanal bir hat üzerinden örnek bir anlaşılan tablosu, daha sonra örnek bir metro hattı olarak Başakşehir Metrosunun sinyalizasyon sistemi için hareketli blok sinyalizasyon teknolojisi temelli yeni bir anlaşılan tablosu oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle Bölüm 2'de, şehir içi raylı ulaşım türleri ve kullanılan sinyalizasyon sistemlerinin tarihsel gelişiminden bahsedilmiş, Bölüm 3'de demiryolu ulaşımında kullanılan sinyalizasyon sistemleri

detaylı olarak incelenmiştir. Bölüm 4’de, Başakşehir Metrosu ve Şişhane-Hacıosman Metro hattının sinyalizasyon sistemleri, yapısı ve kullanılan teknolojileri ele alınmıştır. Bölüm 5’de demiryolu sinyalizasyonunda anlaşıman tablosu oluşturmanın mantığı verilmiş, örnek çalışmalar üzerinden adım adım anlatılmıştır. Bölüm 6’da ise sanal bir metro hattına ait anlaşıman tablosu oluşturularak, sabit blok sinyalizasyonu ile hareketli blok sinyalizasyonu için anlaşıman tablosu oluşturma arasındaki farklar irdelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde Başakşehir metrosu için hareketli blok teknolojisine dayanan yeni bir anlaşıman tablosu oluşturulmuş ve bu tabloya göre güzergah tanzimlerinin nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Oluşturulan bu yeni anlaşıman tablosu, bir metro hattının sinyalizasyon sistemi için anlaşıman tablosu nasıl oluşturulur sorusuna verilen kapsamlı bir yanıt niteliğindedir.

2. ŞEHİR İÇİ RAYLI ULAŞIM TÜRLERİ VE KULLANILAN SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

2.1 ŞEHİR İÇİ RAYLI ULAŞIM TÜRLERİ

Şehir içi raylı ulaşım türlerini birbirinden ayıran; yolcu kapasitesi, araç niteliği ulaşılabilecek maksimum hız, sinyalizasyon sisteminin özellikleri, hemzemin geçit olup olmaması, hat uzunluğu, istasyonlar arası mesafe gibi özelliklerdir. En belirleyici olanı yolcu kapasitesidir. Yolcu kapasitesi, bir saatte tek yöne taşınabilecek maksimum yolcu sayısı olarak tanımlanmaktadır.

Yolcu kapasitesi, bir taşıtın taşıyabileceği oturan ve ayaktaki yolcu sayılarının toplamının, taşıt hızının, hızlanma ve frenleme ivmelerinin, hattı karayolu trafiğinden korunma oranının, ticari hızın, bir dizideki taşıt sayısının ve dizi / saat olarak sıklığın fonksiyonudur. Görüldüğü gibi kapasite kavramı şehir içi ulaşım türlerini birbirinden ayıran faktörlerin sentezi niteliğindedir. Bu nedenle şehir içi raylı ulaşım türlerinin sınıflandırılması için kapasite en tutarlı ölçüttür. Kapasite ölçütüne göre yapılacak bir sınıflandırmada, bir yöne bir saatte;

- i. 50.000 ve daha fazla yolcu taşıyan raylı ulaşım türü bölgesel tren,
- ii. 30.000 ile 50.000 arası yolcu taşıyan raylı sistem türü metro,
- iii. 15.000 ile 30.000 arası yolcu taşıyan raylı sistem türü hafif metro,
- iv. 10.000 ile 15.000 arası yolcu taşıyan raylı sistem türü tramvay

olarak adlandırılabilir. (Alparslan, H. 2001 s. 2-3) Günümüzde özellikle metro sistemlerindeki yeni gelişmeler ile bu kapasiteler sürekli olarak artmaktadır. Dünyada bazı gelişmiş metro sistemlerinde bu rakam 70.000'e kadar çıkmaktadır.

2.1.1 Tramvay

Tramvay sistemleri aslında modern demiryolu ulaşımının ilk gününden itibaren kullanılan tren katarlarının şehre uyarlanmış halidir. Şehir içi raylı sistemlerin en eskisidir. Güzergahı boyunca karayolu ile kesiştikleri hemzemin geçitler bulunur. Ticari hızı ve yolcu kapasitesi oldukça düşüktür. Elektrik enerjisini katener hattından alır ve

genellikle 750 V DC ile beslenirler. Tramvaylar için inşa edilen durak boyları 60 metre civarındadır. Duraklar alçak zeminlidir, karayolu seviyesine çok yakındır. Karayolu taşıtları ile aynı yolu kullandıklarından inşasında tünellere ya da karayolundan tam izole edilmiş yollara ihtiyaç duyulmaz. Bu bakımdan yatırım maliyeti en düşük ve işletmeciliği en pratik raylı ulaşım sistemidir ancak nüfus yoğunluğu yüksek olan yerleşim yerleri için uygun bir çözüm değildir. Şekil 2.1’ de tramvay aracı ve durağı görülmektedir.

Şekil 2. 1: Tramvay



2.1.2 Hafif Metro

Tramvay sistemlerine oranla daha yüksek yolcu kapasitesi ve ticari hıza sahiptir. Yatırım maliyeti ve fayda kriterleri göz önüne alındığında en optimum raylı ulaşım çözümdür. Bunun nedeni, metrolar kadar yüksek maliyetli olmadıkları halde karayolundan tamamen izole edilmiş güzergahları sayesinde metroların ulaşabilecekleri maksimum ticari hıza yakın bir hız ile işletilebilmektedirler. Ayrıca yapımında uzun ve derin tünellere ihtiyaç duyulmadığından bir metro sisteminin yapım süresine göre daha kısa zamanda inşa edilerek hizmete açılabilirler. İstasyon boyları 90-100 metre, enerji kaynağı genellikle 750 V DC olan hafif metrolar, yolcu potansiyeli yüksek yerleşim yerleri için uygun bir raylı ulaşım çözümdür. Şekil 2.2’ de, lastik tekerlekli araç yollarından ayrılmış bir hafif metro hattı ve aracı görülmektedir.

Şekil 2. 2: Hafif Metro



2.1.3 Metro

Metrolar günümüzde en yüksek yolcu kapasitesine sahip şehir içi toplu ulaşım araçlarıdır. Dünyada bir çok büyük metropolün ana toplu ulaşım aracı metrolardır. Çok gelişmiş sinyalizasyon sistemleri ve araç özellikleri ile metroların ticari hızları 90 kilometre/saati bulmaktadır. Peron boyları 190-200 metre, araç boyları yaklaşık olarak 185-190 metredir. 750 V DC ya da 1500 V DC besleme ile çalışırlar. Genellikle derin tüneller şeklinde inşa edilirler, yapımı oldukça maliyetlidir. Çok yüksek yolcu potansiyeli olan yerleşim yerleri için uygun bir toplu ulaşım çözümüdür. Örnek bir metro istasyonu Şekil 2.3' de görülmektedir.

Şekil 2. 3: Metro



2.1.4 Banliyo

Büyük şehirlerde genellikle şehir merkezine uzak yerleşim yerlerine ulaşımı sağlamak için demiryolu ağına ait mevcut demiryollarını, istasyonları ve elektrik enerjisini kullanmaktadırlar. Bu bakımdan maliyeti düşük, yolcu kapasitesi oldukça yüksektir. Şekil 2.4' de banliyo hattı ve kullanılır görülmektedir.

Şekil 2. 4: Banliyo



2.2 ŞEHİR İÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

1843 yılında Londra'da yayaların kullandığı Thames Tüneli, bir demiryolu şirketi tarafından alınarak bu tünele demiryolu döşenmiş ve işletmeye açılmıştır. Trenlerin sokaklardaki yaya ve diğer kara taşıtlarının arasından alınıp hızlı ve güvenlik içinde çalışması yönünde atılan bu ilk adım tarihteki ilk metro örneği olmuştur. İlk elektrikli metro hattı yine Londra'da (City-South London Railway), elektrikli lokomotifin bulunmasından 11 yıl sonra işletmeye açılmıştır. Önceden inşa edilmiş hatlar bu yeni, çevreyi kirletmeyen sistemlerle değiştirilmiştir. (Alparslan, H. 2001 s. 4)

2.3 TÜRKİYE'DE RAYLI SİSTEMLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Osmanlı İmparatorluğunun son dönemlerinden itibaren ülkemizde şehir içi raylı ulaşım sistemleri ile yolcu taşımacılığına başlanmıştır. 1874 yılında Tünel ile Karaköy arasında açılan 574 metre uzunluğundaki tünel içinde, dünyanın ilk şehir içi raylı ulaşım sistemlerinden biri hizmete girmiştir. 1869 yılında işletmeye açılan atlı tramvay 1912 yılında elektrik enerjisiyle çalıştırılmış, 1966 yılında alınan bir kararla sökülerek hizmetten kaldırılmıştır.

İstanbul'un geçmişte yapılmış bir diğer raylı ulaşım sistemi de 27,6 kilometre uzunluğundaki Sirkeci-Halkalı ve 44,2 kilometre uzunluğundaki Haydarpaşa-Gebze banliyö hatlarıdır. 1989 yılında Aksaray-Ferhatpaşa arasında hafif metro işletmeye açılmış, bunu ikinci ve üçüncü aşamalar izlemiş ve böylece Aksaray'dan başlayıp Otogar üzerinden Yenibosna'ya uzanan 18,5 kilometrelik bir hat oluşturulmuştur.

Aynı yıl, Konya'da hafif raylı ulaşım sistemi projesinin birinci aşaması olan Alaaddin-Cumhuriyet güzergahı, yapımına başlanan 1987 yılından 2 sene sonra 1989 yılında hizmete açılmıştır. Hattın uzunluğu 24 kilometreydi ve günlük ortalama 100.000 yolcu taşımaktaydı.

1989 yılında Ankara için gündeme gelen ve 1992 yazında inşasına başlanan hafif raylı sistem 'Ankaray' 30 Ağustos 1996 yılında hizmete girmiştir. Aşti-Dikimevi arasında yaklaşık 8,5 kilometre uzunluğundaki bir hatta çalışan Ankaray'ın günlük ortalama yolcu sayısı 150.000 olarak kayıtlara geçmiştir. (Alparslan, H. 2001 ss. 6-7)

1980'li yılların sonlarından itibaren Bursa, Adana gibi şehirlerde de raylı sistem çalışmaları olsa da bu konuda öncü olan şehir İstanbul olmuştur. Tablo 2.1'de İstanbul ilinin raylı toplu taşımacılıktaki gelişim süreci gösterilmiştir.

Tablo 2. 1: İstanbul'da Raylı Ulaşımın Gelişim Süreci

Bağcılar-Kabataş Hattı	13.06.1992	Sirkeci-Topkapı arası hizmete açıldı
	10.03.1994	Topkapı-Zeytinburnu arası hizmete açıldı
	20.04.1996	Sirkeci-Eminönü arası hizmete açıldı
	30.01.2005	Eminönü-Fındıklı arası hizmete açıldı
	29.06.2006	Fındıklı-Kabataş arası hizmete açıldı
	14.09.2006	Güngören-Bağcılar arası hizmete açıldı
	03.02.2011	Güngören-Zeytinburnu arası birleştirildi
Sultançifliği-Topkapı Hattı	17.09.2007	Sultançifliği-Edirnekapı arası hizmete açıldı
	18.03.2009	Edirnekapı-Topkapı arası hizmete açıldı
Kadıköy-Moda Hattı	01.11.2003	Kadıköy-Moda arası hizmete açıldı
Aksaray-Atatürk Havalimanı Hattı	18.03.1989	Aksaray-Atatürk Havalimanı hattının ilk aşaması hizmete açıldı.
	20.12.2002	Havalimanı bağlantısı hizmete açıldı
Yenikapı-Haciosman Hattı	16.09.2000	Taksim-4.Levent arası hizmete açıldı
	31.01.2009	4.Levent-Atatürk Oto Sanayi arası hizmete açıldı
	31.01.2009	Taksim-Şişhane arası hizmete açıldı
	02.09.2010	Darüşşafaka istasyonu hizmete açıldı
	11.11.2010	Seyrantepe istasyonu hizmete açıldı
	09.07.2011	Haciosman istasyonu hizmete açıldı
Kadıköy-Kartal Hattı	17.08.2012	Kadıköy-Kartal arası hizmete açıldı

2.4 RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYONUN GEÇMİŞİ

Buharlı lokomotifin ilk kullanılmaya başlandığı 1800'lü yılların başlarında dünyada demiryolu ağı henüz gelişmemiş olduğundan bu lokomotiflerin çektiği katarlar önemli bir demiryolu trafiği oluşturmuyor, hızlarının çok düşük olması da kaza olasılığını akıllara getirmiyordu. Bu yüzden bir demiryolu trafik düzenleme sistemine ihtiyaç duyulmuyordu. Zamanla lokomotif sayılarının artması ve katar boylarının uzaması ile makinistlerin treni görüş mesafesinde durdurabilmeleri için erken uyarılmaları gerektiği anlaşıldı. Bunun için önceleri, istasyonlarda ve kritik noktalarda ellerinde bayrak ya da üzerinde dur-ilerle gibi komutlar yazan levhalar bulunan işaretçiler görev yapmaya başladı. Ancak lokomotif teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak artan katar hızları için ellerinde işaretlerle hat boyunca bekleyen işaretçiler artık yeterli bir çözüm değildi. Daha hızlı ilerleyen trenlerin sürücüleri bu işaretleri gördüğü zaman treni durdurmak ya da yol değiştirmek için yeterli zamana sahip olamıyorlardı. Bu da yeni çözüm arayışlarını beraberinde getiriyordu. 1800'lü yılların ortalarında, artan tren hızları için zaman aralığı yöntemi uygulanmaya başlandı. Bu yöntemde hat boyunca görevlendirilen işaretçilerin rolü azaltıldı. İşaretçiler sadece, bir istasyondan geçen trenin ayrılmasının üzerinden belirli bir zaman geçtikten sonra diğer trenin geçmesine izin veriyordu. Böylece trenler arası bir güvenlik mesafesi konmuş oldu. Ancak bu yöntemin de yeterince güvenli olmadığı, hızla seyreden bir tren sürücüsünün, arızalandığı için beklemekte olan başka bir treni önünde gördüğü anda durabilmesi için yeterli fren mesafesine sahip olmadığına görülmesiyle anlaşıldı. Tüm bu süreçlerden sonra demiryolu trafiği için sabit bir sinyalizasyon sistemini gerekliliği ve demiryolu trafiğinin yönetilmesinde rutin insan hareketlerinin kullanımının en aza indirilmesi gerektiği anlaşıldı. Zaman aralık sisteminin denenmesinden sonra sabit bir sinyalizasyon sistemi arayışları da hızlandı. Tren trafiğinin yönetilmesinde teknolojinin kullanımı ilk olarak telgraf yardımıyla uzak istasyonların bir biri ile haberleşmesi yönteminde gerçekleştirildi. İstasyonlardaki operatörler kendi bölgelerinin boş ya da dolu olduğu bilgisini telgraf ile diğer operatörlere bildiriyor ve tren trafiği bu bilgilere göre yönetiliyordu.

2.4.1 Sabit Hat Sinyalizasyonu

Sinyalizasyonun temel kuralı; hattı bölmelere ayırmak ve bir bölmede aynı anda sadece bir trenin olmasını sağlamaktır. Bu kural günümüz sinyalizasyon teknolojisinde de geçerlidir. Her bölme (veya bilinen adıyla blok), yaklaşan trenin sürücüsünü uyararak için girişine yerleştirilmiş sabit bir sinyal tarafından korunuyordu. Bölmede tren yoksa sinyal “İlerle” işaretini gösteriyor, bölme bir tren tarafından işgal edilmişse sinyal “Dur” işaretini gösteriyordu. Arkadan gelen tren öndeki trenin bu bölmeyi boşaltmasını beklemek zorundaydı. Hattın her bölmesini korumak için kullanılan temel dur/geç sinyali yaklaşan bir trenin sürücüsü tarafından durma zamanı içerisinde görülebiliyorsa tren sorunsuz durabiliyor ancak eğer görülemediyse ciddi sorunlar meydana gelebiliyordu. Bu nedenle bölme girişindeki sinyalin durumunu tren sürücüsüne önceden bildirmek için “uzak sinyal sistemi” geliştirildi. Uzak sinyaller, tehlikeli yerlerdeki dur işaretini tren sürücüsünün zamanında fark edip treni güvenli bir şekilde durdurabilmesini sağlamak için pek çok konuma yerleştirilmişti. (Yüksel 2007, ss. 7-8).

Avrupa’da mekanik sinyaller ve kaldıraçları uzaktan kumanda edilebilen sinyal kutuları 1800’lü yılların ortalarında kullanılmaya başlandı. İlk mekanik sinyalizasyon için her trenin bir bölmeye geçişi görsel olarak sinyal görevlisi tarafından izlenirdi. Sinyal görevlisi, trenin kendi sorumlu olduğu bölmeyi boşaltmasından sonra yaklaşım tarafındaki sinyal kutusuna hattın boş olduğu ve başka bir trenin girebileceği işaretini verirdi. Sinyal kutuları arasındaki mesajlar elektrikli telgraf kullanılarak mors alfabesi sistemiyle iletiliyordu (Yüksel 2007, s. 8).

2.4.2 Hat Kilitleme

19. yüzyılın ortalarında ortaya konan bir başka güvenlik özelliği de masaların ve sinyallerin mekanik kilitlenmesiydi. Kilitleme (Interlocking), sinyal kutusunun içerisine tespit edilmiş sinyal işletme manivelalarına bağlantılı çubukların bir dizi mekanik etkileşimi sonucu gerçekleştirilirdi. Çubuklar, uygun şekilde dizilimleri sayesinde çelişkili hareketlerin oluşumunu fiziksel olarak önlemekteydi. Zamanla bu manivelaların yerini push butonlar, mekanik kilitlemelerin yerini ise röleli kilitlemeler devraldı. Elektromanyetik röleler, bağlantı noktalarındaki yolun güvenliğini sağlamak için yoğun bir biçimde kullanıldı. Hangi rölelerin birbirini etkilediğini bulmak, yolun

güvenliğini ve doğruluğunu sağlamak için karmaşık kontrol çizelgeleri hazırlanıyordu (Yüksel 2007, s. 9).

2.4.3 Merkezi Anlaşman

Teknolojinin gelişimiyle artan tren adetleri ve karmaşıklaşan demiryolu trafiği, sinyallerin ve makasların tek bir noktadan kumanda edilmesi gerekliliğini ortaya koydu. Bu da, daha çok insan gücüne dayalı basit düzenekler yerine belirli disiplinler altında geliştirilmiş sefer tabloları oluşturmak ve tüm güvenlik unsurlarını (sinyaller, hat kilitleme gibi) bu tabloya göre gerçekleştirmek demektir. İşte bu noktada anlaşman kavramı demiryolu ulaşımında kullanılan terimler arasına girdi. Anlaşman, seyir halindeki bir trenin güzargahı boyunca geçeceği sinyaller ve makasların belirli zaman aralıklarında olması gereken konumların belirlendiği ve bunun hat üzerindeki tüm trenler için eş zamanlı olarak uygulandığı karmaşık tablolar olarak tanımlanabilir.

1930 yılına kadar sırasıyla 6 adet anlaşman geliştirilmiştir (Demirbilek 1997 s. 5):

- 1- Mekanik anlaşman
- 2- Elektro-mekanik anlaşman
- 3- Elektrik ile müteharrik anlaşman
- 4- Otomatik anlaşman
- 5- Röleli anlaşman
- 6- NX (giriş-çıkış) anlaşman

2.5 TÜRKİYE'DE RAYLI ULAŞIM SİNYALİZASYONUNUN GEÇMİŞİ

Osmanlı İmparatorluğu zamanında yapılan ilk demiryolu 1854 yılında hizmete giren Kahire-İskenderiye hattı olsa da Anadolu'da yapılan ilk demiryolu hattı 1856 yılında hizmete giren İzmir-Aydın demiryolu hattıdır. 1957 Haydarpaşa-Ankara hattında CTC (Centralized Trafik Control) sinyalizasyonunun kullanımı, şehirlerarası demiryolu ulaşımındaki ilk önemli sinyalizasyon denemesidir. Şehir içi demiryolu ulaşımında ise Sirkeci-Halkalı banliyö hattında 1955 yılında Siemens firmasının uyguladığı otomatik blok sistemi ilk sinyalizasyon kullanımı olarak tarihe geçmiştir.

3. DEMİRYOLU SİNYALİZASYONU

Demiryolu sinyalizasyonu, trenlerin emniyetli bir şekilde seyretmelerini ve demiryolunun az masrafla maksimum kapasitede kullanılmasını yani en verimli şekilde çalıştırılmasını sağlamak için yapılan çalışmaların bütünüdür. Sinyalizasyonun esas hedefi demiryolunda tren karşılaşmalarının önüne geçmektir. Raylı sistem hatlarında, işletmenin kontrolü ve kazalara karşı korunması amacıyla kullanılır. Ancak bunu en ekonomik ve konfordan ödün vermeden gerçekleştirmek gerekmektedir.

Raylı sistemlerde kullanılan sinyalizasyonun mantığı; hattı sanal ya da fiziki olarak belirli bölmelere ayırmak ve bir bölmede aynı anda sadece bir trenin olmasını sağlamaktır. Böylece trenler arasında bir güvenlik mesafesi sağlanmış olur. Oluşturulan bu bölmelere genel olarak blok denir. Eğer bir blokta bir tren var ise arkadan gelen tren sistem tarafından önündeki bloğa girmemesi için uyarılır. Sürücülü sistemlerde ayrıca makinist de kırmızı görünümlü sinyal lambaları sayesinde bu uyarıyı alır. Olası bir hata sonucu tren kilitli bloğa girmeye çalışsa dahi ATP (Automatic Train Protection) devreye girer ve tren acil fren yapmak suretiyle bölgeye sokulmaz.

3.1 SİNYALİZASYON SİSTEMİNİN TEMEL BİLEŞENLERİ

Ray hatlarının trafik güvenliği birçok bağımsız bileşenin sorunsuz çalışmasına bağlıdır. Bu bileşenlerin birbiriyle ve sinyalizasyon sistemleriyle uyumlu çalışması da hayati önem taşımaktadır.

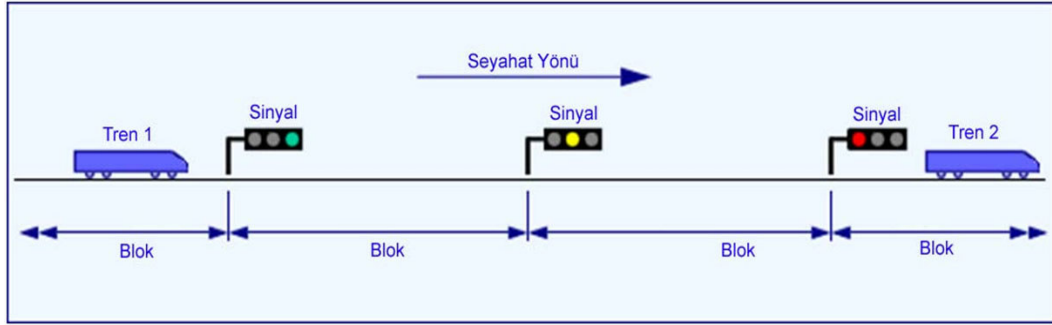
Hat boyu ekipmanları, merkezi yazılım ve anlaşılan, bir sinyalizasyon sisteminin temel bileşenleridir. Hat boyunca yerleştirilmiş, merkezi yazılım tarafından yönetilen sinyal lambaları, makas motorları ve tren ile haberleşme ekipmanları (Ray devreleri, balisler, sızıntılı kablo, RF antenler) hat boyu ekipmanları olarak adlandırılır. Kumanda merkezinde tüm bu hat boyu ekipmanlarından elde edilen bilgiler toplanır ve buna göre trenin bir ray bölgesine girmesine izin verilip verilmeyeceğine karar verilir. Bir makas ya da ray bölgesine herhangi bir tren girdiğinde tren belirtilen ray bölgesini terk edene kadar bölge kilitlenir ve bölgede herhangi bir işlem yapılmasına anlaşılan vasıtasıyla izin verilmez.

3.1.1 Sinyaller

Sinyal lambaları ray bloklarının girişine konarak seyir halindeki trenin sürücüsüne bu ray bloğunun dolu ya da boş olduğu bilgisini vermek için kullanılır. Bir ray bloğu bir tren tarafından işgal edilmişse blok girişindeki sinyal kırmızı görünüme geçer ve arkadan gelen trenin bu bloğa girişi sistem tarafından engellenir.

Sinyal lambaları, kullanıldığı raylı sistemin izin verdiği tavan hıza göre iki görünümlü ya da çok görünümlü (üç ya da dört) olabilir. Boş bloğun girişindeki sinyal yeşil görünümde olup trenin bölgeye güvenli giriş yapabileceğini belirtir. Kırmızı görünüm ise öndeki bloğun başka bir tren tarafından meşgul edildiğini ya da sistemde bu blok ile ilgili bir hatanın bulunduğunu, trenin bu bloğa girmemesi gerektiğini belirtir. Bu, hızı 80 Km/saate kadar olan raylı sistemler için klasik iki görünümlü sinyallerin işlevidir. Üç görünümlü ve dört görünümlü sinyaller ise genellikle yüksek hızlı tren hatlarında kullanılır. Yeşil ve kırmızı görünümler iki görünümlü sinyallerdeki anlamlara gelirken, sarı görünüm trenin önündeki ilk bloğun boş, ikinci bloğun dolu olduğunu belirtir. Yüksek hızlı trenlerde seyir halindeki bir tren ile dolu olan blok arasında en az bir tane güvenli boş bir blok vardır ve tren sürücüsüne önündeki ikinci bloğun başka bir tren tarafından işgal edildiği bilgisi sarı görünümlü sinyal ile verilir. Bu da klasik yeşil ve kırmızı görünümlü sinyallere ek olarak sarı görünümlü sinyalin de olduğu üç görünümlü sinyallerin kullanımını gerektirmektedir. Dört görünümlü sinyallerde ise ikinci sarı görünüm, tren sürücüsüne önünde iki tane boş blok olduğunu, üçüncü bloğun ise meşgul olduğunu bildirmektedir. Üç görünümlü sinyallerden farkı, seyir halindeki yüksek hızlı trenin kırmızı sinyalde durabilmesi için gereken yeterli mesafeyi sağlamak amacıyla seyahat yönünde iki tane boş blok sunan sinyalizasyon sistemlerinde kullanılmasıdır.

Şekil 3. 1: Çok Görünümlü Sinyaller



Kaynak: YÜKSEL, H.E. (2007) s. 12.

Şekil 3.1, üç görünümlü sinyallerle korunan boş blokları temsil etmektedir. Tren-2'nin üzerinde bulunduğu bloğun meşgul olduğu bilgisi bir kırmızı sinyalle belirtilmektedir. Arkasındaki bloğun girişindeki sarı görünümlü sinyal ise bir sonraki bloğun dolu olduğu uyarısını yapmaktadır. Yeşil görünümlü sinyal ise Tren-1'e önündeki ilk bloğun boş olduğunu bildirmektedir. Tren-1 sarı görünümlü sinyale kadar sistemin izin verdiği tavan hız ile ilerleyebilir, sarı sinyali gördüğünde ise yine sistemde tanımlanan güvenli sürüş sınırlamalarına göre hızını azaltır ya da durur. Sarı ve kırmızı görünümlü sinyallerin arasındaki blok, Tren-1 ve Tren-2 arasında bir güvenlik tamponu görevi görmektedir. Bu boş blok, kırmızı sinyali geçme eğilimindeki bir trenin ATP sistemi tarafından gönderilen dur komutunu uygulayabilmesi için gerekli fren mesafesini sağlayabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

3.1.2 Makas Motorları

Demiryolu araçlarının bir yoldan diğer bir yola geçmesini sağlayan hareketli ve sabit parçalardan oluşan tesise makas denir. Demiryolu araçlarının diğer ulaşım türlerindeki araçlardan farkı dümenlerinin olmayışındır. Bu sebeple demiryolu araçlarının bir yoldan diğer yola geçişi yollar üzerine döşenen makaslar vasıtası ile olur.

Uzaktan kumandalı motorlu makaslar, kontrol merkezinden kumanda edilerek düzenlenir. Ancak, kontrolörden izin alınarak manevra veya başka nedenlerle lokal kumanda panosundan ya da manuel çevirme kolu yardımı ile makasın üzerinden düzenlenebilir.

Makasların uzaktan kumandasını sağlayan en önemli etken, bu sistem içerisinde çalışan elektrikli motorlardır. Makas sistemi içerisinde genellikle doğru akımla çalışan motorlar kullanılır. Bu motorlar 26 VDC ile veya 110 VAC ile iki yönlü çalıştırılabilen motorlardır. Kurulan mekanizma ile motora uygulanan gerilimin yönü değiştirilir. Bu şekilde kullanılan motor iki yönlü çalıştırılmış olur (MEB Megep 2009). Şekil 3.2, bir makas motorunun yoldaki görünümünü göstermektedir.

Şekil 3. 2: Bir Makas Motorunun Görünümü



Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Makas Kontrol Sistemleri (2009) s. V

Şekil 3.3' de İngiliz tipi makas görünmektedir. Genellikle ikiden fazla yolun kesişim noktasına konan İngiliz tipi makaslar, 3-4 adet makasın sağlayacağı manevra yeteneğini sağlamaktadır.

Şekil 3. 3: İngiliz Tipi Makas

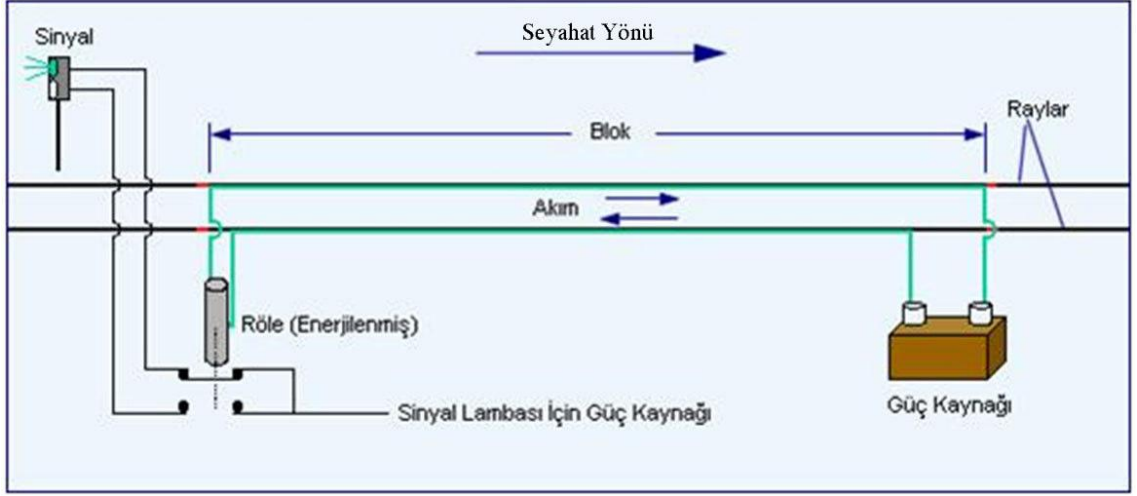


3.2 RAY DEVRELERİ İLE TREN ALGILAMA

Sinyalizasyon sistemlerinde hattın belirli bölmelere ayrılmasıyla tanımlanan bloklar, ray devreleri ile oluşturulur. Ray devresi, tren hareketlerinin emniyetli bir şekilde yapılabilmesi için anlaşılan sistemine bloğun serbest olduğu bilgisini verir. Bir tren tarafından işgal edilen ray devresi, anlaşılan sistemine meşguliyet bilgisi göndererek bloğun kilitlenmesini sağlar. Aynı zamanda blok girişindeki sinyalin kırmızıya dönmesini sağlayarak tren sürücüsüne bu meşguliyeti haber verir.

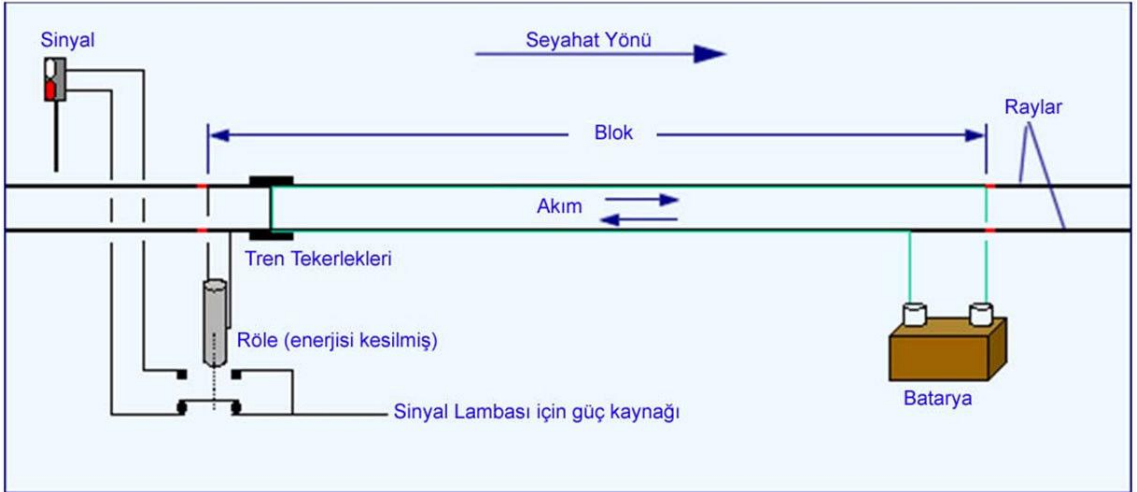
Şekil 3.4, kapalı elektriksel bir devre olan ray devresinin çalışma prensibini göstermektedir. Şekil 3.5' de bölgeye giren trenin tekerleri rayları kısa devre ederek, raylara uygulanan zayıf akımı keser. Bu durumda normalde enerjili olan seri bağlı röle enerjisiz kalır ve rölenin kontakları kırmızı görünümlü sinyalin devresini tamamlar. Böylece bölgenin bir tren tarafından işgal edildiği sistem tarafından anlaşılır ve kırmızı görünümlü sinyal ile arkadan gelecek tren uyarılır.

Şekil 3. 4: Ray Devresi Boş Blok



Kaynak: YÜKSEL, H.E. (2007) s. 11.

Şekil 3. 5: Ray Devresi Dolu Blok



Kaynak: YÜKSEL, H.E. (2007) s. 11.

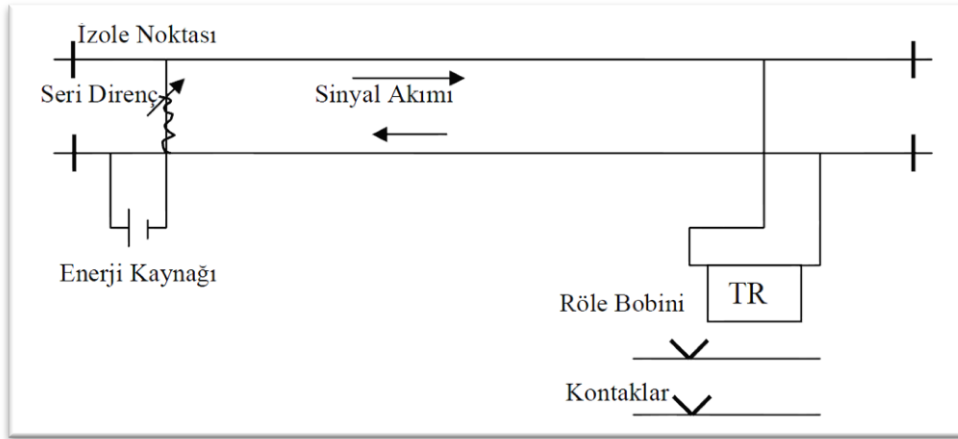
Ray devrelerinin dizaynı her zaman gerilim var ise bloğun boş ve emniyetli olduğu varsayımı üzerinedir. Bunu sebebi ise olası bir sistem arızası sebebiyle raya uygulanan gerilimin geri alınmaması durumunda bloğun doluymuş gibi algılanması ve trenin bloğa girmemesinin istenmesidir. Yani ray devresinden alınacak bir meşguliyet bilgisi, sadece tren işgalini değil blok içerisinde trenin seyir emniyetini tehdit edebilecek bir arızanın olduğunu da bildiriyor olabilir. Böylece hat üzerindeki muhtemel bir arıza durumunda trenler bölgeden uzak tutularak olası kazaların önüne geçilmiş olunur.

3.2.1 İzole Cebireli Ray Devreleri

İzole cebire, ray devrelerini elektriksel olarak birbirinden ayırabilmek için yalıtkan malzeme kullanılarak oluşturulmuş ray kesigi bölgeleridir. Ray devresinin treni algılaması için uygulanan düşük gerilimin kontrol edilmesi için kullanılır.

Ray hattı izole cebire ile belirli bölgelere ayrıldıktan sonra bu bölgelerin herhangi bir tarafından bir besleme gerilimi verilir ve ray bölgesinin diğer tarafından da gerilim kontrol edilir. Eğer izole edilmiş bölgeden uygulanan gerilime göre bir geri dönüş gerilimi alınmıyorsa ray bölgesinde tren yoktur. Tren bir ray bölgesinde girince iki ray arasını kısa devre eder. Bu durumda rayaya uygulanan gerilimden geriye dönüş olmayacağı bölgede trenin varlığı anlaşılır. Hattın, tren seyri için emniyetli olduğundan emin olunması amacıyla tren algılama sistemi ters mantıkla çalışır. Yani gerilim varsa tren yok, gerilim yoksa tren var olarak addedilir. Kablo kopması, kısa devre ya da ekipman arızası gibi nedenlerden dolayı uygulanan gerilim geri alınamazsa o bölgede tren olduğu varsayılır ve sistem bölgeye başka bir trenin girişine izin vermez. Böylece herhangi bir sistem arızasından kaynaklanabilecek olası kazaların önüne geçilmiş olunur. (Söyler-Açıkbaş) Şekil 3.6' da DC ray devresi çalışma mantığı görülmektedir.

Şekil 3. 6: DC Ray Devresi



Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Ray Devreleri (2008) s.6

3.2.2 Kodlu Ray Devreleri

Kodlu ray bölgelerinde rayları izole cebire ile ayırmak yerine ray bölgeleri arasında kapasitif ayırıcılar kullanılır. Ray bölgesinin bir ucundan verici vasıtası ile rayaya verilen

ses frekansı ray bölgesinin diğer ucundan bir alıcı vasıtası ile alınır ve ölçülür. Eğer frekansta bir sapma varsa bölgede tren varmış gibi düşünülür ve bölge kilitlenir.

Son yıllarda inşa edilen sabit blok sinyalizasyon sistemlerinde genellikle ses frekanslı ray devreleri kullanılmaktadır. Özellikle kısa mesafelerde aracın algılanmasını gerektiren düşük zaman aralıklı tren işletmesi yapılan sistemlerde kullanılması avantajlıdır. Ayrıca ray kesintisiz olduğu içinde yolculuk konforu artar ve bakım maliyeti düşer. (Söyler-Açıkbaş)

3.2.3 Aks Sayıclı Ray Devreleri

Tanımlanmış olan bir bloğun belirli noktalarına yerleştirilen ve tren akslarını sayan sayım başlıkları sayesinde tren varlığının belirlendiği algılama sistemidir. Toplanan bilgiler değerlendirme bilgisayarına aktarılır, bloğa giriş yapan aks sayısı ile çıkış yapan aks sayısı eşit ise bölgenin boş olduğu kabul edilir. Girişte sayılan aksların sayısı ile çıkışta sayılan aksların sayısında bir tutarsızlık var ise bölgede tren var kabul edilir.

Şekil 3. 7: Aks Sayıclı Ray Devresinin Çalışma Prensibi



Kaynak: Siemens Demiryolu Otomasyon Akademisi (2009)

Şekil 3.7' de, değerlendirme bilgisayarını sayıcı başlığından alınan sinyalleri değerlendirir ve hat meşgulliyeti tespit bölümüne (TVDS) giren aksların sayısını bu bölümden çıkan aksların sayısı ile karşılaştırır. Hat meşgulliyeti tespit bölümünü izler ve "hat açık" ve ya "hat meşgul" bilgisi gösterir. (Siemens Demiryolu Otomasyon Akademisi 2009)

3.3 BİLGİSAYAR TABANLI INTERLOCKING (COMPUTER-BASED INTERLOCKING)

Anklaşman, hat üzerindeki tüm bileşenlerden haberleşme altyapısı ile bilgi toplayarak işleyen merkezi yazılım ve donanım birimidir. Hattı sürekli izleyerek trafik kontrol merkezine bilgi gönderir. Trafik kontrol merkezinden aldığı komutları güvenlik esaslarına göre değerlendirerek gerçekleştirir ya da reddeder.

Bir trenin bir bloğa girmesiyle beraber merkezi anklaşman bölgeyi kilitler, sadece tren için kurulmuş olan rota açıktır, sinyaller yeşildir, makaslar tanzim edilmiştir. Tren geçişi boyunca rota üzerindeki tanzim edilmiş olan hiçbir makas komut almaz, başka bir trenin bölgeye yaklaşmasına izin verilmez. Trenin geçişini tamamlamasıyla beraber diğer bir tren geçişi için bölge otomatik olarak serbest kalır.

Bilgisayar tabanlı kilitleme sistemlerinde, toplanan verileri değerlendiren iki adet bilgisayar bulunur. Trafik operatöründen alınan herhangi bir komut, hattın anlık durumuna göre her iki bilgisayarda ayrı ayrı değerlendirilir ve sonuçlar karşılaştırılır. Eğer sonuçlarda bir tutarsızlık var ise operatörden alınan komut reddedilir.

3.4 OTOMATİK TREN KORUMA SİSTEMİ (AUTOMATIC TRAIN PROTECTION = ATP)

Otomatik tren koruma sistemi (ATP) sürüş güvenliğini sürücü inisiyatifine bırakmaksızın trenin hızını sürekli olarak kontrol eden, kritik noktalar için tanımlanmış hız limitlerini uygulayan sürüş güvenliği sistemidir. Sürücü, belirlenen hız limitlerini aşmadığı ve sinyallere uyduğu sürece herhangi bir ATP uygulaması devreye girmez. Olası bir tutarsız sürücü eylemi sırasında ATP sisteminin çalışması, hat boyundaki tren ile haberleşme ekipmanları (ray devresi, balis vb.), tren üstü haberleşme ekipmanları ve sürüş güvenliği için tren hareketine sistem tarafından yapılacak müdahalelerin emrini trene uygulayan tren üstü işlemci biriminin tam uyumlu çalışması ile mümkündür.

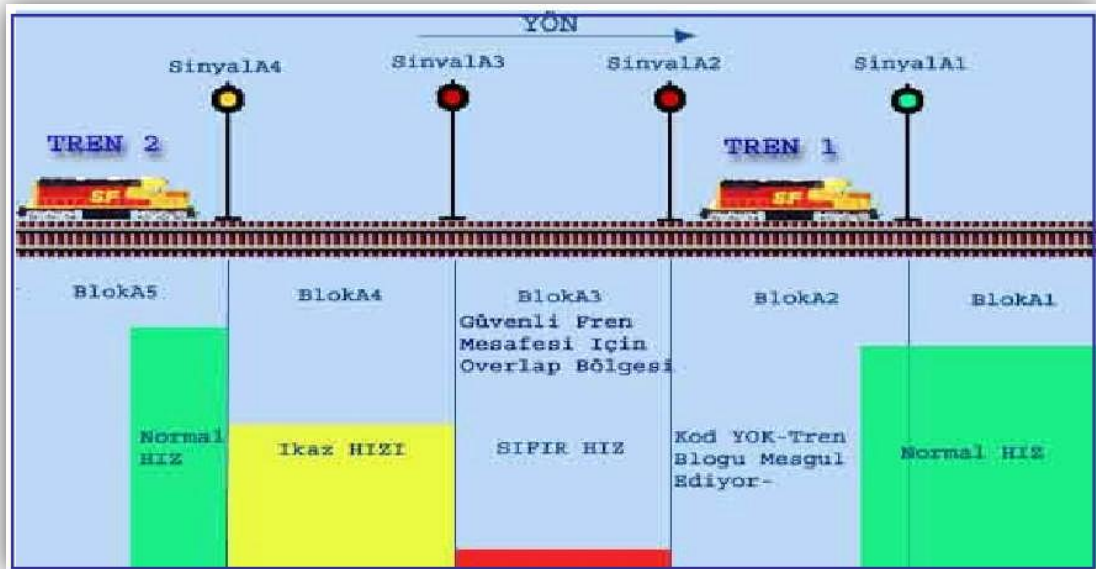
ATP tren üstü ünitesi, taşıyıcı aracın altına, sürüş yönüne monte edilmiş olan kod yakalayıcı anten vasıtası ile sinyal kodlarını yakalayarak bir işlemcide değerlendirir ve eğer trenin o anda bulunduğu bölge için tanımlanmış olan hız limiti aşılmış ise frenleme sistemini devreye sokar. Hattın değişik noktalarında tanımlanan hız limitleri farklılık

gösterebilir. Bu limitlerin belirlenmesinde hattın eğimi, makas noktaları, trenin perona ya da kırmızı sinyale uzaklığı gibi sınırlayıcı faktörler etkilidir.

3.4.1 ATP Sisteminin Çalışması

Şekil 3.8, bir ATP sisteminin seyir halindeki trenlere hangi durumlarda müdahale edeceğini göstermektedir. Tren-2 önündeki Sinyal-A4'e kadar izin verilen tavan hız ile ilerleyebilir. Sinyal-A4 ile Sinyal-A3 arasında ise Tren-2'nin ihtiyatlı bir hız ile ilerlemesine izin verilir. Çünkü bir sonraki blok overlap (bindirme) bölgesidir. Overlap bölgesi, sinyalizasyon sistemlerinde, trenin tavan hız ile ilerlerken başka bir trenin işgal ettiği bloğa girmemesi için gerekli fren mesafesidir. Tren-2 ihtiyatlı bir hız ile Sinyal-A3'e ulaştığında APS sistemi Tren-2'ye acil fren yapması için komut verir. Tren-2, Sinyal-A3'ün hemen önündeyken fren yaptığı andaki hızı ne olursa olsun Sinyal-A2'ye ulaşmadan (Blok-A3 içerisinde) duracaktır. Tren-1 ise önündeki Sinyal-A1 açık olduğu için ATP sisteminin herhangi bir müdahalesine maruz kalmadan Blok-A2 ve Blok-A1 içerisinde ilerleyecektir.

Şekil 3. 8: ATP Sistemine Tanımlanan Emniyetli Hız Sınırlamaları



Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Tren Koruma ve Kontrol Sistemleri (2009) s.16

3.4.2 ATP Sisteminin Araç Üstü Bileşenleri (On-board Ekipmanlar)

Metrolarda kullanılan trenler gelişmiş özelliklere sahiptir. Birçok bileşenin bir arada ve uyumlu çalışmasının sonucu trenler hızlı ve güvenli bir şekilde işletilmektedir. Bu bölümde bahsedilecek olan tren üstü ekipmanları, sinyalizasyon sisteminin bileşenleri olan ATP on-board ekipmanlarıdır.

On-board ekipmanları, trenlerin üzerinde sinyalizasyon sisteminden gelen bilgileri alan ve bu bilgilere göre treni hareket ettiren veya hareketini yönlendiren elektronik ünedir. Treni makinistin sürdüğü sistemlerde, hız sınırına veya diğer emniyet kurallarına uyulmadığı zaman önce makinisti uyarırlar. Tren üzerinde emniyet ile ilgili bir eksiklik (kuplaj kopması, kapıların açılması, fren sisteminde bir arıza vs.) veya sinyalizasyon sistemine göre bir hata (hat üzerinde bir engel algılanması, tanımlanmış tavan hızı aşma vs.) gördükleri anda treni durdururlar. Makinistsiz tam otomatik sistemlerde ise güvenlik ölçme metotları daha gelişmiştir ve olası bir acil durumda yine güvenlik amaçlı olarak tren durdurma yapılmaktadır (Söyler-Açıkbaş).

3.5 OTOMATİK TREN İŞLETMESİ (AUTOMATIC TRAIN OPERATION = ATO)

Otomatik tren işletme denetimi, trenlerin istasyonlarda kararlı duruşunu ve doğru duruş noktalarında doğru kapıların açılmasını sağlamak amacıyla daha çok işlevsellik ve konfora yönelik bir uygulamadır. İlk olarak Barcelona metro hattında kullanılan ATO denetimi, sürücü eylemlerini otomatikleştirmek ve trenin duruş/kalkış hareketlerini denetim altında tutmak için kullanılır. ATO, ATP sisteminin kontrolü altında çalışır. Trenin yaklaştığı istasyon bloğunun boş olduğu teyidini alan ATO, baliz adı verilen sabit veriler yüklenmiş haberleşme ekipmanları sayesinde trenin hızını azaltır, tren istasyona yaklaşır ve yine istasyon bloğuna yerleştirilmiş durdurma balizleri marifetiyle kararlı bir duruş yapar. Bu duruşun yanılma payı ± 2 metre olarak tanımlansa da modern sistemlerde trenler sifıra yakın bir yanılma payı ile çok daha hassas ve kararlı duruşlar yapabilmektedirler. Trenin istasyonda doğru noktada durması çok önemlidir. Bunun sebebi, ATO aynı zamanda makinistin yerine kapıları da açar/kapatır ve tren eğer doğru noktada duruş yapamamış ise duran trenin istasyon bloğunda bulunan balizlerle olan mesafesi de olması gerekenden farklıdır. Bu mesafe mutlaka sağlanması gereken çok

hassas hesaplamalar sonucu elde edilmiş bir mesafedir. Tren doğru duruş sağlayamadığı gibi kapıların açılması da istenen kararlılıkta olmayacaktır. İstasyonda bekleme süreleri artacak, gecikmeler olacaktır.

ATO'nun bir diğer işlevi ise ATP denetiminde makinistin yerine treni sürmektir. Tren, ATP tarafından hesaplanan güvenlik unsurları sağlandığı sürece ATO tarafından otomatik olarak sürülür. Bunun için tren üstü bilgisayarı, ATP ve ATO sürekli senkron çalışırlar ve ATP, ATO üzerinde daima ciddi bir gözlemci olarak hareket eder.

3.6 OTOMATİK TREN KONTROLÜ (AUTOMATIC TRAIN CONTROL = ATC)

Sinyalizasyon işletmeciliği her ne kadar anlaşılan emniyetini sağlamış ise de bazı hallerde tren makinistleri tarafından sinyallere uyulmadığı ve üzücü kazaların meydana geldiği görülmüştür. Sinyalizasyonda tam emniyet ancak sinyallere uyulduğu zaman mevcuttur. Dur bildirisi veren sinyallere uyulmadığı zaman kaza ihtimali her zaman mümkün olabilmektedir. Bu tür olayları önlemek için otomatik tren kontrol sistemleri (ATC) geliştirilmiştir. ATC sistemleri, trenin önünde durması gereken “dur” bildirisi veren sinyallerde tren makinistin treni durdurmakta gecikmesi halinde otomatik olarak fonksiyon görmekte ve treni istenilen noktada durdurmaktadır. (Ürün-Gülbahar)

ATC sistemi, ATP sistemi ile benzerlikler gösterir, birçok ortak fonksiyonları vardır. ATC, bir trenin güvenli seyri için hız kontrolünü, öndeki ve arkadaki en yakın trenin konumlarını dikkate alarak otomatik olarak yapar.

ATC sistemi, yapısal olarak ATP sistemi ile benzerdir. ATC, hat boyu ekipmanları ve tren üstü ekipmanlarının senkronize çalışması üzerine kurulmuş bir sistemdir. ATC, karar verici ve uygulayıcı olarak ana sistem gibi kullanılmasının yanında bazı sinyalizasyon sistemlerinde sürücünün kontrolünde yardımcı sistem gibi de kullanılabilir. Ana sistem olarak kullanıldığı yapılarda tüm hattın ATC güvenlik normlarına göre treni sürücüdenden bağımsız otomatik olarak yavaşlatır ya da durdurur. Yardımcı sistem olarak kullanıldığı sinyalizasyon sistemlerinde ise hat boyundaki sinyal bildirimlerine göre çalışır, yani bir bakıma ATP sisteminin fonksiyonlarını yerine getirir.

3.7 OTOMATİK TREN DENETİMİ (AUTOMATIC TRAIN SUPERVISION = ATS)

ATS, kumanda merkezindeki operatörlere tüm hattın kontrol ve denetim imkanını sağlayan sistemdir. Operatör, seyir halindeki ya da park halindeki tüm trenlerin konum, kimlik (ID numarası) ve anlık seyir bilgilerini görebilir. ATS sisteminde trafik denetimi bir ana bilgisayar ve buna bağlı operatör bilgisayarları ile gerçekleştirilir. Ana bilgisayar ile trafik kontrolü ve tren tanımlaması gerçekleştirilir. Trenlerin istasyonda bekleme süreleri ve istasyonlar arası hareket süresi tanımlanır. Buna regülasyon denmektedir. Operatör bilgisayarları ise sinyal ekipmanlarının durumlarını, tren bilgilerini ve alarmları görüntüler.

3.8 SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE SABİT VE HAREKETLİ BLOK TEKNOLOJİSİ

Günümüzde kullanılmakta olan sinyalizasyon sistemleri kendine özgü kriterlere göre tasarlanmıştır. Bu kriterler kapasite, maliyet, emniyet seviyesi, raylı sistemin türü olarak sıralanabilir. Örneğin, güzergahı boyunca defalarca hemzemin geçitlerden geçmek durumunda olan bir tramvay hattı için bu duruma uygun bir sinyalizasyon, sınırlı yolcu kapasitesiyle hizmet vermekte olan bir hafif metro hattına özel bir sinyalizasyon, güzergahı tamamen tünelden oluşan ve yüksek hızla işletilen gelişmiş bir metro sistemi için bir metro sinyalizasyonu ya da sürücüsüz trenlerin kullanıldığı bir metro sistemine özel bir sinyalizasyon sistemi kullanılmalıdır. Dünyada demiryolu sinyalizasyon çözümleri sunan firmaların bu durumlar için ayrı ayrı sinyalizasyon sistemleri mevcuttur. Bu da demiryolu sinyalizasyonunda çeşitliliğin oldukça fazla olmasını sağlamaktadır. Ancak bütün sinyalizasyon sistemleri birbirine benzer. Amaç, trenler arasında güvenli bir sürüş mesafesi bırakmaktır. Bunu da hattı bloklara ayırmak ve bir blok içine birden fazla trenin girmesine izin vermemek suretiyle gerçekleştirirler.

Bütün sinyalizasyon sistemleri temelde ikiye ayrılır. Bunlar sabit blok sinyalizasyon sistemi ve hareketli blok sinyalizasyon sistemidir. Cadde tramvayları için uygulanan sinyalizasyon sistemleri de sabit blok sinyalizasyonunun bir çeşidi olarak kabul edilse de sabit blok ve hareketli blok sinyalizasyon sistemi kavramları daha çok metro hatlarında kullanılan sinyalizasyon sistemleri için geçerli bir sınıflandırmadır.

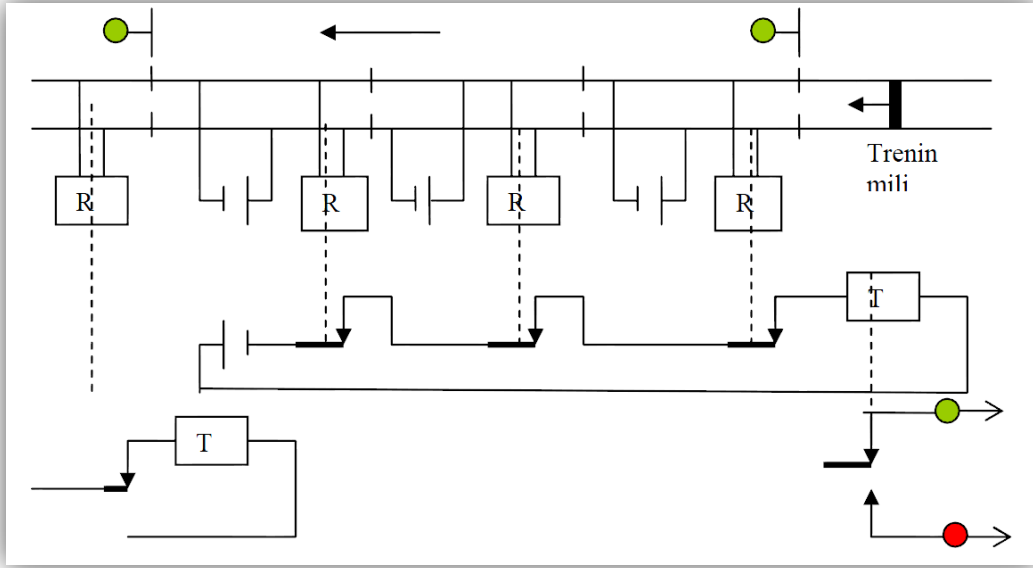
3.8.1 Sabit Blok Sinyalizasyon Sistemi

Otomatik tren işletme sistemine sahip bu sistemlerde trenler kumanda merkezi tarafından bilgisayar vasıtasıyla otomatik olarak sürülmektedir. Zaman çizelgesine göre tren hareket saatleri işletme programına kaydedilir. Trenin hangi hızda nasıl gideceği bazen blokların başında veya devamlı trenle haberleşme yoluyla alınmaktadır. Merkezi interlocking trenlerin konumunu algılar ve durması gerektiği noktayı ve nasıl güvenli olarak duracağını trene bildirir. Trende aldığı bilgiye göre duracağı yeri, uygulaması gereken fren gücünü hesaplar ve ona göre bir fren gücü uygular. Eğer tren çalıştırma sıklığı düşük tutulmak isteniyorsa sinyalizasyon sisteminin ilk dizaynı sırasında ray devrelerinin uzunluğu kısa tutulmalıdır. Düşük tren aralıklarında uygulanması zor olmakla beraber 2 dk civarındaki tren aralıklarına kadar uygun bir çözümdür. Manuel sürüş sinyalizasyon sistemine göre %10-15 daha fazla maliyetli olmakla beraber, sürüş senkronizasyonu, enerji ve personel tasarrufu düşünüldüğünde uygun bir çözümdür. (Söyler ve Açıkbaş)

Sabit blok sinyalizasyonunda blok girişlerine konan sinyallerdeki renk bildirimleriyle tren sürücüsü devamlı olarak uyarılır. Sürücü sürüş modunu değiştirmedeği sürece elle yapacağı bir işlem yoktur, bütün işlemler otomatik gerçekleştirilir. Hat üzerindeki bloklar elektronik cihazlar ile bloklara ayrılmıştır. Bu blokların uzunlukları 50 metre ile 350 metre arası değişebilmektedir.

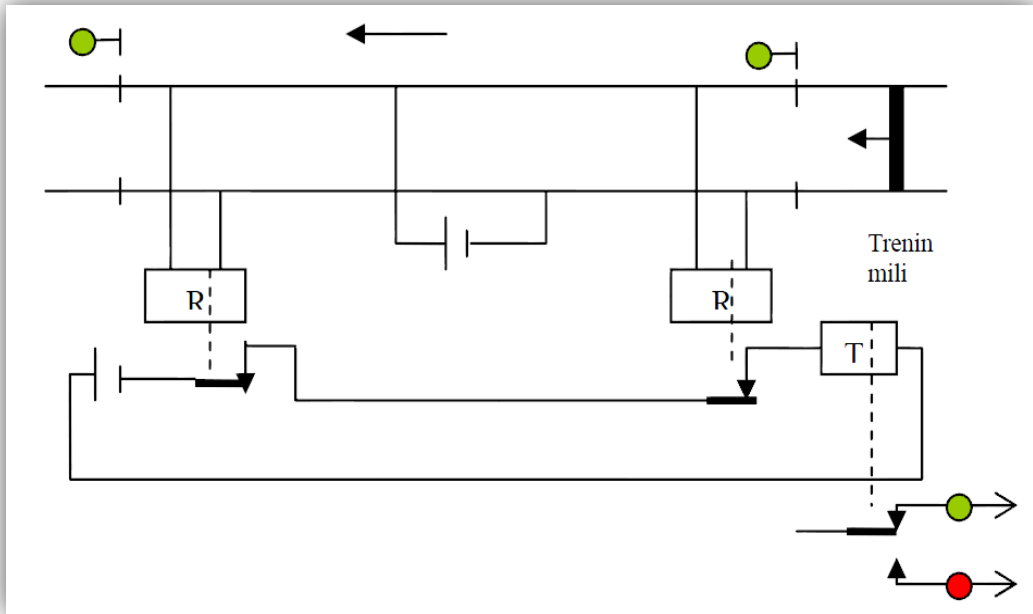
Şekil 3.9' da T rölesi blokları kontrol eden röle görevini görmektedir. Tren bloğu terk edinceye kadar devre trenin hareketini sürekli kontrol eder ve blok sinyali de kırmızı görünümde kalır. Böylece bloğa başka bir trenin girişi engellenir. Şekil 3.10' da farklı bir tasarım görülmektedir. Trenin rayı kısa devre etmesi sonucunda R rölesinin kontağı düşer ve sinyal kırmızıya döner. Tren bloğu terk edinceye kadar sinyal kırmızı görünümde kalır.

Şekil 3. 9: Sabit Blok Sinyalizasyonu



Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Interlocking ve Blok Sistemleri (2008) s. 27

Şekil 3. 10: Sabit Blok Sinyalizasyonu



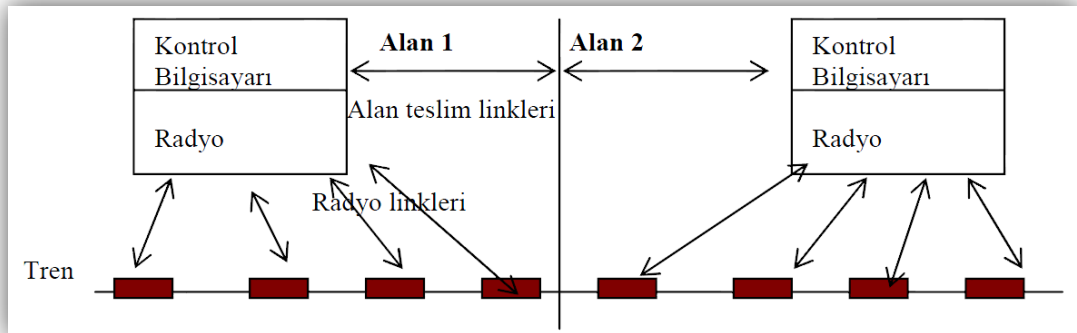
Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Interlocking ve Blok Sistemleri (2008) s. 27

3.8.2 Hareketli Blok Sinyalizasyon Sistemi

Kumanda merkezi her trenle hat boyunca döşenmiş sızıntılı kablo veya kablosuz ağ yoluyla haberleşir. Kablosuz ağ yoluyla trenle haberleşilen sistemlerde sinyalizasyonun güvenlik seviyesinin yüksek olması gerektiğinden haberleşme sistemi yedeklidir yani çift kanal haberleşme kullanılır ve sahadan gelen bilgiler tren üzerinde karşılaştırılır. Trenlerin hangi hattın hangi noktasında olduğu (dopler radar, GPS, aracın km sayacı vs yardımı ile bu konum belirlenir) tren tarafından kumanda merkezine gönderilir. Her trenin, önündeki trene ne kadar yaklaşacağı trenin hızına, fren gücüne ve yol durumuna göre her zaman yeniden hesaplanarak trene gönderilir ve buna göre trenin hızı yeniden ayarlanır. Her trenin bulunduğu bölge ayrı ayrı kilitlenir ve her trenin hızı ayrı ayrı hesaplanır. Genelde 90 saniye ve daha az sefer aralıkları için cazip bir sinyal sistemidir. 90 saniyenin üstündeki sefer aralıklarında bir sinyal sistemi için bazen pahalı kalmakla beraber genelde yolcu yoğunluğu olan hatlar için uygundur. (Söyler ve Açıkbaş)

Hareketli blok sinyalizasyonunda hat üzerinde sabit bloklar yoktur. Her tren kendi güvenli tampon mesafesini beraberinde taşır. Hat birkaç istasyondan oluşan interlocking alanlarına bölünmüştür. Her alan, merkezi anlaşılan bilgisayar ile haberleşen lokal bir bilgisayar tarafından kontrol edilir. Lokal alan bilgisayar topladığı bilgileri merkezi anlaşılan ile paylaşır. Tren bir alandan diğerine geçtiğinde ise trenin girdiği alandaki lokal interlocking bilgisayar görevi devralır. Şekil 3.11, bir trenin bir alandan diğerine geçişini temsil etmektedir.

Şekil 3. 11: Lokal Interlocking Alanları

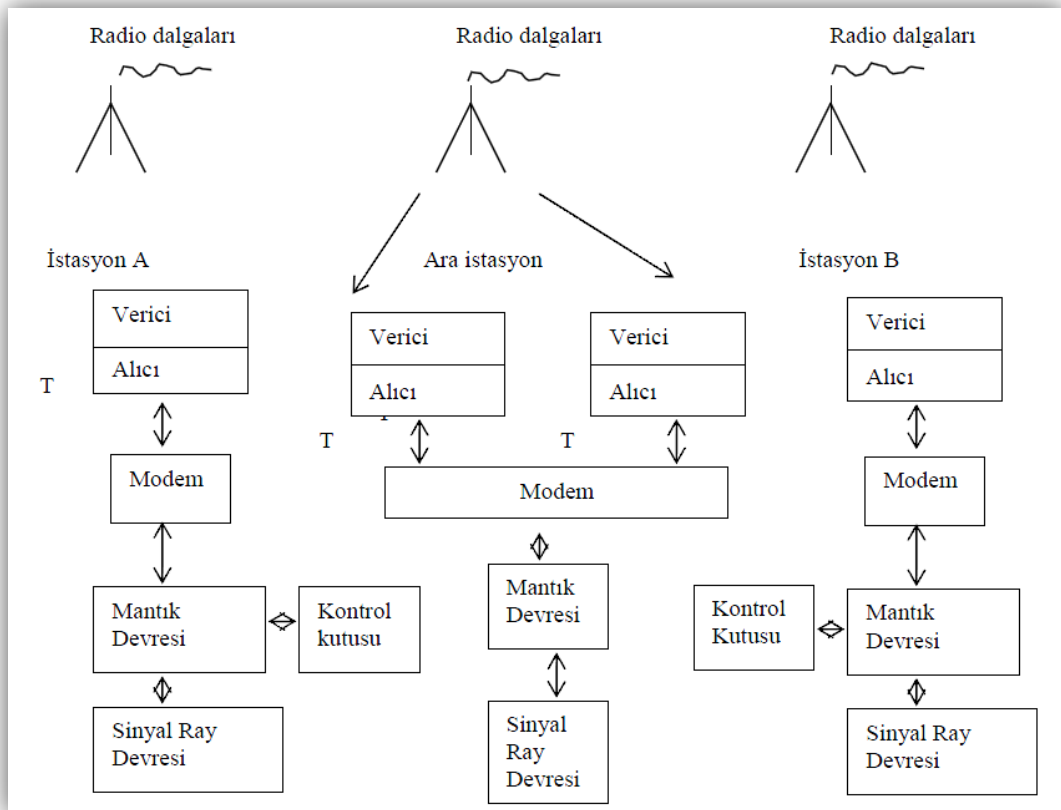


Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Interlocking ve Blok Sistemleri (2008) s. 28

Tren, girdiği alandaki lokal kontrol bilgisayarına ID numarasını, konumunu, yönünü ve hızını bildirir. Lokal kontrol bilgisayarını aldığı bu bilgileri değerlendirerek bir takip mesafesi belirler ve bu mesafeyi arkadan gelen trene bildirir. Böylece sabit blok sinyalizasyonunda olduğu gibi hat üzerinde sabit bloklar belirleyip bir bloğa bir tren sokmak yerine kablosuz haberleşme marifetiyle trenler arasında bir takip mesafesi oluşturulmuş olur. Şekil 3.12’de bir radyo blok sisteminin şematik görünümü görülmektedir.

Hareketli blok teknolojisinin temelini oluşturan radyo blok sisteminde olası bir haberleşme kopukluğunda elde edilen son veriler tren üstü bilgisayarında tutulur ve takip eden tren öndeki trene yetişmeden durdurulur.

Şekil 3. 12: Radyo Blok Sistemi



Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Interlocking ve Blok Sistemleri (2008) s. 28

3.8.3 Hareketli Blok Sinyalizasyonun Avantajları

Demiryolu sinyalizasyonu, değişken iklim şartlarına, yoğun kullanıma, aşınmaya, kötü niyetli kişiler tarafından tahrip edilmeye ve hırsızlığa maruz kalan oldukça pahalı sistemlere sahiptir. Bu sinyalizasyon ekipmanlarının geniş bir alana yerleştirilmiş olması, bakımlarının pahalı ve zaman alıcı olmasına sebebiyet vermektedir. Arızaların yerlerinin tespit edilmesi ve arıza mahalline ulaşılması oldukça zordur. Özellikle metrolarda trenler ve yer altındaki katlara ulaşım ilave bir zorluk getirmektedir. Bu nedenlerden dolayı demiryolu işletmecileri bakım giderlerini azaltmak için yol ekipmanlarını azaltmayı denemektedirler. Azaltılmış yol kenarı ekipmanları kurulum maliyetlerini de azaltır. Hareketli blok sistemi sabit blok sistemine göre daha az yol kenarı ekipmanı gerektirir. (Yüksel H.E. 2007 s. 22)

Diğer bir avantaj ise yüksek kapasite sağlıyor olmasıdır. Bir çok metro normuna göre işletme aralığı 2 dakika veya saatte 30 trendir. Yüksek kapasite sağlansa bile terminal ve istasyon beklemeleri hat kapasitesinde büyük kayıplar meydana getirir. Yoğun olarak kullanılan Hong Kong metrosu gibi hatlarda, pik saatlerde bekleme süresini 40-50 saniyenin altında tutarak kapasitenin saatte 30 trene çıkarılmasına çalışılmaktadır. Böylece hangi sinyalizasyon sistemi kullanılırsa kullanılsın işletme aralığı 2 dakika veya daha altına çekilebilir. Paris Metrosunun bazı kesimlerinde ve Dockland Hafif Metro sisteminde 95 saniye, Marmaray Projesinde ise işletme aralığı 90 saniyedir. Hareketli blok sinyalizasyon sistemi işletme aralığını 90 saniyenin altına indirip 50 metrelik tren ayırma mesafesine izin verebilir ancak bu durumda da yer altı hatlarında kritik zamanlarda yeterli hava siekülasyonu sağlamak için her 200-300 metrede bir modern duman kontrolü ve havalandırma sistemlerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu da oldukça yüklü bir maliyet getirerek hareketli bloğun maliyet bakımından faydasını azaltacaktır. Bu nedenle kısa işletme aralıkları; hızların düşük, trenlerin kısa ve yolcu sayılarının az olduğu sistemlerde elde edilebilir. (Yüksel H.E. 2007 s. 22)

Son yıllarda haberleşme tabanlı tren kontrol sistemlerinin firmalar tarafından kullanımının artmasıyla hareketli blok teknolojisi daha fazla tercih edilmeye başlamıştır. Bunun nedeni, metro projelerinde tek firmaya bağlı kalınmamak istenmesidir. Bir metro hattının uzatılması söz konusu ise, o hatta daha önce yapılmış olan sinyalizasyonun başka bir firma tarafından uzatılması oldukça kolay olmaktadır.

Bu sayede işletmeci firmalar için, sinyalizasyon çözümü sunan firmalar arasındaki rekabetten doğan bir fiyat avantajı söz konusu olmaktadır

3.9 TAM OTOMATİK SÜRÜCÜSÜZ SİSTEMLER VE AVANTAJLARI

Raylı toplu taşımada sürücüsüz veya tam otomatik sistemler yaygınlaşmaktadır. Hem hareketli blok hem de sabit blok sistemlerde tam otomatik bilgisayar kontrollü tren sürüşü mümkündür. Yıllardır yapılan testler ve uygulamalar başarı ile sonuçlanmıştır.

Tam otomatik sistemlerin avantajları aşağıda sıralanmıştır:

Güvenlik ve Emre Amadelik

1. Tam otomatik sistemler insan hatasını engellemektedir. Mevcut sistemlerde kazaların bir çoğu insan hatasından kaynaklanmaktadır.
2. Ayrılmış yol kullanımı, yaya ve araç ile çarpışmaları önlemektedir.
3. Platform kapıları kullanılması durumunda ray hattına insan düşmesini ve yolcuların sebep olduğu gecikmeleri önlemektedir.

Yüksek Kalitede Hizmet

1. Tam otomatik sistemler ile trenler arasındaki headway süresi minimuma indirilerek yolcuların bekleme süreleri kısaltılmaktadır.
2. Aktarma noktalarında bekleme süresi kısaltılabilmektedir.
3. Yüksek ticari hız, kısa yolculuk süreleri ve dakiklik, toplu taşımanın yolcu çekim etkisini arttırmaktadır.

Yüksek İşletme Esnekliği

1. Değişkenlik arz eden yolculuk taleplerine gerçek zamanlı olarak hat'a araç sokma veya hattan tren çekme şeklinde cevap verebilme özelliği mevcuttur.
2. Sürücüsüz sistemlerde araç içerisinde sürücü / personel olmaması ekstra verimlilik sağlamaktadır.

Düşük Bakım Maliyeti

1. Tam otomatik sistemlerde eğer haberleşme tabanlı tren kontrol sistemi kullanılırsa, kullanılan saha ekipmanlarının az olması sebebiyle bakım maliyeti de oldukça düşüktür.
2. Saha ekipmanları az olduğu için arızalara müdahale daha kolay ve arıza giderme süresi daha düşüktür.

Minimum Çevresel Etki

Belirli yolculuk talebi için kullanılacak headway süresinin kısaltılması demek daha kısa tren setlerinin kullanılması demektir. Bu da altyapının boyutunun ve maliyetinin azalması anlamına gelmektedir. (Söyler ve Açıkbaş)

4. BAŞAKŞEHİR METROSU VE ŞİŞHANE-HACIOSMAN METRO HATTI SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

16.09.2000 tarihinde birinci aşaması hizmete açılan Şişhane-Haciosman metro hattı hareketli blok sinyalizasyon sistemine sahiptir. Yapımı tamamlanan, deneme sürüşleri devam etmekte olan ve 2013 yılı içerisinde hizmete açılması planlanan Başakşehir-Bağcılar metro hattı ise sabit blok sinyalizasyon sistemine sahiptir. Bu bölümde her iki metro hattının sinyalizasyon sistemleri detaylı olarak incelenecektir.

4.1 BAŞAKŞEHİR METRO HATTI SİNYALİZASYON SİSTEMİ

4.1.1 Hattın Genel Yapısı

15,9 kilometre uzunluğa ve 11 istasyona sahip Başakşehir-Bağcılar metro hattı (bundan sonra Başakşehir Metrosu olarak adlandırılacaktır) 2013 yılı içerisinde hizmete açılması öngörülen ve yine aynı dönemde hizmete açılması planlanan Kirazlı-Esenler-Otogar Hafif Metro hattı ile entegre olan bir metro hattıdır.

Taksim metrosunun işletme bilgileri aşağıda verilmiştir; (İstanbul Ulaşım A.Ş. 2013)

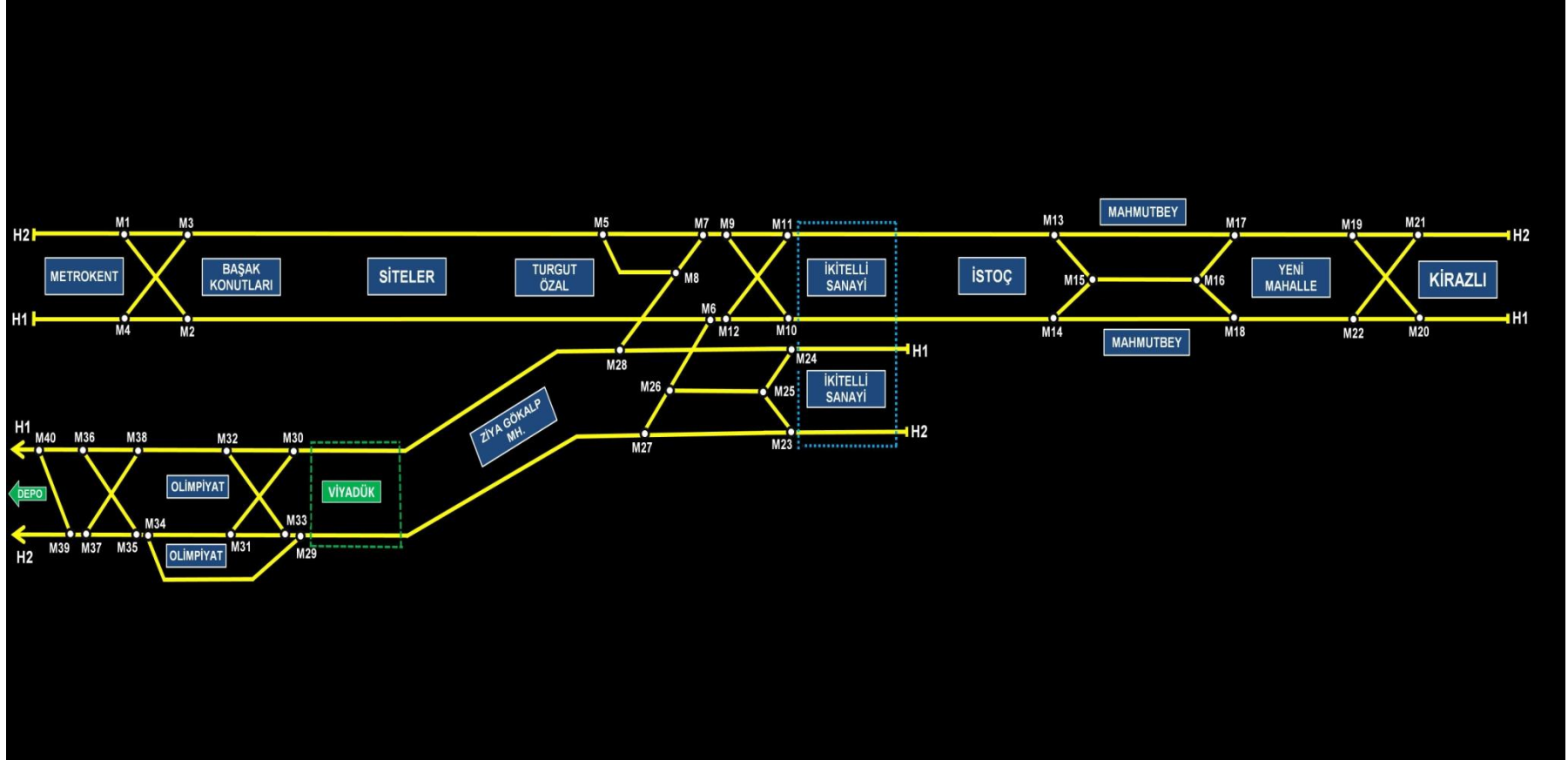
- a. Hat Uzunluğu: 15,9 Km
- b. İstasyon Sayısı: 11
- c. Vagon Sayısı: 80 (20 adet 4'lü tren)
- d. Sefer Süresi: 20 dakika
- e. Günlük Yolcu Kapasitesi: 70.000 Yolcu
- f. Minimum headway: 90 saniye (teorik), 120 saniye (pratik)
- g. Sefer Sıklığı: peak saatte 5 dakika
- h. Hat Voltajı: 1500 V DC

Başakşehir Metrosunun sinyalizasyon sisteminin yapımını Bombardier uluslararası firması üstlenmiştir. Bombardier, Başakşehir Metrosunda Cityflo 350 ismini verdiği sinyalizasyon çözümünü uygulamıştır.

Şekil 4.1, Başakşehir Metrosunun hat şemasını göstermektedir. Hat şemasında 11 adet istasyon, istasyonların yapıları (tek platform-çift platform, terminal istasyon gibi), hat içerisindeki manevra noktaları (makaslar) görülmektedir. M1'den M40'a kadar olan

isimlendirmeler makas noktalarını göstermektedir. H1 ve H2 ise 1.hat ve 2.hat anlamındadır. Normal işletme yönü Metrokent-Kirazlı ve İkitelli Sanayi-Olimpiyat İstasyonları istikametinde H1, Kirazlı-Metrokent ve Olimpiyat-İkitelli Sanayi İstasyonları istikametinde H2 yolu şeklindedir. İkitelli Sanayi İstasyonu iki hattın kesişim noktası olduğu için bir birinden bağımsız iki adet perona sahiptir. İkitelli Sanayi istasyonu ve terminal istasyonlar olan Metrokent ve Kirazlı istasyonlarının girişlerinde tren manevraları için makaslar bulunmaktadır. Ara istasyonlardaki makaslar ise olası bir tren arızası ya da sistem arızasında alternatif tren işletmeciliğinde kullanılmaktadır.

Şekil 4. 1: Başakşehir Metrosu Hat Şeması



4.1.2 Araçlar

Başakşehir Metrosunda kullanılan her tren seti 4 araçtan oluşmaktadır. Baş taraflarda bulunanlar çeken araçlardır. Her araç 21,5 metre, bir tren seti 86 metre uzunluğundadır. İki tren seti birleştirilerek 8'li dizi şeklinde de kullanılabilir. Çeken araçlarda makinist kabinleri bulunur. Her kabinde ATP ve ATO bilgisayarı ve ekipmanları bulunur. Trenler saatte 88 kilometre hıza çıkabiliyor olsalar da sinyalizasyon sisteminin izin verdiği 80 kilometre/saat maksimum ulaşabilecekleri hızdır. Aşağıda araçların diğer özellikleri verilmiştir;

- a. Azami tahrik gücü: 257 kN
- b. Servis ivmelenmesi: $1,1 \text{ m/s}^2$
- c. Azami ivme silkinmesi: 1 m/s^3
- d. Azami servis fren gücü: 275 kN
- e. Azami elektrik servis fren gücü: 245 kN
- f. Düz yoldaki azami servis yavaşlaması: $1,1 \text{ m/s}^2$
- g. Azami servis fren silkinmesi: 1 m/s^3
- h. Asgari acil yavaşlama: $1,1 \text{ m/s}^2$
- i. Azami acil yavaşlama: $2,5 \text{ m/s}^2$
- j. Azami acil silkinme: 4 m/s^3
- k. Fren sistemindeki bir hata durumunda garanti edilen asgari yavaşlama: $0,7 \text{ m/s}^2$

4.1.3 Güvenlik Esasları

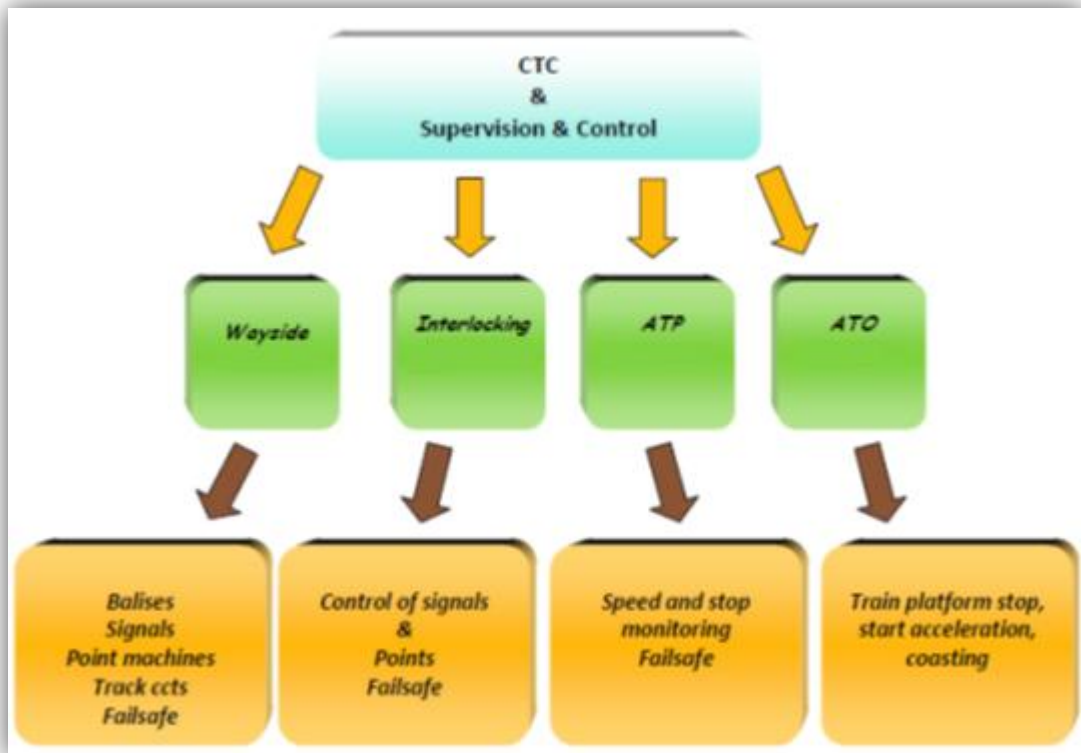
Başakşehir Metrosu sinyalizasyon sisteminin tasarlanmasında gözetilen temel güvenlik esaslar şunlardır;

- a. Tren çarpışmalarını önlemek,
- b. Aynı hat üzerinde birbirini takip eden trenler arasında bir güvenlik mesafesi koymak ve bu mesafeyi korumak,
- c. Trenlerin hızlarını sınırlamak,
- d. Tren kapı açma eylemini etkinleştirmeyi kontrol etmek

4.1.4 Sabit Blok Sinyalizasyon Sistemi

Sabit blok sinyalizasyon sisteminin kullanıldığı Başakşehir Metrosunda hat, ses frekanslı ray devreleriyle sabit bloklara ayrılmıştır. Blok uzunlukları buldukları konumun özelliğine göre (makas bölgesi, peron bölgesi gibi özellikler) 50 ile 300 metre arası değişmektedir. Hat aynı zamanda 5 ayrı Interlocking bölgesine ayrılmıştır. Her Interlocking bölgesinde bir lokal kontrol bilgisayarı mevcuttur. Bu bilgisayarlar ana trafik kontrol merkezindeki (Centralized Trafik Control = CTC) ana bilgisayar (Server) ile fiber optik ağı sayesinde haberleşmektedir. CTC, bütün hat boyu ekipmanlarını (wayside equipments), Interlocking bilgisayarlarını, ATP ve ATO işlevlerini kontrol edebilme yeteneğine sahiptir. Şekil 4.2’ de CTC’nin kontrol ettiği işlevler şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 4. 2: CTC Kontrolü Şematik Gösterimi



Şemada görülen EBI lock, Bombardier firmasının lokal interlocking bilgisayarlarına verdiği isimdir. Lokal bilgisayarlar kendi bölgelerindeki saha ekipmanlarını sürekli tarar, sinyallerin doğru görünümde olmasını sağlar, makas pozisyonlarını tespit eder.

Tarama sonucu bir sorun yoksa hareket yetkisini ray devreleri üzerinden araç üstü ATP ekipmanlarına verir. Bu yetki makinist kabinindeki ekrandan makiniste de bildirilir. Ana trafik kontrol merkezinde (CTC) lokal bilgisayarlardan fiber optik altyapısı ile toplanan bilgiler operatörler tarafından görüntülenir.

Her istasyonda bir adet ekipman kontrol kabini bulunmaktadır. İstasyonun bulunduğu bölgedeki ekipmanlara erişim bu kabin içerisindeki elektronik kartlar aracılığı ile gerçekleşmektedir. Aynı interlocking bölgesindeki ekipman kontrol kabinleri de bir çevrim şeklinde bir birlerine bağlıdır.

Bir ekipman kontrol kabini içerisindeki elektronik kartlar aşağıda sıralanmıştır;

LMP Kartları: Sinyalleri denetler ve kontrol eder.

MOT Kartları: Makas motorlarını denetler ve kontrol eder.

BIS Kartları: Tren depo sahasındaki balisleri denetler ve kontrol eder.

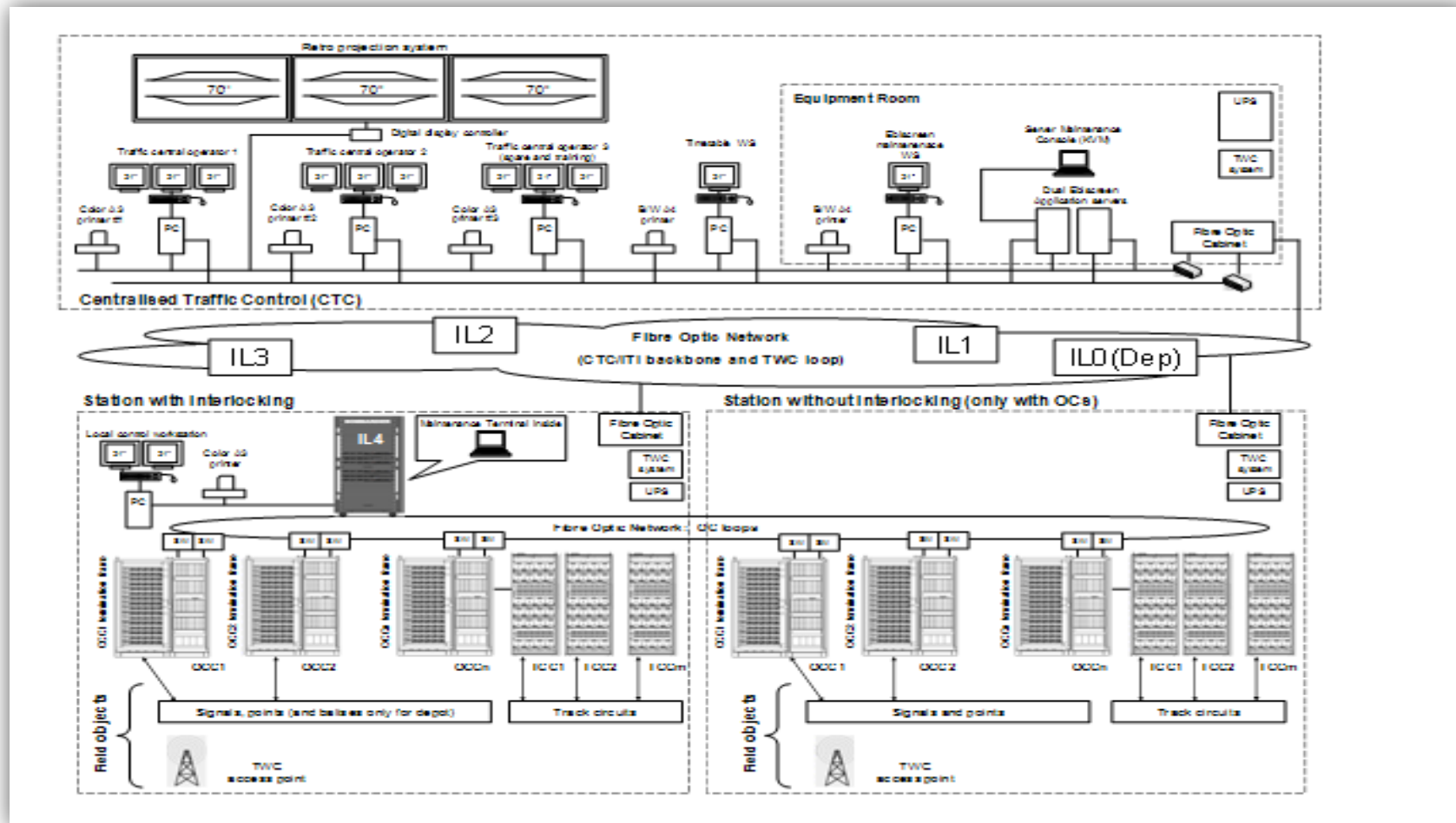
CTK Kartları: Ray devresi kabinindeki özel bir ekipman aracılığı ile ray devrelerini denetler ve kontrol eder.

Interlocking bölgelerinde, ana trafik kumanda merkezindeki operatör bilgisayarlarından da bulunmaktadır. Bu sayede, gerektiğinden her interlocking bölgesi kendi içinde kumanda edilebilir.

4.1.4.1 Ana Trafik Kontrol Merkezi (Centralized Traffic Control = CTC)

Ana trafik kontrol merkezi (bundan sonra CTC olarak adlandırılacaktır), lokal interlocking bilgisayarlarından gelen tüm bilgileri toplar ve bir grafik arayüzü ile operatöre hat boyu ekipmanlarının durumlarını gösterir. Şekil 4.3' de CTC'te bağlı interlockingler ve örnek bir interlocking üzerinden sistem mimarisinin anlatımı görülmektedir.

Şekil 4. 3: Sistem Mimarisi

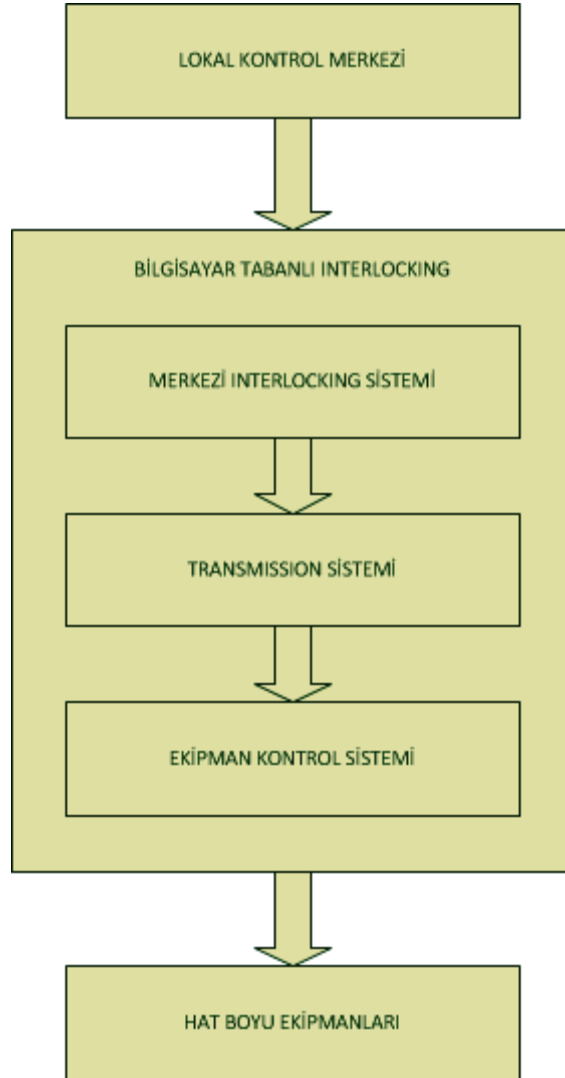


Kaynak: Bombardier CITYFLO350 Sistem Description and Architecture (2008) s. 16

4.1.4.2 Bilgisayar Tabanlı Interlocking

Her interlocking, tam yedekli bir interlocking bilgisayarı, çift omurgadan oluşan bir iletim ve haberleşme ünitelerinden oluşmaktadır. CTC ya da lokal kontrol merkezinden gelen komutları alır, anlık trafik durumuna göre değerlendirir, bir tutarsızlık tespit etmez ise komutu gerçekleştirir. Bir tutarsızlık durumunda (örneğin başka bir trenin rotasında bulunan ve kilitlenmiş bir makası hareket ettirme komutu) komutu reddeder. Bunu gerçekleştirebilmek için de hattın kendi sorumluluğu altındaki kısmını sürekli olarak izler ve topladığı bilgileri ana trafik kumanda merkezine gönderir.

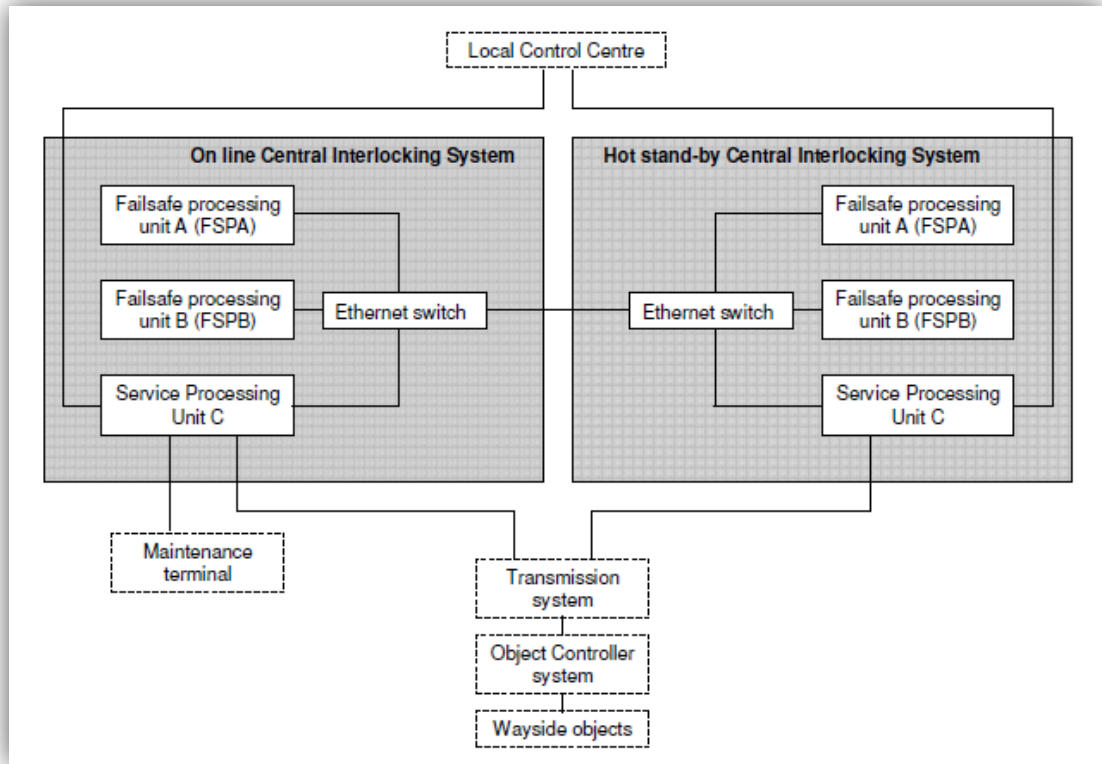
Şekil 4. 4: Interlocking Sistem Şeması



Şekil 4.4' de bir interlocking altyapısı şematik olarak görülmektedir. Merkezi Interlocking sistemi (Central Interlocking Sistem = CIS), interlocking fonksiyonunun

yerine getirildiği bölümdür. Kontrol merkezinden gelen komutlar işlenir ve ekipman kontrolörüne gönderilir, ekipman kontrolöründen durum bilgisi alınır ve bu bilgileri de lokal ve ana kontrol merkezine gönderir. Sıcak yedekli bir konfigürasyona sahiptir, iki özdeş hesaplama alt sistemi kullanılmıştır. Bunlardan biri çevrimiçi durumdayken diğeri sıcak yedek konumundadır. Çevrimiçi CIS yedek CIS'ı sürekli güncel tutar ve bu sayede çevrimiçi CIS devre dışı kaldığında yedek CIS anında kontrolü ele alır. Sıcak yedeklilik bu anlama gelmektedir. Böyle bir hata durumunda operatör, sistem tarafından oluşturulan alarm ile bilgilendirilir. Yedekli çalışan ikili CIS ünitesinin yapısı Şekil 4.5' de görülmektedir.

Şekil 4. 5: Merkezi Interlocking Sistem Şeması



Kaynak: Bombardier CITYFLO 350 Sistem Description and Architecture (2008) s. 25

İki işlemci ünitesi çeşitlilik tekniği kullanılarak dizayn edilmiştir. Aynı fonksiyon, farklı uygulamalar tarafından ortaya konur ve doğruluklarının güvenilirliğini arttırmak için karşılaştırılırlar.

4.1.4.3 Ray Devreleri

Başakşehir Metrosunda ses frekanslı eksiz ray devresi ile tren algılama yapılmaktadır. 6.1 kHz ile 8,1 kHz arasında değişen 8 farklı frekansta ray devreleri hat boyunca konumlandırılmıştır. Tren algılamanın yanında meşguliyet bölgesinde trene bilgi gönderme (hız, mesafe gibi) fonksiyonuna da sahiptir. Bir ray devresinin sınırları içerisinde tren yoksa ray devresi tren algılama modundadır. Bir tren algılandığında ise interlocking switchleri vericinin bilgi giriş terminallerine tren telegram bilgisi göndererek ray devresini ATP moduna geçirir. Ray devresi, telegram sona erip tren bir sonraki ray devresi tarafından algılanana kadar ATP modunda kalır ve ardından tren algılama moduna geri döner.

4.1.4.4 Balisler

Balis, hat boyunca iki ray arasında monte edilen ve hat bilgilerini trene ileten elektronik cihazdır. Aktif ve pasif balis olarak iki çeşidi vardır. Başakşehir Metrosu ana hatta (depo sahası hariç) kullanılan balisler pasif balislerdir. Sadece peron bölgelerinde, trenin kesin duruş noktalarının belirlenmesi için kullanılmışlardır. Araç anteni ile balis arasındaki haberleşme endüktif bobin prensibine dayanmaktadır. Bu yüzden herhangi bir kablolamaya ihtiyaç duymazlar. Çeken aracın altına monte edilmiş olan anten, balis elektronikini enerjilendirmek için 27 Mhz frekansta sinyal gönderir. Balisten ise araç antenine bilgi 4,5 Mhz frekansın 50 kHz oranlarıyla gönderilir.

4.1.5 Otomatik Rota Açma

Otomatik rota açma, operatör bilgisayarlarındaki sistem yazılımının bir yeteneğidir. Otomatik rota açmanın amacı operatörleri rutin olarak yaptıkları rotalama işleminden kurtarmaktır. Sistem, trenlerin nasıl ilerlediği bilgisine dayanarak rota açma komutlarını kendisi üretebilir. Tren tanımlamalarını ve zaman çizelgesinde açıklanan hareket planlarını kullanarak otomatik rota açmayı uygular. Böylece trenlerin gerçek hareketlerine göre bütün hat otomatik olarak kontrol edilebilmektedir.

Rotalama otomasyonu interlocking'e bir komut göndermeden önce, rota içerisindeki hat boyu ekipmanlarının rotaya uygun olup olmadığının ön testini yapar. Eğer kriterler uygun değilse saptanmış koşula göre eylemi ya heman yok sayar ya da koşullar

tamamlanincaya kadar veya ayarlanabilir zaman limiti aşıncaya kadar periyodik olarak ön testine devam eder.

4.1.6 Sürüş Stratejileri

Eğer trenler ATO modda çalıştırılıyor ise, CTC'den üç farklı sürüş stratejisi belirlemek mümkündür. Bunlar hızlı, normal ve yavaş sürüş stratejisidir.

Hızlı sürüş stratejisi seçildiğinde ATO, istasyonlar arasındaki seyir süresini en aza indirir. ATP tarafından izin verilen hız limitleri tamamen kullanılır. ATO, mümkün olan en yüksek ivme oranıyla trene ivme verir.

Normal sürüş stratejisi seçildiğinde, ATO kısa seyir zamanı ile düşük enerji tüketimi arasında optimum bir hız sağlar. Maksimum hız, hızlı sürüş stratejisindeki hız limitinden 5 km/saat daha düşüktür. Tren en yüksek hız seviyesine ulaştığında sabit bir hızla devam edecektir.

Yavaş sürüş stratejisi seçildiğinde, ATO trenin istasyonlar arasında çalıştırılmasında ihtiyaç duyulan enerjiyi minimize eder. Maksimum hız, hızlı sürüş stratejisindeki hız limitinden 10 km/saat daha düşüktür. Tren en yüksek hıza ulaştığında, sabit bir hızla devam edecektir.

4.2 ŞİŞHANE-HACIOSMAN METROSU SİNYALİZASYON SİSTEMİ

4.2.1 Hattın Genel Yapısı

Birinci aşaması 16 Eylül 2000 tarihinde hizmete açılan Şişhane-Haciosman Metro Hattı 16,5 kilometre uzunluğunda ve 13 adet istasyona sahiptir. Hattın 2.faz olarak adlandırılan Şişhane-Yenikapı arasındaki çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar kapsamında Haliç üzerine yapılan köprü tamamlanma aşamasına gelmiştir.

Aşağıda Şişhane-Haciosman Metro Hattına ait işletme özellikleri verilmiştir; (İstanbul Ulaşım A.Ş. 2013)

- a. Hat Uzunluğu: 16,5 Km
- b. İstasyon Sayısı: 13
- c. Vagon Sayısı: 124

- d. Sefer Süresi: 27 dakika
- e. İşletme Saatleri: 06:15 / 00:00
- f. Günlük Yolcu Kapasitesi: 130.000 Yolcu
- g. Günlük Sefer Sayısı: 225 Sefer tek yön

4.2.2 Hareketli Blok Sinyalizasyon Sistemi

Şişhane-Hacıosman Metrosunun sinyalizasyon sistemi Siemens firması tarafından CBTC (Haberleşme Tabanlı Tren Kontrol) mantığında dizayn edilmiştir. Hareketli blok teknolojiyle çalıştırılan sinyalizasyon sistemine alternatif olarak bir de aks sayıcılar yardımıyla sabit bloklar oluşturulmuş, böylece kablosuz haberleşme temeline dayanan hareketli blok sinyalizasyonunda oluşacak bir arıza durumunda yedek sistem sayesinde tren konumlarının izlenmesinin sürekliliği sağlanmıştır.

Hareketli blok sinyalizasyonunda hat üzerine yerleştirilmiş kablosuz antenler ile trenler çift taraflı ve sürekli iletişim halindedir. Böylece tren algılama sürekli hale gelmiştir. Trenler ile hat arasındaki iletişim Airlink Radyo İletim Sistemi ile gerçekleştirilir. Bu sistemde tren, hat boyunca iki ray arasına yerleştirilmiş balislerden konum bilgisini kodlanmış telegramlar halinde alarak sisteme gönderir. Hattan trene ise hareket yetkisi bilgisi gelmektedir.

Airlink ile haberleşme 2,4 GHz frekans ile gerçekleşir. İletişim kalitesini arttırmak ve olası arızalardan sistemin etkilenmesine engel olmak için datalar birbirine komşu iki farklı zaman aralığından gönderilir.

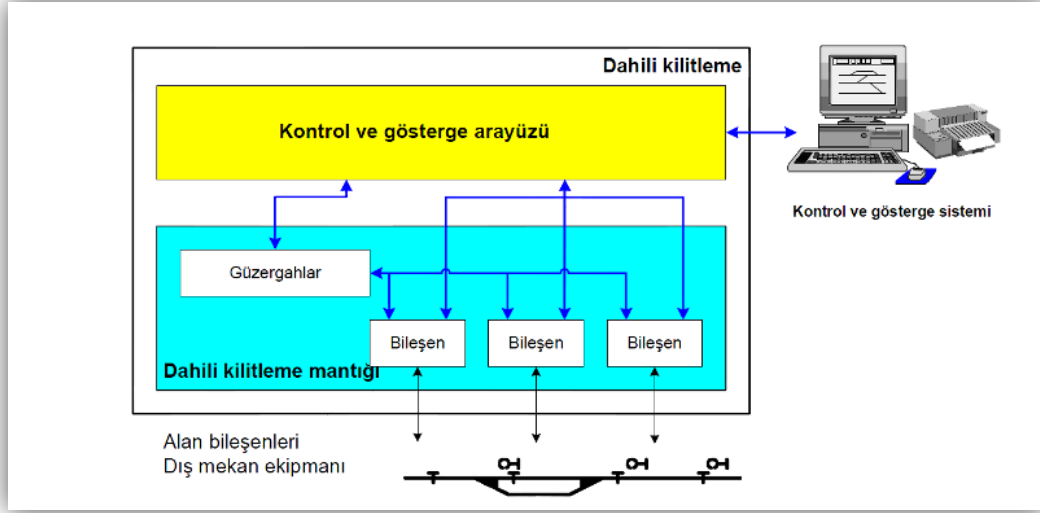
Airlink Radyo İletim Sisteminin kullanılmasıyla Şişhane-Hacıosman hattında trenler çok kısa zaman aralıklarıyla düşük headway'de işletilebilmektedirler. Bu da yolcu kapasitesini arttırmaktadır. Ayrıca ekipman sayısının az olmasına bağlı olarak bakım ve yedek parça maliyeti de düşmektedir.

4.2.2.1 Ankleşman Fonksiyonları

Ankleşman, olası bir arızaya karşı elektronik dahili kilitleme sistemidir. Hat bileşenlerinin işletim kontrol sistemine hatasız bağlanmasını sağlar. Dahili kilitleme alanında (interlocking) bir lokal kontrol bilgisayarı ve buna bağlı bileşen kontrolörleri bulunmaktadır. Bileşen kontrolörleri hat bileşenlerinden aldığı bilgileri lokal kontrol

bilgisayarında aktarır ve bilgiler burada işlenir. Şekil 4.6' da bir dahili kilitleme sisteminin yapısı görülmektedir.

Şekil 4. 6: Anlaşman İşletim Sistemi



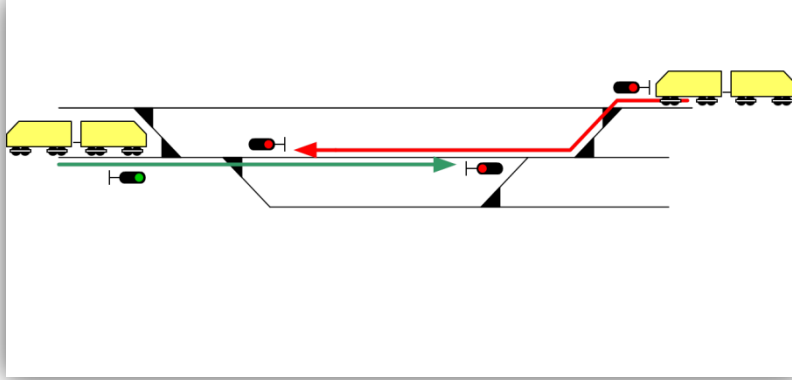
Kaynak: Siemens Sinyalizasyon Teknik Şartname ve Gereklilikler (2009) s.27

Anlaşman sisteminin temel görevi, çakışan güzergahları bloke ederek karşı yönden gelen tren ile çarpışmaların ve yanal koruma ile makas bölgelerinde yandan gelen tren ile çarpışmaların önüne geçmektir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de çarpışmalara karşı koruma uygulamaları görülmektedir.

Anlaşman sisteminin fonksiyonları aşağıda sıralanmıştır;

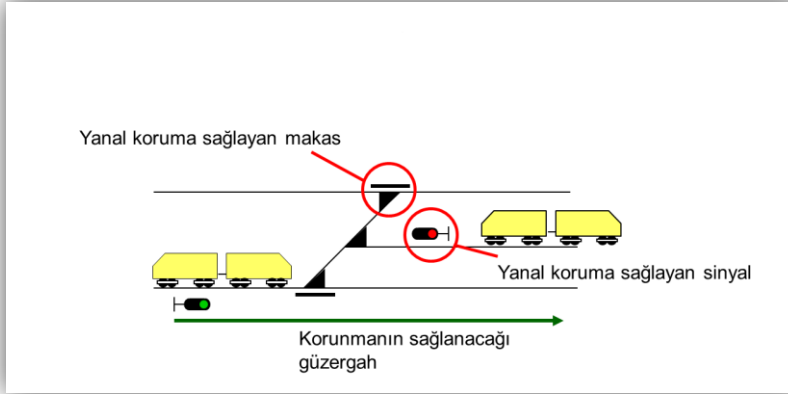
- Çakışan tren güzergahlarına karşı koruma,
- Operatör tarafından ya da rota otomasyonu ile kurulmuş bir rota dahilindeki makasları kilitlemek süratiyle deraymana karşı koruma,
- Airlink Radyo İletim Sistemi devrede olmadığı zaman tren seferlerini gözlem altında tutma,
- Sinyallemeyle hız limiti uygulama,
- Gerektiğinde hat bloklama ile bakım personelini koruma.

Şekil 4. 7: Karşıdan gelen tren ile çarpışmaya karşı anlaşıman koruması



Kaynak: Siemens Demiryolu Otomasyon Akademisi Genel Sistem Eğitimi 3.Bölüm; Sinyalizasyon Sistem Yapısı (2009) s.9

Şekil 4. 8: Yandan gelen tren ile çarpışmaya karşı anlaşıman koruması



Kaynak: Siemens Demiryolu Otomasyon Akademisi Genel Sistem Eğitimi 3.Bölüm; Sinyalizasyon Sistem Yapısı (2009) s.10

4.2.2.1.1 Güzergah Kontrolü

Anlaşıman sistemi, güzergah kontrolünü Otomatik Tren Denetiminden (ATS) gelen komutlara göre ayarlar, kilitler ya da serbest bırakır. Güzergah kontrol fonksiyonu tren hareketlerini doğrudan etkilediğinden, emniyet kriterlerine uymayan komutlar reddedilir. ATS' den gelen güzergah tanzim komutu ile beraber anlaşıman sistemi bu

güzergahın başka güzergahlarla çakışmadığından ya da güzergah üzerindeki her hangi bir makasın başka bir komut ile kilitlenmediğinden emin olur.

Tanzim edilen bir güzergahtan birden fazla tren hareketi gerçekleştirilebilir. Bir tren bir güzergahın sonuna gelmiş ve yeni güzergah ile rota devam ettirilmemişse, anlaşıman sistemi, tanzim edilen bu güzergahın dışında bir güvenlik bölgesi oluşturur. Böylece açılan güzergahın sonunda bulunan tren ile bu güzergahın içinde olmadığı için sınır bölgesine yaklaşabilecek başka bir tren arasında bir tampon bölge oluşturulmuş olur.

4.2.2.1.2 Otomatik Güzergah Ayarlama

Otomatik Güzergah Ayarlama, Otomatik Tren Denetiminin (ATS) bir fonksiyonudur. Tanımlanmış güzergahları bir kumanda merkezi operatörü gibi seri tren hareketleri için otomatik olarak ayarlar. Bunu yaparken anlaşıman sistemi ile sürekli iletişim halindedir. Anlaşıman sistemi, Otomatik Güzergah Ayarlama ile gönderilen komutlar üzerinde bir kontrolör niteliğinde çalışır. Gönderilen bir komutun anlaşıman sistemi tarafından reddi ile beraber aynı kontrol sırası belirli zaman aralıklarıyla ve belirlenmiş bir sayıya ulaşınca kadar devam eder. Otomatik gönderilen komut, anlaşıman sisteminin güzergah üzerinde bir meşguliyet, kilitli makas ya da her hangi bir olumsuzluk tespit etmediği anda kabul edilir ve uygulanır.

4.2.2.2 Tren Kontrol Seviyeleri ve İşletim Modları

Şekil 4.9, Şişhane-Hacıosman Metro hattında trenlerin işletilme modlarını ve tren kontrol seviyelerini göstermektedir. Şekildeki kısaltmaların anlamları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4. 1: Tren Kontrol Seviyeleri ve İşletim Modlarının Anlamları

TREN KONTROL SEVİYELERİ:	TREN İŞLETİM MODLARI:
CTC: Kesintisiz tren Kontrolü	AM: Otomatik tren işletimi
ITC: Kesintili tren kontrolü	SM: Gözetimli manuel tren işletimi
IXLC: Anlaşıman seviyesi	RM: Sınırlı mod manuel sürüş

Şekil 4. 9: Tren Kontrol Seviyeleri ve İşletim Modları Opsiyonları

İyileştirme Ekipmanı Tren Kontrol Seviyesi	Tren İşletim Modu			Tren Sefer Aralığını İyileştir
	RM	SM	AM	
CTC	x	✓	✓	Hareketli blok performansı
ITC	x	✓	✓	Sabit blok performansı
IXLC	✓	x	x	Sabit blok performansı

İşlevselliği Arttır

Kaynak: Siemens Demiryolu Otomasyon Akademisi Genel Sistem Eğitim Sunumu (2009) s. 2

Hareketli blok performansı sadece CTC tren kontrol seviyesinde SM ve AM sürüş modlarında alınabilmektedir. Bu durumda iletişim, Airlink Radyo İletim Sistemi ve ATP ile kesintisiz olarak sağlanmaktadır. CTC-AM modda ayrıca tren on-board ATO ile makinistten tam bağımsız sürüş gerçekleştirilmektedir. ITC-SM ve ITC-AM modlarında ise değişken verili balisler ile kesintili iletişim gerçekleşmekte ve sabit blok performansı sağlanmaktadır. IXLC-RM ise kesintili haberleşmenin de olmadığı, sabit blok performansı ile manuel sürüşün gerçekleştirildiği moddur. Şekil 4.10' da otomatik tren denetimi, bileşenleriyle birlikte görülmektedir.

Tren kontrol seviyeleri ve işletim modları arasında, farklı kombinasyonlara özel bazı stratejik işlevler aşağıda sıralanmıştır;

1. IXLC-RM:
 - i. Hız denetimi ile deraymana karşı koruma,
 - ii. Geri dönüşe karşı koruma,
2. ITC-SM:
 - i. Hız denetimi ile deraymana karşı koruma,
 - ii. Bir sonraki sinyal balisinin önünde operasyonel durma,
3. CTC-SM:
 - i. Hız denetimi ile deraymana karşı koruma,
 - ii. Hareket yetkisinin sonunda operasyonel durma,

- iii. Kesintisiz makas denetimi,
 - iv. Geçici hız sınırlamaları,
4. ITC-AM:
- i. Otomatik hızlanma ve kontrolör tarafından frenleme,
 - ii. Otomatik tren kapı kontrolü,
5. CTC-AM:
- i. Otomatik hızlanma ve kontrolör tarafından frenleme,
 - ii. Otomatik tren kapısı ve platform güvenlik kapısı kontrolü,
 - iii. Enerji optimizasyonlu tren kullanımı,
 - iv. Yolculuk süresinin otomatik olarak kontrolü.

4.2.2.3 ATP ve ATO Uygulamaları

ATP alt sistemi bir güvenlik işlevidir ve tren ile hat arasındaki veri transferine dayanır. Trenin hızını ve öndeki tren ile olan mesafeyi sürekli olarak izler, izin verilen limit aşıldığında ya da öndeki tren hızını azalttığında bir güvenlik tepkisi olarak acil durum fren sistemini devreye sokar.

Aşağıda, ATP alt sisteminin görevleri verilmiştir;

- a. Hız izleme,
- b. Tren mesafesini izleme,
- c. Seyir yönünün ve geriye dönüşün izlenmesi,
- d. Duraklamaların izlenmesi,
- e. Acil durum fren tertibatının devreye sokma,
- f. Kapı serbest bırakma,
- g. Hız sınırlamalarını uygulama.

ATO alt sistemi ise daha çok tren kontrol seviyelerine göre çalışır. Aşağıda, ATO alt sisteminin CTC tren kontrol seviyesindeki işlevleri verilmiştir;

- a. Otomatik sürüş modu,
- b. Tren hızı kontrolü,
- c. Trenin hedeflenen frenlemesi,
- d. Tren kapılarının açılması ve kapanması,

- e. Platform güvenlik kapılarının (kullanılan istasyonlarda) açılması ve kapanması,
- f. Zaman tablosu ile uyumlu olarak enerji tasarruflu hız profillerinin oluşturulması.

ATO alt sistemi ITC tren kontrol seviyesinde platform güvenlik kapılarının açılması / kapanması ve enerji tasarruflu hız profili oluşturulması işlevlerini gerçekleştirmez.

5. DEMİRYOLU SİNYALİZASYONUNDA ANKLAŞMAN TABLOSU

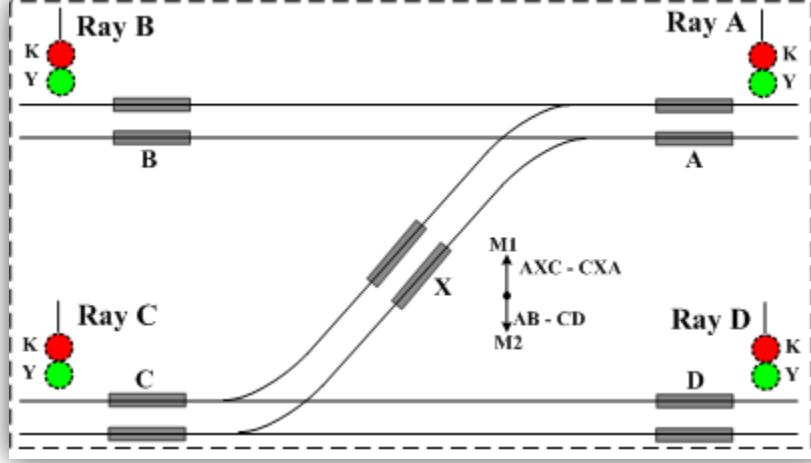
Anklaşman sistemi (dahili kilitleme), raylı ulaşım sistemlerinde hayati öneme sahiptir. Trenlerin istenilen güzergahlar boyunca güvenli şekilde hareketi anklaşman sistemi tarafından sağlanmaktadır. Anklaşman sisteminin tasarımında izlenecek ilk adım hatasız anklaşman tablolarının oluşturulmasıdır. Küçük çaplı istasyonlar ve demiryolu bölgeleri için anklaşman tablosunun oluşturulması kolayca gerçekleştirilebilirken, istasyon topolojisi karmaşıktıkça olası mantık hataları artmakta ve tablonun oluşturulması giderek zorlaşmaktadır. Anklaşman tablosunda, trenin ilgili demiryolu bölgesinde gidebileceği tüm yollar (güzergahlar) ve bu yollarda ilerleyebilmesi için gerekli koşullar bulunmaktadır. Bu koşullar sağlanmadığı sürece trenlerin ilgili yollara girmesi oldukça tehlikeli bir durumdur. Bu nedenle iyi bir anklaşman sistemi için öncelikle hatasız bir anklaşman tablosu oluşturulmalıdır. (Yıldırım ve Diğerleri 2011)

Demiryolu sinyalizasyonlarında anklaşman tablosu prensibi, anklaşman dahili kilitlemenin güzergah mantığını çizelge biçiminde tanımlamaya dayanır. Tablo, bütün güzergahların kontrol ve izleme bileşenlerini içeren (makaslar, sinyaller, hat meşguliyeti tespit sistemleri) bir listedir. Dahili kilitleme sisteminin Trafik Kontrol Merkezinden ya da lokal kontrol bilgisayarından gelen komutları değerlendirmesi, anklaşman tablosundaki sınırlamalar ve / veya izin vermelere göre yapılmaktadır.

Şekil 5.1' deki örnek ray bölgesinde dört tane tren hareketinin olduğu varsayılmaktadır. Trenler $A \rightarrow B$, $C \rightarrow D$, $A \rightarrow X \rightarrow C$ ve $C \rightarrow X \rightarrow A$ güzergahlarını kullanmaktadır. Ray bölgesinde bulunan A, B, C, D VE X ray devreleri yardımı ile trenin ray bölgesine nereden geldiği belirlenmekte ve Trafik Kontrol Merkezinin belirlemiş olduğu güzergaha göre tren ilgili raylardan yoluna devam etmektedir. M1 ve M2, S-makasın konumunu belirtmektedir. Makas M1 konumunda iken paralel yollardan birinden diğerine geçiş izni verilmekte, makas M2 konumunda iken ise bu geçişe izin verilmemektedir ve makas düz yola tanzimlidir. Birbirlerinin geçişlerini etkilememesinden dolayı sadece $A \rightarrow B$ ve $C \rightarrow D$ güzergahlarında hareket eden trenlerin ray bölgesinde aynı anda geçişlerine izin verilmektedir. Bu durumda makas M2 konumunda kilitlenmekte ve tüm sinyaller yeşil olmaktadır. Trenler kendileri için

tanzim edilen yolu izleyerek geçişlerini tamamladıktan sonra dahili kilitlemenin tren geçişleri sırasında anlaşılan tablosuna göre yasaklanmış olduğu bölgeler serbest hale gelir. Makaslar başlangıç konumlarına alınır, sinyaller kırmızı görünüme geçer (tanzim edilmemiş rota pozisyonu) (Durmuş ve Diğerleri 2008).

Şekil 5. 1: Örnek Ray Bölgesi

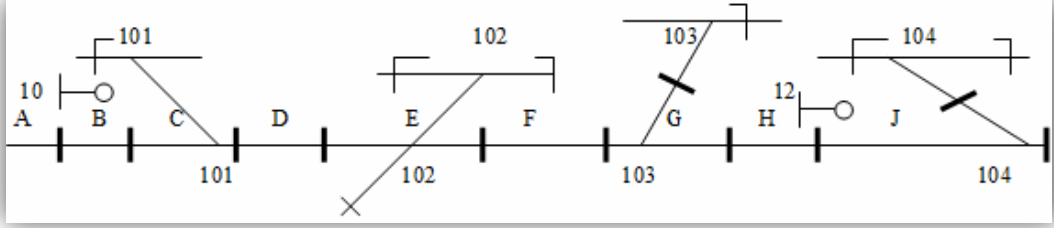


Kaynak: Durmuş ve Diğerleri (2008)

5.1 GÜZERGAH TANZİMİ VE KİLİTLEME

Anlaşman sistemi, Trafik Kontrol Merkezinden gelen güzergah tanzim komutunu aldığı anda istenen güzergah ile çakışan tanzim edilmiş başka bir güzergah olmadığını ve istenen güzergah dahilindeki saha ekipmanlarında har hangi bir hata olmadığını tespit eder. Daha sonra istenen güzergaha göre makas yönlerini konumlandırır ve sinyalleri uygun renk bildirimlerine ayarlar. Böylece güzergah tanzimi gerçekleşmiş olur. Güzergah tanziminin gerçekleşmesiyle beraber güzergahın başka tren hareketlerinden korunması için bazı saha elemanları kilitlenir.

Şekil 5. 2: Güzergah Kilitlemesi örneği



Kaynak: MEGEP Raylı Sistemler Teknolojisi Interlocking ve Blok Sistemleri (2008) s. 20

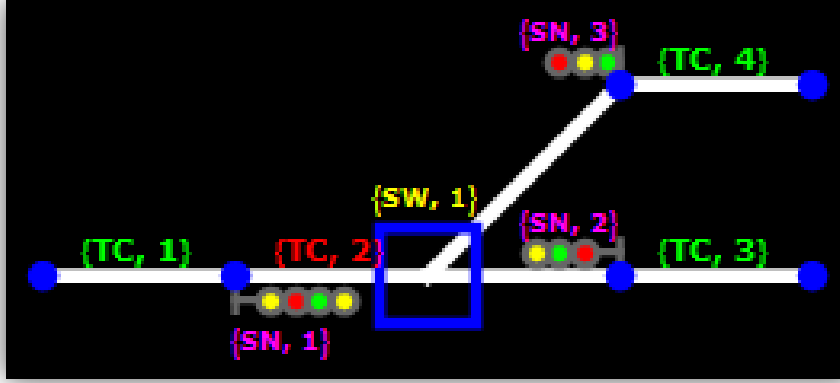
Şekil 3.2’ de A, B, C, D, E, F, G, H, ve J ray devresi bölgelerinden, 10 ve 12 sinyallerinden, 101, 102, 103 ve 104 makaslarından oluşan sanal bir hat görülmektedir. Sinyal 10’ dan Sinyal 12’ ye tren hareketi olacağı varsayılarak bu iki sinyal arasında güzergah tanzimi yapıldığında hat kilitlemesi gerçekleşir. Kilitlenen bu hatta başka bir yönden sinyal tanzimi yapılamaz ve makaslar kilitlenir. Ayrıca tren ilerlerken ray devresini meşgul eder. Tren, tanzim edilen güzergahın başlangıç noktası olan Sinyal 10’ u geçip ‘B’ ray devresini meşgul ettiği anda 101, 102, 103 ve 104. makaslar kilitlenir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, tanzim edilen güzergahın bitiş noktası olan Sinyal B’ den sonraki 104.makasın tanzim edilen güzergah dışında olmasına rağmen neden kilitlendiğidir. Bunun nedeni, 104.makasın tanzim edilen güzergahın bitiş noktasındaki ‘J’ ray devresine başka bir trenin geçişine izin verebilecek bir konumda olmasıdır. Bundan dolayı 101, 102 ve 103.makaslarla beraber 104.makas da tanzim edilen güzergah dahilinde kilitlenir.

5.2 ANKLAŞMAN TABLOSU

Bir demiryolu bölgesindeki kurulabilecek tüm güzergahların ayrıntılı bir şekilde gösterildiği tabloya anlaşıman tablosu denir. Anlaşıman tablosunda, ilgili demiryolu hattındaki her bir güzergahın kurulması için gerekli olan makas konumları, ray devresi serbestlikleri, uygun sinyal bildirimleri, kilitlemeler gibi bilgiler bulunmaktadır. Güvenli ve doğru bir anlaşıman sistemi tasarımı yapabilmek için anlaşıman tablosunda yazan her bir bilgi göz önünde bulundurulmalıdır. Bundan dolayı anlaşıman tablosunun doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Eklenen bir ray devresi ve makas için bile, daha önceden var olan güzergahların çoğu için yeni ek koşullar ortaya çıkmaktadır. Böylece

incelenen demiryolu hattı büyüdükçe anlaşılan tablosu oluşturmak daha da zorlaşmaktadır.

Şekil 5. 3: Tek makaslı örnek demiryolu hattı



Kaynak: Yıldırım ve Diğerleri (2011)

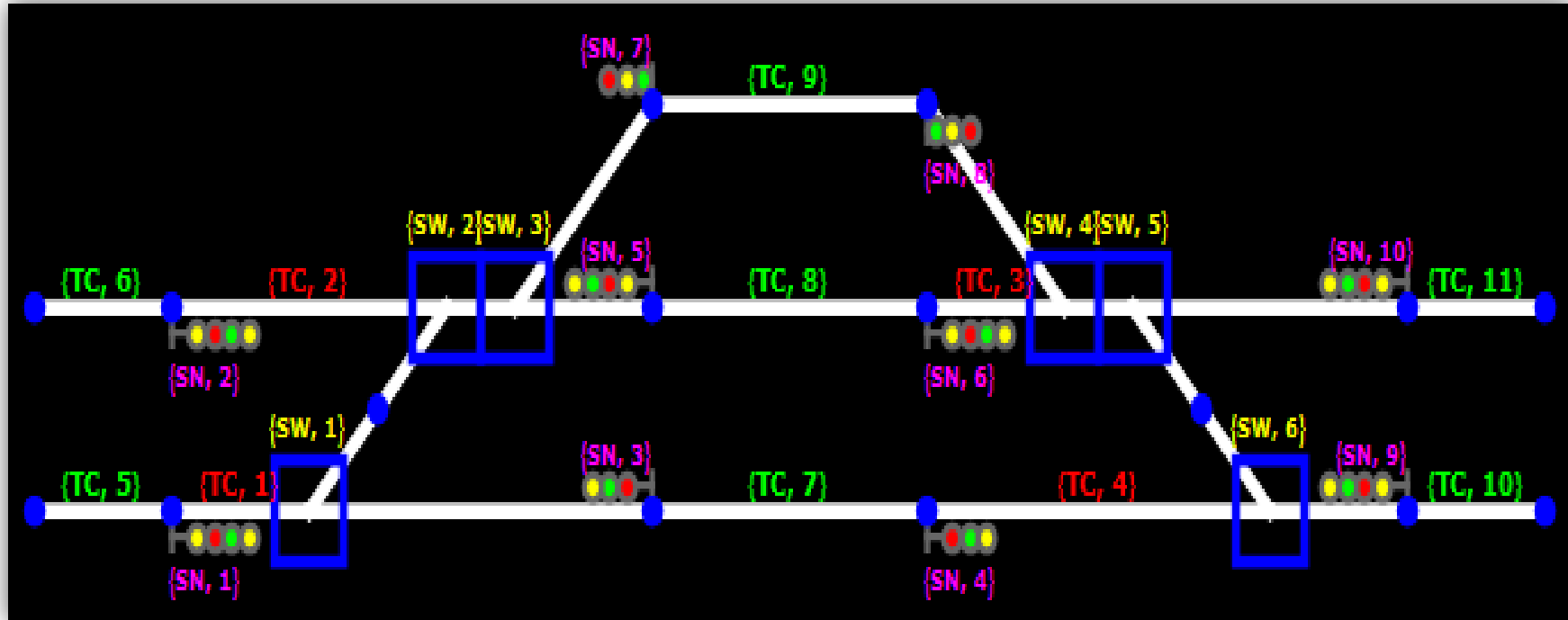
Şekil 5.3' deki 1 adet makas, 3 adet sinyal ve 4 adet ray devresinden oluşan basit demiryolu hattında alternatif güzergah sayısı dörttür. Bu güzergahlar aşağıda verilmiştir.

1. TC_1 → TC_3
2. TC_1 → TC_4
3. TC_3 → TC_1
4. TC_4 → TC_1

1 numaralı güzergahta ilerleyen tren TC_2 ray devresinin üzerindeyken, TC_2 ray devresini koruyan SN_1 sinyali kırmızı görünümde, SW_1 makası da 'düz yol' doğrultusuna tanzimlidir. TC_2 ray devresi makas bölgesi ray devresidir (kırmızı) ve üç ayrı noktadan giriş olduğu için SN_2 ve SN_3 sinyalleri de meşgul olan TC_2'ye başka bir tren girişini engellemek için kırmızı görünümde. Tren hangi güzergahta ilerlerse ilerlesin TC_2 ray devresi üzerindeyken tüm sinyaller kırmızı görünümde olacaktır. SW_1 makasının yönü ise 3 numaralı güzergahta yine "düz yol" doğrultusuna, 2 ve 4 numaralı güzergahlarda ise 'sapan yol' doğrultusuna tanzimli olacaktır.

Görüldüğü gibi karmaşık olmayan demiryolu hatlarında farklı güzergahlara göre alternatif ekipman konumlarını görebilmek güç değildir. Şekil 5.4' de daha karmaşık bir sinyalizasyon uygulaması görülmektedir.

Şekil 5. 4: I.Örnek Demiryolu Hattı



Kaynak: Yıldırım ve Diğerleri (2011)

Şekil 5.4’ de TC_1, TC_2, TC_3 ve TC_4 makas bölgesi ray devreleridir (kırmızı). Bu ray devreleri meşgul olduğu zaman her yönden girişlerini koruyan sinyaller de kırmızı görünümde olacaktır. Tablo 5.1’ de I.örnek hatta ait anlaşılan tablosu görülmektedir.

Tablo 5. 1: I. Örnek Demiryolu Hattının Anlaşman Tablosu

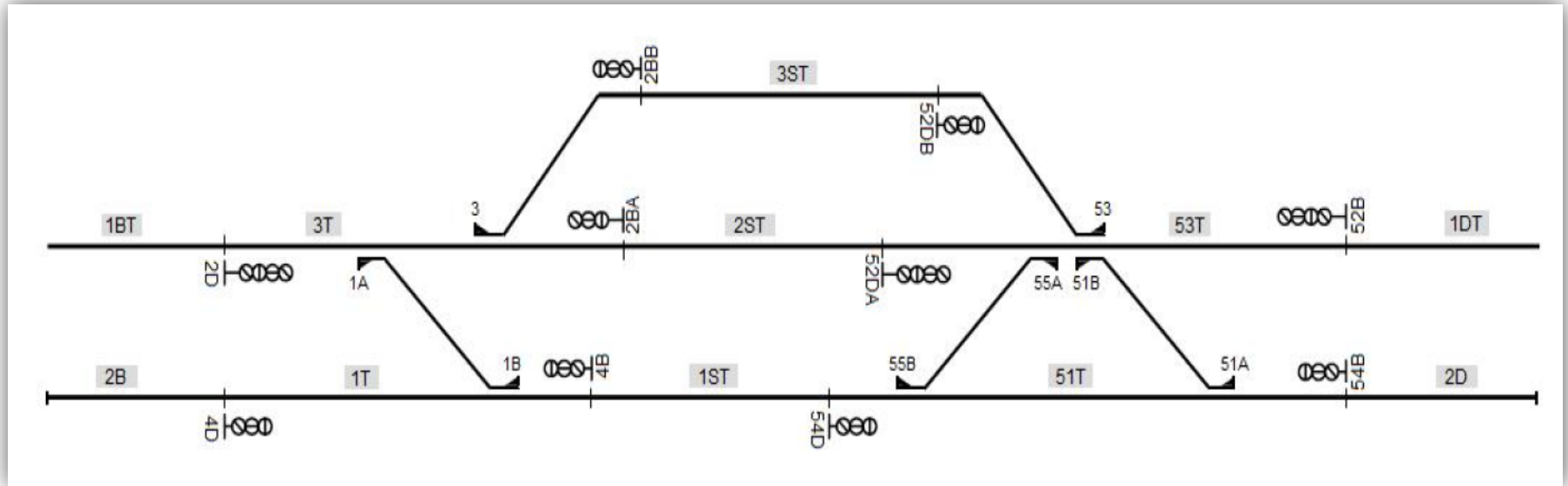
Güzergah	Ray Devreleri	Normal Makaslar	Sapan Makaslar	Sinyaller	Çakışan Güzergahlar
1	5, 1, 7	1		1, Y, Y, S 4, Y, S, K	2, 3, 6, 7, 9, 16
2	5, 1, 2, 8	3	1, 2	1, SY, SY, SY, SY, SS 6, SY, SS, Y, S, K	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 19
3	5, 1, 2, 9		1, 2, 3	1, SY, SY, SS 8, Y, S, K	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 18, 20
4	6, 2, 8	2, 3		2, Y, Y, Y, Y, S 6, SY, SS, Y, S, K	2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 17, 19
5	6, 2, 9	2	β	2, SY, SY, SS 8, Y, S, K	2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 18, 20
6	7, 1, 5	1		3, S	1, 2, 3, 7, 9
7	8, 2, 1, 5	3	1, 2	5, SS	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10
8	8, 2, 6	2, 3		5, S	2, 3, 4, 5, 8, 9, 10
9	9, 2, 1, 5		1, 2, 3	7, S	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
10	9, 2, 6	2	3	7, S	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9

Kaynak: Yıldırım ve Diğerleri (2011)

I.Örnek hatta, 1.sütunda güzergah numarası, 2.sütunda ilgili güzergah boyunca kullanılacak ray devreleri belirtilmektedir. 3.ve 4. sütunda güzergah boyunca kullanılacak olan makaslar ve konumlandırılmaları, 5.sürunda güzergah tanzimi yapıldığında ilgili sinyallerin görünümleri, 6.sütunda ise tanzimi yapılan güzergah ile çakışan güzergahlar belirtilmektedir.

Şekil 5.5’ deki 2.örnek demiryolu hattı 9 adet ray devresi, 5 adet makas ve 10 adet sinyalden oluşmaktadır. Ray devrelerinin isimlerinin sonuna ‘T’ harfi konulmuştur. İsmiinin sonuns ‘T’ harfi konulmayanlar ray devresi olmayan ray bölgeleridir (2B ve 2D). Buralarda tren varlığı kontrol edilemez. Buna karşın bu bölgelerden tren çıkarmak için diğer rotalarda olduğu gibi tanzim talebi gerekmektedir. Anlaşman sisteminin bu rotalar için tanzim gerçekleştirilmesiyle trenler ray devrelerine giriş yaparlar ve anlaşman sistemi trenlerin konumlarını kontrol edebilir duruma geçer (Sonat 2010 s. 45).

Şekil 5. 5: II.Örnek Demiryolu Hattı



Kaynak: Sonat (2010) s. 46

Tablo 5. 2: II.Örnek Demiryolu Hattı (rota 1-rota 14)

1			2		3		4		5		6
TANIM			Sinyal No		Sinyal Durumu		Kilit		Sinyal Kontrol veya Dedektör Kontrol		Rota Kilit
İsim	Rota No	Rota									
GİRİŞ SINYALI	rt1	1BT – 1ST	2D	1S	SY	54D S	t1	4B 52B1 54B1	3T 1T 1ST		(3T)(1T)
					SS	54D K, SK			3T 1T t1ST		
					SK						
	rt2	1BT – 2ST		2S	Y	52DA S	1 3	2BA 52B2 54B2	3T 2ST		(3T)
					S	52DA K, SK			3T t2ST		
					SK						
	rt3	1BT – 3ST	3S	SY	52DB S	1 t3	2BB 52B3 54B3	3T 3ST		(3T)	
				SS	52DB K, SK			3T t3ST			
				SK							
	rt4	(2B) – 1ST	4D		Y	54D S	1	4B 52B1 54B1	1T 1ST		(1T)
					S	54D K, SK			1T t1ST		
					SK						
ÇIKIŞ SINYALI	rt5	1ST – 1BT		4B	1B	S	t1	2D	1T 3T 1BT		(1T)(3T)
	rt6	1ST – (2B)			2B	SK	1	4D	1T		(1T)
	rt7	2ST – 1BT		2BA		S	3 1	2D	3T 1BT		(3T)
	rt8	3ST – 1BT	2BB		S	t3 1	2D	3T 1BT		(3T)	
	rt9	1ST – 1DT	54D	1D	S	t55 53 51	52B	51T 53T 1DT		(51T)(53T)	
	rt10	1ST – (2D)		2D	SK	55 51	54B	51T		(51T)	
	rt11	2ST – 1DT	52DA	1D	S	55 53 51	52B	53T 1DT		(53T)	
	rt12	2ST – (2D)		2D	SK	55 53 t51	54B	53T 51T		(53T)(51T)	
	rt13	3ST – 1DT	52DB	1D	S	t53 51	52B	53T 1DT		(53T)	
	rt14	3ST – (2D)		2D	SK	t53 t51	54B	53T 51T		(53T)(51T)	

Kaynak: Sonat (2010) s. 51

Tablo 5. 3: II.Örnek Demiryolu Hattı (rota 15-rota 20)

1			2		3		4		5		6
TANIM			Sinyal No		Sinyal Durumu		Kilit		Sinyal Kontrol veya Dedektör Kontrol		Rota Kilit
İsim	Rota No	Rota									
GİRİŞ SİNYALİ	rt15	1DT – 1ST	52B	1S	SY	4B S	51 53 t55	54D 2D1 4D1	53T 51T 1ST		(53T)(51T)
					SS	4B K, SK			53T 51T t1ST		
					SK						
	rt16	1DT – 2ST		2S	Y	2BA S	51 53 55	52DA 2D2	53T 2ST		(53T)
					S	2BA K			53T t2ST		
					SK						
	rt17	1DT – 3ST	3S	SY	2BB S	51 t53	52DB 2D3	53T 3ST		(53T)	
				SS	2BB K			53T t3ST			
				SK							
	rt18	(2D) – 1ST	1S	Y	4B S	51 55	54D 2D1 4D1	51T 1ST		(51T)	
				S	4B K, SK			51T t1ST			
				SK							
rt19	(2D) – 2ST	2S	Y	2BA S	t51 53 55	52DA 2D2	51T 53T 2ST		(51T)(53T)		
			S	2BA K			51T 53T t2ST				
			SK								
rt20	(2D) – 3ST	3S	Y	2BB S	t51 t53	52DB 2D3	51T 53T 3ST		(51T)(53T)		
			S	2BB K			51T 53T t3ST				
			SK								

Kaynak: Sonat (2010) s. 52

Tablo 5.2 ve Tablo 5.3' de II.örnek demiryoluna ait anlaşılan tablosu görülmektedir. 1.sütunda rota tanımı ve izlenecek güzergah, 2.sütunda ise güzergahta bulunan sinyalin ilgili yön için hangi görünümde olması gerektiği belirtilmiştir. Burada önemli olan nokta ise bu sinyalin hangi renk bildirimini vermesi gerektiği, 3.sütunda verilen sinyalin durumuna göre değişmektedir. Örneğin rota 1'i tanzim ettiğimizde 54D sinyali sarı renk bildirimini verirken 2D sinyali 1S yolu için sarı üzeri yeşil, 54D sinyali kırmızı veya sarı üzeri kırmızı, 2D sinyali ise 1S yolu için sarı üzeri sarı renk bildirimini verir. 4.sütunda, rotayı tanzim ettiğimizde rotada bulunan her bir makasın hangi yönde kilitlemelerinin yapılması gerektiği gösterilmektedir. Burada makas isimlerinin önündeki 't' harfi o makasın ters yönde kilitlemesi gerektiğini belirtmektedir. İsimlerinin önünde 't' harfinin bulunmadığı durumlarda ise makasın normal konumda kilitlemesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bu sütunun altında bulunan ikinci kısımda hangi sinyallerin kilitlemesi gerektiği gösterilmiştir. Örneğin rota 1'i tanzim etmemiz durumunda rt1 satırının 4.sütununda;

t1: 1 makasının ters yönde kilitlemesi gerektiği,

4B: 4B sinyalinin kilitlemesi gerektiği,

52B1: 52B sinyalinin 1ST ray devresine doğru açılmaması için kilitlemesi gerektiği,

54B1: 54B sinyalinin 1ST ray devresine doğru açılmaması için kilitlemesi gerektiği kastedilmektedir.

Rota tanzim edilirken rotada bulunan ray devrelerinin durumları ise 5.sütunda gösterilmiştir. Son sütunda ise rota tanzim edildiğinde kilitlemesi gereken ray devreleri isimleri verilmiştir. Tren, tanzim edilen rotada bulunan ray devrelerinin üzerinden geçip bu ray devrelerinden çıkmadığı sürece bu kilitler kaldırılmaz. Bu kilitlemeler süresince ilgili makasların kilitleri de kalkmaz. (Sonat 2010 ss. 49-50)

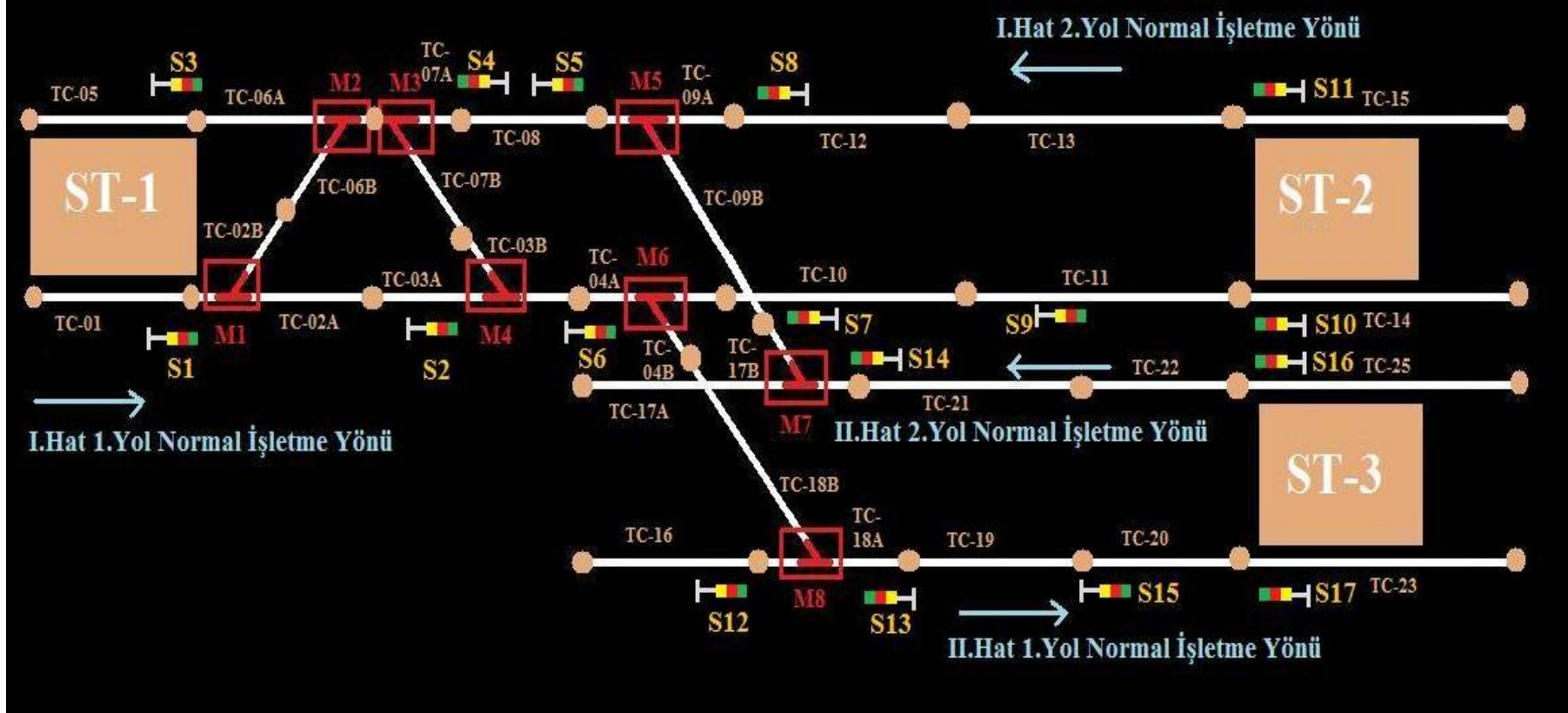
6. DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURMA: BAŞAKŞEHİR METROSU ÖRNEĞİ

6.1 ÖRNEK ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURULMASI

Karmaşık demiryolu hatlarının anklan tablolarını hazırlamak oldukça dikkat gerektiren çalışmaları zorunlu kıldığından, özellikle büyük çaptaki demiryolu hatlarının anklan tablolarının hazırlanmasında bilgisayar algoritmalarının kullanılması, olası mantık hatalarının ve ihtimallerin gözden kaçmasının önüne geçecektir. Bu bölümde, sabit blok prensibine göre oluşturulan sanal bir hat parçasının anklan tablosunun hazırlanması ve bu anklan tablosundaki güzergahların tanzimi için anklan sisteminin çalışma prensibinin algoritmalar yardımıyla gösterilmesi yer almaktadır. Bu bölümde kullanılan örnek hat ile Başakşehir Metrosunun iki kola ayrılan yapısı ve bu kolların birleştiği bölgedeki istasyonların sinyalizasyon yapısı benzeşmektedir.

Şekil 5.6' da, 3 adet istasyondan oluşan örnek demiryolu hattının bir bölümü görülmektedir. Bu hat bölümü, uzun bir metro hattına ait iki hat parçasının kesişim noktası olarak düşünülebilir. ST-1 ve ST-2, bir doğrusal hatta ait iki istasyon, ST-3 ise diğer doğrusal hatta ait bir istasyondur. M5, M6, M7 ve M8 makasları ile iki doğrusal hattın bir birine geçiş sağlanmaktadır. M1, M2, M3 ve M4 ise aynı hat üzerindeki yollar arasında geçiş sağlayan makaslardır. TC ile başlayanlar ray devrelerini, sonunda A/B olanlar ise makas bölgelerindeki, iki kola ayrılmış ray devreleridir (A ile bitenler ray devresinin düz yolunu, B ile bitenler sapan yolu kontrol etmektedir). A S1' den S17' ye kadar olan kodlama ise sinyalleri göstermektedir.

Şekil 6. 1: Örnek Demiryolu Hat Parçası



Tablo 6.1’ de, sanal hat parçasına ait, oluşturulan anklâşman tablosu görülmektedir. Anklâşman tablosundaki bindirme (overlap) bölgeleri, tanzim edilmiş bir güzergahın sonu ile serbest (meşgul olmayan) bir bölgenin arasındaki sınır bölgesini temsil etmektedir. Bu bölgelerdeki makaslar kilitlenerek, tanzim edilmiş güzergah içerisindeki tren ile serbest bölgeden gelebilecek bir trenin sınır bölgesinde karşılaşmalarının önüne geçilmiş olunur. Örneğin, TC-05 ray devresindeki bir trenin M2, M3 ve M4 makaslarını kullanarak yol değiştirmesi sırasında M1 ve M5 makasları bindirme bölgeleri dahilinde kilitlenir. Böylece M3 makasından geçmekte olan tren ile TC-12 ray devresinden M5 makasına doğru ya da TC-01 ray devresinden M1 makasına doğru gelebilecek bir trenin karşılaşma ihtimali ortadan kalkar.

Anklâşman tablosundaki yanal koruma alanları, belirli bir güzergah dahilinde ilerleyen bir trenin makas bölgelerinde başka bir tren ile yandan çarpışma olasılığını ortadan kaldırmak amacıyla kilitlenen bazı makas bölgelerini tanımlamaktadır. Örneğin, bir trenin M2 ve M3 makaslarından geçişi sırasında M1 ve M4 makaslarının düz yola kilitlenmesi, makas bölgelerinde tren karşılaşmalarının önüne geçmektedir. Trafik Kontrol Merkezinden bu makasın sapan yola tanzim edilmesi komutu gelse dahi komut reddedilir, makas sapan yola tanzim edilmez. Yanal koruma alanındaki bir makas bindirme bölgesindeki bir makas gibi tamamen kilitlenmez, sadece bir yöne kilitlenir, diğer yönde başka bir tren bu makası kullanarak ilerleyebilir.

Anklâşman tablosunda birinci sütun güzergah numarasını, ikinci sütun ise güzergah boyunca takip edilecek ray devrelerini geçiş sırasıyla göstermektedir. Üçüncü ve dördüncü sütunda yine güzergah boyunca karşılaşılabilecek sinyaller ve makaslar bulunmaktadır. Beşinci sütunda bindirme bölgesi makasları, altıncı sütunda yanal koruma bölgesi makasları gösterilmektedir. Makasların yanlarında yazan DY; Doğru Yol, SY; Sapan Yol anlamına gelmektedir.

Tablo 6. 1: Örnek Demiryolu Hat Parçasının Anlaşman Tablosu

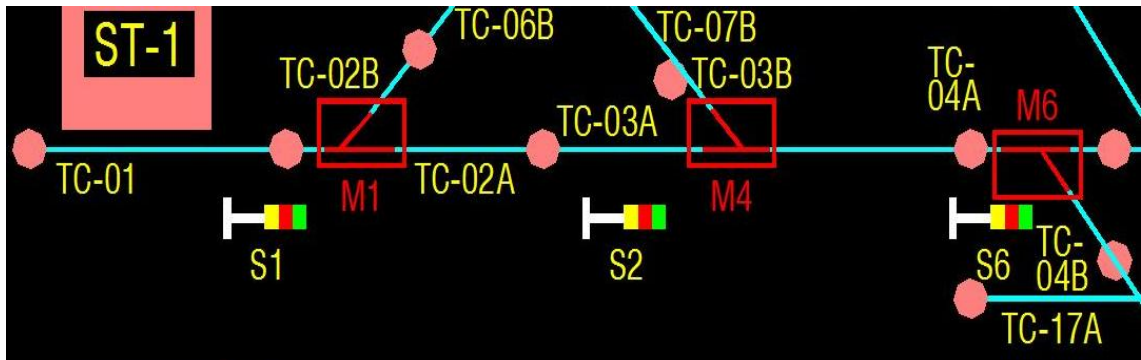
Güzergah	Ray Devreleri (Geçiş Sırasıyla)	Sinyaller	Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme	Yanal Koruma
01	TC-01, TC-02A, TC-03A, TC-04A, TC-10, TC-11, TC-14	S1, S2, S6, S9	M1, M4, M6	-	M2-DY, M3-DY, M5-DY, M7-DY, M8-DY
02	TC-05, TC-06A, TC-07A, TC-08, TC-09A, TC-12, TC-13, TC-15	S3, S5	M2, M3, M5	-	M1-DY, M4-DY, M7-DY
03	TC-01, TC-02B, TC-06B, TC-07A, TC-08, TC-09A, TC-12, TC-13, TC-15	S1, S5	M1, M2, M3, M5	M4, M6	M7-DY
04	TC-05, TC-06A, TC-07B, TC-03B, TC-04A, TC-10, TC-11, TC-14	S3, S6, S9	M2, M3, M4, M6	M1, M5	M1-DY, M7-DY, M8-DY
05	TC-01, TC-02B, TC-07A, TC-08, TC-09B, TC-17B, TC-21, TC-22, TC-25	S1, S5	M1, M2, M3, M5, M7	M4, M6	M8-DY
06	TC-01, TC-02A, TC-03A, TC-04B, TC-18B, TC-19, TC-20, TC-23	S1, S2, S6, S15	M1, M4, M6, M8	M7	M2-DY, M3-DY
07	TC-25, TC-22, TC-21, TC-17B, TC-09B, TC-08, TC-07A, TC-06A, TC-05	S14, S4	M7, M5, M3, M2	M6, M4	M1-DY
08	TC-23, TC-20, TC19, TC18B, TC-04B, TC-03A, TC-02A, TC-01	S17, S13	M8, M6, M4, M1	-	M7-SY
09	TC-25, TC-22, TC-21, TC-17A	S16, S14	M7, M5, M3, M2	-	M5-DY, M6-DY, M8-DY
10	TC-23, TC-20, TC-19, TC-18A, TC-16	S17, S13	M8, M6, M4, M1	-	M6-DY
11	TC-15, TC-13, TC-12, TC-09A, TC-08, TC-07A, TC-06A, TC-05	S11, S8, S4	M5, M3, M2	-	M7-DY, M4-DY, M1-DY
12	TC-14, TC-11, TC-10, TC-04A, TC-03A, TC-02A, TC-01	S10, S7	M6, M4, M1	-	M7-DY, M8-DY, M5-DY, M3-DY, M2-DY

Anklaşman sistemi bir güzergahı tanzim ederken anklaşman tablosunu referans alır. Merkezi yazılıma gömülü olarak çalışan anklaşman tablosundaki kriterlere göre istenen güzergahı tanzim eder ya da komutu reddeder. Ancak her güzergah bir defada açılmayabilir. Demiryolunun yapısına, saha ekipmanlarının konumlandırılmasına, güvenlik kriterlerine ya da isteğe bağlı olarak işletme stratejisine göre bazı güzergahlar iki istasyon arası değil de bir makas bölgesindeki ray devrelerine kadar rotalandırılıp, rotanın sonundan ikinci aşama olarak aynı anda ya da zaman farkıyla son hedefe tekrar rotalandırılabilir. Örneğin Tablo 6.1’deki, örnek hat parçasına ait anklaşman tablosunun birinci güzergahını bir defada TC-01’den TC-14’ e kadar açmak yerine TC-01’den TC-03A’ ya kadar rota açıp, treni S6 sinyalinin koruduğu M6 makasının önüne getirildikten sonra TC-03A’ dan TC-14’ e tekrar rota açmak, yanal koruma alanındaki M7 ve M8 makaslarını erkenden kilitlememe ve dolayısıyla diğer hattaki tren trafiğini daha az etkileme gibi avantajları getirecektir.

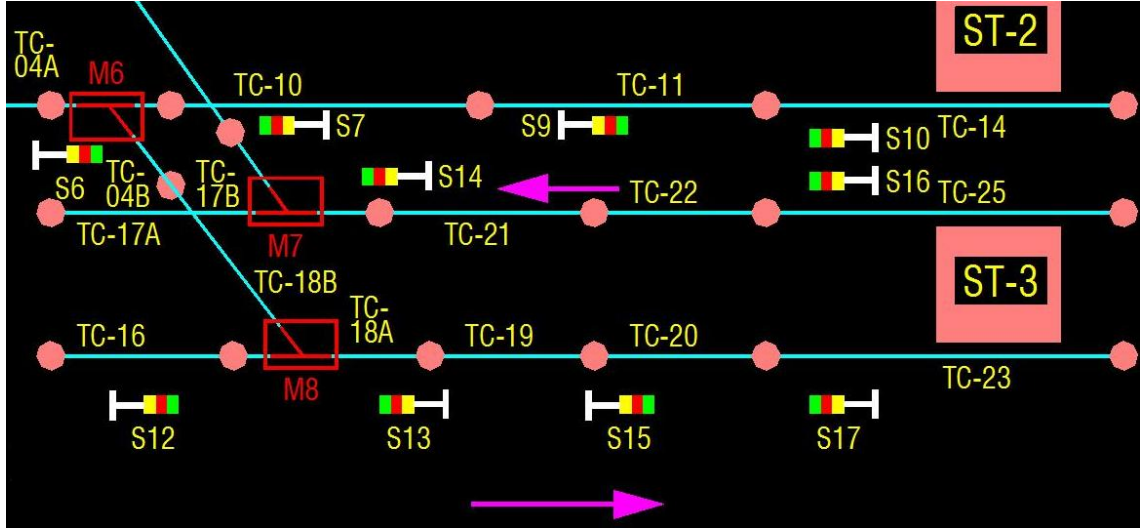
Anklaşman tablosundaki altıncı güzergahta olduğu gibi, bir hattan başka bir hatta geçişin olduğu güzergahlarda iki aşamada rotalama, tren trafiği bakımından daha fazla önem taşımaktadır. Birinci güzergahın ilk aşaması için tanımlanan rota aynı zamanda altıncı güzergahın da ilk aşamasıdır. M6 makasının önüne kadar getirilen tren buradan sonra diğer hatta geçerek M8 makası üzerinden TC-23’e gidebilir. Bu da altıncı güzergahın ikinci rotalama aşamasıdır.

Şekil 6.2’de birinci ve altıncı güzergahların ortak olan birinci aşaması, Şekil 6.2’de ise her iki güzergahın ikinci aşamaları beraber görülmektedir.

Şekil 6. 2: Anklaşman Tablosundaki Birinci Güzergahın Birinci Kısmı



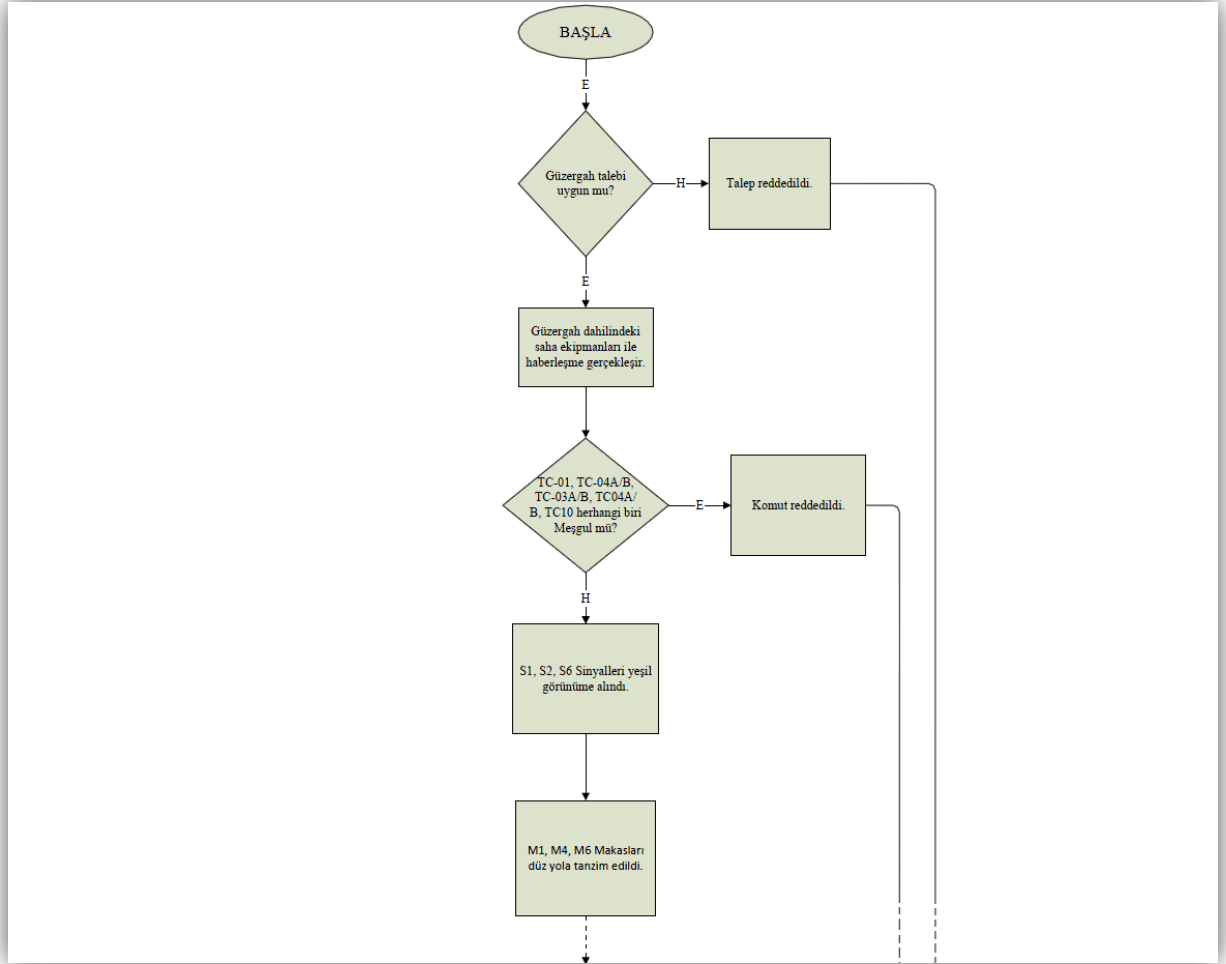
Şekil 6. 3: Birinci ve Altıncı Güzergahların İkinci Rotalama Aşamaları



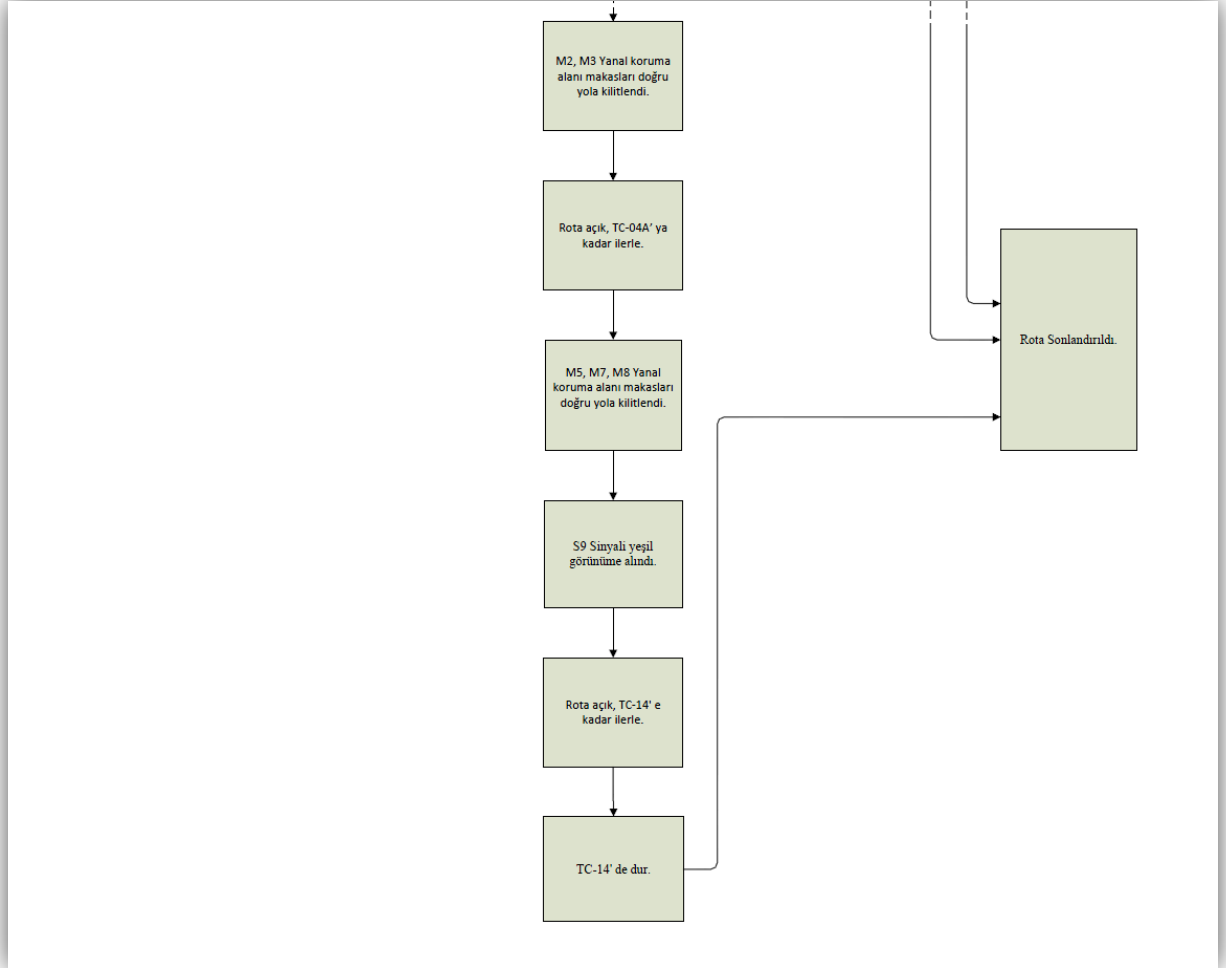
Anklaşman sistemi, anklaşman tablosundaki kriterlere göre bir güzergahın tanzimi aşamasında bir karar verme sürecinden geçer. Bu süreçte her hangi bir bileşenden istenen geri dönüş elde edilemez ise rotalama gerçekleşmez.

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5' de, anklaşman sisteminin, örnek hat parçasına ait anklaşman tablosunun birinci güzergahı, Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8' de ise altıncı güzergahı için karar verme sürecine ait akış şemaları görülmektedir.

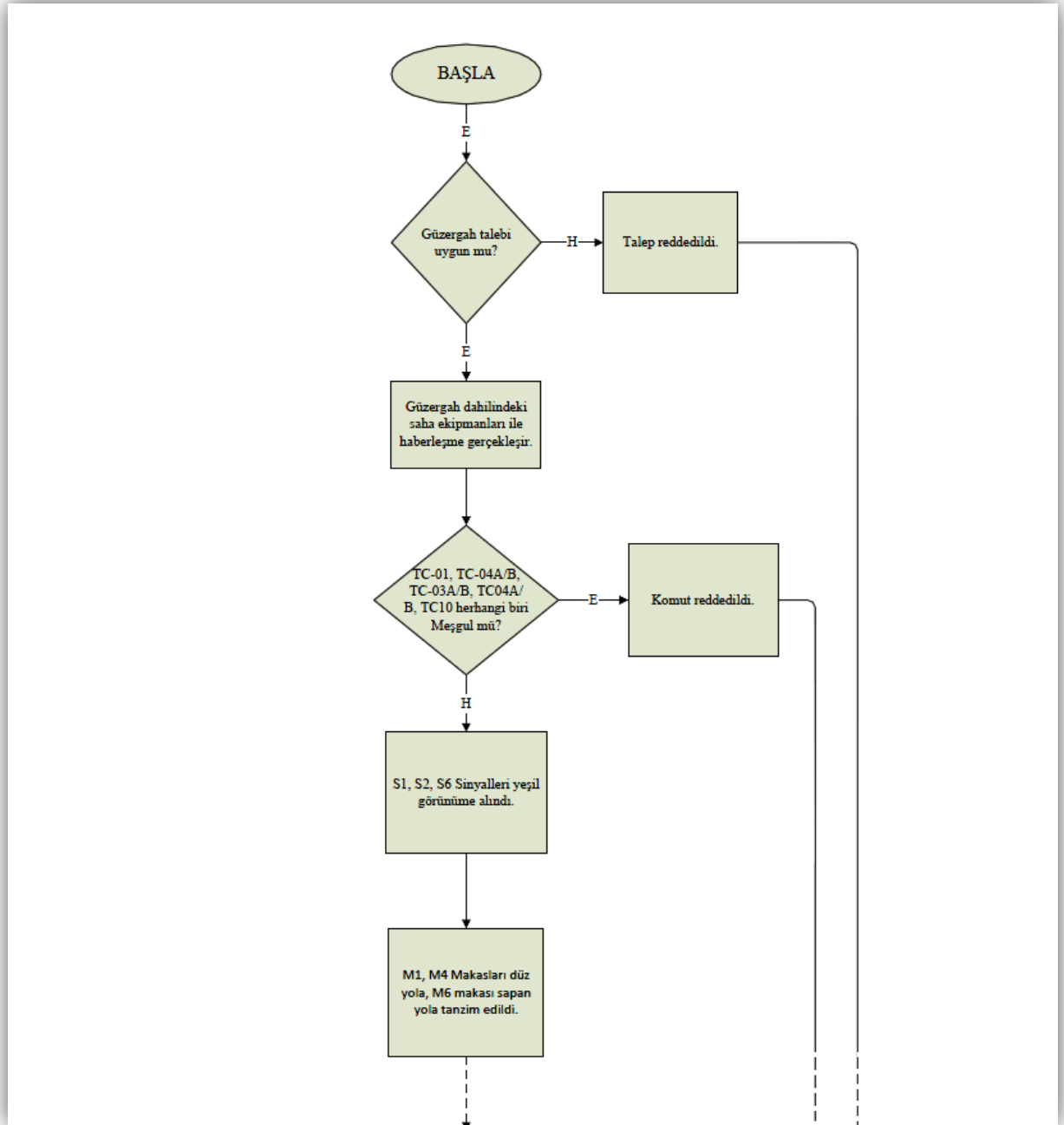
Şekil 6. 4: Birinci Güzergah Anlaşman Algoritması (a)



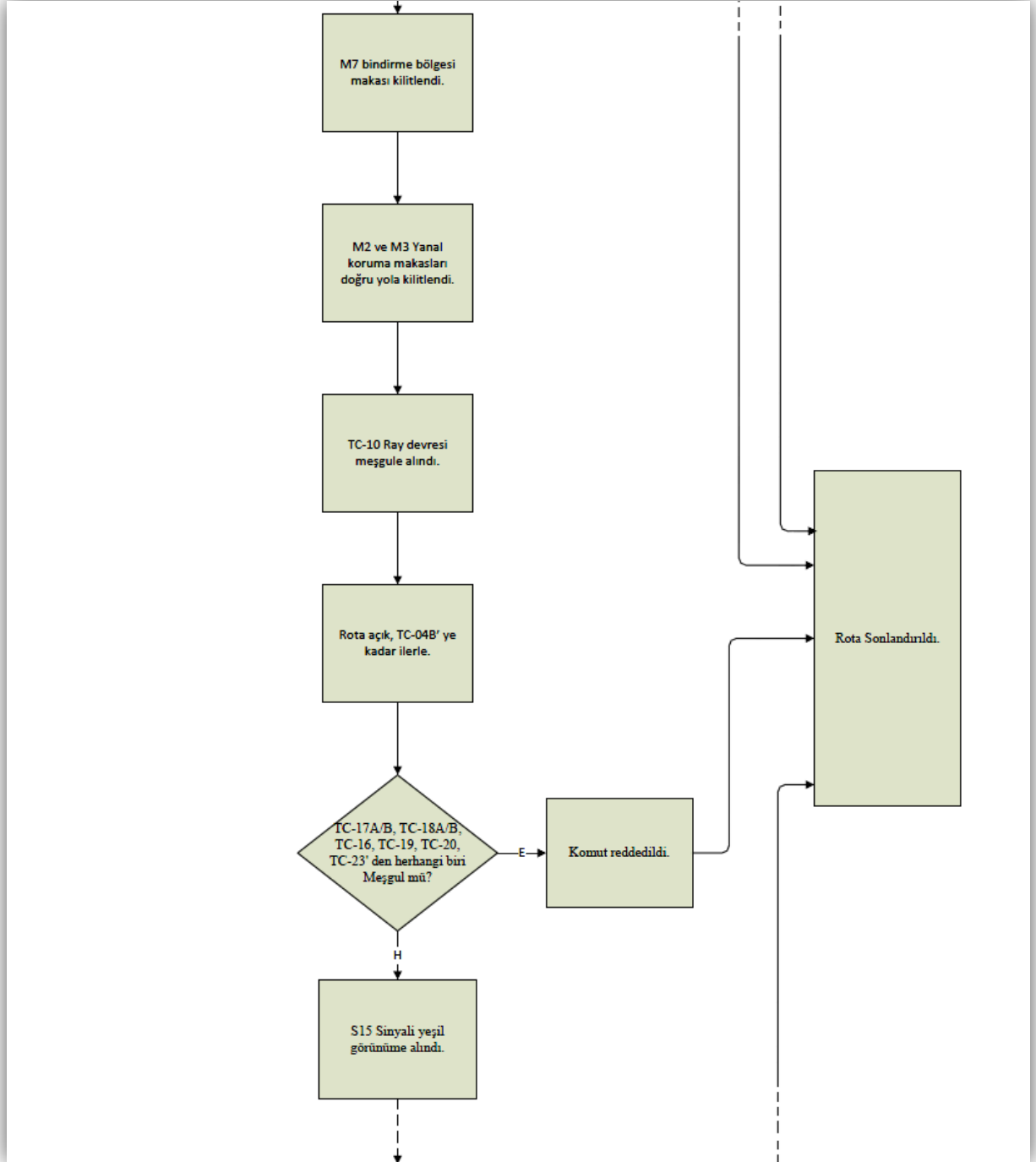
Şekil 6. 5: Birinci Güzergah Anlaşman Algoritması (b)



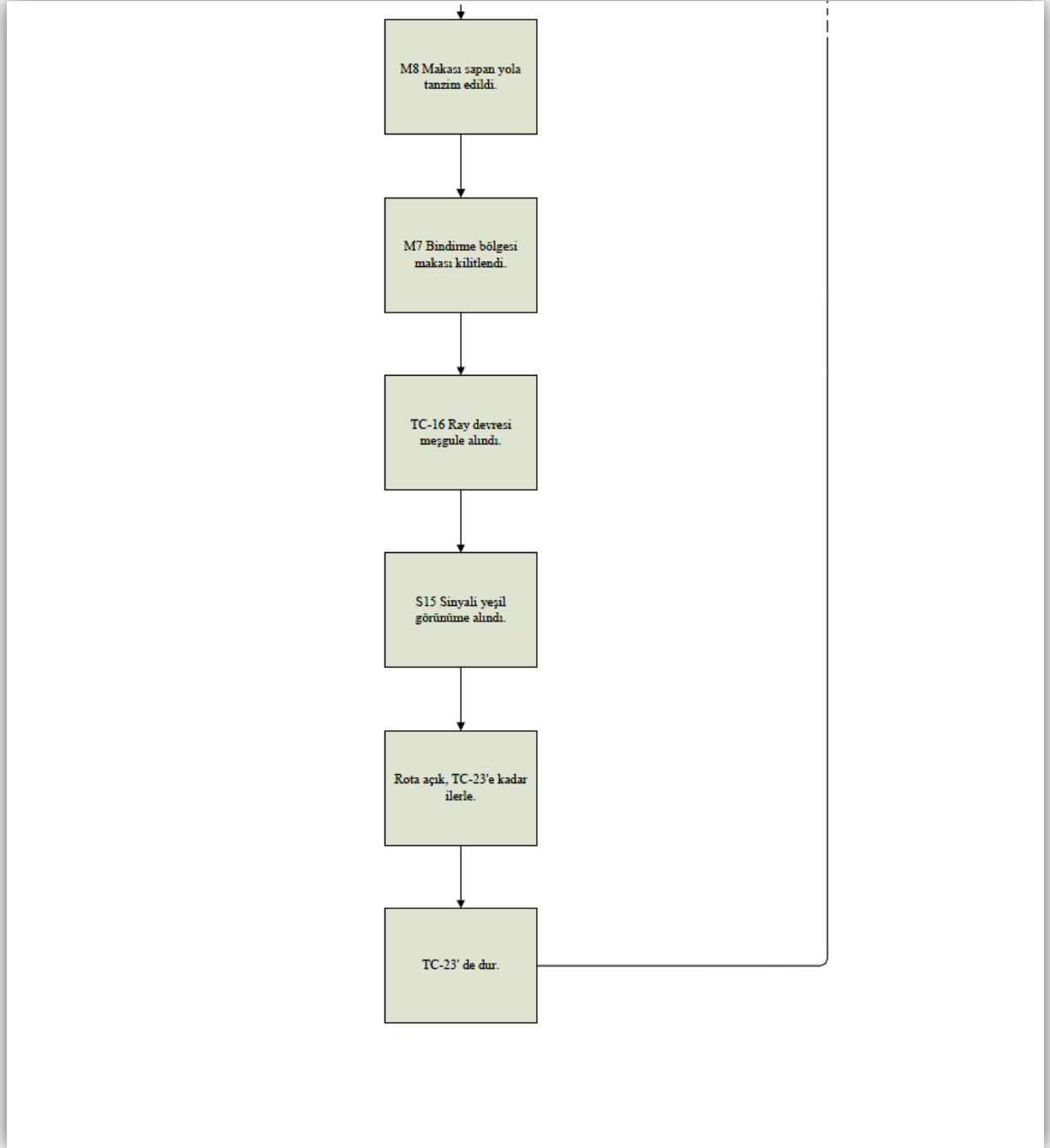
Şekil 6. 6: Altıncı Güzergah Anlaşman Algoritması (a)



Şekil 6. 7: Altıncı Güzergah Anlaşman Algoritması (b)



Şekil 6. 8: Altıncı Güzergah Anlaşman Algoritması (c)



6.2 BAŞAKŞEHİR METROSU İÇİN ANKLAŞMAN TABLOSU OLUŞTURMA

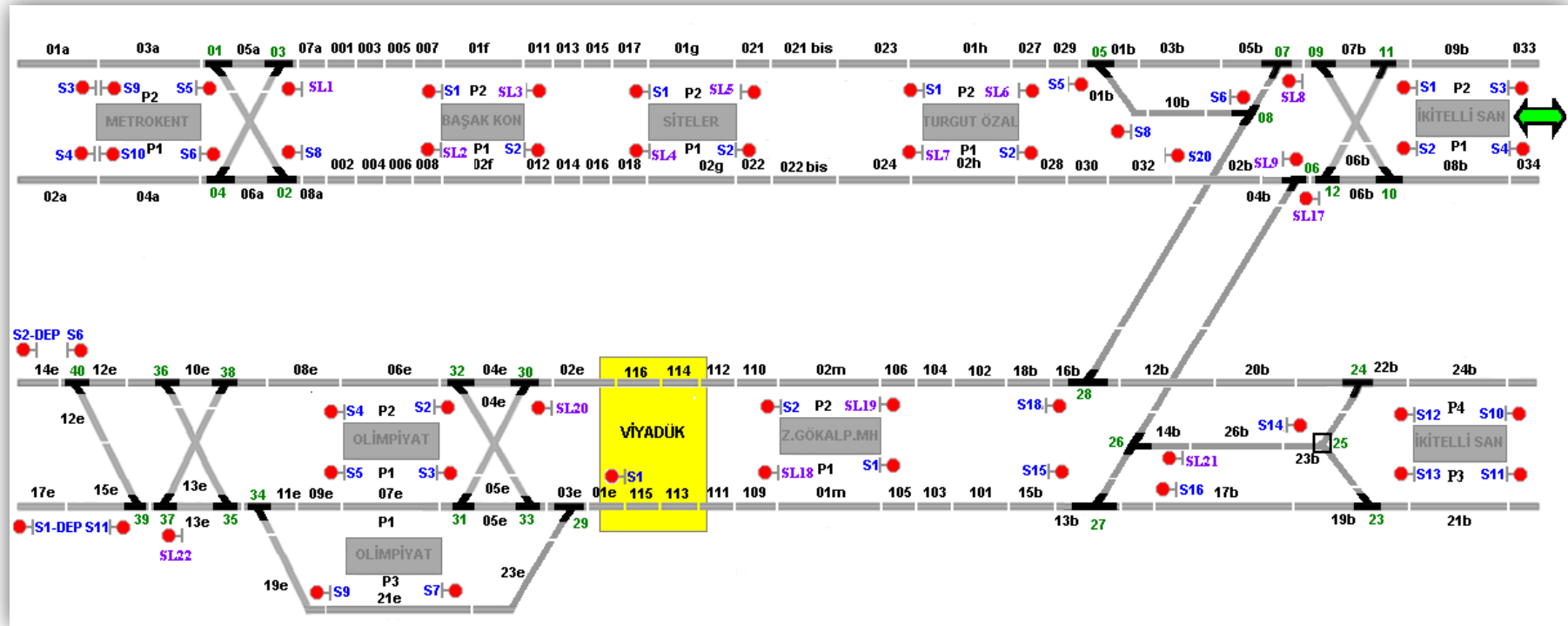
Yapımına 2005 yılında başlanan, tüm testleri tamamlanan ve 2013 yılı içerisinde hizmete açılması planlanan Başakşehir Metrosunun sinyalizasyon sisteminden dördüncü bölümde bahsedilmiştir. Bu bölümde, sabit blok sinyalizasyon sistemine sahip olan Başakşehir Metrosunun, bulunduğu konum itibarıyla ve İstanbul İli için projelendirilen yeni metro hatlarının kesiştiği bir hat olması nedeniyle gelecekteki yolcu potansiyelinin bugüne oranla çok daha yüksek olacağı düşünülerek, yakın bir gelecekte, yüksek yolcu kapasiteli metro hatları için daha doğru bir çözüm olan hareketli blok sinyalizasyon sistemine sahip olacağı öngörülmüştür ve hat yapısında bu yönde bazı teorik değişiklikler yapılarak hareketli blok sinyalizasyon temelli bir anlaşıman tablosu oluşturulmuştur.

Hareketli blok sinyalizasyonun en belirgin özelliğinin sabit blok sinyalizasyonunda olduğu gibi hat üzerinde fiziksel olarak bölünmüş blokların bulunmaması olduğundan daha önce bahsedilmiştir. Bunun anlamı, hareketli blok sinyalizasyonda ray devresi bulunmamasıdır. Bununla beraber, hareketli blok sinyalizasyonunda sabit blok sinyalizasyona göre daha fazla sinyale (sinyal lambası) ihtiyaç vardır. Bunun nedeni, Şişhane-Hacıosman Metrosu örneğinde olduğu gibi hareketli blok sinyalizasyonunda rotalar sadece sinyaller arası açılmaktadır. Sabit blok sinyalizasyonunda ise ray devreleri arasında kısa ya da uzun rotalar açılabilir. Başakşehir Metrosuna hareketli blok sinyalizasyon temelli bir anlaşıman tablosu oluşturabilmek için tüm makas bölgelerinin girişlerinde en az bir adet, tüm istasyonların dört ayrı güzergahtan girişlerinde de birer adet sinyal bulunması gerekmektedir. Bunun için 57 adet sinyale sahip olan Başakşehir hattına 24 adet sinyal daha eklenerek toplam sinyal sayısı 81'e çıkarılmıştır. Mevcut sinyal numaraları 'S' harfi ile başlarken yeni eklenen sinyaller 'SL' harfi başlanarak numaralandırılmıştır. Yeni eklenen sinyallerin mevcut sinyallerden farklı olarak iki görünümlü (yeşil-kırmızı) olması düşünülmüştür. Bunun nedeni, Başakşehir Metrosunun mevcut sinyalizasyonunda kullanılan üç görünümlü sinyaldeki 'beyaz' görünüme hareketli blok sinyalizasyonunda ihtiyaç duyulmayacak olmasıdır. Beyaz sinyal, ray devreleri kullanılarak kurulan rotalarda kırmızı ile beraber eş zamanlı yanmakta ve rotanın açık olduğunu tanımlamaktadır. Optik rota yani sinyalden sinyale kurulan rotalarda ise hareketli blok sinyalizasyonunda olduğu gibi

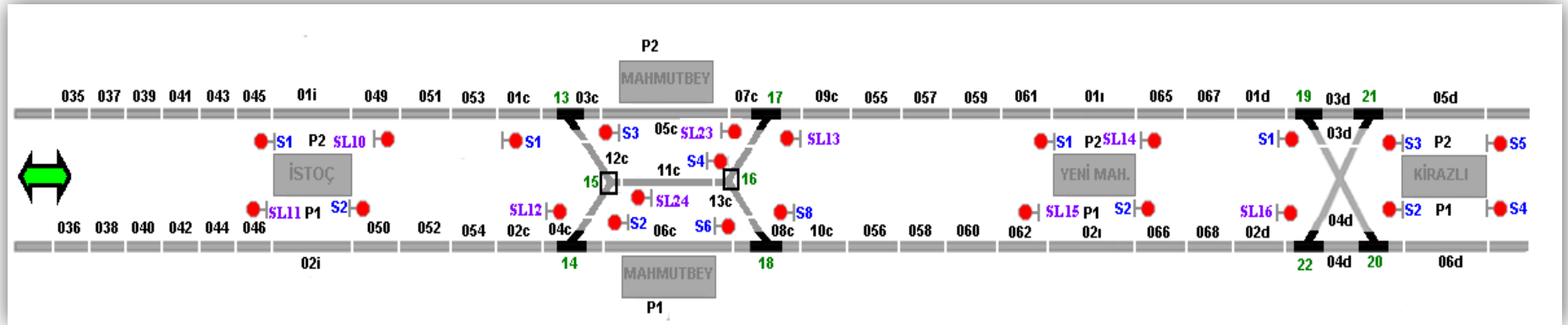
yeşil ve kırmızı sinyal görünümlerine göre tren hareketleri sağlanmaktadır. Bu nedenle Başakşehir Metrosu için düşünülebilecek bir sinyalizasyon sistemi iyileştirmesinde mevcut sinyallerin yeşil ve kırmızı görünümleri kullanılabilir, yeni konacak sinyallerin iki görünümlü olması yeterli görülebilir. Sinyalizasyon sistemindeki iyileştirme maliyetinin, yeni bir sinyalizasyon sistemi kurma maliyetinden çok daha düşük olması bekleneneğinden, 81 adet yeni sinyal tedarik etmek yerine mevcut sinyallerin kullanımıyla beraber 24 adet yeni sinyal eklenerek hattaki toplam sinyal sayısı 81 adete ulaştırılmıştır.

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10, Başakşehir Metrosuna ait hat şemasını göstermektedir. Hat şemasında SL1' den SL24' e kadar kodlanan yeni sinyaller görülmektedir. Metrokent-Kirazlı arası doğrusal bir hat, İkitelli Sanayi-Olimpiyat arası da diğer doğrusal hattır. İki hat İkitelli Sanayi sanayi istasyonunda kesişmektedir. Hat şemasında da görüldüğü gibi İkitelli Sanayi istasyonu birbirinden bağımsız iki adet perona sahiptir.

Şekil 6. 9: Başakşehir Metrosu Yeni Sinyaller Eklenmiş Hat Şeması (a)



Şekil 6. 10: Başakşehir Metrosu Yeni Sinyaller Eklenmiş Hat Şeması (b)



Tablo 6. 2: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 1-16)

Rota No	Başlangıç Sinyali	Hedef Sinyal	Kullanılan Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme Bölgesi	Yanal Koruma
1	Metrokent S6	Başak Konutları S2	04-DY, 02-DY	-	01-DY, 03-DY
2	Metrokent S5	Başak Konutları S3	01-DY, 03-DY	-	04-DY, 02-DY
3	Metrokent S6	Başak Konutları SL3	04-SY, 03-SY	02, 01	-
4	Metrokent S5	Başak Konutları S2	01-SY, 02-SY	03, 04	-
5	Başak Konutları S1	Metrokent S3	03-DY, 01-DY	-	02-DY, 04-DY
6	Başak Konutları SL2	Metrokent S4	04-DY, 02-DY	-	03-DY, 01-DY
7	Başak Konutları S1	Metrokent S4	03-SY, 04-SY	01, 02	-
8	Başak Konutları SL2	Metrokent S3	02-SY, 01-SY	04, 03	-
9	Başak Konutları S2	Siteler S2	-	-	-
10	Başak Konutları SL3	Siteler SL5	-	-	-
11	Siteler S1	Başak Konutları S1	-	-	-
12	Siteler SL4	Başak Konutları SL2	-	-	-
13	Siteler S2	Turgut Özal S2	-	-	-
14	Siteler SL5	Turgut Özal SL6	-	-	-
15	Turgut Özal S1	Siteler S1	-	-	-
16	Turgut Özal SL7	Siteler SL4	-	-	-

Tablo 6. 3: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 17-33)

Rota No	Başlangıç Sinyali	Hedef Sinyal	Kullanılan Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme Bölgesi	Yanal Koruma
17	Turgut Özal S2	İkitelli Sanayi S20	-	06, 12	07-DY, 08-SY, 28-DY
18	İkitelli Sanayi S20	İkitelli Sanayi SL9	-	06,12, 10	09-DY, 11-DY, 08-SY, 26-SY, 28-DY
19	İkitelli Sanayi SL9	İkitelli Sanayi S4	06-DY, 12-DY, 10-DY	-	09-DY, 11-DY, 08-SY, 26-SY, 28-DY
20	Turgut Özal S2	İkitelli Sanayi S3	06-DY, 12-SY, 11-SY	10, 09, 07	08-SY, 28-DY, 26-SY
21	Turgut Özal SL6	İkitelli Sanayi S5	-	05	-
22	İkitelli Sanayi S5	İkitelli Sanayi S3	05, 07, 09, 11	08	12-DY, 10-DY
23	İkitelli Sanayi S5	İkitelli Sanayi S6	05	-	-
24	İkitelli Sanayi S6	İkitelli Sanayi S3	08, 07, 09, 11	05	12-DY, 10-DY, 28-DY
25	İkitelli Sanayi S5	İkitelli Sanayi S4	05, 07, 09, 10	08, 11, 06, 12	-
26	İkitelli Sanayi S1	İkitelli Sanayi SL8	11, 09, 07, 08	05	10-DY, 12-DY
27	İkitelli Sanayi SL8	Turgut Özal S1	07, 05	09, 11	8
28	İkitelli Sanayi SL8	Turgut Özal SL7	07, 08	05, 09, 11, 28	06-SY
29	İkitelli Sanayi S2	İkitelli Sanayi SL17	10, 12	06, 26	11-DY, 09-DY
30	İkitelli Sanayi SL17	Turgut Özal S7	06	10, 12, 11, 09	08-SY, 26-SY, 28-DY
31	İkitelli Sanayi S2	İkitelli Sanayi SL8	10, 09	07, 08, 05, 11, 06	-
32	İkitelli Sanayi SL8	İkitelli Sanayi S8	07, 08	05, 09, 11, 10	-
33	İkitelli Sanayi S8	Turgut Özal S1	05	07, 09, 08	-

Tablo 6. 4: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 34-51)

Rota No	Başlangıç Sinyali	Hedef Sinyal	Kullanılan Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme Bölgesi	Yanal Koruma
34	İkitelli Sanayi SL8	Ziya Gökalp S2	07, 08, 28	05, 09, 11, 10	06-SY
35	İkitelli Sanayi SL17	Ziya Gökalp SL18	06, 26, 27	12, 10, 11	28-SY, 24-SY
36	Ziya Gökalp S1	İkitelli Sanayi S15	-	27	-
37	Ziya Gökalp SL19	İkitelli Sanayi S18	-	08	-
38	İkitelli Sanayi S15	İkitelli sanayi S4	27, 26, 06, 12, 10	-	24-SY, 28-SY, 09-DY, 11-DY
39	İkitelli Sanayi S15	İkitelli Sanayi S3	27, 26, 06, 12, 11	10, 09, 07	24-SY, 28-SY
40	İkitelli Sanayi S18	İkitelli Sanayi S3	28, 08, 07, 09, 11	05	06-SY
41	İkitelli Sanayi S15	İkitelli Sanayi S11	27, 23	26, 25	-
42	İkitelli Sanayi S18	İkitelli Sanayi S10	28, 24	08, 26, 25	-
43	İkitelli Sanayi S15	İkitelli Sanayi S14	27, 26	06, 23	24-DY
44	İkitelli Sanayi S14	İkitelli Sanayi S11	25, 23	26, 27	24-DY
45	İkitelli Sanayi S14	İkitelli Sanayi S10	25, 24	26	23-DY
46	İkitelli Sanayi S12	Ziya Gökalp S2	24, 28	26, 25	06-DY, 08-SY
47	İkitelli Sanayi S12	İkitelli Sanayi SL21	24, 25	26	27-DY, 23-DY
48	İkitelli Sanayi SL21	Ziya Gökalp SL18	26, 27	23, 24, 25	06-DY
49	İkitelli Sanayi S13	İkitelli Sanayi S16	23	25, 27	-
50	İkitelli Sanayi S16	Ziya Gökalp SL18	27	23, 26	-
51	İkitelli Sanayi S13	İkitelli Sanayi SL21	23, 25	26, 27	24-DY

Tablo 6. 5: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 52-69)

Rota No	Başlangıç Sinyali	Hedef Sinyal	Kullanılan Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme Bölgesi	Yanal Koruma
52	İkitelli Sanayi S4	İstoç S2	-	10	-
53	İkitelli Sanayi S3	İstoç SL10	-	11	-
54	İstoç S1	İkitelli Sanayi S1	-	11	-
55	İstoç SL11	İkitelli Sanayi S2	-	10	-
56	İstoç S2	Mahmutbey SL12	-	14, 15	-
57	İstoç SL10	Mahmutbey S1	-	13, 15	-
58	Mahmutbey SL12	Mahmutbey S6	14	18, 15, 16	-
59	Mahmutbey SL12	Mahmutbey S4	14, 15	16	13-DY, 17-DY, 18-DY
60	Mahmutbey S1	Mahmutbey SL23	13	17, 15, 16	-
61	Mahmutbey S1	Mahmutbey S4	13, 15	16	14-DY, 18-DY, 17-DY
62	Mahmutbey S3	İstoç S1	13	15, 17	-
63	Mahmutbey S2	İstoç SL11	14	15, 18	-
64	Mahmutbey S6	Yeni Mahalle S2	18	16, 22	-
65	Mahmutbey SL23	Yeni Mahalle SL14	17	16, 19	-
66	Mahmutbey S4	Yeni Mahalle S2	16, 18	15, 22	17-DY
67	Mahmutbey S4	Yeni Mahalle SL14	16, 17	15, 19	18-DY
68	Yeni Mahalle S1	Mahmutbey SL13	-	17	-
69	Yeni Mahalle SL15	Mahmutbey S8	-	18	-

Tablo 6. 6: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 70-85)

Rota No	Başlangıç Sinyali	Hedef Sinyal	Kullanılan Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme Bölgesi	Yanal Koruma
70	Mahmutbey SL13	Mahmutbey S3	17	16, 13	-
71	Mahmutbey SL13	Mahmutbey SL24	17, 16	15, 13	18-DY
72	Mahmutbey S8	Mahmutbey S2	18	16, 14	-
73	Mahmutbey S8	Mahmutbey SL24	18, 16	15, 14	17-DY
74	Mahmutbey SL24	İstoç S1	15, 13	14, 16, 17	-
75	Mahmutbey SL24	İstoç SL11	15, 14	13, 16, 17	-
76	Yeni Mahalle S2	Kirazlı SL16	-	22, 20	19-DY, 21-DY
77	Kirazlı SL16	Kirazlı S4	22, 20	-	19-DY, 21-DY
78	Kirazlı SL16	Kirazlı S5	22, 21	20, 19	-
79	Yeni Mahalle SL14	Kirazlı S1	-	19, 21	22-DY, 20-DY
80	Kirazlı S1	Kirazlı S5	19, 21	-	22-DY, 20-DY
81	Kirazlı S1	Kirazlı S4	19, 20	21, 22	-
82	Kirazlı S3	Yeni Mahalle S1	21, 19	-	20-DY, 22-DY
83	Kirazlı S3	Yeni Mahalle SL15	21, 22	19, 20	-
84	Kirazlı S2	Yeni Mahalle SL15	20, 22	-	21-DY, 19-DY
85	Kirazlı S2	Yeni Mahalle S1	20, 19	22, 21	-

Tablo 6. 7: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 86-102)

Rota No	Başlangıç Sinyali	Hedef Sinyal	Kullanılan Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme Bölegesi	Yanal Koruma
86	Ziya Gökalp S2	Olimpiyat SL20	-	30, 32	31-DY
87	Olimpiyat SL20	Olimpiyat S4	30, 32	38	33-DY, 31-DY
88	Olimpiyat SL20	Olimpiyat S5	30, 31	32, 33, 34	-
89	Ziya Gökalp SL18	Olimpiyat S1	-	31, 33, 29	-
90	Olimpiyat S1	Olimpiyat S5	29, 33, 31	34	30-DY, 32-DY
91	Olimpiyat S1	Olimpiyat S4	29, 33, 32	31, 30, 38	-
92	Olimpiyat S1	Olimpiyat S9	29	31, 32, 33	34-DY
93	Olimpiyat S7	Ziya Gökalp S1	29	31, 32, 33	34-DY
94	Olimpiyat S3	Ziya Gökalp S1	31, 33, 29	-	32-DY, 30-DY
95	Olimpiyat S3	Ziya Gökalp SL19	31, 30	33, 29, 32	-
96	Olimpiyat S2	Ziya Gökalp SL19	32, 30	-	31-DY, 33-DY
97	Olimpiyat S2	Ziya Gökalp S1	32, 33, 29	30, 31	-
98	Olimpiyat S4	S2-DEP	38, 36, 40	32	35-DY, 37-DY, 39-DY
99	Olimpiyat S4	S1-DEP	38, 37, 39	32, 34, 35, 36, 40	-
100	Olimpiyat S5	Olimpiyat SL22	34, 35	31, 37, 39	38-DY, 36-DY, 40-DY
101	Olimpiyat SL22	S1-DEP	37, 39	34, 35	38-DY, 36-DY, 40-DY
102	Olimpiyat SL22	S2-DEP	37, 39, 40	34, 35, 36, 38	-

Tablo 6. 8: Başakşehir Metrosu Anlaşman Tablosu (Rota 103-110)

Rota No	Başlangıç Sinyali	Hedef Sinyal	Kullanılan Makaslar	Kilitlenecek Makaslar	
				Bindirme Bölgesi	Yanal Koruma
103	Olimpiyat S9	Olimpiyat SL22	34, 35	31, 37, 39	38-DY, 36-DY, 40-DY
104	Olimpiyat S9	S2-DEP	34, 35, 36, 40	31, 37, 39, 38	-
105	Olimpiyat S11	Olimpiyat S7	39, 37, 35, 34	31	40-DY, 36-DY, 38-DY
106	Olimpiyat S11	Olimpiyat S3	39, 37, 35, 34	31, 33, 29	40-DY, 36-DY, 38-DY, 32-DY, 30-DY
107	Olimpiyat S11	Olimpiyat S2	39, 37, 38	34, 35, 36, 32, 30	31-DY, 33-DY
108	Olimpiyat S6	Olimpiyat S2	40, 34, 38	32, 30	39-DY, 37-DY, 35-DY, 31-DY, 33-DY
109	Olimpiyat S6	Olimpiyat S3	40, 36, 35, 34	38, 39, 37, 31, 33, 29	32-DY, 30-DY
110	Olimpiyat S6	Olimpiyat S7	40, 39, 37, 35, 34	38, 36, 31, 33, 29	-

Tablo 6.2-Tablo 6.8’ de Başakşehir Metrosu hareketli blok sinyalizasyon temelli anlaşıman tablosu görölmektedir. Birinci sütun rota numarasını, ikinci sütun rotanın başlangış sinyalinini, üçüncü sütun rotanın bitiş sinyalinini, dördüncü sütun rota dahilinde kullanılan makasları, beşinci ve altıncı sütunlar ise her bir rota için kilitlenecek makasları göstermektedir.

Anlaşıman tablosu 110 adet rotadan oluşmaktadır. Anlaşıman tablosundaki rotalar hattın maksimum esneklik ile kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bir treni bir noktadan diğeri bir noktaya ulaştırmak için anlaşıman tablosundaki değişik rotalar kullanılabilir. Örneğinin İkitelli Sanayi istasyonu P2 (Peron 2)’ deki bir tren Olimpiyat P1 (Peron 1)’ e geçmek için sırası ile 26, 34, 86 ve 88. rotaları kullanmalıdır. Ya da Metrokent 1. Perondaki bir aracın normal işletme güzergahı dahilinde Kirazlı 1. Perona kadar gitmesi için anlaşıman tablosundan sırası ile 1, 9, 13, 17, 18, 19, 52, 56, 58, 64, 76 ve 77. Rotaların uygulanması gerekmektedir. Bu rotaların uygulanması anlaşıman sistemi, anlaşıman tablosu ve merkezi yazılımının iç içe çalışması ve hat boyu ekipmanlarının kumanda edilmesiyle gerçekleşmektedir.

7. SONUÇ

Demiryolu ulaşımında sinyalizasyon sistemleri, sunulan yolcu kalitesini etkileyen en önemli bileşenlerden birisidir. Günümüzde gerek şehir içi gerekse şehirlerarası demiryolu ulaşımında hızlı, güvenli ve konforlu bir yolculuk için gelişmiş bir sinyalizasyon sistemi tasarımı zorunludur. Gelişmiş bir sinyalizasyon sistemi ise hatasız çalışan hat boyu ekipmanları, olası tüm tren hareketleri düşünülerek hazırlanmış bir anlaşıman tablosu ve fonksiyonel bir arayüz temeline dayanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bir raylı ulaşım sistemi için anlaşıman tablosu oluşturmanın mantığı anlatılmış, örnek bir metro hattı için bir anlaşıman tablosu oluşturulmuştur. Anlaşıman tablosu, trenlere güzergah tayin edilmesi ve tren trafiğinin otomatik olarak yönetilmesinde hayati öneme sahiptir. Bu sebepten dolayı hazırlanış aşamasında son derece dikkatli çalışılmalı, hiçbir mantık hatasına yer verilmemelidir. Özellikle karmaşık yapılı demiryolu hatlarında anlaşıman tablosu oluşturulurken bilgisayar temelli algoritmalarından faydalanılmalıdır.

Ülkemizde demiryolu sinyalizasyonu ile ilgili çalışmalar yeterli seviyede değildir. Bu güne kadar büyük şehirlerimizdeki metro ve hafif metro projelerinin sinyalizasyon sistemlerinde henüz yerli bir tasarım kullanılmamıştır. Oysa bu konuda uzman uluslararası firmalar ile yerli projelerde uzun süre çalışma imkanı bulmuş bilgi birikimi olan insanların katkılarıyla tasarımı yapılacak bir sinyalizasyon sistemi, yerli girişimcileri cesaretlendirebilir ve bu tasarım yeni bir raylı sistem projesinde kullanılabilir. Ülkemizdeki şehir içi ve şehirlerarası demiryollarında sinyalizasyon sistemi bulunmayan ya da iyileştirmeye ihtiyacı olan hatların gelişmiş sinyalizasyon sistemleriyle donatılması için gerekli maddi kaynak dört milyar dolardan fazladır. Bu maliyetin önemli bir kısmının yerli tasarımlar ile karşılanması hedeflenmeli, çalışmalar desteklenmelidir. TÜBİTAK ve İTÜ'nün de desteğiyle TCDD'nin yürütmekte olduğu Ulusal Demiryolu Sinyalizasyon Projesi bu konudaki tek örnektir. Bunun gibi projelerin artması ile demiryolu sinyalizasyonu konusunda deneyim sahibi insanların da sayısı artacak, gelecekte uluslararası düzeyde projeler üstlenebilecek yerli firmalar dahi oluşabilecektir.

KAYNAKÇA

Sürelî Yayınlar

Ürün, A.Y., Gülbahar, V. Demiryolu Sinyalizasyonu ve Yeni Teknikler. Elektrik Mühendisleri Yayın Organı sayı 183. cilt 16.

Diğer Yayınlar

- Alparslan, H. (2001). Metrolarda Sinyalizasyon Sistemleri ve Hız Kontrol Tekniklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Bombardier (2008). CITYFLO 350 Sistem Description and Architecture.
- Bombardier, <http://www.bombardier.com/> *Rail Control Solitions / Mass Transit Solitions / CITYFLO 350*. [erişim Ocak 2013]
- Demirbilek, A. (1997). Raylı Ulaşımında Sinyalizasyon Sistemleri ve Ray Devrelerinin Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Durmuş, M.S., Söylemez, M.T. (2008). Petri Ağları ile Demiryolu Anlaşman ve Sinyalizasyon Tasarımı. ELECO'08, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı. Bursa.
- Durmuş, M.S., Yıldırım, U., Söylemez, M.T. (2011). Demiryolu Sinyalizasyon Tasarımında Fonksiyonel Güvenlik ve Ayrık Olay Sistem Yaklaşımı. EUSİS 2011, Elektrikli Ulaşım Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi. Bursa-Eskişehir.
- İBB. *İnteraktif Uygulama*, <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/raylisistemler/Pages/zeytinburnu-bagcilar.aspx> [erişim tarihi Mart 2013]
- İUAŞ. *İnteraktif Uygulama*, <http://www.istanbul-ulasim.com.tr/rayl%C4%B1-sistemler/m1-aksaray-%E2%80%93-atat%C3%BCrk-havaliman%C4%B1.aspx> [erişim tarihi Mart 2013]
- Sonat, A. (2010). Raylı Ulaşım Sistemlerinde Anlaşman Algoritması Tasarımı ve Otomat Yaklaşımı ile Otomatik Kod Üretme. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Söyler, H., Açıkbaş, S. Raylı Toplu Taşımada Sinyalizasyon Sistemleri. İstanbul.

- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP (2009). Raylı Sistemler Teknolojisi, Makas Kontrol Sistemleri.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP (2009). Raylı Sistemler Teknolojisi, Tren Koruma ve Kontrol Sistemleri
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP (2008). Raylı Sistemler Teknolojisi, Ray Devreleri
- Türk, S. (2010). Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemleri İçin Otomatik Anlaşman Algoritması ve Kodu Üretme Yöntemi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Yıldırım, U., Durmuş, M.S., Söylemez, M.T. (2011). Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri İçin Otomatik Anlaşman Tablosu Oluşturulması. EUSİS 2011, Elektrikli Ulaşım Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi. Bursa-Eskişehir.
- Yüksel, H.E. (2007). Raylı Toplu Taşıma Sinyalizasyon Sistemleri ve Marmaray Projesinin Sinyalizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.