

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON: HIZLI TREN UYGULAMA ÖRNEĞİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aybüke DEMİRTAŞ

HAZİRAN - 2022

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON: HIZLI TREN UYGULAMA
ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aybüke DEMİRTAŞ

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN

Haziran – 2022

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Aybüke DEMİRTAŞ
15/06/2022

ÖZET

RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON: HIZLI TREN UYGULAMA ÖRNEĞİ

Aybüke DEMİRTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN

Haziran 2022, 87 sayfa

Artan ekonomik sorunlar, oluşan çevresel faktörlerden dolayı demiryolu araçlarının tercih edilirliliği artmıştır. Demiryollarına olan ilginin artması eksik kalan ve gelişmesi gereken sinyalizasyon sistemi varlığını ortaya çıkarmıştır. Bu projede demiryollarının temelini oluşturan sinyalizasyon sistemi hakkında bilgi verilmektedir. Tarihsel bir gelişim gösteren sinyalizasyon sisteminin günden güne hangi süreçlerden geçtiği, sinyalizasyon sistemini oluşturan ekipmanlar ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ülkemizde de gelişme gösteren ve çalışmaları gün geçtikçe artan hızlı trenler ülkemize ekonomik, eğitim, sağlık ve kültürel olarak birçok anlamda katkıda bulunmaktadır. Karayolu ulaşımındansa demiryolu ulaşımını tercih edenlerin sayısı da gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu tezde yapımı devam eden Çerkezköy-Kapıkule hızlı tren projesi için planlanan sinyalizasyon sistemi ve bu sistemi planlarken dikkat edilmesi gereken konular hakkında bilgiler verilmiştir. Bir sonraki hızlı tren projeleri için tasarlanacak sinyalizasyon sistemleri açısından bilgi niteliği taşıyacaktır.

Anahtar Kelimeler: hızlı tren, sinyalizasyon sistemi

ABSTRACT

SIGNALING IN RAIL SYSTEMS: AN EXAMPLE OF A FAST TRAIN APPLICATION

Aybüke DEMİRTAŞ

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Asst. Prof. Evren ISEN

June 2022, 87 Pages

Due to increasing economic problems and environmental factors, the preferability of railway vehicles has increased. The increasing interest in railways has revealed the existence of a signaling system that remains incomplete and needs to be developed. In this project, information is given about the signaling system that forms the basis of railways. Information is given about the processes that the signaling system, which has a historical development, goes through from day to day, the equipment that makes up the signaling system, and its characteristics. High-speed trains, which are also developing in our country and whose work is increasing every day, contribute to our country in many ways economically, educationally, health and culturally. The number of people who prefer rail transportation rather than road transportation is also increasing day by day. In this project, information about the signaling system planned for the Cerkezkoy-Kapikule high-speed train project, which is under construction, and the issues that need to be considered when planning this system have been provided. It will be informative in terms of signaling systems that will be designed for the next high-speed train projects.

Anahtar Kelimeler: high-speed train, signaling system

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında bana destek veren sayın Dr. Öğretim. Üyesi Evren İşen'e;
Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarında yıllarca görev yaptıktan sonra Kolin İnşaat bünyesinde Çerkezköy-Kapıkule hızlı tren projesinde görev alan yapılacak çalışmalar ve tüm sinyalizasyon sistemiyle ilgili benimle bilgisini paylaşan İbrahim Hakkı Elhan'a;
Armin Elektrik bünyesinde haberleşme ve sinyal departman müdürü olarak görev alan bir çok hızlı tren projesinin proje ve altyapıları görevini üstlenen ve bana tezim boyunca birçok bilgi aktaran Ü. Sıtkı Kahraman'a;
Kapıkule-Çerkezköy hattında Armco sinyal firmasında çalışan Taner Küçüker'e
Teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. DEMİRYOLU.....	3
2.1. Dünyadaki Raylı Sistemlerin Gelişimi	3
2.2. Türkiye’de Raylı Sistemlerin Gelişimi	4
2.3. Hızlı Tren İşletmeciliği.....	5
2.3.1. Türkiye’deki yüksek hızlı tren projeleri	5
2.4. Demiryolunu Oluşturan Üstyapı Ekipmanları	7
3. SİNYALİZASYON SİSTEMİ.....	11
3.1. Geçmişten Günümüze Sinyalizasyon	11
3.2. Sinyalizasyon Sisteminin Temel Öğeleri	14
3.2.1. Ray devresi	14
3.2.2. Ray devreleri bağlantı şekilleri	18
3.2.3. Sinyaller	27
3.2.4. Sinyal geri düşme bildirimleri	37
3.2.5. Makaslar.....	42
3.2.6. Röleler.....	46
3.2.7. Antlaşman sistemi.....	46
3.3. Avrupa Tren Kontrol Sistemi (ETCS).....	48
3.3.1. ETCS seviye 1	49
3.3.2. ETCS seviye 2	50
3.3.3. ETCS seviye 3	50

4. ÇERKEZKÖY-KAPIKULE ARASI HIZLI TREN PROJESİ SİNYALİZASYON SİSTEMİ	53
4.1. CTC Merkezi ve Teknik Binaları	56
4.2. Blok Mesafesi Hesabı	57
4.3. Limit Noktası	58
4.4. Makaslar	59
4.5. Sinyallerin Yerleşimi	62
4.5.1. Sinyallerin tehlike noktasına olan uzaklığına göre yerleşimi	62
4.5.2. Sinyallerin gabariye göre yerleşimi	63
4.5.3. Sinyallerin ray devresine göre yerleşimi	64
4.6. Diğer Ekipmanların Yerleşimi	64
4.7. Ray devresi tasarımı	67
4.8. Kablo Planı	75
4.8.1. Sinyaller, ATS Ve Makas Motorları İçin Çekilen Kablo Planı	76
4.9. ETCS Sistemi	77
4.9.1. Ortalama Asgari Tren Takip Mesafesi	78
5. SONUÇ	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. Ray ebatları.....	8
Çizelge 3.1. Yüksek sinyallerin görünümü ve anlamı.....	28
Çizelge 3.2. Cüce sinyaller görünümü ve anlamı.....	30
Çizelge 3.4. Servis frenleme mesafesi(m).....	34
Çizelge 3.5. Acil durum frenleme mesafesi (m).....	35
Çizelge 3.6. Sinyal geri düşüm bildirimi.....	37
Çizelge 3.7. ATS fonksiyon tablosu.....	47
Çizelge 4.1. Çerkezköy-Kapıkule hattı özellikleri	53
Çizelge 4.2. Demiryolu güzergahına ait bilgiler.....	54
Çizelge 4.3. Makas motoru teknik özellikleri	60
Çizelge 4.4. Yüksek-düşük band ray devresi frekansları	70
Çizelge 4.5. Ray devresi uzaklıkları.....	70
Çizelge 4.6. Teknik binadan ayar kutusuna kadar olan kablo uzunluğu	71
Çizelge 4.7. Merkez beslemede ray devresi arası uzaklık.....	72
Çizelge 4.8. ETCS seviyelerine göre ortalama asgari tren takip mesafeleri	79
Çizelge 4.9. UIC 406 verilen alt yapı kullanımında tavsiye edilen değerler.....	79
Çizelge 4.10. Yoğun Ve Günlük Saat İçin Ortalama Ara Süre Değerleri	80
Çizelge 4.11. Seviyelere göre eşdeğer tampon süreleri.....	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 3.1. S-Loop bond ray devresi	18
Şekil 3.2. S-Loop bond bağlantısı	19
Şekil 3.3. 8-Loop bond ray devresi.....	21
Şekil 3.4. Kısa devre bond ray devresi	23
Şekil 3.5. A-Tipi bond ray devresi	25
Şekil 3.6. Makas Limiti	38
Şekil 3.7. Makas aks hareketi	39
Şekil 3.8. Limit yetersizliğinden etkilenen makas.....	40
Şekil 3.9. Limit yetersizliğini engellemeyen durum.....	40
Şekil 3.10. S makas pozisyon bilgisi kaybedilirse limit yetersizliği	41
Şekil 3.11. S makaslar rivörs pozisyonunda olduğunda limit yetersizliği	41
Şekil 3.12. Yan koruma	42
Şekil 3.13. Makas motor ısıtıcı devresi	45
Şekil 4.1. Çerkezköy-Kapıkule arası istasyon noktaları.....	54
Şekil 4.2. Lüleburgaz istasyonu makas planı	60
Şekil 4.3. R300-1:9 Makas ekipman projesi	60
Şekil 4.4. R500-1:12 Makas ekipman projesi	61
Şekil 4.5. R1200-1:18,5 Makas ekipman projesi.....	61
Şekil 4.6. R1500-1:24 Makas ekipman projesi.....	62
Şekil 4.7. Değerlendirme ekipmanı iç tasarımı	68
Şekil 4.8. 16 adede kadar alıcı-vericiden oluşan tipik donanıma sahip dolap.....	69
Şekil 4.9. Verici-Alıcı konfigürasyonları	71
Şekil 4.10. Merkez besleme durumları	72
Şekil 4.11. Ray devresi için hattın bölümlenmesi	73
Şekil 4.12. Havsa bölgesi ray devresi tasarımı	74
Şekil 4.13. Kapıkule-Çerkezköy arası ekipman bağlantı şeması.....	75
Şekil 4.14. M27 Makas Bölgesi	76
Şekil 4.15. Kablo planı	77

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 3.1. Merkezi kontrol odası.....	13
Resim 3.2. Prensip ray devresi çizimi	15
Resim 3.3. S-Loop bond ray devresi montajı	19
Resim 3.4. S-Loop iç terminasyonu	20
Resim 3.5. S-Loop ayar ünitesi montajı ve topraklaması.....	20
Resim 3.6. 8-Loop iç terminasyonu	22
Resim 3.7. Kısa devre ray devresi montajı.....	24
Resim 3.8. N-Tipi ray devresi iç terminasyonu.....	24
Resim 3.9. A-Tipi ray devresi bağlantısı.....	25
Resim 3.10. A-Tipi ray devresi iç terminasyonu.....	26
Resim 3.11. Dingil sayar montajı	26
Resim 3.12. Kırmızı bildiri veren 4'lü yüksek sinyaller	29
Resim 3.13. Yeşil bildiri veren 3'lü cüce sinyal.....	31
Resim 3.14. Kırmızı bildiri veren 3'lü cüce sinyal.....	32
Resim 3.15. Blok sinyaller	33
Resim 3.16. Üçlü yüksek sinyal montajı	37
Resim 3.17. Makaslar	42
Resim 3.18. Makas motoru.....	44
Resim 3.19. Makas ısıtıcı sistemi	44
Resim 3.20. Makas ısıtıcı montajı	46
Resim 3.21. ATS ekipmanı	47
Resim 3.22. Ats ekipman montajı	48
Resim 3.23. ETCS1 sistem	49
Resim 3.24. ETCS2 sistem	50
Resim 3.25. ETCS3 sistem	51
Resim 4.1. Halkalı-Kapıkule hızlı tren hattı.....	55
Resim 4.2. Çerkezköy-Kapıkule arası kurulacak teknik bina üç boyutlu tasarımı.....	56
Resim 4.3. Teknik bina yerleşim planı	57
Resim 4.4. Limit durumu.....	58
Resim 4.5. Limit taşı	58

Resim 4.6. Üçlü veya dördlü yüksek sinyalin hatta yerleştirilme şekli.....	63
Resim 4.7. Cüce sinyalin hatta yerleştirme şekli.....	64
Resim 4.8. Blok sinyal bölgesinde ekipman yerleşimi.....	66
Resim 4.9. Yüksek ve cüce çıkış sinyali konulan bölgedeki ekipman yerleşimi	66
Resim 4.10. Giriş sinyali yerleştirilen bölgede ekipmanların yerleştirilmesi.....	67
Resim 4.11. Havsa bölgesi düz hat merkez besleme ray devresi planı	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

km

Kilometre

sa

Saat

mm²

Milimetre kare

cm

Santimetre

t/mm

Esneklik katsayısı

hz

Hert

Kısaltmalar

Açıklamalar

AC

Alternatif Akım

ATP

Otomatik Tren Koruma

ATS

Otomatik Tren Durdurma

CTC

Merkezi Kumandalı Sinyal Sistemi

DC

Doğru Akım

ERTMS

Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi

ETCS	Avrupa Tren Kontrol Sistemi
RMC	Radyo Blok Merkezleri
SIL	Güvenlik Entegrasyon Seviyesi
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TMİ	Trenlerin Merkezden İdaresi
TSİ	Trenlerin Sinyalizasyon İle İdaresi



1. GİRİŞ

Nüfusun artmasıyla beraber meydana gelen enerji talebi artışı, çevre kirliliği, maliyet ve trafik sorunları raylı sistemlere olan geçişi hızlandırmıştır. Güvenli ve hızlı ulaşım için raylı sistemler daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Tren, metro, tramvay günümüzde ulaşımı kolaylaştıran ve nüfus açısından yoğun olan bölgelerde sıkça tercih edilen ulaşım araçları olmuştur.

Raylı sistemler hızlı ve plansız gelişen birçok olumsuz faktörü de daha aza indirmiştir. Her ulaşım aracı belli bir sistem çerçevesinde oluşturulmuştur. Bu sistemleri oluşturan ekipmanlar diğer sistemlere nazaran fiyatları daha yüksektir. Fakat işletim kısmı ise bir o kadar uygundur. Ulaşımı kolay, kaza olasılığı düşük, taşıma kapasitesi fazla ve uygun maliyetli olduğu için tercih edilirliliği gittikçe artmıştır.

Raylı sistemler, karayolu ulaşımına göre daha az kaza olasılığı taşısa da yine de kazalar yaşanmaktadır. Kaza olasılığını sıfıra indirmek amacıyla insanların yaratacağı hataların önüne geçmek için sinyalizasyon sistemleri geliştirilmiştir. Sinyalizasyon sistemlerinin gelişimindeki asıl amaç hat kapasitesini arttırıp, personel ihtiyacını azaltmak ve kontrollü bir geçişin sağlanmasıdır.

Bu tezde; raylı sistemlerdeki gelişim, kullanılan ekipmanlar, demiryolu hattının tasarımı ve prensipleri anlatılırken Çerkezköy-Kapıkule arası yapılan hızlı tren projesi sinyalizasyon sistemi hakkında bilgi verilecektir.



2. DEMİRYOLU

2.1. Dünyadaki Raylı Sistemlerin Gelişimi

Demiryolu geçmişten günümüze gelene kadar hem toplumsal hem de ekonomik açıdan önemli bir role sahiptir. Sanayi devrimi sonucunda üretimin artması ile birlikte ham madde ve pazarlama ihtiyacı ulaşım sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Hayvanlara çektirilen araçlarla ulaşım ve taşıma sağlanırken fabrikalaşmanın artmasıyla düşük maliyetli, güvenli ve hızlı yolcu ve malzeme taşıma ihtiyacı artmıştır. 1804 yılında Richard Trevithick tarafından ilk kez kendi gücüyle giden lokomotif inşa edilmiştir. Lokomotif ağırlıklarından dolayı tren raylarında kırılmalar oluşmuş bu da sağlam ray ve lokomotif yapmayı zorunlu kılmıştır [1].

1830 yılında Stephenson tarafından “Roket” ismini verdiği tren saatte 39 km hızla demiryolu çağını başlatmıştır. Kısa mesafe, düşük hız ve insan kontrolüyle yapılan demiryolu akışı daha sonradan yetersiz olduğu düşünülerek mesafesi ve lokomotif sayısı arttırılmıştır. Stephenson’un bu başarısından dolayı Liverpool-Manchester arası demiryolu hattının yapımı teklif edilmiştir. Bu bölgede bulunan insanlar bu duruma karşı çıkmış fakat 15 Eylül 1830 yılında hat işletmeye açılmıştır. Daha sonra tüm Batılı devletlerde de demiryolu hattı yapımına başlanmıştır. Demiryolu olan birçok ülkede sanayileşme de tüm hızıyla devam etmiştir [2].

Fransa’da 1832 yılında St. Etienne-Lyon arasında, Almanya’da 1835 yılında Nürnberg-Furth arasında, Belçika’da 1835 yılında Brüksel-Malines arasında ilk demiryolu hatları inşa edilmiştir. İngiltere’nin 1852 yılında demiryoluna sahip olmayan sadece üç şehri kalmıştır [3].

Sonraki yıllarda dünyada demiryollarının gelişimi hızlı bir şekilde artmıştır. 1850 yılında 38.600 km olan demiryollarının uzunluğu, 1860 yılında 108.000 km’ye, 1870 yılında 209.000 km’ye, 1880 yılında 372.500 km’ye, 1890 yılında 612.200 km’ye, 1905 yılında 860.000 km’ye, 1913 yılında ise 1.110.000 km’ye ulaşmıştır [4].

2.2. Türkiye’de Raylı Sistemlerin Gelişimi

Osmanlı döneminden bu yana demiryolu ekonomik kalkınmanın ve merkeziyetçiliğin temeli olarak görülüyordu. Alım-satım ve pazarlama gücü arttıkça ülkenin mali açıdan daha çok gelişeceği ve güçleneceği düşünülmüştür. Bu nedenle demiryoluna önem verilmiştir. Buharlı lokomotif ile başlayan dönem 33 yıl sonra 1856 yılında ilk demiryolu inşasını başlatmıştır. Buhardan alınan güçle başlayan dönem manyetizmanın hızıyla devam etmiştir. 1850’li yıllarda 38.600 km alanla sınırlı olan demiryolu 1910’lu yıllarda 1.100.000 km’ye ulaşmıştır. Ülkemizde ilk demiryolu 1856 yılında İzmir-Aydın arasında yapımı 10 yıl sürmüş olan 130 km’lik alanda inşa edilmiştir. Ekonomik, kültürel ve sosyal açıdan bir milat olarak kabul edilmiştir. 1923-1950 yılları arasında demiryolları iyi bir dönem geçirmiştir. 3.764 km’lik bir demiryolu hattı yapılmıştır. İkinci dünya savaşı sonrası karayolları daha çok tercih edilir hale gelmiştir. 2000 yılları sonrasında demiryolu yapımı tekrar ele alınmıştır. 4.015 km demiryolunun yapımı hala devam etmektedir. Demiryolları gelişiminin ülke kalkınmasında büyük rol aldığı görülmüş ve çalışmalar tüm hızıyla devam ettirilmiştir. Yüksek hızlı tren projeleri geliştirilerek birçoğu kullanıma açılmıştır [5]. Türkiye’de 1856 yılında yapımı 10 yılda tamamlanan İzmir-Aydın arası 130 km uzunluğunda inşa edilen ilk demiryoludur. İstanbul, Ankara, Bursa gibi nüfusu yoğun şehirlerimizde 1989 yılında hafif raylı sistemler hayatımıza girmeye başlamıştır. İstanbul’da çalışmaya devam eden 3 büyük hat bulunmaktadır. Günümüzde hala çalışan 11,2 km uzunluğa sahip 20 istasyonu ve günde ortalama 140.000 yolcu taşıma kapasitesine sahip olan Eminönü-Zeytinburnu metro hattıdır. Ülkemizde en büyük proje ise Ankara-İstanbul arası hızlı tren projesi olmuştur. İkinci büyük proje ise Ankara-Konya arası yapılan hızlı tren projesidir.

Ülkemizde demiryolları; taşımacılığını işleten ve kontrol eden bir kuruma bağlıdır. İlk olarak Anadolu-Bağdat Demiryolları Müdüriyeti Umumiyesi adıyla kurulmuştur. Daha sonradan Devlet Demiryolları ve Limanları İdare-i Umumiyesi adını almıştır. 1953 yılında katma bütçeli bir devlet idaresi şeklinde yönetilen bir kuruluştur. 29 Temmuz 1953 yılında 6189 sayılı kanun ile “Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi-TCDD” adını almıştır. Dünyadaki gelişmelere göre demiryolu altyapı ve taşımacılık hizmetleri birbirinden ayrılarak serbestleşmiştir.

TCDD'nin yürüttüğü taşımacılık hizmetleri TCDD'ye bağlı ortaklıkla TCDD Taşımacılık Anonim Şirketi (A.Ş) tarafından yapılmaktadır. TCDD sadece altyapı işletmecisi olarak görev yapmaktadır [6].

2.3. Hızlı Tren İşletmeciliği

Kara yolları ve hava yolları yüksek standart ve yolcu kapasitesinin fazla olmasından dolayı daha çok tercih edilirken 1970'li yıllarda demiryoluna yapılan yatırımların artmasıyla beraber yeniden tercih edilir hale gelmiştir. Ülkemizde son 15 yıla kadar demiryollarında yeteri kadar gelişim ve iyileştirme yapılmamıştır. Gelişmiş ülkelerde mevcut demiryolu hatları daha hızlı ve konforlu hale getirilmiş emniyetli bir şekilde yolcu ve yük taşıma sistemleriyle potansiyelin birçoğu bu hatlara kaydırılmıştır. Hızlı trenler için uygun alt yapı yapmaya başlanmıştır. Alt yapı maliyetleri oldukça yüksek olan bu hatlar karayollarından daha güvenli ve hızlı, havayollarından ise daha uygun ve az enerji ile çalışacağından dolayı daha çok tercih edileceği düşünülmüştür. 2009 yılında bu uygulama tercih edilir hale gelmiş ve 250 km/sa hıza sahip Ankara-Eskişehir arası yüksek hızlı tren projesi ülkemizde de hareketlilikler başlatmıştır [6].

2.3.1. Türkiye'deki yüksek hızlı tren projeleri

Ankara merkez olarak kabul edilerek 15 ilimiz yüksek hızlı trenle birbirine bağlanmıştır. 1.196 km'lik yüksek hızlı tren hattının inşası yapılmıştır. Toplam uzunluğu 2.000 km olan hattın ise yapımı hala devam etmektedir. Planlanan ve yapımı devam eden yüksek hızlı tren projeleri büyükşehirleri birbirine bağlayacak ve ülkeye bölgesel bir gelişme sağlayacaktır. Ankara-İstanbul, Ankara-Eskişehir, Ankara-Konya, Eskişehir-Pendik, Konya-İstanbul, Konya-Eskişehir yapımı tamamlanan yüksek hızlı tren projeleridir. Ankara-İzmir, Ankara-Sivas, Bursa-Bilecik, Konya-Karaman, Halkalı-Kapıkule yapımı devam eden yüksek hızlı tren projelerindendir. Plan aşamasında olan hızlı tren projeleri de bulunmaktadır [6].

Ankara-Konya yüksek hızlı tren projesi

Hat uzunluğu 317.267 km'ye sahip olan bu hızlı tren projesi 2011 yılında Polatlı-Konya arasında hizmet vermeye başlamıştır. Maksimum 300 km/sa hıza kadar ulaşmaktadır. Ankara, Eryaman, Polatlı, Selçuklu, Konya garı olmak üzere 5 istasyonu bulunmaktadır.

Azami hızı 250 km/sa olan bu yüksek hızlı tren CAF tarafından üretilen 6 vagonlu HT 65.000 hızlı tren setleri ve azami hızı 300 km/sa yapabilen Siemens AG tarafından üretilen Siemens Velaro marka 8 vagonlu HT 80.000 hızlı tren setleri kullanılmıştır [7]. Seyahat süresi 10 saat 30 dakika iken 1 saat 45 dakikaya inmiştir. İstanbul-Konya arası ise 12 saat 25 dakikadan, 3 saat 30 dakikaya inecektir [8].

Ankara-İstanbul yüksek hızlı tren projesi

2003 yılında başlanan iki büyük şehri birbirine bağlayan bu proje ulaşımı kolaylaştırmış, seyahat sürelerini kısaltarak rahat ve konforlu bir yolculuk yapılmasını sağlamıştır. İki aşamada tamamlanmış ve 2014 yılında hizmet vermeye başlanmıştır. İlk olarak Ankara-Eskişehir arası yapım çalışmaları tamamlanmış 2009 yılında kullanıma açılmıştır. İkinci aşama ise Eskişehir-Pendik arası olarak planlanmıştır. 511 km mesafede ve 250 km/sa hıza sahip 2 hat olarak inşa edilmiştir. 14 adet istasyona sahiptir. İki büyük şehri birbirine bağlayan bu hızlı tren projesi Marmaray hattıyla da birleşerek Asya'dan Avrupa'ya kesintisiz ulaşım sağlayacaktır. Kültürel, ekonomik, sosyal açıdan etkileyecek ve Avrupa Birliği'nin üyelik aşamasında olan ülkemiz için olumlu sonuçlar doğuracaktır. Gebze'den Haydarpaşa'ya kadar olan 44 km'lik kısım ise metro hattına dönüştürülme planından dolayı yüksek hızlı tren projesine dahil edilmemiştir [9]. Taşıma kapasitesi %10 olan demiryolunun %78'lere çıkarılması amaçlanmıştır. Bu ulaşım, iş için taşınma, iş bölgesindeki nüfus yoğunluğunda artış, oluşan birçok barınma ve yapılaşma gibi sorunları da ortadan kaldırmış olacaktır. Karayolu ile 5-6 saat süren ulaşım süresi hızlı trenin devreye girmesiyle 3 saate inmiştir.

Ankara-Sivas yüksek hızlı tren projesi

Bu proje bir İpek yolu projesi olarak değerlendirilerek, Asya ülkelerini birbirine bağlaması hedeflenmiştir. 603 km'lik konvansiyonel hatta sahip olan Ankara-Sivas hattının seyahat süresi 12 saat sürmektedir. Yeni yapılan yüksek hızlı tren hattı ise 393 km çift hatta sahip elektrikli ve sinyalli olarak tasarlanmıştır. 250 km/sa hızla çalışması planlanmıştır. İmalatı devam etmektedir ve seyahat süresinin 2 saate inmesi planlanmıştır [10].

Bursa-Bilecik yüksek hızlı tren projesi

Gelişmiş sanayi şehri olan Bursa'nın diğer büyük şehirlerle de bağlantısı olmuş olacaktır. Ve sosyo-ekonomik açıdan büyük gelişim gösterecektir. Yapımı 2 etap olarak ele alınmıştır. Birincisi Bursa-Yenişehir arasındır.

Yapımı devam etmektedir. 2. etap ise Yenişehir-Bilecik arasındır ve proje hazırlama aşamasındadır. 250 km/sa hıza sahip çift hatlı ve elektrikli, sinyalli olarak planlanmıştır. Hem yolcu hem de yük taşımak için kullanılacaktır [11].

Ankara-İzmir yüksek hızlı tren projesi

824 km'lik konvansiyonel hatta sahip olan Ankara-İzmir arası demiryolu 14 saat ulaşım süresi ile çalışmaktadır. Turizm ve sanayi bakımından tercih edilen İzmir önemli limanlara sahip olması nedeniyle de seyahat süresinin azaltılması ve daha konforlu, güvenli bir ulaşım için yüksek hızlı tren projesi yapımına başlanmıştır. Yüksek hızlı trenle birlikte 14 saat süren ulaşım süresi 3 saat 30 dakikaya inmiş olacaktır [12].

Kayseri-Yerköy yüksek hızlı tren projesi

250 km/sa hıza sahip çift hatlı, elektrikli ve sinyalli olarak tasarlama aşamasında olan bu hızlı tren projesi 142 km'lik bir hatta sahip olacaktır. Ankara-Sivas arasında yapılan hızlı tren projesine bu hattın bağlantı yapılması planlanmıştır [13].

2.4. Demiryolunu Oluşturan Üstyapı Ekipmanları

Yapılan alt yapının üzerine konumlandırılarak trenin hareket etmesini, demiryolu araçlarının hareket etmesini sağlayan taşıtlardan alınan etkinin platforma aktarılmasını sağlayan yapılardır. Taşıt tekerleklerinin geometrisini bozmadan ve hareketini kısıtlamayacak şekilde sürtünmeyi en aza indirerek konforlu bir ulaşım sağlayan, taşıttan geleni platforma aktaran sistemlerdir. Ray kesitlerinin oluşan kuvvetleri karşılaması gerekmektedir. Travers ve raylar birbirine kuvvetten etkilenmeyen ekipmanlarla tutturulmalıdır. Üst yapıdaki bazı elemanların kendine ait esneklik özellikleri olmalıdır. Bu esneklik değerleri aşağıda belirtilmiştir.

Ray Gövdesi: 5.000-10.000 t/mm

Ahşap Travers: 50-80 t/mm

Beton Travers: 1.200-1.500 t/mm

Balast (gevşetilmiş): 10-30 t/mm

Platform ve balast üst yapının esneklik belirleyici parçalarıdır. Platform ve balast cinsine göre esneklik 1,50-10 t/mm arasında değişir. Sanat yapılarının esneklik değeri 12-15 t/mm olmasından dolayı bu noktalardan geçerken esneklik farkları ortaya çıkmaktadır.

Üst yapı ekipmanları ray, balast, travers ve bağlantı malzemeleri olarak gruplandırılmaktadır.

Raylar; sürtünme kuvvetini en aza indirerek demiryolu araçlarının yolu görevini görür ve demiryolu araçlarından aldığı bilgiyi traverse aktarır. Oluklu ray, çift mantarlı ray ve patenli ray olmak üzere 3 çeşittir. Oluklu raylar genellikle tramvay hatlarında kullanılırlar. Aynı zamanda karayolu ile kesişen yerlerde de bu raylar tercih edilir. Boden yataklarının çeşitli malzemeler ile dolması nedeniyle sürekli temizlenmesi ve bakımlarının yapılması gerekmektedir. Çift mantarlı raylar ise rayın sürtünmelerden dolayı aşınması nedeniyle rayların çok çabuk eskimesini engellemek ve rayın iki taraflı kullanılmasını sağlamak için üretilmiş raylardır. Fakat istenilen performansı vermediği için kullanımının imkansız olduğu anlaşılmıştır. Patenli raylar kolaylıkla traverslere monte edilmesinden dolayı tercih edilmiştir. Raylar mantar, gövde ve tabandan oluşmaktadır. Tekerlekle temasta olan mantarın yuvarlanma yüzeyinin bombeliği, yüksekliği ve yanak eğimi ile belirlenir. Bombelik yarıçapı 200-500 mm arasında, mantar yanaklarının eğimi ise 1/20 olmalıdır. Ray mantarının üst köşelerinin yarıçapı bandaj boğaz yarıçapı ile eşit olup $R=13$ mm olmalıdır. TCDD konvansiyonel hatlarda 49'luk ray kullanırken yüksek hızlı trenlerde ise 60'lık rayları kullanılmaktadır. Hafif raylı sistemlerde ise daha küçük ebatlı raylar kullanılmaktadır. Çizelge 2.1.'de tercih edilen raylar ve ebatları hakkında bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ray ebatları

Rayın Cinsi (kg/m)	Taban Genişliği (mm)	Yüksekliği (mm)	Mantar Genişliği (mm)	Gövde Kalınlığı (mm)
60.340	150	172	72	16,5
49.050	125	148	67	14
49.430	125	149	67	14
46.303	134	145	64	15
39.520	120	138	62	12

Balast demiryolu platformuna serilen taşıdığı yüke, traversin cinsine göre belli bir tabaka kalınlığı ebadınca döşenen 30-60 mm ebadında keskin köşeli sert ve sağlam taşlara balast denir. Balast için en iyi yapılar granit ve bazalttır.

Su birikmelerini engellemek, suyun rahatça akmasını sağlamak, demiryolu bağlantı yüklerini taşıması ve bulunan bölgenin toprak yapısından etkilenmemesi için kullanılır. Traverslerin görevleri ray ve tekerlek etkileşimi sırasında alt ekipmanları korumaktır. Gelen yükü rayı tutarak balast ve alt temele aktaran üstyapı elemanıdır. Eskiden traversler ahşap olarak kullanılmaya başlanmış ses yalıtımı, elektrik ve yüksek dinamik özelliklere sahip olduğu için tercih edilirlği daha çok olmuştur. Fakat sonrasında ahşap malzemesindeki azalmalar ortaya çıkmış ve çelik traversler üretilerek kullanılmaya başlanmıştır. Şimdilerde ise beton traversler tercih edilir hale gelmiştir [14].





3. SİNYALİZASYON SİSTEMİ

3.1. Geçmişten Günümüze Sinyalizasyon

Raylı sistemler diğer ulaşım türlerine göre daha konforlu, ekonomik ve çevresel bir ulaşım türü olmasından dolayı daha çok tercih ediliyordu. Raylı sistemlerin manevra kabiliyeti yoktur yani rayların götürdüğü yere gitmek zorundadır. Karayollarına göre sürtünme katsayısı çok düşüktür. Bu da raylı sistemlerin karayolu araçlarına göre daha fazla hız yapabilmesini sağlamaktadır. Aracın hızıyla doğru orantılı olan sürtünme kuvvetinin düşük olması az enerji tüketimini de sağlamaktadır. Raylı sistemler diğer ulaşım türlerine göre daha az enerjiyle çalışan bir yapıya sahiptir. Sürtünme katsayısının düşük olmasının olumsuz bir yönü de vardır. O da frenleme ivmesidir. Frenleme ivmesi karayollarına kıyasla 10 kat daha fazla mesafe anlamına gelmektedir. Bu mesafe yaklaşık 6-7 km'yi bulabilmektedir. Tren sürücülerinin sağlıklı bir görüş mesafeleri yoktur. Belirli uzaklıktaki mesafeleri göremedikleri için manevra şansları da yoktur. Ama bu durum raylı sistemleri güvenlik açısından yine de öne çıkarmaktadır. Bunun nedeni ise daha katı işletme prensiplerine sahip olmalarıdır. Gelişmiş ülkelerde tren çarpışmaları veya trenin raydan çıkması sonucu hayatını kaybedenlerin sayısı ortalama senede 5 kişidir. Hemzemin geçitlerde tren üstünlüğünü bilerek yine de raylı sistem hattını kullanarak hayatını kaybedenlerin sayısı senede 43 kişidir. Bu da otobüsle seyahat etmeye göre 3, araba ile seyahat etmeye göre 21 kat daha düşük olduğunu göstermektedir. Ülkemizde ise bu oranlar gelişmiş ülkelere nazaran 10 kat daha fazladır. Bu durum sinyalizasyon sistemlerinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Son yıllarda toplam hat uzunluğu artarken aynı zamanda kaza sonucu hayatını kaybedenlerin sayısı azalmaktadır. Buda sinyalizasyon sistemlerinin geliştirildiği anlamına gelmektedir. Sinyalizasyon sistemi trenlerin kaza yapmalarını engellemek amacıyla oluşturulan demiryolu trafiğini güvenli bir şekilde kontrol altına almamızı sağlayan kural ve sistemler bütünüdür. Demiryolları ilk zamanlarda güvenilir olarak düşünülüyordu. Demiryolu araçlarının az olması ve hızlı olmamasından dolayı çok fazla önlem almaya gerek duyulmamıştır. Yolun açık olduğu önünde hiçbir engel olmadığı varsayılmıştır.

Demiryollarının gelişimiyle artan sorunlardan sonra özel el işaretleri belirlenmiş ve bazı noktalara görevliler yerleştirilerek güvenlik önlemleri alınmaya başlanmıştır. Bayrak ve ışık yansıtıcı aynalarla makiniste geçiş izni verilerek kontrol sağlanmıştır.

İki farklı istasyondan çıkan trenlerin kontrolü için; iki istasyon arasına bir bayrak dikilir ve bu bayrağı ilk geçen tren devam eder diğer tren ise istasyona geri döner tren geçtikten sonra tekrar harekete geçerdi. Zamanla demiryolu araçlarının ve hızlarının artmasıyla alınan güvenlik yöntemleri yetersiz kalmaya ve problemler yaşanmaya başlanınca yeni ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. İstasyona yapılan giriş ve çıkışları kontrol altına almak için mekanik sistemler geliştirilmiştir.

1900'lü yıllarda mekanik sistemlerin gelişmesiyle bayrak, ışık, elektrikli telgraf ile başlayan süreç makara ve kasnaklar üzerinden geçirilen çelik tellerin semaforları uzaktan idare edebilmesi ve makasların kilitlenebilir hale gelmeleriyle emniyetli sistem oluşmaya başlanmıştır. Makasların hareketiyle trenin seyir ettiği yol belirlenir ve bu makas hareketinin algılanmasıyla semafor yola paralel ise yolun kapalı olduğunu, 45 derecelik açıyla duruyorsa yolun açık olduğu anlamına gelmektedir. İstasyona giriş semaforundan 500 metre öncesinde yuvarlak ortası sarı dış kısmı beyaz olan ileri ihbar işareti konur. İleri ihbar işareti ile semafor arasında en az 500 metre, iki semafor arasında ise en az 200-300 metre olması gerekmektedir. İleri ihbar işaretiyle ilk makas arasında en az 750 metre bulunmalıdır. Bu durum manevra güvenliğini arttırmaktadır [15]. Yarı elektrikselsel yarı mekanik sistemler ortaya çıkmış olup insanlara verilen trafik yönetimine gerek kalmamıştır. Semaforlar yerini daha sonrasında trenin hareket durumunun belirlenmesi için sinyallere bırakmıştır. Sinyalde dur işaretini gördükten sonra trenin hareketini engellemek amacıyla tren durdurucular geliştirilmiştir. Bu sayede demiryolu işletmeciliği artmış, daha az personelle daha güvenli ulaşım sağlanmış, trenlerin sefer sırasında birbirlerine yol alıp verme durumunda oluşan zaman kayıpları ortadan kalkmıştır. Tren trafiğinin merkezden kontrolü sağlanmıştır [16].

TMİ sistem tren trafiğinin merkezden telefonla idare edilmesini sağlayan sistemdir. Bu sistem tren trafiğini daha kolay idare edilmesi sağlamaktadır. Bu sistemle idare edilen hatların bilgisi TCDD'de bulunmaktadır. Telefonla veya telsizle tren trafiğini yöneten kişilere dispeçer denmektedir. Dispeçerler tren trafiğine yön vermektedir. İnsan hatasına açık bir yöntemdir. Dispeçerler hat doluluğu, tren hızları, karşılaşma durumları gibi birçok durumu yönetmektedir.

TMİ sisteminin kullanıldığı hatlar sinyalsiz olarak adlandırılır. Trenlerin düşük hızlarda seyrettiği hatlarda hala kullanılmaktadır. Telefon santrallerinin kurulmasıyla bu sistem ortaya çıkmıştır. İlk olarak Eskişehir-Afyon hattında kullanılmaya başlanmıştır.

Hat durumları telefon ile haberleşerek öğrenilmekte ve istasyonlara bilgi verilmektedir. Emniyetli ve hızlı trafik akışı sağlanmaktadır. Fakat tamamen insana dayalı bir sistem olduğu için yapılacak hata insan hayatına mal olmaktadır. Ancak trafik yoğunluğu arttıkça hata riski de arttığı için ikinci bir yöntem olan TSİ yöntemi ortaya çıkmıştır. Trenin sinyalizasyon sistemleri sayesinde hat boyunca güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlayan sistemlerdir. Değişik tiplerde birçok sinyalizasyon sistemi mevcuttur. Fakat hepsinin temel yapıları birbirine benzerdir.

Türkiye’de ilk sinyalizasyon uygulamaları Sirkeci-Halkalı arası banliyö hattında başlamış ve 1968 yılında Haydarpaşa-Ankara hattının sinyalize edilmesiyle devam etmiştir [17]. Merkezi kumandalı sinyal sistemi (CTC) ile kontrol edilen hatların uzunluğu 2007 yılında 3.022 km’dir. Ana hat uzunluğu 2.267 km, tali yol uzunluğu 329 km, istasyon yolları ise 426 km’dir. Toplam hatların %28’i CTC sistem ile kontrol edilmektedir [18]. CTC merkezinden trenin rota bilgisi, hız denetiminin yapılması, sinyallerin ayarlanması, ray doluluğu ve tren hareketliliğinin korunduğunu denetleyerek makiniste bilgi verilir. Bu bilgilere ulaşamıyorsa bu da sinyalizasyon sisteminde bir arızanın olduğunu ve kaza riskinin oluşabileceği anlamına gelir. Resim 3.1.’de CTC kontrol merkezi görülmektedir. CTC binasında içinde bulunan bu ekrandan trenlerin tüm hareketleri izlenebilmektedir.



Resim 3.1. Merkezi kontrol odası

3.2. Sinyalizasyon Sisteminin Temel Öğeleri

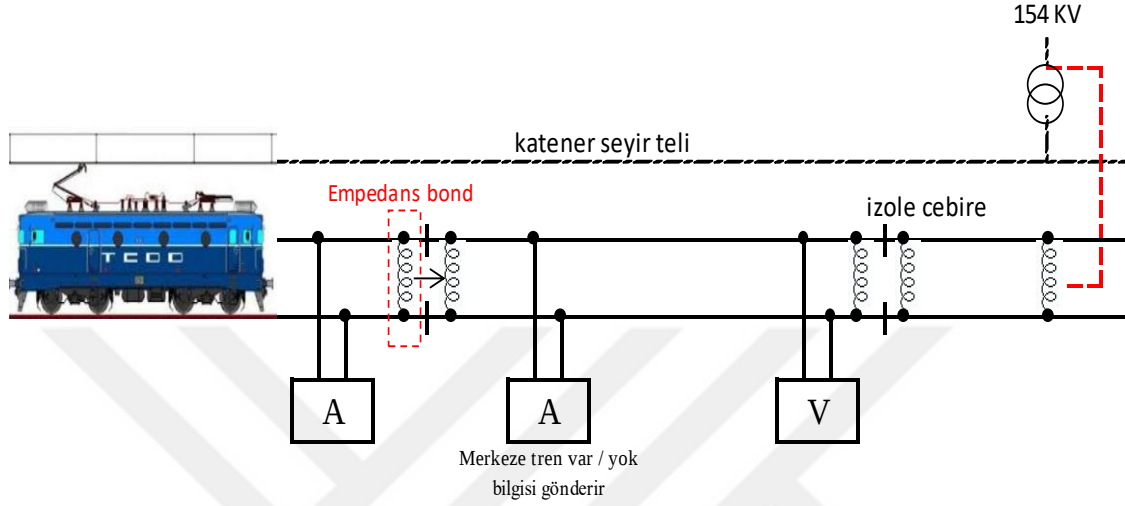
Demiryolları bloklara ayrılır. Ve bloklar arası kurulan antlaşman düzeneği sayesinde hat boyunca konumlandırılan ekipmanlarla merkezden kumandası mümkün olan sistemlerdir. Yönetim merkezi, saha elemanları ve antlaşman olmak üzere üç temel bileşeni vardır. Raylı sistemlerde trafik emniyeti sinyalizasyon sistemleri ile sağlanır. Sinyalizasyon sistemlerinin hatasız çalışması için enerji kaynağı güvenli ve kesintisiz çalışmalıdır. Ana enerji kaynağı şehir şebekesi, katener enerjisi, jeneratör gibi işletmenin bulunduğu yerin özelliğine göre alternatifli olarak seçilir. Birine bir şey olduğunda diğeri devreye girecek şekilde ayarlanır. Sinyalizasyon sisteminin dış etkenlerden olumsuz etkilenmemesi için genellikle DC kaynak tercih edilir. DC gerilim kaynakları hem şarj edilebilir akülerden oluşabilirken hem de kesintisiz güç kaynaklarından da oluşabilir. DC ray devresindeki redresör 220 V AC enerjiiyi istenilen gerilime dönüştürdükten sonra DC gerilime dönüştürülen akü bataryasını devamlı olarak şarj eder. Ray devresi hassasiyetini sağlamak için batarya ve röle tarafında ayarlı dirençler kullanılır. Batarya tarafındaki reaktör raylarda oluşabilecek katener dönüş akımı ve endüktif akımlara karşı filtre görevi görür. Devrede bulunan sigorta ve parafudrlar koruyucu elemanlardır. Ray devresi rölesi çift bobinlidir. Raylar tren tarafından kısa devre edildiğinde röle enerjisiz kalır ve düşük konuma geçerek pozisyon değiştirir. Röle direnci balast direncinden büyük olmamalıdır.

3.2.1. Ray devresi

Demiryolu trafiğini emniyetli bir şekilde sağlamak için trenlerin nerede olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Ray devresinin amacı da bu emniyeti sağlamaktır. Trenlerin hatlarda paralel bir şekilde ilerlemesini, makaslar bölgesinde hareket halinde ve durmakta olan trenleri tespit eder, yolun serbest kalmasını sağlar. Sinyalizasyon sisteminde ilk ray devresi 1869 yılında William Rabinson tarafından bulunmuştur.

İlk olarak açık ray devresi bulunmuş daha sonra kapalı ray devresi geliştirilmiştir. Yolun bir bölümündeki rayların iletken olarak kullanılmasıyla oluşturulan bir elektrik devresidir. Ray devresi tren hareketini izlememizi sağlamıştır. Rayların üzerinde bulunan gerilimi ölçer. Yeşil yanan bir sinyal lambasının ardından trenin bloğa girmesiyle ray devresini kısa devre yapar ve rölenin uçlarındaki gerilim sıfıra yaklaşır. Trenin raya girmesiyle hatta oluşan kısa devre direncine şönt direnci denir ve R_s ile gösterilir. Eğer bir gerilim değeri alınıyorsa tren o rayda değil demektir.

Kısa devre yapan trenin kısa devre direnci 0,06 ohm'dan büyük olmaması gerekmektedir. Kısa devre hassasiyeti şu şekilde hesaplanır. Denklem 3.1.'de ki gibi hesaplanmaktadır. Resim 3.2.'de ray devresi çizimi görülmektedir.



Resim 3.2. Prensip ray devresi çizimi

$$R_s = \frac{1}{(V_c - 1) \cdot Y} \quad (3.1)$$

V_c = Rölenin minimum çalışma voltajı

Y = İlgili ray devresinin admintansı

Trenin gideceği güzergahı, makas bölgelerindeki trenleri, hatlardaki paralel gidişleri, güzergahın emniyetli olmasını ve öndeki trenin durumuna göre arkadaki trenin güvenliğini sağlamaktadır. Ray devresi makas bölgesinden geçen treni algılar ve sinyal ışığının kırmızıya rengi dönmelerini sağlar. Trenin bu bölgeye girdiğini merkeze bildirir.

Ray devresi; bir ray devresi kablosu uzunluğu en fazla 6.500 m olabilmektedir. Bu nedenle ray devresi yerlerine karar verirken bu kurallara uygun tasarımlar yapılmaktadır. Ray devrelerinde iki tip frekans bulunmaktadır. Düşük frekans uzun ray devrelerinde, yüksek frekans kısa ray devrelerinde kullanılmaktadır. Bu şekilde elektriksel izolasyon sağlanır. Ray devresinde kullanılan redüksiyon faktörlü kablolar 0,3 mm tercih edilirler.

DC ray devresi

Yeşil yanan sinyal lambası trenin bloğa girmesiyle ray devresini kısa devre yapar ve gerilim sıfıra yaklaşır. Yol rölesi kontakları durum değiştirir. Ve sinyal kırmızıya döner. Rayların kısa devre olması için rayların milinin şöntleme direncinin iyi olması gerekir. Şöntleme direnci ve balast direncine göre ray devresi uzunluğu da değişir [19]. DC kaynak ile beslenir. Elektrifikasyonun olmadığı yerlerde kullanılır. Ucuz ve basit bir yapıya sahip olduğu için daha geniş alanlarda kullanılır. AC gerilimden etkilenmez. Genellikle istasyon içi ve makas bölgelerinde bulunur. Röle ve kaynak voltajı en önemli ekipmanlarıdır. Röle direnci minimum balast direncine eşit olmalıdır. Elektrifikasyon dönüş akımından etkilenmez çünkü filtreler elektrifikasyonun frekansını geçirmez.

Ray devrelerini birbirinden ayıran izole noktalarından trenin geçmesi sırasında oluşan kırılmalar, izole bozuklukları ve komşu ray devresi ile birleşebilmesi ve bu nedenden dolayı oluşan etkilenmelerden ray devresinin çalışması etkilenebilmektedir. Bu duruma polarite bozukluğu denir. Polarite bozukluğu; ray devresinin doğru çalışmaması, trenin rayda olup olmadığının görülmemesi ve yerinin tespit edilmemesidir. Buna tren kaybı da denilebilir. Önlemek için ray devreleri birbirine ters bağlanır.

AC ray devresi

AC kaynak ile beslenir. Ray devresi frekansı, katener geriliminde kullanılan 50 Hz frekanstan etkilenmeyecek şekilde seçilmiştir. Gerilim var ise tren yok, gerilim yok ise tren var ters mantığı taşımaktadır. İki komşu ray devresi arasında izole cebire konulmaktadır. İzole cebire katener dönüş akımının geçmesine izin vermez ise bu noktalarda empedans bond filtreler kullanılır. Bu filtre akımlardan etkilenmemesi ve cihazların korunması için kullanılır. Verici, alıcı ve empedans bond olmak üzere 3 temel elemandan oluşmaktadır. Verici çalışabilmesi için stabilize edilmiş DC bir gerilime ihtiyaç duyar. Bu gerilim sinyal verici tarafından üretilir. Taşıyıcı dalga sinyali ile modüle edilerek çıkış devresi tarafından hatta verilir. DC ve AC elektrifikasyon sistemlerinde çalışır. Vericiden gelen sinyal dalgası ray aracılığı ile alıcıya iletilir. Alıcının çalışabilmesi için DC bir besleme kaynağına ihtiyacı vardır. Vericiden sağlanan sinyal frekansı hassas ayar değişken resistörü tarafından ayarlanır. Uygun olanlar bant geçiren filtreye doğru iletilir.

Dingil sayıcı ray devresi

Bir bölgeye giren trenin tekerlek sayısını sayar ve o bölgeden çıkan tekerlek sayısına eşit olup olmadığını kontrol eder. Giren dingil sayısı, çıkan dingil sayısına eşit ise tren var kabul edilir. Bakımı kolaydır. Şehirlerarası döşenen ray devrelerinde tercih edilir. BursaRay hattında da kullanılmıştır [20].

Kodlu ray devresi

Verici tarafından üretilen AC ray devresi gerilimi aralıklı olarak raya verilir, diğer ucundan bir alıcı vasıtasıyla alınır. Frekansta bir değişiklik gözleniyorsa tren olduğu varsayılır. Kısa mesafe ve zamanda tren hareketini sağlayan bölgelerde kullanılması hem bakım maliyeti hem de konfor açısından avantajlıdır. Ankaray raylı sistem, Taksim-4 Levent İstanbul metrosu projeleri kodlu ray devresiyle çalışmaktadır [20].

İzole ray devresi

Birbirinden elektriksel olarak ayrılmış ray bölgelerine izole cebireler sayesinde uygulanan gerilimin kontrol edilmesi ile trenin varlığı anlaşılır. Bir taraftan besleme gerilimi verilir ve diğer taraftan gerilim elde edilir eğer izole edilmiş bölgeden geri dönüş gerilimi alınmıyor ise ray bölgesinde tren yoktur. Gerilim var ise tren yok, gerilim yok ise tren var anlamına gelir. Ters mantık ile çalışır. Gerilim alınmıyorsa trenin var olduğu düşünülür.

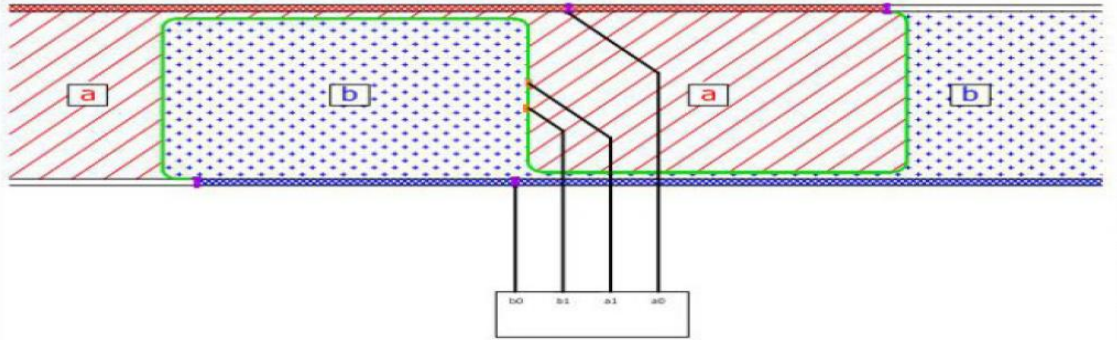
Demiryolunun izole kısmının bir ucunda akümülatör ve akım sınırlayıcı reosta diğer ucunda ise hat rölesi ve sinyale giden ikincil devre bulunur. İzole kısım üzerinde bir tren varsa, tekerlek ve dingil direnci, ray ve röle direncinden daha küçük olduğundan akım direncin küçük olduğu yolu seçecek ve devresini bu şekilde tamamlayacaktır. Şöntlenmiş röle enerjisiz kalacaktır. Akümülatör bataryasının deşarj olmaması için bataryaya akım sınırlayıcı seri bağlı reosta bağlanmaktadır. Rayların iki ucunu birbirine bağlamayı sağlayan 4 veya 6 delikten oluşan demir parçasına cebire denir. Delik sayısı ray başlarındaki delik sayısına göre değişiklik gösterir. Sinyal bölgelerinde veya ray devrelerinin ayrıldığı otomatik kumandalı hat kesimlerindeki hemzemin geçitlerde izole cebire kullanılır. Cebireler; ray ile direkt temas etmemesi için plastik malzeme ile izole edilir. İstanbul LRT hattı, İzmir metrosu ve TCDD şehirlerarası hatlarda kullanılan ray devresidir [21].

Resim 3.3.'de ise montajı görülmektedir.



Resim 3.3. S-Loop bond ray devresi montajı

S-Loop terminasyonu a ve b olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Şekil 3.2.'te görülmektedir. A bölgesi düşük frekans olarak (60), b bölgesi ise yüksek frekans (72) olarak düşünülmektedir. Mavi renk ile gösterilen raydan gelen kablo ayar ünitesinde H0 ve ortadan gelen mavi raya yakın olan kablo H1'e bağlantısı yapılır. Kırmızı raydan gelen kablo ayar ünitesinde L0 ve ortadan gelen kablo kırmızı raya yakın kablo da L1'e bağlanır.



Şekil 3.2. S-Loop bond bağlantısı

S-Loop iç terminasyonu

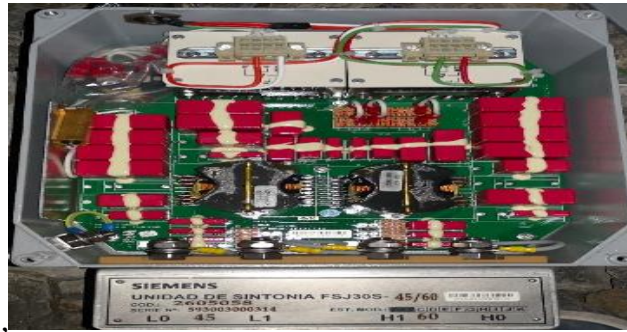
Terminasyon yaparken kablonun birinci ve ikinci damarları düşük frekansa, üçüncü ve dördüncü damarları yüksek frekansa bağlanmalıdır. Yüksek ve düşük frekans yerlerini belirlemek için kutunun ön yüzünde bulunan sayı değerlerine bakılmalıdır. Resim 3.4.'te de görüldüğü gibi kutunun sol tarafında yazan 45 düşük frekansı, sağ tarafında yazan 60 ise yüksek frekansı belirtmektedir.

S-Loop iç bağlantısı yapılırken dikkat edilmesi gereken unsur alıcı mı, verici mi olarak kullanıldığınıdır. Bu unsur proje üzerinden tespit edildikten sonra eğer alıcı ise terminasyon RX ve COM klemenslerine yapılır.

Verici ise terminasyon TX ve COM klemenslerine yapılır. Resim 3.4.'te görüldüğü üzere her iki tarafta verici olarak kullanılmıştır.

S-Loop ayar ünitesi montajı ve topraklaması

S-Loop ray devresi temel, support ve ayar ünitesi montajı yapılırken ayar ünitesinin ön yüzünün raydan uzaklığı 2 metre olacak şekilde ayarlanır. Ayar ünitesinin üst yüzeyinin rayın üst yüzeyiyle aynı olacak şekilde ayarlanmalıdır. Ayar ünitesinin ön yüzü daima kendi ray devresine bakacak şekilde montajı yapılır. Ayar ünitesi montajı yapıldıktan sonra topraklaması yapılmalıdır. Topraklaması için 50 mm² alüminyum kablo kullanılmaktadır. Ayar ünitesi ve temel arasında topraklama bağlantısı yapıldıktan sonra en yakın topraklama barasına veya katener direğine topraklama bağlantısı yapıp topraklama tamamlanır. Resim 3.5.'te ayar ünitesi montajı ve topraklaması görülmektedir.



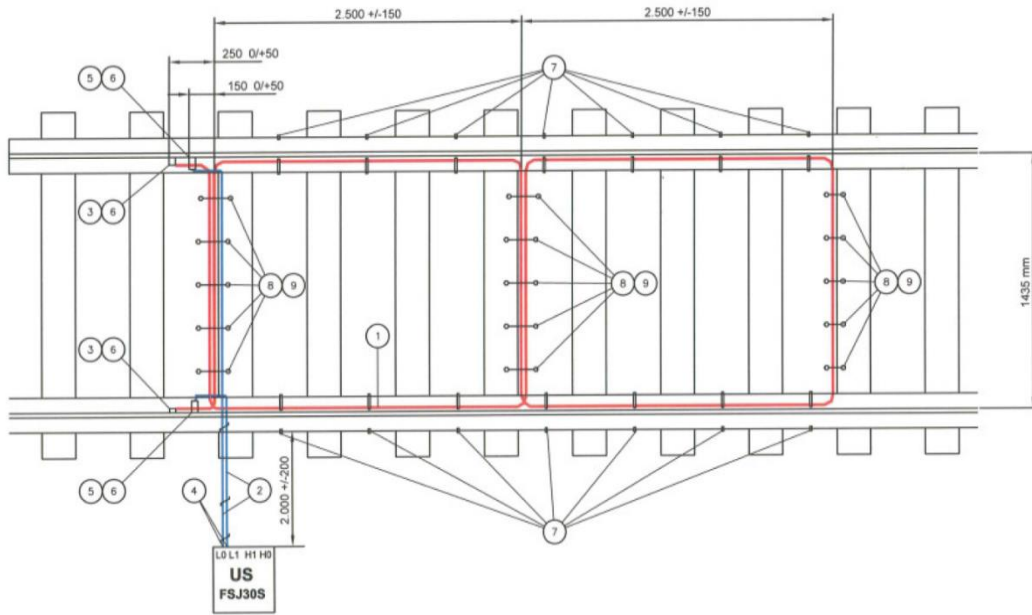
Resim 3.4. S-Loop iç terminasyonu



Resim 3.5. S-Loop ayar ünitesi montajı ve topraklaması

8-Loop bond ray devresi

Yüklenici tarafından yeri belirlendikten sonra işaretli yerden 2,5 metre (4 travers) ölçülerek traverse işaret konulur. Tekrar 2,5 metre ölçülerek bir işaret daha konulur. Kırmızı ile gösterilen şekilde 120 mm²'lik kabloyla işaretlenen traverslerden geçirilerek 8 şeklinde raya yerleştirilir. Başlangıç noktasından 25 cm daha dışarısında olacak şekilde montajı yapılmalıdır. Kablo yerleştirildikten sonra ray devresinin işaretli olduğu traversin kenarından 25 cm ölçülerek Şekil 3.3.'te 3 ve 6 numara ile gösterilen şekilde 19 mm² ray delme ucuyla delinir ve cembre takılır. Sonra 120 mm²'lik kablonun uçlarına 120 mm'lik papuç takılarak bu noktalarda bağlantısı yapılır. Bond bağlantısı yapıldıktan sonra her travers arasında bağlantı aparatıyla raya sabitlenir. 50 mm²'lik mavi renk ile gösterilen kablo ray devresinin işaretli olduğu traversin 10 cm dışından işaretlenerek bu noktalar 19 mm² ray delme ucuyla delinerek cembre takılır. 120 mm²'lik kabloyla 50 mm² arasında 10 cm kalması gerekmektedir. Traverslerin kenarından geçen kablolar traverslerin 4-5 noktasından sabitlenir.



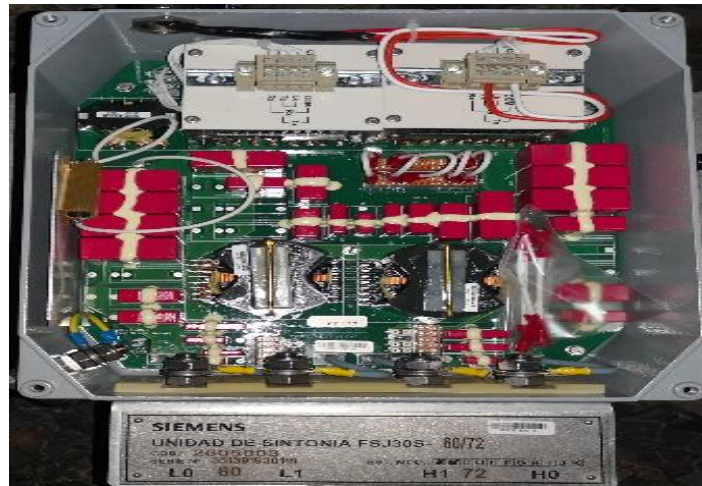
Şekil 3.3. 8-Loop bond ray devresi

8-Loop bond bağlantısı

8-Loop ray devresinin bond kablolarının ayar ünitesine bağlantısı yapılırken ray devresinin yüksek frekans mı yoksa düşük frekans olarak mı kullanılacağı projeden kontrol edilmelidir. Ray devresi eğer yüksek frekans için kullanılacaksa ekipman üzerinden H0 ve H1 noktalarına kablonun montajı yapılır. Düşük frekans için kullanılacak ise kablolar L0 ve L1 noktalarına bağlanır. Resim 3.6.'daki ray devresi yüksek frekans olarak kullanıldığı için 50 mm²'lik kablo ekipman üzerinde H0 ve H1 bağlantılarına bağlanmıştır. Ekipmana uzak raydan gelen kablonun H0, yakın raydan gelen kablonun H1 bağlantılarına bağlanması gerekmektedir.

8-Loop iç terminasyonu

8-Loop ray devresi sadece verici olarak kullanılmaktadır ve tek bir frekans tipi vardır. Ya düşük ya da yüksek frekans olarak bağlantısı yapılır. Terminasyon yaparken kablonun sadece birinci ve ikinci damarı kullanılmalıdır. Kutu içerisinden düşük ve yüksek frekans tarafını belirlemek için kutunun ön yüzünde bulunan sayı değerlerine bakılmalıdır. Resim 3.6.'da da görüldüğü gibi sol taraf düşük frekans (60), sağ taraf yüksek frekans (72) için kullanılmaktadır. 8-Loop sadece verici olarak kullanıldığı için TX ve COM klemenslerine bağlantı yapılır. Düşük frekans yada yüksek frekans olarak kullanılmak istendiği projeden belirlenmektedir ve buna göre terminasyon yapılmalıdır.

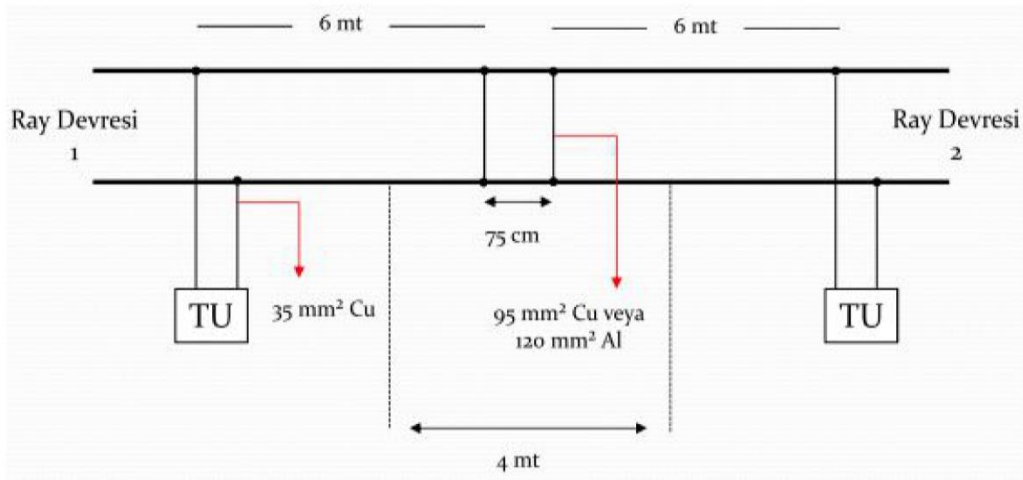


Resim 3.6. 8-Loop iç terminasyonu

Kısa devre(N-Tipi) bond ray devresi

N tipi ray devresi montajı yapılırken yüklenici firma tarafından ayar ünitesinin yerleri işaretlenir. İşaretlenen yere ayar ünitesi montajı yapılır. Ayar ünitesi işaretli traversin 10 cm önüne ve yüksekliği rayın üst seviyesiyle aynı olacak şekilde montajlanmalıdır. Ayar ünitesinin montajı yapıldıktan sonra ray devresinin yazılı olduğu traversten ray devresinin iç tarafına doğru iki raydan 15 cm ölçülerek raylar işaretlenir ve işaretlenen yerler 19 mm² ray delme ucuyla delinerek cembre montajı yapılır. 50 mm²'lik alüminyum kablunun uçlarına pabuç takılarak delinen yerlerden kabloların bağlantısı yapılır. 50 mm² kabloların ayar ünitesine bağlantısı yapılırken uzak raydan gelen kablo; ekipman üzerinde A noktasına, yakın raydan gelen kablo ekipman üzerinde B noktasına bağlantısı yapılır.

Ray devresinin işaretli olduğu traversten 6 metre (10 travers) ölçülerek travers işaretlenir. İşaretlenen traversten ayar ünitesine doğru 15 cm ölçülür ve raylar işaretlenir. İşaretlenen raylar 19 mm² ray delme ucuyla delinerek cembre montajı yapılır. 120 mm² alüminyum kablo ile kısa devre bondunun montajı yapılır. Traverslerin kenarlarından geçen kablolar, traverslere 4-5 noktadan sabitlenir. N-Tipi ray devresi genellikle ikili olur. 75 cm sonrasında aynı işlemler simetrik olarak tekrarlanır. Şekil 3.4.'te kısa devre ray devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Kısa devre bond ray devresi

Resim 3.7.’de kısa devre ray devresi montaj işlemleri görülmektedir.



Resim 3.7. Kısa devre ray devresi montajı

N-Tipi ray devresi iç terminasyonu

N-Tipi ray devresi terminasyonu yapılırken kablonun birinci damarı kutu içindeki 1 nolu klemense, ikinci damar ise 2 nolu klemense bağlanır. Kablonun diğer uçları ise yedek olarak kullanılmak için kutu içine rulo yapılarak bırakılır. Resim 3.8.’de bir N-Tipi ray devresinin iç terminasyonu görülmektedir.

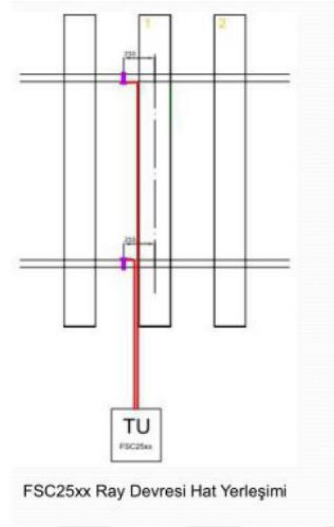


Resim 3.8. N-Tipi ray devresi iç terminasyonu

A-Tipi bond montajı

A-Tipi ray devresi montajı yapılırken işaretli traversin kenarından, raylardan 15 cm ölçülerek iki ray 19 mm² ray delme ucuyla delinerek ve cembre montajı yapılır. 50 mm²’lik alüminyum kablonun uçlarına papuç sıkılarak delinen noktalardan bağlantısı yapılır. 50 mm²’lik alüminyum kablo 4-5 noktadan traverslere sabitlenir. Montajı yapılan ayar ünitesine 50 mm²’lik alüminyum kablonun bağlantısı yapılırken uzak raydan gelen kablo 1 numaralı bağlantı noktasına, yakın raydan gelen kablo 2 numaralı bağlantı noktasına bağlanmalıdır. Resim 3.9.’da A-Tipi ray devresi montajı görülmektedir.

Şekil 3.5.'te A-tipi bond ray devresi görülmektedir.



Şekil 3.5. A-Tipi bond ray devresi



Resim 3.9. A-Tipi ray devresi bağlantısı

A-Tipi ray devresi iç terminasyonu

A-Tipi ray devresi terminasyonu yapılırken kablonun birinci ve ikinci damarları kullanılır. Birinci damar bir nolu klemense, ikinci damar iki numaralı klemense bağlanır. Kullanılmayan damarlar yedek olarak kutunun içine rulo yapılarak bırakılır.

Resim 3.10.'da A-Tipi ray devresinin iç terminasyonu görülmektedir.



Resim 3.10. A-Tipi ray devresi iç terminasyonu

Dingil sayar

Dingil sayar magnet montajı yapılırken Resim 3.11.'de görüldüğü gibi raylara alttan sabitlenerek montajı yapılır. Montaj yapılırken magnetin, ray mantarının üst hizasından 42 mm aşağısında olması gerekmektedir. Dingil sayar gak montajı yapılırken eğer temelsiz montaj yapılırsa magnet hizasında rayların arasına ortalananarak balasta derin bir şekilde gömülerek montajı yapılır.

Eğer gak temeli varsa temelin üst hizası traversin üst hizası ile aynı yükseklikte olacak şekilde temel montajı yapılır. Gak terminasyonu yapılırken magnetten gelen kablolar sırasıyla sarı, kahverengi, yeşil, beyaz olarak yapılmalıdır. Teknik binadan gelen kabloda kablo sıralamasına göre girilmelidir.



Resim 3.11. Dingil sayar montajı

3.2.3. Sinyaller

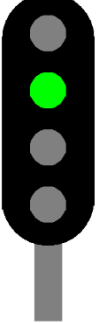
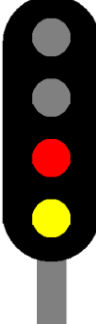
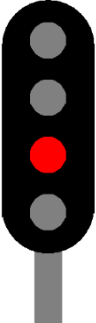
Trenin hareketine karar vermesini sağlayan makiniste yol gösteren sistemlerdir. Renkli ışık bildirimlerinden oluşur. Sinyaller genellikle risk taşıyan bölgelere (yol başları, istasyon ve makas vb.) konumlandırılmıştır. Demiryolu araçlarının fren mesafesi karayolu araçları gibi olmadığından alınan veriler doğrultusunda hareket etmektedir. Sinyallerden gelen veriler sayesinde makinistler trene yol vermektedir. Kırmızı ışık trene dur anlamı verirken yeşil ışık yolun serbest olduğu ve hareketine devam etmesi için bir engel olmadığını ifade etmektedir. Sinyalizasyon sisteminde farklı görev ve yapılar da sinyaller bulunmaktadır. Hatların sinyallenmesi için kesimlere ayrılması gerekmektedir. Kesimler bir veya daha fazla ray devresinden oluşmaktadır. Kesimler kendi uzunluklarıyla tanımlı olup, içinde bulunan yol elemanlarını korur. 3000 m uzunluğunda istasyonlar arasında bulunan blok kesimi blok sinyaller tarafından korunur. 2800-3000 m uzunlukta olan giriş kesimi kumandalı sinyaller ve istasyon çıkış sinyaller tarafından korunur. 500 m uzunluğa sahip sapmalı hat kesimleri s makasları ve sapmalı geçişleri içerir. Giriş ve çıkış sinyalleri tarafından korunmaktadır. İstasyon yolları giriş sinyalleri tarafından korunmaktadır. 250 m ray devreleri ise giriş ve çıkış sinyalleri tarafından korunmaktadır.

Görünüşlerine göre sinyal tipleri

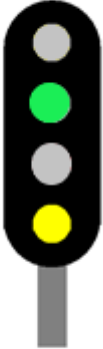
İki cüce renkli sinyal, üç cüce renkli sinyal, üç yüksek renkli sinyal ve dört yüksek renkli sinyal olmak üzere değişik tipte sinyaller vardır. Cüce sinyaller genellikle yerleşim yerlerinin dışına konumlandırılan kısa boylu sinyallerdir. Yüksek sinyaller ise yerleşim yerlerine, ana yol ve köprülere yakın yerlere konumlandırılan boyları 3-4 metre arasında olan yüksek sinyallerdir [21].

Çizelge 3.1.'de yüksek sinyaller ve görünüşleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Yüksek sinyallerin görünümü ve anlamı

<u>SİNYAL GÖSTERİMİ</u>	<u>GÖRÜNÜM</u>	<u>ANLAM</u>
	YEŞİL	Yeşil renk bildiri veren yüksek sinyaller; tren blok değiştirmeden anayolunda hareket ederse önünde bulunan iki bloğunda serbest olduğu anlamına ve bir sonraki sinyalin yeşil veya sarı renk olabileceği trenin normal hızında ilerlemesi gerektiği anlamına gelmektedir. V _{maks.} = 250 km/s V _{maks.} = 30 km/s. (1/9 R 300 makas)
	SARI	Sarı renk bildiri veren yüksek sinyaller; tren hareket ettiği bloğu değiştirmeden anayoldan hareket etmesi halinde anayolun bir blok serbest olduğu bir sonraki sinyalin kırmızı, sarı, sarı üzeri yeşil, sarı üzeri sarı ve sarı üzeri kırmızı yanması ve bu sinyaller yandığında duracak şekilde hareket etmesi beklenir.
	SARI ÜZERİ KIRMIZI	Sarı üzeri kırmızı bildiri veren yüksek sinyal; trenin yavaş hızla bloklarda sapma yapması serbesttir.
	KIRMIZI	Kırmızı bildiri veren yüksek sinyal, trenin bloğa girmesi yasaktır. Dur anlamına gelmektedir. Resim 3.12. Kırmızı bildiri veren 4'lü yüksek sinyaller görülmektedir.

Çizelge 3.1. Yüksek sinyallerin görünümü ve anlamı (devam)

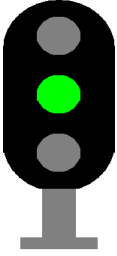
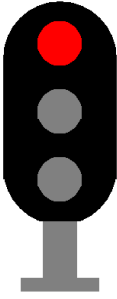
<u>SİNYAL</u> <u>GÖSTERİMİ</u>	<u>GÖRÜNÜM</u>	<u>ANLAM</u>
	SARI ÜZERİ YEŞİL	Sarı üzeri yeşil bildiri veren yüksek sinyallerde; tren bulunduğu bloktan sapma yaparak ana yol ve barınma yollarına izin verilen hızda hareket ederek devam edebilir. Önündeki iki blok serbesttir bir sonraki sinyal yeşil, sarı, sarı üzeri yeşil veya sarı üzeri sarı olabilir.
	SARI ÜZERİ SARI	Sarı üzeri sarı bildiri veren yüksek sinyaller; tren hareket ettiği bloktan ana yol ve barınma yoluna sapma yapabilir. İzin verilen ve bir sonraki sinyalde duracak şekilde hareket etmelidir. Bir sonraki sinyalde kırmızı veya sarı üzeri kırmızı sinyal bulunabilir.



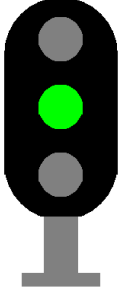
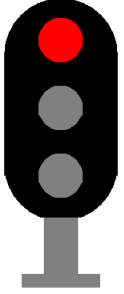
Resim 3.12. Kırmızı bildiri veren 4'lü yüksek sinyaller

Hata! Yer işareti başvurusu geçersiz..’de cüce sinyallerin görünüm ve anlamları görülmektedir.

Çizelge 3.2. Cüce sinyaller görünümü ve anlamı

<u>SİNYAL</u> <u>GÖSTERİMİ</u>	<u>GÖRÜNÜM</u>	<u>ANLAM</u>
	YEŞİL	Yeşil bildiri veren cüce sinyal; trenin hareket ettiği bloktan ana yola sapma yapması serbesttir. Tren işgal edilen bölümü geçene kadar izin verilen hızda sonra normal hızda hareket etmelidir. Resim 3.13.’de yeşil bildiri veren cüce sinyal görülmektedir. $V_{maks.} = 50 \text{ km/s. (1/12 R 500 makas)}$ $V_{maks.} = 30 \text{ km/s. (1/9 R 300 makas)}$
	SARI	Sarı bildiri veren cüce sinyal; hareket ettiği bloktan ana yola sapma yapması serbesttir. Bir sonraki sinyal işareti kırmızı veya sarı olabilir. Bu da bir sonraki blokta duracak şekilde hareket etmesi gerektiği anlamına gelir.
	SARI ÜZERİ KIRMIZI	Sarı üzeri kırmızı bildiri veren cüce sinyal; tesisata bağlı ve tesisata bağlı olmayan yollara geçiş serbesttir. Trenin yavaş hızda hareket etmesi gerekmektedir.
	KIRMIZI	Kırmızı bildiri veren cüce sinyal; Bloğa girilmesi yasaktır. Trenin durması gerekmektedir.

Çizelge 3.2. Cüce sinyaller görünümü ve anlamı (devam)

	YANAR SÖNER YEŞİL	Yanar söner yeşil bildiri veren cüce sinyal; tesisata bağlı olmayan yolu kullanarak ana yola geçişin serbest olduğu anlamına gelmektedir. Bir sonraki sinyal yeşil veya sarı olabilir. İşgal edilen bölgeyi geçene kadar yavaş sonrasında normal hızda hareket edebilir.
	YANAR SÖNER SARI	Yanar söner sarı bildiri veren cüce sinyal; tesisata bağlı olmayan yolu kullanarak ana yola geçişin serbest olduğu anlamına gelmektedir. Bir sonraki sinyal kırmızı veya sarı olabilir. Bir sonraki sinyalde duracak şekilde yavaş hızla ilerlemesi anlamına gelmektedir.
	YANAR SÖNER KIRMIZI	Yanar söner kırmızı bildiri veren cüce sinyal; yavaş hızda ilerleyerek tesisata bağlı olmayan yol üzerinden toplu makas bölgesinde tekrar tesisata bağlı olmayan yol geçiş serbesttir.



Resim 3.13. Yeşil bildiri veren 3'lü cüce sinyal

Resim 3.14.'de kırmızı bildiri veren cüce sinyal görülmektedir.



Resim 3.14. Kırmızı bildiri veren 3'lü cüce sinyal

Fonksiyonlarına göre sinyal tipleri

Giriş sinyali, çıkış sinyali, blok sinyal, yaklaşma sinyali, koruma sinyali, fiber optik sinyal, tekrarlama sinyali gibi birçok sinyal tipi mevcuttur.

Giriş sinyali

Genellikle istasyon girişlerine konumlandırılan 4'lü yüksek sinyalden oluşmaktadır. Aşağıdan yukarı doğru sarı, kırmızı, yeşil ve sarı renkten oluşmaktadır.

Çıkış sinyali

Makas bölgeleri ve istasyon çıkışlarına yerleştirilen sinyallerdir. Çıkış sinyalleri birer yüksek sinyaldir. Sinyalden sonra düz bir yol varsa üç lambalı sinyal konulur.

Eğer sapmalı bir yol var ise dört lambalı sinyal konulur. Tali yol çıkışlarında ise iki veya üç lambalı cüce sinyaller konumlandırılır.

Blok sinyali

Komşu iki istasyon arasında trenlerin karşılıklı hareketi esnasında hattın kontrollü geçişi için konumlandırılır. Trenin hareketine ve bir sonraki sinyalin rengine göre çalışmaktadır. Trenin hareket güzergahının en az iki blok ilerisi boş ise sinyal yeşil yanar. Eğer birinci blokta tren var ise birinci blok sinyal kırmızı yanar. Birinci blok boş fakat ikinci blokta tren var ise birinci blok sinyal sarı, ikinci blok kırmızı sinyal verir. Öndeki tren üç blok sonra ise birinci blok yeşil, ikinci blok sarı, üçüncü blok ise kırmızı yanar.

Sinyallerin uzaklıkları trenlerin mesafesi ve tren trafiğinin durumuna göre konumlandırılır. Yerleşim yerlerine yakın olan bölgelerde 1,5-2 km, yerleşim yerlerine uzak olan bölgelerde 2-5 km mesafede konumlandırılır [21]. Resim 3.15.'te blok sinyaller görülmektedir.



Resim 3.15. Blok sinyaller

Yaklaşma sinyali

İstasyonun giriş sinyalinin yaklaşık 1.000 m önüne konumlandırılır. Cüce sinyaller 600 m uzaktan görülebilecek şekilde konumlandırılmıştır.

Tekrarlama sinyali

Sinyalin rengini sürücüye önceden bildirmek için konulur. Belirli uzaklıklardan görünmeyen sinyallerin 400 m önüne konumlandırılır. Yeşil ve beyaz renkten oluşur. Yeşil ise bir sonraki sinyalin yeşil veya sarı olduğu anlamına gelir. Eğer beyaz ise bir sonraki sinyal kırmızıdır.

Fiber optik sinyaller

Bir sinyal üzerine konumlandırılır ve o sinyalin adını alır. Başka bir şekilde isimlendirilmez. O sinyalden geçen trenin hızını ve varsa sapma yönünü belirtir. Bir sonraki sinyale ne kadar hızla ilerlemesi gerektiği ve sinyalden sonra makas var ise o makasın yönünü de gösterir.

Sinyalizasyon sisteminde kullanılan bazı terimler aşağıda belirtilmiştir.

a) Fren yapma uzaklığı (D)

Demiryolu aracının maksimum hızındayken durabileceği noktaya kadar olan uzaklığıdır. Fren uzaklığı 800 – 1.000 metre arasındadır. Bu mesafe trenin hızıyla doğru orantılıdır. Fren mesafesini hesaplayabilmek için trenin ivmesini bilmemiz gerekmektedir.

Bir sinyalizasyon sisteminin belirlenmesinde trenin yapacağı maksimum hızı ve frenleme mesafesini bilmemiz gerekmektedir.

$$d = \frac{v^2 - v_0^2}{2a_{service}} + vt_{reaction} \quad (3.2)$$

(v) hızına, ($a_{service}$) servis freni ivmesine, ($t_{reaction} = 2sec$) frenlemeye başlama gecikmesi, (v_0) son hıza sahip trenin (d) frenleme mesafesini bulmak için denklem 3.2'yi kullanabiliriz.

Yüksek hızlı trenlerde ivme azalması, (v) hızına ve eğime bağlıdır.

$$\text{Eğer } v < 230km/h \text{ ise, } a_{service} = 0,6 m/s^2 \quad (3.3)$$

$$\text{Eğer } v > 230 km/h \text{ ise, } a_{service} = 0,35 m/s^2 \quad (3.4)$$

Hızı 230 km/h üzerindeki trenlerin toplam frenleme mesafesi için iki frenleme mesafesinin hesaplanıp toplanması gerekir. Çizelge 3.3.'de trenlerin hızlarına göre frenleme mesafeleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Servis frenleme mesafesi(m)

Son Hız $v_0(km/h)$	Başlangıç Hızı $v (km/h)$			
	250	160	110	65
160	2952,0			
110	3820,1	956,9		
65	4326,4	1463,3	567,5	
STOP	4598,1	1735,0	839,1	307,8

Acil durum fren mesafesi de önemli bir noktadır. Acil durum fren ivme azalmasıyla hesaplanır. Yüksek hızlı trenler için ($a_{acil} = 1 \text{ m/s}^2$)'dir. Çizelge 3.4.'de acil durum frenleme mesafeleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Acil durum frenleme mesafesi (m)

$v_0(\text{km/h})$	250	160	110	65
Acil durum freni (m)	2550,2	1076,5	527,9	199,1

Aynı hatta kullanan fakat farklı hızlara sahip trenlerin fren mesafelerinin de farklılık göstermesi gerekmektedir. Bir yüksek hızlı tren ve azami hızı 110 km/sa olan bir trenin aynı hattı kullanması sırasında fren mesafesinden uzun bir mesafe bırakılmasını sağlayacak blok kesiminin uzunluğuna karar verilmesi gerekir. Bu sorunu çözebilmek için çoklu blok frenleme sistemi geliştirilmiştir. Trenlerin frenlemesi için iki blok kesimi kullanılacaktır. Acil bir durum esnasında yüksek hızlı trenlerin bir blok içinde durabileceği Çizelge 3.4'de ilk sütununda görülmektedir. Yanar söner yeşil ışık sinyalinden 2 blok sonra tren durma noktasına gelmektedir.

b) Görüş noktası (GN)

Kırmızı ışıkta durmak için frene bastığı noktadır. 4'lü sinyallerde sarı üstü sarı, 2'li veya 3'lü sinyallerde ise sarı ışık yanması görüş noktasını ikaz etmek için kullanılır. Hızlı trenlerde bu nokta fren yapma uzaklığının %30 fazlası olarak alınır.

c) Görüş mesafesi (G)

Görüş noktasından en yakın sinyale olan uzaklığıdır.

d) Emniyetli bölge

Bir trenin fren yaptığı gibi durması mümkün değildir. Seyir halindeyken istasyon giriş ve çıkışına konulan sinyallerden önce çeşitli nedenlerle trenin durması mümkün olmayabilir. Fren yaptıktan sonra durabileceği alana kadar belli bir mesafesi olması gerekmektedir. Bu alana emniyetli bölge denilmektedir. Eğer tren dur işaretinden sonra durmaz ise acil durum frenleri devreye girer ve belirli bir mesafe sonra tren durdurulur.

e) Overlap (O)

Bir kırmızı sinyalin arkasındaki sinyal ile arasındaki mesafedir. Bir durma sinyalinin ardından güvenli bir şekilde durulması için gerekli olan mesafedir. Bu mesafe TCDD’de konvansiyonel hatlarda 2-3 m’dir. Başka ülkelerde bu mesafe değişmektedir. İngiltere’de 183 metredir. Bu mesafe kötü hava şartlarında görüş mesafesinin azalması nedeniyle ani fren yaptığında durabileceği fren mesafesini göstermektedir [22].

f) Trenin uzunluğu (L)

Trenin uzunluğudur. Yük trenleri yolcu trenlerine göre daha uzun yapılmıştır.

g) İlerleme uzaklığı (X)

Aynı hat üzerinde ilerleyen iki tren arasındaki minimum uzaklıktır.

h) İlerleme zamanı (T)

İlerleme uzaklığını alabileceği zamandır.

i) Limit mesafesi (LM)

Ana hat ve dıştaki hattı kullanan iki trenin birbirlerine temas etmeden hareket etmelerini sağlayan mesafedir.

Sinyal ekipman montajı

Sinyallerin konulacağı yer yüklenici firma tarafından projeye göre belirlenerek işaretlenir. İşaretli olan yere yoldaki eğim bilgisine göre raylara olan mesafeler ayarlanarak temel montajı yapılır. Eğer yolda eğim yok ise iki yol ortalanarak konulmalıdır. Temelin merkezi rayın dışından minimum uzaklığı 145 cm olmalıdır. Eğer iki ray arasındaki bu mesafe korunmuyorsa sinyal konsol tipinde çevrilerek montajı yapılmalıdır. Sinyalin temel montajı yapılırken temelin üst hizası rayın üst hizasıyla aynı olacak şekilde yerleştirilmelidir. Daha sonra sinyal direğinin montajı yapılmalıdır. Direk montajı yapıldıktan sonra ekipman ve merdiven montajı yapılarak sinyal lambası montajı ile montaj tamamlanır. Sinyal terminasyonu sinyal lambasının içerisinde bulunan klemenslerle yapılır. Eğer sinyal 3’lü sinyal ise kablonun 1 ila 6’ncı damarları klemensle bağlanır. 7. klemens ise kablonun topraklamasına bağlanmalıdır. Sinyal 4’lü sinyal ise 1 ila 8’inci damarları klemense sırasıyla bağlanır ve 9. klemense ise kablonun topraklaması bağlanır.

Sinyal topraklaması için sinyal temel civatasına bir topraklama barası montajı yapılır. Sinyal merdiveninden 50 mm²'lik alüminyum kablo ile sinyal barasına bağlanır. Baradan en yakın katener direğine ve topraklamanın bulunduğu baraya 50 mm²'lik bakır kablo ile bağlantısı yapılır. Hem sinyal merdiveni hem de sinyal topraklanması yapılmış olur. Resim 3.16.'da üçlü yüksek sinyal montajı görülmektedir.



Resim 3.16. Üçlü yüksek sinyal montajı

3.2.4. Sinyal geri düşme bildirimleri

Sinyallerdeki herhangi bir lamba arıza yaparsa, antlaşman bunu fark eder ve otomatik olarak bu sinyal için geri düşme bildirimi komutunu verir. Geri düşme bildirimi, her zaman daha kısıtlayıcı olacaktır. İlk satır bir sinyal bildirimini (SB) kumanda edilen ve mümkün olan görünümü gösterir. İlk sütun; geçmesi mümkün olan sinyal lambasını gösterir. Tablonun her bir hücresi, her bir bildirim (SB) için bir lambanın geçmesi durumunda antlaşman tarafından kumanda edilen geri düşümü gösterir. Çizelge 3.5.'te görülen sinyal geri düşüm bildirimlerinde ilk satır bir sinyal için antlaşman tarafından komut verilen başlangıç bildirimini, ilk sütun geçilebilecek arızalanabilecek sinyal lambalarını gösterir.

Çizelge 3.5. Sinyal geri düşüm bildirimi

Arızalanan lamba	Başlangıç Bildirimi						

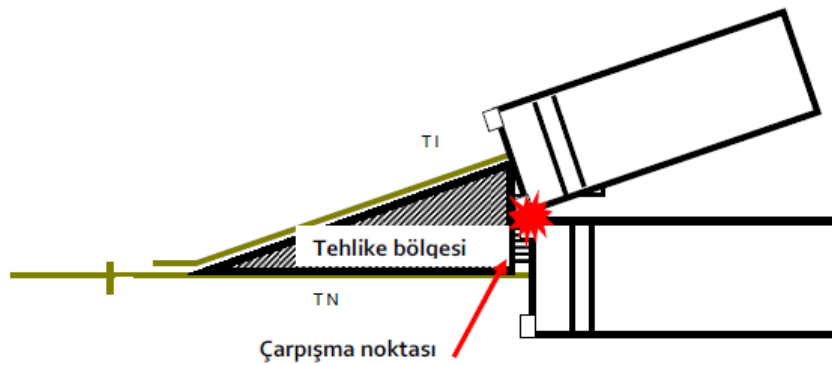
Tren geçişinde güzergah çözümü engellenmesi; eğer bir tanzimli bir güzergahta seyir yolu üzerindeki meşguliyet durumu tolerans süresi içinde, seyir yönü üzerindeki bir sonraki kesim meşgul hale geçmeksizin serbest hale gelirse, bu durum içinde “meşguliyet sıralama hatası” olarak kaydedilir.

Bir meşguliyet sıralama hatası bir güzergah içinde kaydedildiğinde, bu güzergah sadece “zorunlu güzergah iptali” komutu ile serbest bırakılabilir. Sıralı meşguliyet ile güzergahın serbest kalması artık mümkün değildir.

Makas motoru koruma; bir makas tanzim edilirken, dil ve yaslanma arasındaki bir nesneden veya başka bir sebepten ötürü makas istenilen pozisyona hareket etmez veya hareketini tamamlamazsa, motorlar sürekli çalışabilir ve yanabilir. Bu sebepten ötürü sistem yaklaşık 12 saniyelik bir anahtarlama zamanına sahip olmalıdır.

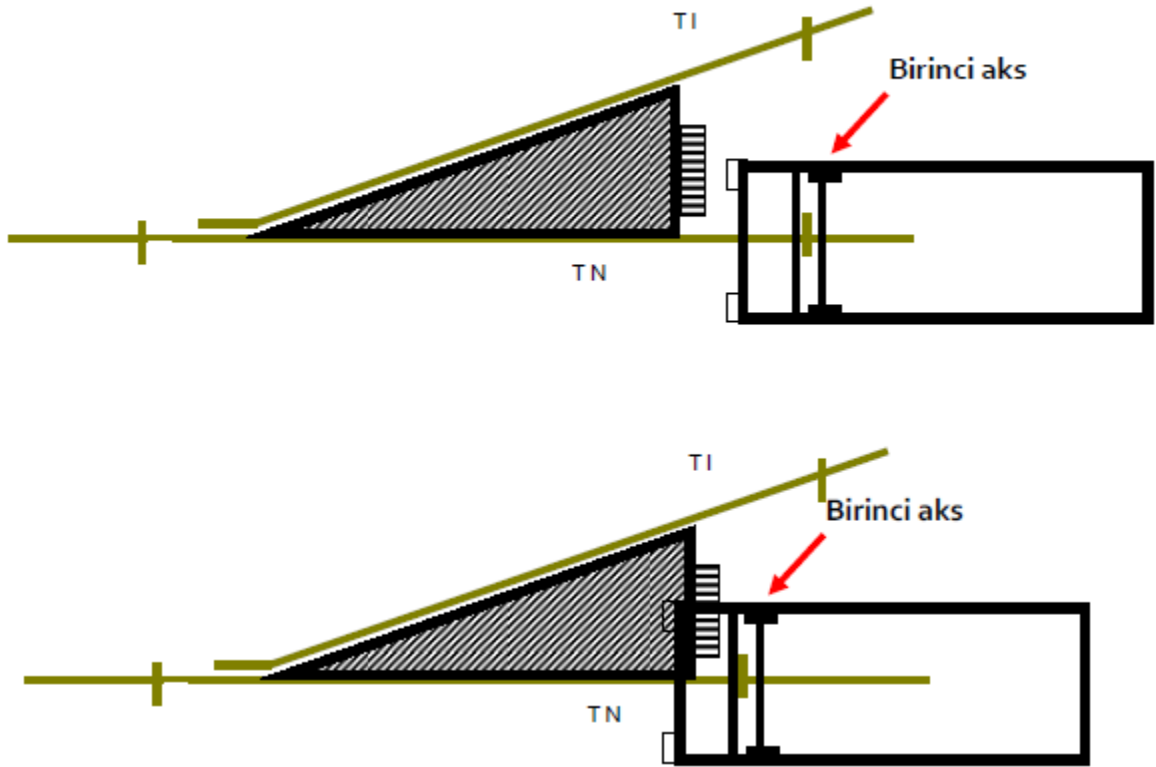
Manüel elle çevirme kolu tespiti; makas motorlarından bir veya bir kaçına manüel elle çevirme kolu takıldığında, makas elle çevirme kolu takılı bilgisini aklaşmana sağlamak zorundadır. Bu durum, aklaşman sisteminin makaslar üzerinde elektriksel kumanda üretmesini engellemelidir. Makasların S makas oluşturması durumunda, makasların birinde manüel elle çevirme kolunun tespit edilmesi her iki makas için engelleme oluşturacaktır.

Limit koruma; makas limiti, makas ayırımı üzerinde iki trenin çarpışmadan eş zamanlı olarak hareket edebildikleri hat konumuna verilen isimdir. Her iki kolda da limit bulunan nokta, hatların yakınsama işareti arasındaki mesafeli hareket olarak adlandırılır. Bu nokta iki makas ökçesi arasında bulunmaktadır. Şekil 3.6.’da makas limitini gösteren şekil görülmektedir.



Şekil 3.6. Makas Limiti

Şekil 3.7.'de görebileceğimiz üzere; makas sonu ile ökçesi arasındaki hat kesiminde iki trenin dinamik gabarilerinin çarpıştığı bir nokta vardır ve söz konusu noktadan ileriye iki tren eş zamanlı olarak devam edemez. Bu sebepten ötürü, normal şartlarda makas ray devresinin limitleri, ray devresini meşgul eden trenin gabarisi tehlike bölgesini ihlal etmeyecek biçimde yerleştirilir. Bu gereksinim sağlanamadığı zaman, makas limit yetersizliğinden etkilenecektir. Bu durumda, TI ökçesinden tren geçişleri, TN'de var olan tren hareketi tren ray devresini tamamen terk edinceye kadar engellenmelidir. Bu çarpışma riskini önleyecektir veya TN ökçesinden tren geçişleri, TI'da var olan tren hareketi anılan tren ray devresini tamamen terk edinceye kadar engellenir. Bu çarpışma riskini önleyecektir. Her bir makas için limit noktası tanımlıdır.



Şekil 3.7. Makas aks hareketi

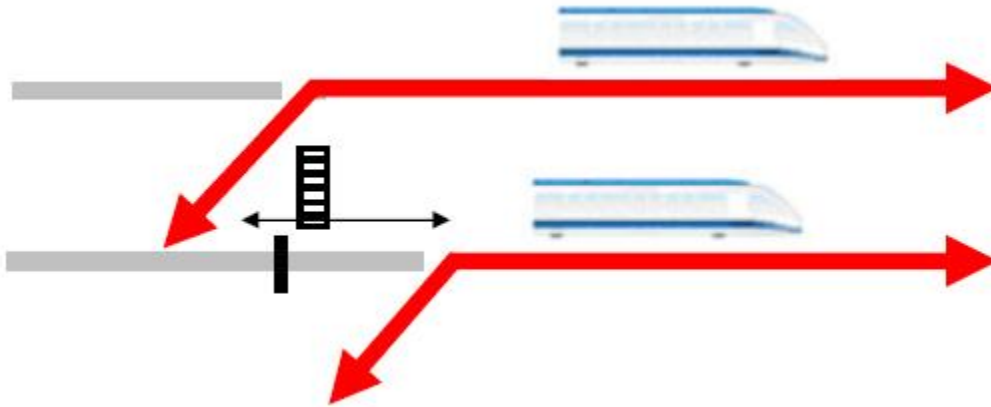
Bir makasta limit yetersizliğinin etkinleştirilmesi; Makasın limit bölgesini ihlal eden bir komşu ray devresi meşgul edildiğinde; antlaşman “makasta limit yetersizliğini” aktif edecek ve bu duruma neden olan komşu ray devresi serbest kalıncaya kadar bu durumunu sürdürecektir.

Şekil 3.8.'de limit yetersizliğinden etkilenen makas durumu görülmektedir.



Şekil 3.8. Limit yetersizliğinden etkilenen makas

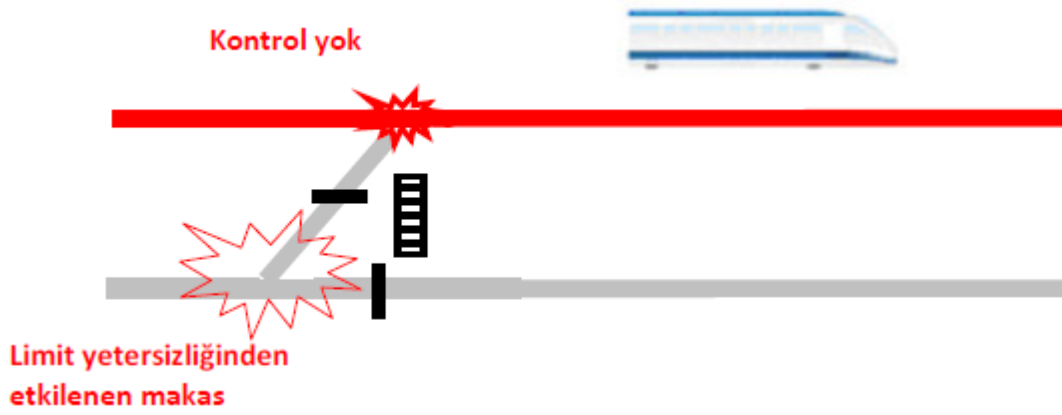
Limit yetersizliğinin engellenmesi; limit bölgesini ihlal eden komşu ray devresi bir makas ile teçhiz edildiğinde, makasın belirli bir pozisyona hareket etmesi durumunda başka bir güzergahtan gelen araç için tehlike bölgesi ihlali gerçekleşmeyecek ve eğer söz konusu durum aşağıdakiler gibi ise aracın hareketi limit yetersizliğinden etkilenmeyecektir. Makaslar arasındaki paralellik (makaslar arasındaki mesafe); tehlike noktası ihlali olmaksızın, araçların eş zamanlı geçişine izin verir. Şekil 3.9.'da limit yetersizliğini engellemeyen durum görülmektedir.



Şekil 3.9. Limit yetersizliğini engellemeyen durum

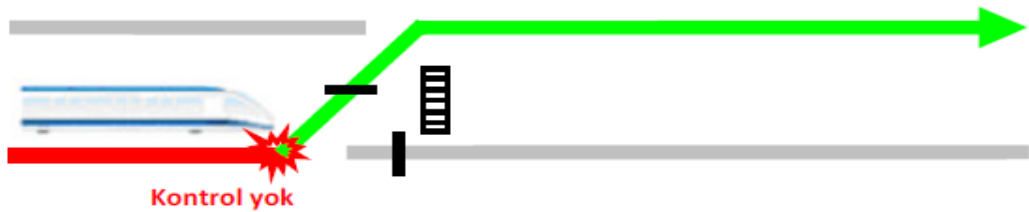
Limitin olmadığı durumu ayıran makas; limit bölgesine girişe izin veren pozisyonun tersi pozisyondaya, limit bölgesini ihlal eden ray devresi meşgul iken makas limit yetersizliğinden etkilenmeyecektir. Limit bölgesine girişi ayıran makas; makasa ait ray devresi meşgul iken indikasyon kaybederse, antlaşman limit yetersizliğini aktif hale getirecektir. Bu durumda makas indikasyonu yeniden sağlasa dahi, anılan ray devresi serbest kalıncaya kadar limit yetersizliği aktif kalmaya devam edecektir.

S makaslarda limit yetersizliği; Şekil 3.10.'da da görüldüğü gibi bir S makas normal pozisyonda kontrol edilirken makasa ait bazı makas motorları, makasa ait ray devresi meşgul iken pozisyon bilgisini kaybederse, S makası oluşturan her iki makasta da limit yetersizliği aktif olacaktır. Limit yetersizliği aktif ve ray devresi meşgul iken; makas motorları normal pozisyon indikasyonunu yeniden kazanırsa, limit yetersizliği deaktif edilmeyecektir.



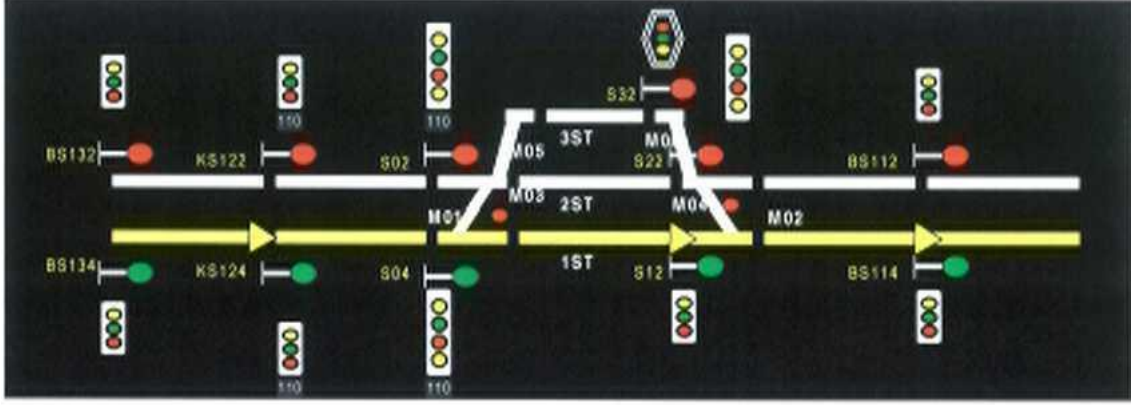
Şekil 3.10. S makas pozisyon bilgisi kaybedilirse limit yetersizliği

S makas rivörs pozisyona tanzim edildiğinde ve rivörs pozisyon üzerinden bir güzergah oluşturulduğunda, ilgili ray devresi meşgul iken makaslardan herhangi biri indikasyon kaybederse limit yetersizliği aktif edilmeyecektir. S makaslar rivörs pozisyonunda olduğunda limit yetersizliği Şekil 3.11.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. S makaslar rivörs pozisyonunda olduğunda limit yetersizliği

Yan koruma (kanat koruma); S makas doğru yola tanzimli ve yolun birisinden güzergah tanzimi var. S makasın diğer ucu antlaşman tarafından kilitlenerek tanzim edilemeyecek ve makas görüntüsü yanında da kırmızı nokta ile operatöre ihbarı sağlayacaktır. Şekil 3.12.'de de görülmektedir.



Şekil 3.12. Yan koruma

3.2.5. Makaslar

Trenlerin yön değiştirmesini sağlayan hareketli veya sabit parçalara makas denir. Bir dümeni olmadığı için yol geçişleri raylara döşenen makaslar sayesinde olur. İki ray arasında çift travers üzerine monte edilirler. İtme kuvveti, çekme kuvveti, çekme akımı, çalışma gerilimi dikkate alınarak üretilmelidir. Yol çalışmaları, kar, buz gibi etkenlerden etkilenebileceği için korumasının yapılması gerekmektedir. Yüksek hızlı trenlerdeki makaslar, hızı daha düşük trenlere göre daha güçlü tercih edilir. Yüksek hızlardaki trenler için döner göbekli makas, düşük hızdaki trenler için sabit göbekli makaslar tercih edilir [23]. Resim 3.17.'de makaslı yol görülmektedir.



Resim 3.17. Makaslar

Uzaktan kumandalı ve mahallinden el ile kumandalı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Uzaktan kumandalı makaslar elektrik motorlarıyla çalışır. Dispeçer tarafından uzaktan kumanda edilir. 26 Volt AC gerilim ile çalışır. Makasların hangi konumda olduğunu kumanda masasındaki lambalara göre belirlenir. Mahallinden elle kumandalı makaslar ise 10 V DC gerilim ile çalışırlar. Bu makaslar geniş bir mekanizma ile donatılmışlardır. Makas bölgesi meşgul ise makasa müdahale edilemez. Elektrikli kilitlemeye sahiptir. Kilitli olup olmadığını gösteren bir göstergesi vardır. Makas hareket ettirileceği zaman önce kol kilitsiz duruma getirilir. Sonra makas topuna kumanda edilerek makas istenilen konuma getirilir [24]. Makas devreleri seri ve paralel hat devreli olabilirler. Seri hat devreli makaslar iki çift izole conta gerektirmelerine rağmen, devrenin herhangi bir noktasında kırılma olduğunda ve röle enerjisiz kaldığında oluşan arızayı ihbar eder. Bu nedenle daha çok tercih edilir. Üç çeşit makas vardır. Bunlar basit, bileşik çift ve çapraz makaslardır.

Basit makaslar yalnızca iki yol değiştirmeyi sağlar. Ana yol ile sapmalı yol arasındaki geçişi sağlar. Geçiş sağa doğruysa basit sağ makas, sola doğru yapıyor ise basit sol makas olarak adlandırılır. Bu makaslarda bir kitleme sistemi yoktur. Üç bölümden oluşur. Bunlar dil takımı, ara ray, göbek ve kontraylardır. Dil takımı araçların yol değiştirmesini sağlayan kısımdır. Dil takımı ile göbek takımını birleştiren kısma makas ara rayı denir. Makasın ana yol ile sapmalı yol rayının birbirini kestiği noktaya ise göbek adı verilir. Kestiği noktada tekerleklerin rahat geçmesi için bir boşluk bırakılır. Bu boşluk nedeniyle araçların yol değiştirmemesi için ise karşılarına kontraylar bağlanır.

Bileşik çift makas iç içe geçmiş iki basit makastan oluşur. Ana yol ve iki sapmalı yol arasındaki geçişi sağlar. Depo ve istasyon sahalarında kullanılır. İşletim hattında kullanılmaz. Çapraz makas kesişen iki yolda karşılıklı geçişi sağlar. Birden fazla yönde geçiş yapılabilir. Üç veya dört basit makasla yapılan işlevi yapabilmektedir. Manevra sahasının etkin kullanılması ve arazi tasarrufu açısından sıkça tercih edilir. İstasyon ve gar sahalarında kullanılır.

Makaslar kumanda şekillerine göre 2 çeşittir. Bunlar uzaktan kumandalı makaslar ve elle kumanda edilen makaslardır. Uzaktan kumandalı makaslar elektrik motorlarıyla çalışır. Resim 3.18.'de makas motoru görülmektedir. Kumanda masası veya kumanda panolarıyla kontrol edilebilir. Kol takılarak elle müdahalede yapılabilmektedir. Ana hat ve yüksek hızlı tren hatlarında kullanılmaktadır. Elle kumanda edilen makaslar elektrik kilitli makaslardır. Kontrolör merkezi veya istasyon kumanda masalarından kilidin elektriksel olarak devre dışı kalmasından sonra elle kullanılan basit makaslardır. Sinyalizasyonlu hatlarda kullanılabilir.

Tiplerine göre ters çıkmalı ve ters çıkmasız olarak adlandırılmaktadır. Her iki makasta uzaktan kontrol edilebilmektedir. Ters çıkmalı makaslar trenin her iki yönde de hareket etmesini sağlayan makaslardır. Manevranın çok olduğu yerlerde ve istasyonlarda tercih edilir. Raya uyguladığı bastırma ve çekme kuvveti daha düşüktür. Ters çıkmasız makaslar da ise tren tek yönlü olarak hareket edebilmektedir. Raya uyguladığı bastırma ve çekme kuvveti yüksektir. Ana hatlarda kullanılmaktadır.



Resim 3.18. Makas motoru

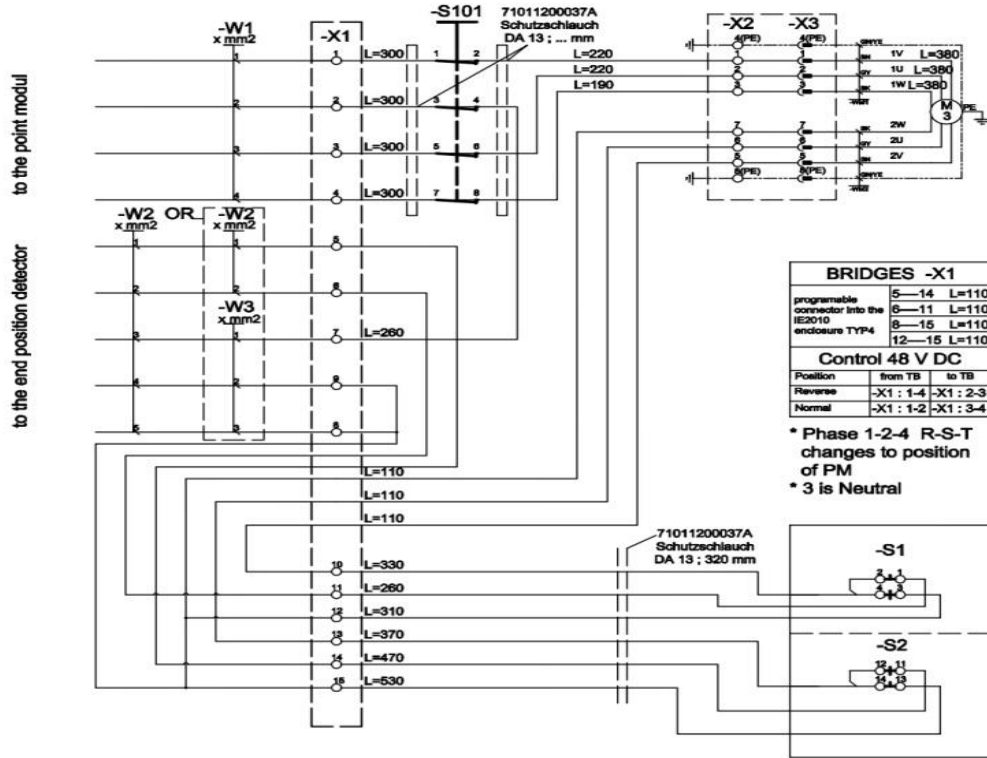
Makas ısıtıcı montajı

Makas ısıtıcı rezistansları yüklenici firma tarafından belirlendikten sonra ray aralarına montajı yapılır. Resim 3.19.'da ise makas ısıtıcısının raylardaki etkisi görülmektedir.



Resim 3.19. Makas ısıtıcı sistemi

Önemli olan ısıtıcı bağlantı kutularına uzak olan raylara montajlanan rezistansların kabloları uzun olmalıdır. Yakın ray rezistanslarının kabloları 6 mt, uzak ray rezistanslarının kabloları ise 8 mt olmalıdır. Rezistanslar her iki travers arasında 2 noktadan raya sabitlenir. Rezistans kablolarının geçeceği traversler delinerek kablolar çelik bir borunun içine alınarak çelik kroşe ile sabitlenmelidir. Çelik borunun uzunluğu rezistansın başı ile traversin bitiş noktasına kadar olmalıdır. Bağlantı kutusu rezistans kablolarının geldiği güzergahta ortalanarak montajı yapılır. Bağlantı kutusunun temelinin yüksekliği ile travers yüksekliği aynı hizada olacak şekilde iki hat arası ortalanarak montajı yapılır. Bağlantı kutusunun terminasyonunda faz kabloları için rezistansın gücüne göre sigorta kullanılmalıdır. Nötr kablolar için klemens kullanılır. Isıtıcı enerji kablosunun faz damarı birinci sigortaya bağlanır ve diğer sigortalar jumper kablolar ile aktarılır. Şekil 3.13.'te motor ısıtıcı devresi görülmektedir.



Şekil 3.13. Makas motor ısıtıcı devresi

Resim 3.20.'de makas ısıtıcı montajı ve terminasyonu görülmektedir.



Resim 3.20. Makas ısıtıcı montajı

3.2.6. Röleler

Röle bir elektrik devresinin açılıp kapanmasını sağlayan anahtardır. Hat boyunca konumlandırılan kilitleme devreleri içinde bulunurlar ve konumlandırdıktan sonra herhangi bir sıkıntı yaşanmadığı sürece dokunulmaz. Dispeçer tarafından kontrol edilirler. Röle devreleri bazen farklı batarya kutupları arasında kurulmuştur. Bataryanın (+) kutbuyla takip eden röle devresi diğer bir bataryanın (-) kutbuyla tamamlanmaktadır. Bu iki bataryanın aynı voltajda olmaları ve nominal voltajını muhafaza etmeleri gerekmektedir [25].

3.2.7. Antlaşman sistemi

Hızlı, güvenilir ve gelişmiş kilitleme sistemleridir. Bilgisayarlı ve tam kilitlemeli elektronik sistemdir. Saha elemanlarıyla haberleşerek tüm bilgileri toplar [26]. Kontrol merkezinden gelen komutların yönetimi, güzergah kontrol ve denetimi, saha elemanlarının kontrol ve denetimi, sinyalizasyon mantığının işletilmesi ve periyodik olarak sahanın durumunu kontrol merkezine aktarmak gibi temel görevlere sahiptir. Bu bilgilere göre ray bölgesinin uygun olup olmadığının bilgisini verir. Eğer tren var ise o bölgeyi kilitler ve herhangi bir geçişe izin vermez. İzin verilmeden hareket etmeye kalkar ise antlaşman sistemi içinde bulunan ATP ve ATS ekipmanları tarafından tren durdurulmaya zorlanır. ATS otomatik tren durdurma sistemi olarak da adlandırılır. Trenin önündeki ışık bilgisi trene balis adı verilen yol boyu bobinleri tarafından iletilir ve trenin kırmızı sinyali geçtiği tespit edilirse acil fren uygulaması yapılarak tren durdurulur. Sistemin beyni olarak düşünülmektedir.

Çizelge 3.6.'de yol boyu sinyalinin renk bildirilerine göre ATS sisteminde uygulanan hız kısıtlamaları verilmiştir.

Çizelge 3.6. ATS fonksiyon tablosu

SİNYAL BİLDİRİMİ				TREN HIZ KOMUTU KM/S	HIZ KODU
BLOK	GİRİŞ	ÇIKIŞ	MANEVRA		
Yeşil	Yeşil	Yeşil		Serbest	VF
Sarı	Sarı Sarı-Yeşil Sarı-Sarı Sarı-Kırmızı		Kırmızı- Yeşil	65 (1000Hz)	VL
	Kırmızı Sarı Sarı-Sarı Sarı-Kırmızı Kırmızı-Yeşil		Kırmızı- Yeşil	40 (50Hz)	VR
Kırmızı	Kırmızı	Kırmızı		0 (2000Hz)	0

Sistem 2 bilgisayardan oluşmaktadır. İşlemler her bilgisayarda ayrı ayrı yapılır ve sonuçları karşılaştırıldıktan sonra eğer bir farklılık yoksa işlem yapılır. Resim 3.21.'de treni durdurmak için kullanılan ATS ekipmanı görülmektedir.



Resim 3.21. ATS ekipmanı

Ats ekipman montajı

ATS montajı bağlı olduğu sinyalin 2,5 metre önüne ve sinyalle aynı hizada olacak şekilde yapılır. ATS temelinin yüksekliği yolun travers yüksekliği ile aynı hizada olmalıdır.

Temel montajı yapıldıktan sonra ATS kutusu temel üzerine montajlanır. Sinyal hizasından 4 ile 5'inci traverslerin arasına montajı yapılır. ATS kutusu ve magnetinin montajı yapıldıktan sonra magnetin kablosunu ATS kutusunda altta bulunan 5-6-7. klemenslerine sırasıyla kırmızı-siyah-beyaz şeklinde terminasyonu yapılır. ATS bağlantı kutusundan gelen kablo ise sırasıyla üstteki klemenslere girilmelidir. Sinyallerden uzak konulan ATS, sinyalin 306 mt önünde yer alır. ATS temel cıvatasından 50 mm²'lik alüminyum kablo ile sinyal üzerinde bulunan topraklama barasına bağlantısı yapılarak topraklaması yapılır. Uzak ATS topraklaması ise temel cıvatasından 50 mm²'lik alüminyum kablo ile en yakın katener direğine ve topraklama barasına bağlantısı yapılarak topraklama işlemi tamamlanmış olur. Resim 3.22.'de ATS kutusu ve magneti görülmektedir.



Resim 3.22. Ats ekipman montajı

3.3. Avrupa Tren Kontrol Sistemi (ETCS)

Tren kontrol sistemlerinde belirli bir standardın oluşması ve yaygın olarak kullanılması amacıyla oluşturulmuştur. Uluslararası bir programdır. Günümüzde verimli ve etkin biçimde demiryolu sektöründe kullanılan sinyalizasyon sistemidir. Her ülkenin kendine ait sistemlerinin olması trenlerin farklı ülkelerden geçişi sırasında problem oluşturmaktadır. Bu nedenle Avrupa Birliği tarafından ETCS sistemleri oluşturulmuş ve tüm ülkelerde demiryolu taşımacılığında kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut sinyalizasyon sistemlerinin ETCS sistemlerine uygun hale getirilmesi yeni kurulan sistemlerinde ETCS sistemi olarak kurulması planlanmıştır.

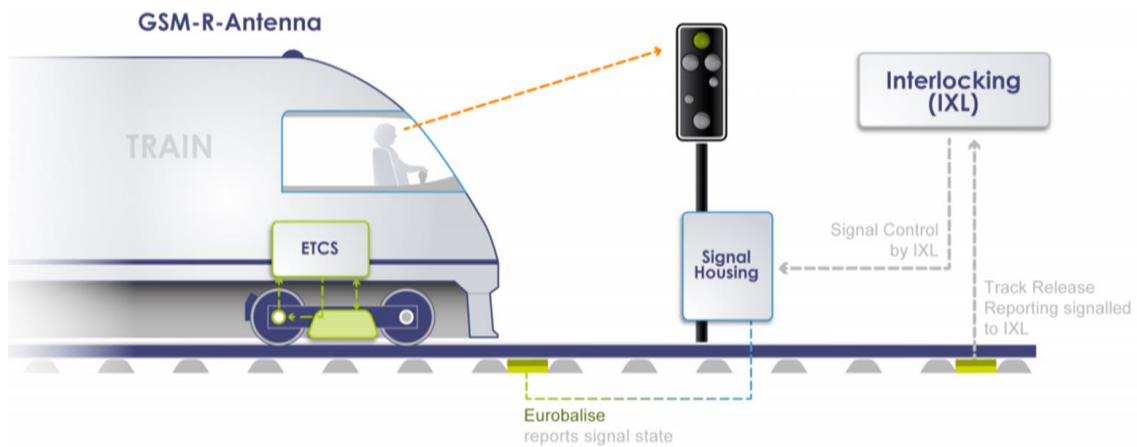
500 km/saat hıza kadar tren hızını desteklemesi, otomatik kontrol sistemlerinin olması, hat kapasitesini arttırması, hareketli blok işletmeciliğini sağlaması bu sistemin avantajlarındandır.

ETCS sistemi üç seviyeden oluşmaktadır.

3.3.1. ETCS seviye 1

ETCS Seviye 1 sisteminde sinyallerin iletteği renk bildirimleri, hat üzerindeki maksimum hızı, duracağı noktaya olan uzaklığı, trenin istikametinde hızını kısıtlaması gereken bir yapı var ise bunu araç üstü donanımına iletir [27]. Sistem yol boyunca sinyale gelen bilgiyi elektronik kontrol ünitelerine iletir. Bu elektronik kontrol üniteleri bağlı oldukları sinyalin önünde sinyale ait balize arayüz kablosu ile bağlanmaktadır. Balizler 9 km’lik alan hakkında bilgi sahibi olur. Üç tip baliz vardır. Sabit balizler de yazılım bir kere yüklenir. lke, şehir, km, eğim gibi bölgesel bilgileri içerir. Değişken balizler canlı sinyal sisteminden bilgi eker. Trenin hareketine karar verir. ncl balizler ekipmanların önceden okunmasını sağlar ve bilgisini önceden trene iletir.

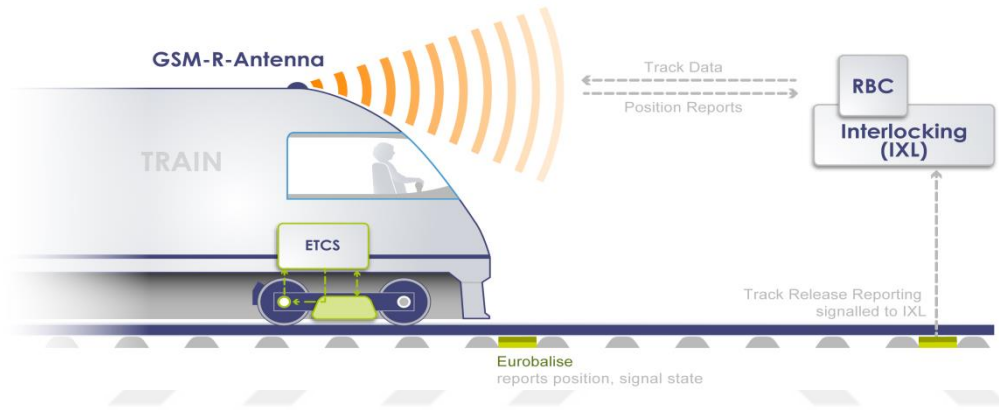
Hat bilgisiyle programlandırılmış ve kontrol merkeziyle bağlantılı olan balizler hat boyunca yerleştirilmiştir. Trenin hareket konumunu alan kontrol merkezi yeni hareket konumunu belirleyip balize iletir ve tren balizden geçerken hareket komutunu alarak geçer. Hız bilgisi sürekli kontrol edilmekte ve sürücünün önündeki ekrana olması gereken hızı yansıt看aktadır. Eğer sürücü hız sınırına uymuyor ise tren aldığı bilgiye göre otomatik olarak yavaşlayacaktır. ETCS 1 sistemlerinde mevcut sinyalizasyon sistemleri korunur. Bir takım donanım eklemeleri, yazılım yükleme ve belirli noktalara yerleştirilen balizler ile hız, konum ve manevra sırasındaki hareketleri denetlenir. Yatırım maliyeti yüksektir. Hızlı tren projelerinde tercih edilmektedir. Ülkemizde Polatlı-Eskişehir arasındaki hat bu sistemle kurulmuştur. Resim 3.23.’te ETCS1 sistem algoritması görülmektedir.



Resim 3.23. ETCS1 sistem [28]

3.3.2. ETCS seviye 2

Radyo tabanlı kurulan bir kontrol sistemidir. Radyo tabanı olarak GSM kullanılmaktadır. Balizlerin, elektronik kontrol ünitelerinin ve yol boyu sinyallerinin kullanılmasına gerek yoktur. Demiryolları işletmesine ait özel frekans değerleri kullanılarak yapıldığı için GSM-R denilmiştir. Her blok arası bölünmüştür. Trenin varlığını yine ETCS Seviye 1 sistemiyle aynı şekilde ray devreleriyle kontrol edilir. İletişimin sürekli sağlandığı ve değişikliklerin anında iletildiği tren kontrol sistemidir [29]. Yatırım maliyeti ETCS Seviye 1 gibi yüksektir. Bu sistem de hızlı tren projelerinde kullanılmaktadır. Ankara-Sivas hızlı treninde kullanılmıştır [30]. Resim 3.24.'de ETCS 2 algoritması görülmektedir.

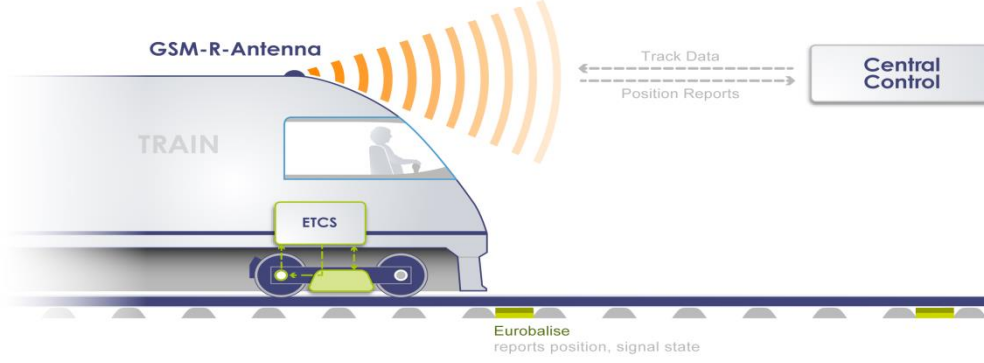


Resim 3.24. ETCS2 sistem [28]

3.3.3. ETCS seviye 3

Seviye 3'te seviye 2 gibi radyo tabanlı bir tren kontrol sistemi bulunmaktadır. Radyo tabanı olarak GSM-R kullanılmaktadır. Trenle iletişim sürekli olarak sağlandığı değişken verilerin hem ses hem de veri iletişimi yapabilmektedir. Tüm kontroller tren tarafından gerçekleşir ve yol boyunca konumlandırılan balizlere, sinyallere ve ray devresine ihtiyaç yoktur. Seviye 1 ve seviye 2 kontrol sisteminde sabit sistemi bulunurken, seviye 3'te ATP/ATC sistemleri ile hareketli blok sistemi ile sağlanır. Blok uzunluğu 50 metre ile standartlaştırılmıştır. Trenler arası yeterli mesafe sağlandıktan sonra trenin gireceği bloğun doluluğu nedeniyle hiçbir trenin beklemesi gerekmemektedir. Tüm veriler sürekli olarak RBC'ye aktarılır. Kontrol sürekli olarak devam edebilmektedir. Seviye 1 ve seviye 2'ye göre kurulum ve bakım maliyeti daha azdır. Seviye 3 sistemi hala test aşamasında olan bir sistemdir.

Hızlı tren hatlarıyla beraber konvansiyonel ve uzak mesafe hatlarda da kullanılmak için geliştirilen bir sistemdir. İsveç, İtalya gibi birkaç Avrupa ülkesinde hala test edilmektedir [31]. Resim 3.25.'te ETCS 3 sistemi çalışma algoritması görülmektedir.



Resim 3.25. ETCS3 sistem [28]



4. ÇERKEZKÖY-KAPIKULE ARASI HIZLI TREN PROJESİ SİNYALİZASYON SİSTEMİ

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme bakanlığı, Avrupa birliği yatırımları dairesinin koordinasyonunda ve TCDD genel müdürlüğü kontrollüğü altında yapılan bir hızlı tren projesidir. Bu projenin amacı Türkiye'yi ve Asya'yı Avrupa'ya bağlayan ana demiryolu güzergahı oluşturmaktır. Bu hat cumhuriyetin ilk yıllarından bu yana hizmet vermekte olup belirli aralıklarla bakım ve onarımı yapılmaktadır. Artan yolcu ve yük trafiği talebinden dolayı ihtiyaçları karşılayacak modern bir demiryolu kaçınılmaz olmuştur. Türkiye ile Avrupa arasındaki seyahat süresini kısaltmak, rahat ve güvenli bir ulaşım sistemi sağlamak, demiryolu ulaşımının ulusal ulaşım ağındaki payını arttırmak, Ankara ile Bulgaristan ve Yunanistan sınırı arasındaki devlet karayolu üzerindeki trafik yükünü azaltmak ve egzoz gazlarından kaynaklanan çevre kirliliğini en aza indirmek amacıyla yapımına başlanmıştır. İpek yolu projesini tekrar canlanmasını öngören TRACECA projesinin alt bileşeni olup ülkemizde son 15 yılda bir koridor üzerinde Sivas-Kars hızlı tren projesi, Sivas-Ankara hızlı tren projesi ve Ankara-İstanbul hızlı tren projesi tamamlanmış ya da proje aşamasındadır. Halkalı-Kapıkule arası hızlı tren projesinin tamamlanması ardından İpek yolu projesi hedefine ulaşılabacaktır. Çizelge 4.1.'de Çerkezköy-Kapıkule arası yapılan hızlı tren hattı özellikleri bahsedilmiştir.

Çizelge 4.1. Çerkezköy-Kapıkule hattı özellikleri

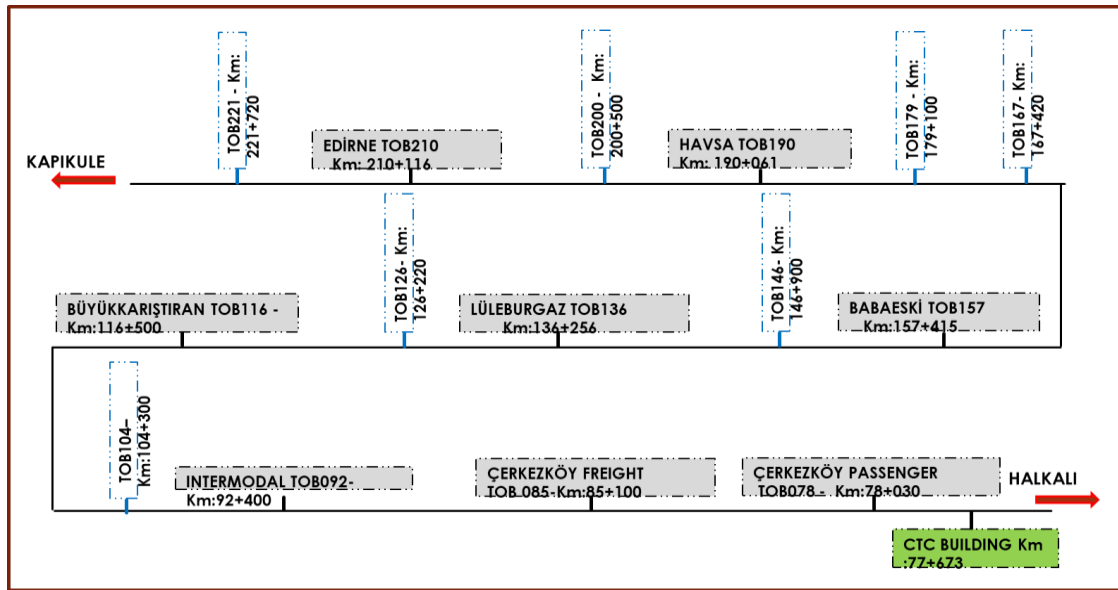
KARAKTERİSTİK	AÇIKLAMA
Hattın işletme amacı	Karma taşımacılık
Ana hattın uzunluğu	Yaklaşık 152,91 km
Hat Özellikleri	Çift hat, elektrikli 25 kV AC
Maksimum tasarım eğimi	12,5 % (16,0 % Çerkezköy Yolcu ve Yük İstasyonlar)
Minimum tasarım yatay yarıçapı	2.200 m. (Çerkezköy'de 1.000 m. ve Edirne şehir geçişlerinde 650 m.)
Minimum tasarım düşey yarıçapı	20.000 m. (15.000 m. Edirne şehir geçişlerinde)

Halkalı-Ispartakule istasyonları arası TCDD'nin öz kaynakları tarafından projelendirilerek inşası yapılacaktır. Ispartakule-Çerkezköy arasındaki kısım için gerekli finansman ulusal fonlardan, Çerkezköy-Kapıkule arası kalan kısım ise Avrupa Birliği hibesiyle eş-f finansman altında yapılması planlanmaktadır. Projenin ekonomik ömrü 30 yıl olarak öngörülmüştür. Bakım ve onarım çalışmalarıyla bu süre uzayacaktır.

Çerkezköy-Kapıkule istasyonları arası yapımı devam eden kısım Kolin İnşaat tarafından 2019 yılında çalışmalarına başlanmış ve 2023 yılında tamamlanması planlanan bir hızlı tren projesidir. 153 km uzunluğuna sahip 200 km/s hızla çift hat olacak şekilde planlanmıştır. Hatta bulunan istasyonlar ve hat uzunlukları Çizelge 4.2.'de görülmektedir. Hattaki istasyon kilometreleri Şekil 4.1.'de şematize edilmiştir.

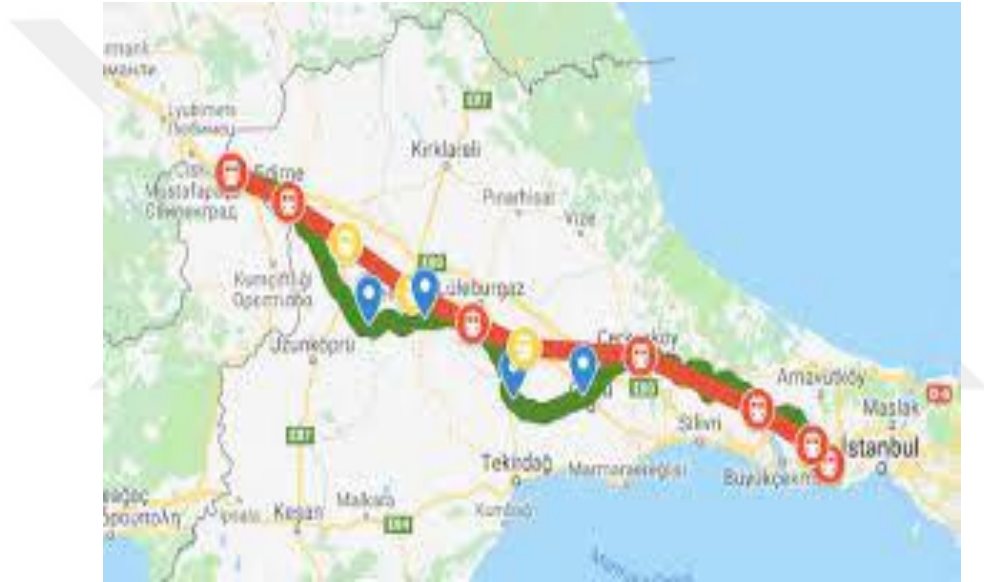
Çizelge 4.2. Demiryolu güzergahına ait bilgiler

İLLER	HAT UZUNLUĞU	İSTASYONLAR
İstanbul	73 km	Halkalı
		Ispartakule
		Çatalca
Tekirdağ	40 km	Çerkezköy
		Çerkezköy Yük
		Büyükkarıştıran
Kırklareli	62 km	Lüleburgaz
		Babaeski
		Havsa
Edirne	54 km	Edirne
		Kapıkule



Şekil 4.1. Çerkezköy-Kapıkule arası istasyon noktaları

Halkalı –Kapıkule arası Resim 4.1.’de güzergahı görülen hızlı tren projesinde yol süresinin yük trenleri için 8 saatten 3,5 saate, yolcu trenleri için ise 3,5 saatten 1,5 saate inmesi ve yol kapasitesinin 4 kat artacağı öngörülmüştür. Yük taşımacılığının yıllık ortalama 1,53 milyon tondan 9,6 milyon tona çıkacağı, yolcu taşımacılığının yıllık ortalama 600 binden 3,4 milyona çıkması hedeflenmiştir. 120 km/s hıza sahip günde gidiş 15, dönüş 15 olmak üzere toplam 30 yük treni geçişi olması planlanmaktadır. 200 km/s hıza sahip gidiş 9, dönüş 9 olmak üzere günde toplam 18 adet yolcu treni hareketi olacaktır. 5 dakikada bir tren kalkabilecek biçimde tasarlanması amaçlanmış ve TCDD tarafından istenmiştir.



Resim 4.1. Halkalı-Kapıkule hızlı tren hattı

ERTMS/ETCS1 sistemi ve demiryolu trafiğinin 200 km/s’a kadar tren hızlarında güvenli ve etkin işletme amacına uygun merkezi trafik kontrol sistemleri yer almaktadır. Sinyalizasyon sistemi yazılım ve kurulumunu yapan birçok firma bulunmaktadır. Alstom, Siemens, Tales, Caf, Bombardier gibi firmalar bunlardan bazılarıdır. Çerkezköy-Kapıkule hızlı tren projesinin sinyalizasyon sistemi CAF firması tarafından tasarlanacak bir projedir. Her firma ETCS kriterlerine uymak zorundadır. Kullandığı ekipmanların yapısı farklı olabilir. Fakat tüm firmaların SIL4 anlaşman sistemi ve yazılımını kullanması gerekmektedir.

Çerkezköy-Kapıkule arası hızlı tren projesinin sinyalizasyon tasarımı CAF Signalling firması tarafından hazırlanacaktır. CAF firmasının görevi sinyalizasyon ekipmanları, parça elemanlarının tasarımı, tedarik, test edilmesi ve devreye alınması ile sınırlı olacaktır. CAF firması sinyalizasyon sistemini tasarlarken sinyalizasyonla ilgili bilgileri elde etmek ve trenler için güvenli bir yol sağlamak, antlaşmanlara bağlı ERTMS/ETCS yol kenarı sisteminin temini ve montajını yapacaktır.

4.1. CTC Merkezi ve Teknik Binaları

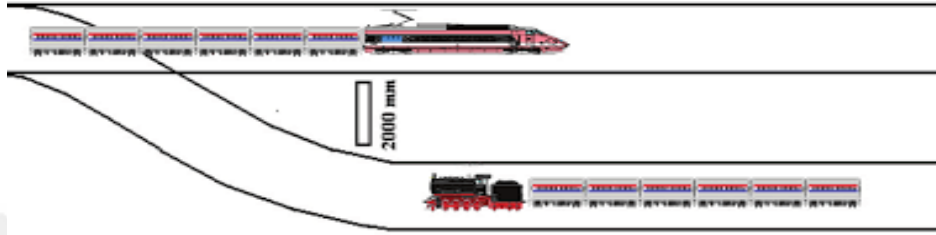
CTC merkezi (Central Trafic Control): Çerkezköy-Kapıkule hızlı tren projesinde bir adet CTC merkezi bulunması planlanmıştır. Bu bina Çerkezköy'de bulunacaktır. Bu projede her istasyonda bir adet teknik bina bulunmaktadır. Resim 4.2.'de bu proje için çizilmiş bir teknik bina tasarımı görülmektedir. 153 km uzunluğa sahip olan bu hat için 15 adet teknik bina yapılması planlanmıştır. Çünkü her bir teknik bina sağına 5 km uzaklığında, soluna 5 km uzunluğundaki alanı beslemektedir. Bu nedenle $153 \text{ km} / 10 \text{ km} = 15$ adet teknik bina kurulması planlanmıştır. Her teknik binada bir antlaşman sistemi vardır. Teknik binalarda haberleşme odası, sinyal odası, güç odası, akü odası ve operatör odası bulunmaktadır. İp-Mpls sistemiyle alınan veriler dönüştürülüp kontrol edildikten sonra teknik binalara gönderilir.



Resim 4.2. Çerkezköy-Kapıkule arası kurulacak teknik bina üç boyutlu tasarımı

4.3. Limit Noktası

Limit noktası, yollardan üzerindeki trenin bitişik yol üzerindeki trenin seferini sınırlamayacak şekilde durması gerektiği makasın önündeki en uzak yeri belirleyen bir sınır işaretidir. Limit taşı için sınır mesafesi, makasın iç rayları arasındaki mesafenin iki metreye ulaştığı yerdir. Resim 4.4.'de görülmektedir.



Resim 4.4. Limit durumu

$$\text{İki yol arası güvenli alan mesafesi} + \left(2x \frac{\text{iki ray arası mesafe}}{2}\right) + (2x \text{ ray mantarı genişliği}) \quad (4.3)$$

$$2.000 + \left(2x \frac{1.435}{2}\right) + (2x67) = 3.569 \text{ mm} \quad (4.4)$$

Bu proje için hesaplanan limit taşı mesafesi iki rayın ortasındaki eksenden denklem 4.3.'te olduğu gibi 3.569 mm olarak hesaplanmıştır. Ray eksenlerinin arasındaki mesafenin minimum 3,57 m olduğu yere limit taşı yerleşimi yapılacaktır. Bu mesafe iki ray arası uzaklık ve rayın genişliğine göre hesaplanmaktadır. Bu projede iki ray arası uzaklık 1.435 mm ve ray mantarının genişliği 67 mm olarak tercih edilmiştir. Bu trenlerin geçerken birbirlerine çarpıp-maması için yapılan bir işlemdir. Resim 4.5.'te bir tren hattındaki limit taşı görülmektedir.



Resim 4.5. Limit taşı

Makas tiplerine göre limit taşı yerleşimi değişmektedir. Çerkezköy-Kapıkule hattında kullanılan;

- R300- 1:9 limit taşı makasın dil ucu contasından 50 metre ileriye konumlandırılacaktır.
- R500- 1:12 limit taşı makasın dil ucu contasından 65 metre ileriye konumlandırılacaktır.
- R1200- 1:18,5 limit taşı makasın dil ucu contasından 100 metre ileriye konumlandırılacaktır.
- R1500- 1:24 limit taşı makasın dil ucu contasından 118 metre ileriye konumlandırılacaktır.

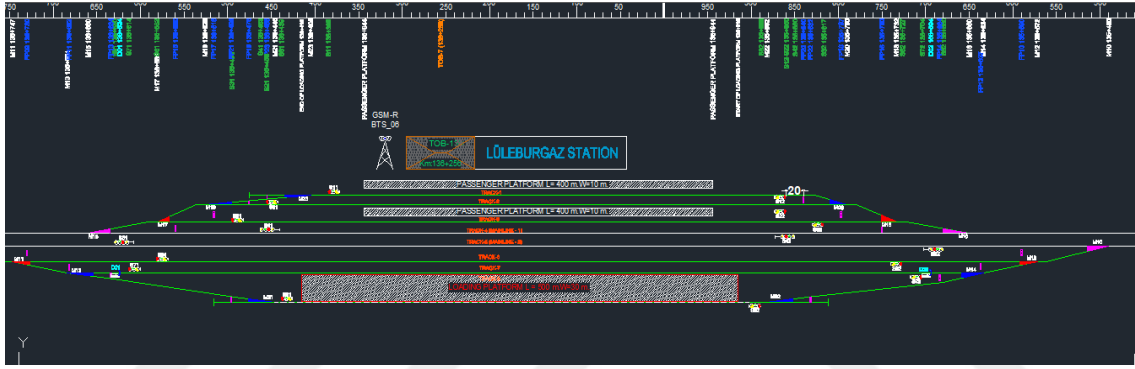
4.4. Makaslar

Makaslar trenin bir yoldan başka bir yola geçişini sağlayan sistemdir. Makas bölgesinin yoğun olduğu yerler istasyon içi bölgeleridir. Trenlerin mevcut hızlarını kaybetmeden hat değiştirebilmeleri için uygun makaslar seçilmelidir. Sapan yol yarıçapı, makas eğimi ve uzunluğu makasları tanımlar. Makasın sapan yol üzerindeki kurp yarıçapı belirlenir. R ile gösterilir. R500, R300 o makasın kurp yarıçapını göstermektedir. Sapan yol ekseninin doğru yol ekseninden ayrılma oranına makas eğimi denir. Doğru yol üzerinden alınan mesafenin sapan yolun doğru yoldan uzaklaşma mesafesine oranıdır. 1:9, 1:12 olarak gösterilir. Ana hat üzerine konumlandırılan makaslar hızlı tren projelerinde büyük yarıçaplı ve uzun tercih edilirler. Nedeni ise maksimum hızlarını kaybetmeden ve raydan çıkmadan kontrollü şekilde diğer yollara geçişin sağlanmasıdır [32]. Makaslarda 220 V AC ile çalışan elektro hidrolik tip makas motorları kullanılmaktadır.

Çizelge 4.3.'te makas motoru teknik özellikleri görülmektedir.

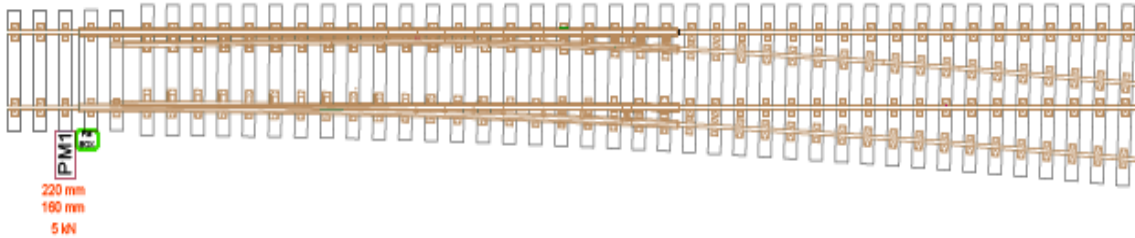
Çizelge 4.3. Makas motoru teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	Ters Çıkmasız	Ters Çıkmalı
İtme Mesafesi	160 mm	
İtme Gücü	1.5 kN~4.5 kN adjustable	
Tutma Gücü	30 kN	70 kN
Tanzim Süresi	3 s ~ 6 s	
Motor Gücü	700 W	
Motor Voltaj	220 V AC	



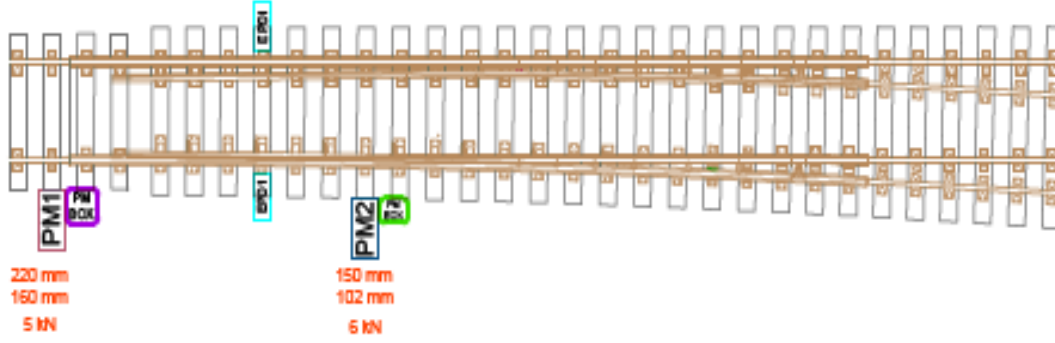
Şekil 4.2. Lüleburgaz istasyonu makas planı

R300- 1:9 makaslar bu projede Şekil 4.2.'de mavi renkte gösterilmiş olup ikinci bir tali yoldan üçüncü tali yola geçişler için kullanılır. Şekil 4.3.'te görüldüğü gibi makasın koyulduğu yerde PM1 olarak adlandırılan bir makas motoru ve PM-Box olarak gösterilen kutu makas motoru bağlantı kutusudur.



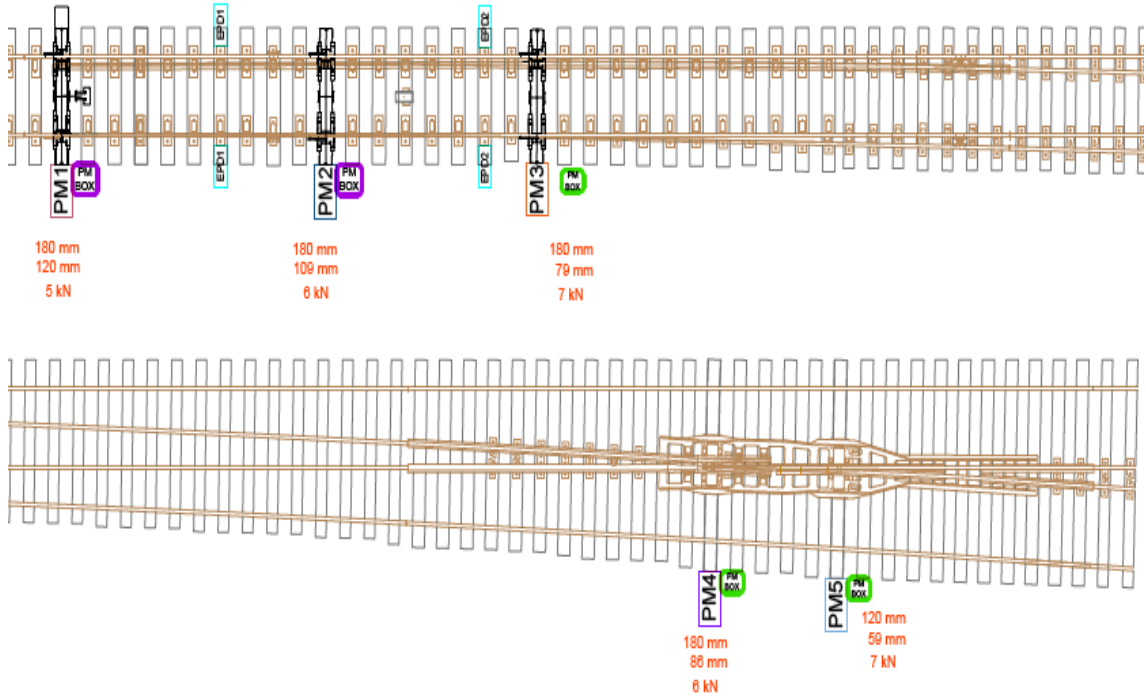
Şekil 4.3. R300-1:9 Makas ekipman projesi

R500-1:12 makaslar bu projede Şekil 4.2.'de kırmızı ile gösterilmiş olup birinci tali yoldan ikinci tali yola geçişlerde kullanılmaktadır. Şekil 4.4.'de gösterildiği gibi PM1 ve PM2 olarak adlandırılan makas motorudur. PM Box her iki makas motoru içinde koyulan makas bağlantı kutularıdır. İki makas motoru arasına koyulan ve EPD olarak gösterilen son durum detektörüdür.



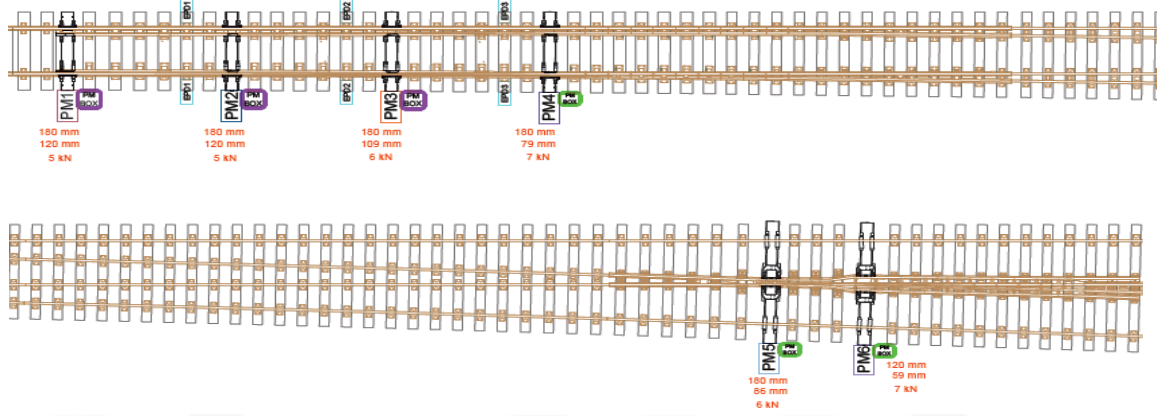
Şekil 4.4. R500-1:12 Makas ekipman projesi

R1200-1:18,5 makaslar ana hattan tali yola geçiş için kullanılan makas tipidir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi mor renk ile gösterilmiştir. Şekil 4.5.'de bu makasın hatta yerleştirme planı görülmektedir.



Şekil 4.5. R1200-1:18,5 Makas ekipman projesi

R1500-1:24 makaslar bu projede Şekil 4.2.'de yeşil ile gösterilmiştir. Ana hatlar arasındaki geçişlerde kullanılmaktadır. Şekil 4.6.'da bir R1500-1:24 makasının hatta nasıl yerleştirilmesi gerektiği görülmektedir.



Şekil 4.6. R1500-1:24 Makas ekipman projesi

4.5. Sinyallerin Yerleşimi

Öncelik taşıyan gereksinimlerden birisi sinyallerin uygun mesafeden görülmesidir. Direkler, kurp, seviye farklılıkları gibi engeller sinyalin doğru yoğunluktaki görüşünü engellememelidir. Çıkış sinyalleri park için planlanan durma noktasından görünür olmalıdır. Sinyaller tehlike noktasına olan uzaklığına göre, gabariye göre ve ray devresi ekipmanlarına göre yerleştirilmektedirler.

4.5.1. Sinyallerin tehlike noktasına olan uzaklığına göre yerleşimi

Giriş sinyalleri ve çıkış sinyallerinin yerleşimi; İstasyon giriş sinyallerinin, istasyon tarafındaki ilk tehlike noktasına olan uzaklığı, ERTMS ihtiyatlı yaklaşma mesafesinden daha büyük olacaktır. Bu mesafe ERTMS L1 donanımı bulunmayan trenler göz önünde bulundurularak yapılacak overlap ve fren hesabına göre belirlenecek ve giriş sinyalinin uzaklığı belirlenecektir. Bu proje için giriş sinyallerinin makasa olan uzaklığı 250 metre olarak belirlenmiştir. Çıkış sinyalleri için ise bu mesafe değişim göstermektedir. Bir trenin o makas bölgesindeki hattın içinde kalacak şekilde durabilmesi için bu mesafeler 7-35 metreler arasında değişmektedir.

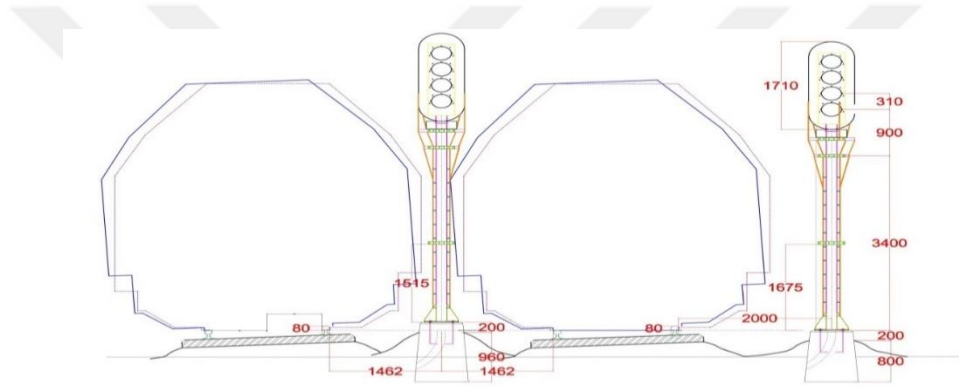
Blok sinyaller; Komşu iki istasyon arasında kalan hattın headway ve frenleme mesafesi göz önüne alınarak bölümlendirilen hat noktalarına koyulan sinyallerdir. Frenleme mesafesi bu proje için 2.677,875 metre olarak hesaplanmıştır.

Buna göre trenin güvenli bir şekilde blok içerisinde durması için bu mesafe 2800 metre olarak karar verilmiş ve blok sinyaller yerleştirilmektedir.

4.5.2. Sinyallerin gabariye göre yerleşimi

Hat kenarına yüksek sinyal yerleşimi; Yüksek sinyal temeli üst seviyesi, travers seviyesi ile aynı seviyede, sinyal direği orta noktası ray dış mantara 2 m uzaklığında konumlandırılmalıdır.

İki hat arası yüksek sinyal yerleşimi; Yüksek sinyal temeli üst seviyesi, travers seviyesi ile aynı seviyede, sinyal direği orta noktası ray dış mantara 1,462 m uzaklığında konumlandırılacaktır. Resim 4.6.'da hat kenarı ve iki hat arası yüksek sinyal yerleşimi için çizilen proje görülmektedir.

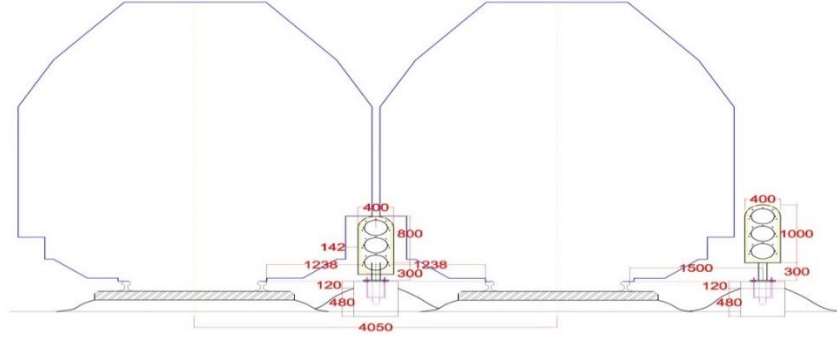


Resim 4.6. Üçlü veya dörtlü yüksek sinyalin hatta yerleştirilme şekli

Cüce sinyaller hat kenarına yerleştirilirken cüce sinyalin temeli üst seviyesi, travers seviyesi ile aynı seviyede, sinyal direği orta noktası ray dış mantara 1,5 m uzaklığında konumlandırılacaktır.

İki hat arasına cüce sinyali yerleştirirken cüce sinyal temeli üst seviyesi, travers seviyesi ile aynı seviyede, sinyal direği orta noktası her iki ray dış mantara 1,238 m uzaklığında konumlandırılacaktır.

Resim 4.7.'de hat kenarına ve iki hat arası yerleştirilen cüce sinyal tasarım projesi görülmektedir.



Resim 4.7. Cüce sinyalin hatta yerleştirme şekli

4.5.3. Sinyallerin ray devresine göre yerleşimi

Ray devresinin elektriksel olarak loop ve ayar ünitesi ile ayrıldığı bölümlerde, blok sinyaller loop'un dış taraflarında, $1,5 \text{ m} \pm 30 \text{ cm}$ olacak şekilde, giriş ve çıkış sinyalleri ise $1500 \text{ mm} \pm 300 \text{ mm}$ 'ye yerleştirilir.

Zorunlu olunmadıkça tünel içlerine, viyadük üzerine ve hat kesimlerine sinyal yerleştirilmeyecektir.

4.6. Diğer Ekipmanların Yerleşimi

Ray devresi temeli subbalast seviyesinden 10 cm üzerinde, ray devresi ayar ünitesi orta noktası ray dış mantara 1,75 m uzaklığında konumlandırılacaktır. İki hat arasına konumlandırılırken subbalast seviyesinden 10 cm üzerinde, ray devresi ayar ünitesi orta noktası ray dış mantara 1,462 m uzaklığında olacak şekilde konumlandırılacaktır.

Açık hat telefonu subbalast seviyesinden 10 cm üzerinde, beton temelini raya yakın noktası ray dış mantara 2 m uzaklığında olacak şekilde konumlandırılacaktır. Telefonla haberleşmeyi sağlayabilmek için telefonlar sinyallerin yanına koyulmaktadır.

Ats magneti sinyal eksenini ile arasında $75(\pm 30) \text{ cm}$ olacak şekilde, sinyalin arkasına ATS magneti yerleştirilecektir. ATS kutusu yüksek sinyallerde ATS kutu temeli, subbalast seviyesinin 10 cm üzerinde, ATS kutusu orta noktası sinyal eksenini aynı hizada (bulunduğu yere göre iki hat arası 1,462 m hat kenarı 2 m) olacak şekilde sinyalin önüne yerleştirilecektir.

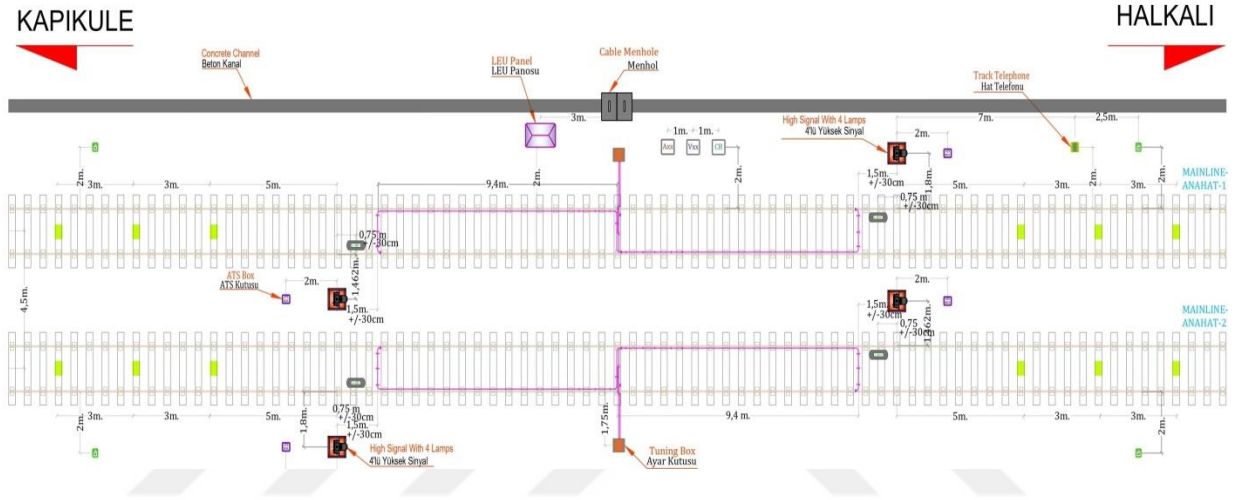
Cüce sinyallerin ATS kutusu, subbalast seviyesinden 10 cm üzerinde, ATS kutusu orta noktası sinyal eksenini ile aynı hizada (iki hat arası 1,238 m hat kenarı 1,5 m) olacak şekilde sinyalin 1 m arkasına yerleştirilecektir. Uzak ATS'ler sinyallerden 350 m sonraya, yakın ATS'ler sinyalin önüne koyulmaktadır.

Yakın ATS sinyalden en, boy bilgisi olarak sinyalin yanına takılarak ATS araç üstü ekipmanına hız komutu iletilmiş bir yol kenarı mıknatısı ve kartıdır. Sinyalin lamba devresini etkilemeden sinyalin en, boy bilgisini olarak mıknatısın rezonans devresini değiştirir. Giriş sinyalinde bu kart kullanılırsa giriş sinyali yönüne bağlı olarak uzak ATS kartına 24 V DC voltaj gönderir. Entegre kartın güç ihtiyacı için teknik bina UPS'inden ayrı bir kablo çekilir. Sinyalden gerekli bilgileri alırken lambanın çalışmasını etkilemez. 110-250 V aralığında çalışan lambalar için tasarlanır. Çalışma gerilimi 220 V AC, akım 35 mA, güç tüketimi 7,7 W'tır.

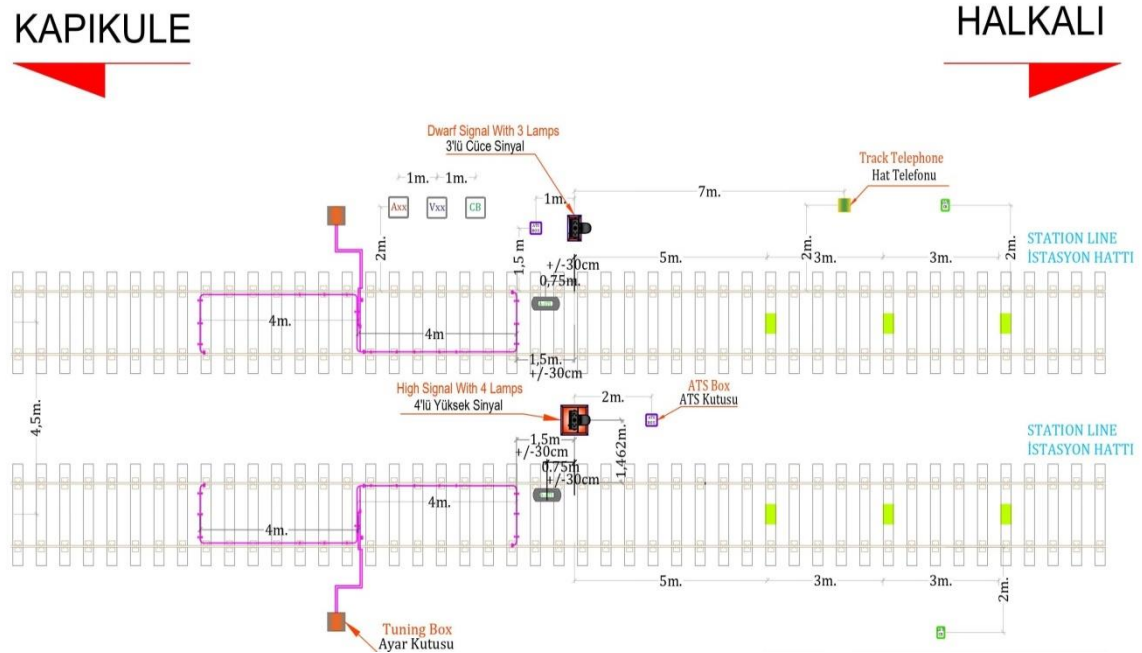
Uzak ATS giriş sinyalinin sapmış ve kırmızı sinyallerine ek olarak, uzak ATS kartındaki CR rölesi sarı ve yeşil yönlerde entegre karttan gelen 24 V DC ile devreye girer. Uzaktaki ATS mıknatısının rezonans devresi, kapalı CR rölesinin kontağı ile devre dışı bırakılır, bu sayede trene giden hız kısıtlama bilgisinin olması engellenmiş olur. Giriş sinyalinin sapmış ve kırmızı sinyallerinde entegre karttan uzak ATS kartına 24 V DC gönderilmeyeceği için CR rölesi düşecek ve rölenin düşük kontağı üzerinden rezonans devresi kurulacaktır. Tren, ray kenarındaki mıknatısın üzerinden geçerken, hız kısıtlaması bilgisi araçtaki ATS ekipmanı aracılığıyla sürücüye iletilecektir. Bu çalışma şekli aynı zamanda güvenlidir. Devrede bir sorun olduğunda bile hız kısıtlama bilgisi sürücüye iletilecektir.

TS sistemleri olarak SEL tipi otomatik frenleme sistemi kullanılmaktadır. ATS sistemleri, yol boyunda pasif olarak çalışan ve her giriş sinyalinin yaklaşık 300 m önüne konulan 500 Hz ve her giriş, çıkış, otomatik blok, yaklaşma ve koruma sinyalinin yanına konulan 1000/2000 Hz'lik yol boyu magnetleri ile dizel ve elektrikli makinalarda monteli, ATS makine teçhizatı içerisinde yer alan, aktif olarak çalışan 500 Hz ve 1000/2000 Hz'lik magnetin akım düşmesi esasına göre röle lojik devrelerine bilgi vermesi prensibine göre çalışmaktadır.

Bağlantı kutuları subbalast seviyesinden 10 cm üzerinde, bağlantı kutusu temelinin raya en yakın noktası dış mantara 2 m uzaklığında konumlandırılacaktır. İki hat arasında yerleştirilirken temelinin subbalast seviyesinden 10 cm üzerinde, bağlantı kutusu direğinin orta noktası dış ray mantarına 1,462 m uzaklığında konumlandırılır. Isıtıcı kabinlerin temeli, subbalast seviyesinden 10 cm üzerinde, ekipman dış kenarının ray dış mantara 2 m uzaklıkta olacak şekilde konumlandırılır. Resim 4.8. , Resim 4.9.’da ekipman yerleşimi görülmektedir.



Resim 4.8. Blok sinyal bölgesinde ekipman yerleşimi

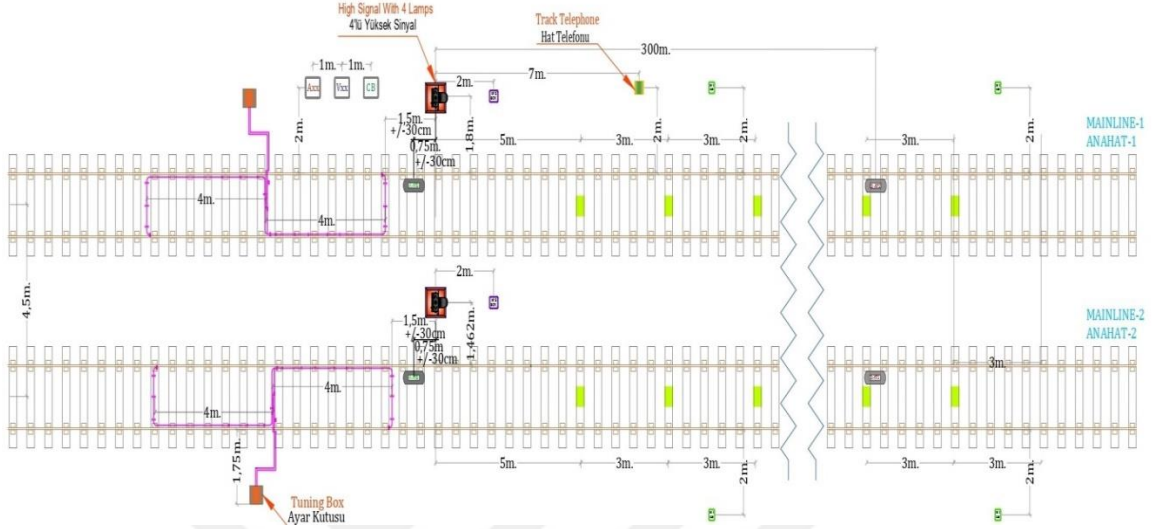


Resim 4.9. Yüksek ve cüce çıkış sinyali konulan bölgedeki ekipman yerleşimi

Resim 4.10.'da ekipman yerleşimleri görülmektedir.

KAPIKULE

HALKALI

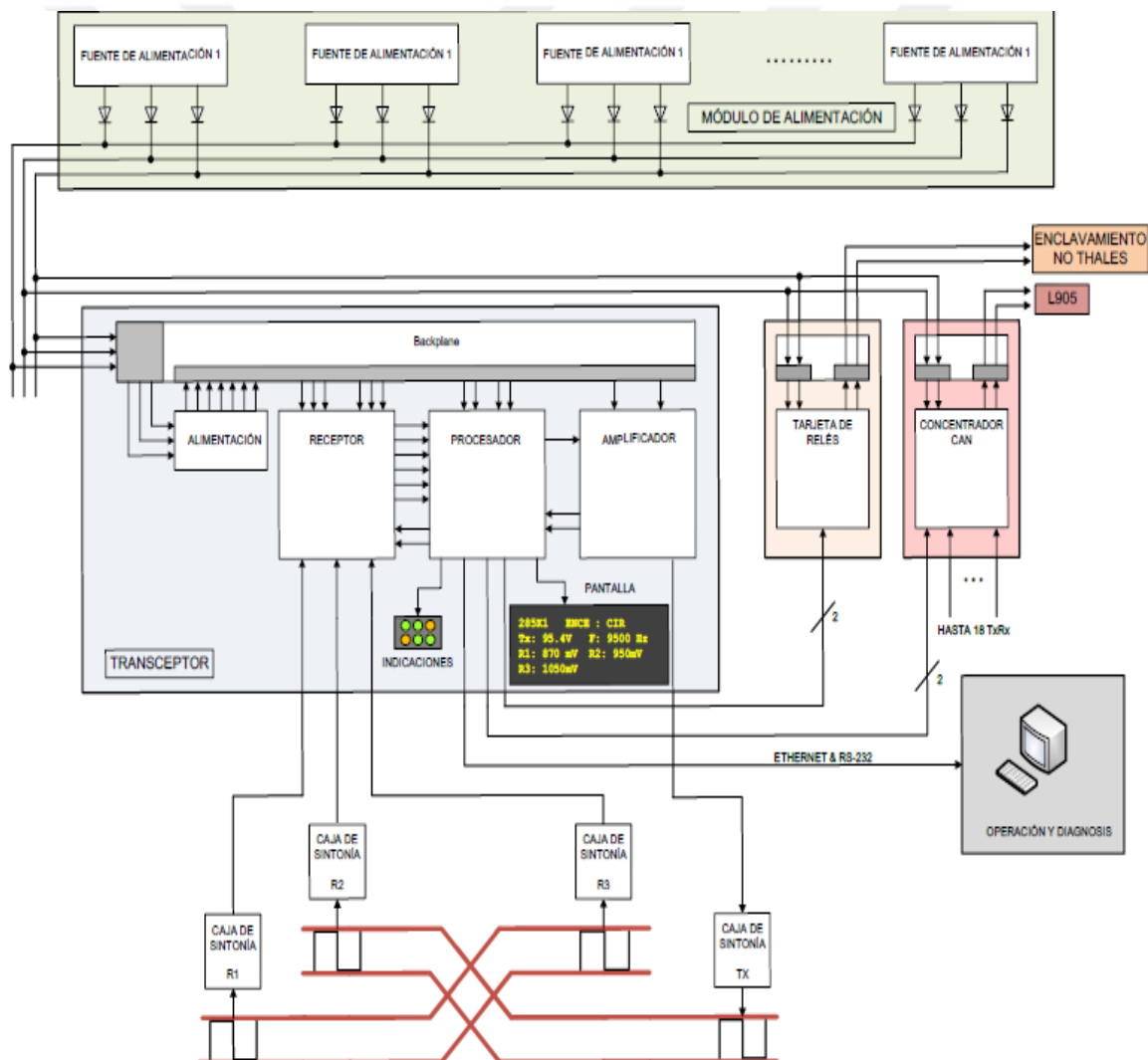


Resim 4.10. Giriş sinyali yerleştirilen bölgede ekipmanların yerleştirilmesi

4.7. Ray devresi tasarımı

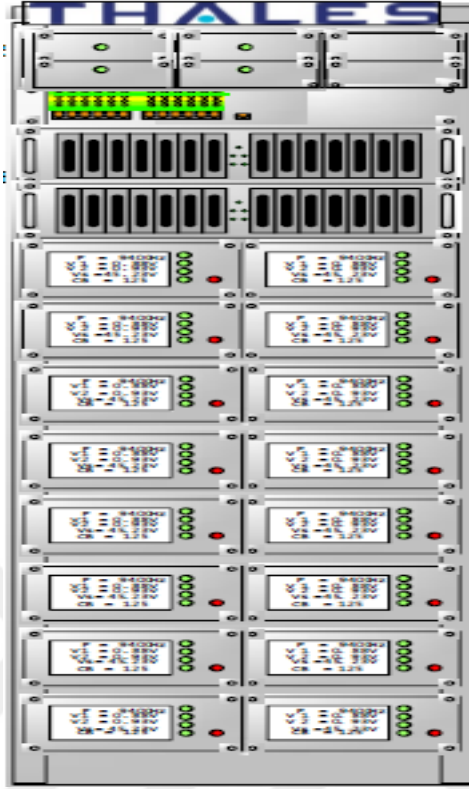
Ray devresinin amacı, trenin konumunu ve hareketini tespit ederek demiryolu operasyonlarının güvenliğini garanti altına almaktır. İşlevleri, işgalin tespiti, varlığın tespiti, geçişin veya geçişin sonunun tespitidir. Thales, önemli avantajlar sağlayan bir devre algılama çözümü sunar. Kurulum ve bakım maliyetleri dahil olmak üzere sistemin toplam maliyetini en aza indirirler, düşük güç tüketimi, bakım maliyetlerini ve değiştirme sayısını en aza indirmek için küçültülmüş ve kompakt boyut ve bakım maliyetlerini azaltmak için uzaktan teşhis hizmeti gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle bu projede de tercih edilmiştir. Thales ray devresi, AC, DC veya elektriksiz hatlarla herhangi bir hat genişliğinde ve 350 km/saat hıza kadar herhangi bir hızda çalışır. Thales ray devresinin ekipmanları kabin içinde (ayarlı aktif modüller) ve hat üzerinde (ayarlanabilir pasif modüller) bulunmaktadır. Saha ekipmanı akort kutuları ve loop'lardan oluşmaktadır. Kabin donanımı bir alıcı-verici, bir güç kaynağı ünitesi (PSU) ve arayüz elemanlarından oluşur. Bu düzeneğe değerlendirme ekipmanı da denir. Güç kaynağın vericiye güç verilir. R_1 , R_2 ve R_3 ray devrelerinden gelen bilgi alıcıya gelir. Gelen bilgi işlemciye gönderilir ve değerlendirilerek bir sonuç çıkarır.

Ray devreleri faz seçicili olup, girişı 220 V AC olan besleme trafosundan elde edilen 3,5 ila 10 V AC gerilim verici tarafında raya verilmekte, alıcı tarafında raydan alınan minimum 1,6 V AC gerilim bu kez röle trafosu vasıtasıyla ray devresine ait röle grubuna 35 ve 100 V AC olarak uygulanmaktadır. Açık hat kesimleri çift ray izoleli olduğundan her izole noktasında dönüş akımının devamlılığını sağlamak için empedans bondlar kullanılmaktadır.



68

Şekil 4.8.'de bu ekipman dolabı görülmektedir.



Şekil 4.8. 16 adede kadar alıcı-vericiden oluşan tipik donanıma sahip dolap

TTC, boş parçayı tespit etmek için iki farklı frekans bandı kullanır. Düşük bir bant (4-6.5 kHz) açık / düz parça ve istasyon alanları için yüksek bir bant (9-17 kHz). Bölümler arasındaki ayrım bu farklı frekanslara sahip sinyallerin kullanılması ve bitişik devrelere göre kodlanmasıyla elde edilir. Düşük frekans için 0,5 kHz yüksek frekans için 1 kHz bitişik devrelerin bit kodu en az iki bitlik bir Hamming boşluğuna sahip olmalıdır. Çizelge 4.4.'te görülmektedir.

Ekipman, 1,2 Ω balast direnci ile çalışmak üzere tasarlanmıştır. Şönt direnci (trenin tüm eksenlerinin oluşturduğu kısa devre) tam rayda 0,5 Ω ve istasyonda 1 Ω u geçmemelidir. Ray devreleri arasındaki uzunluklara göre düşük veya yüksek frekans olarak ayarlanır. Şönt direnci arttıkça ray devresi arası uzunlukları kısılır. Ray devreleri birbirini takip eden frekans değerlerine sahip olmamalıdır. Bir ray devresi 4.000 Hz frekansa sahip ise komşu ray devresi 4.500 Hz frekans değerine sahip olmamalıdır. Komşu ray devrelerine yakın frekans değerleri verilirse yanlış algılar oluşabilir. Bir ray devresine 4.000 Hz verilirse komşu ray devresine 5.000 Hz verilmelidir. Çizelge 4.4.'de frekans band aralıkları görülmektedir.

Çizelge 4.5.'te tabloda ray devresi uzunlukları görülmektedir. Balast direnci ise rayın bir tarafındaki raydan diğer tarafına sızan akımdır. Denklem 4.5.'te balast direnci formülü görülmektedir. Devredeki empedans bond sökölerek gerilim ve akım değeri ölçölür ve balast direnci bu proje için 1,2Ω olması gerekmektedir. Balast direncini taşların çeşidi, kirliliğı ve bulunduğı zemine olan etkisi değıştirebilir.

$$R_B(\Omega) = \frac{E_2 + E_3}{2(I - I_1)} = \frac{\text{batarya uçlarındaki voltaj} + \text{röle tarafı voltajı}}{2(\text{bataryadan geçen akım} - \text{röleden geçen akım})} \quad (4.5)$$

Çizelge 4.4. Yüksek-düşük band ray devresi frekansları

LOW BAND		HIGH BAND	
Channel	Frequency (Hz)	Channel	Frequency (Hz)
0	4.000	6	9.000
1	4.500	7	10.000
2	5.000	8	11.000
3	5.500	9	12.000
4	6.000	10	13.000
5	6.500	11	14.000
		12	15.000
		13	16.000
		14	17.000

Çizelge 4.5. Ray devresi uzaklıkları

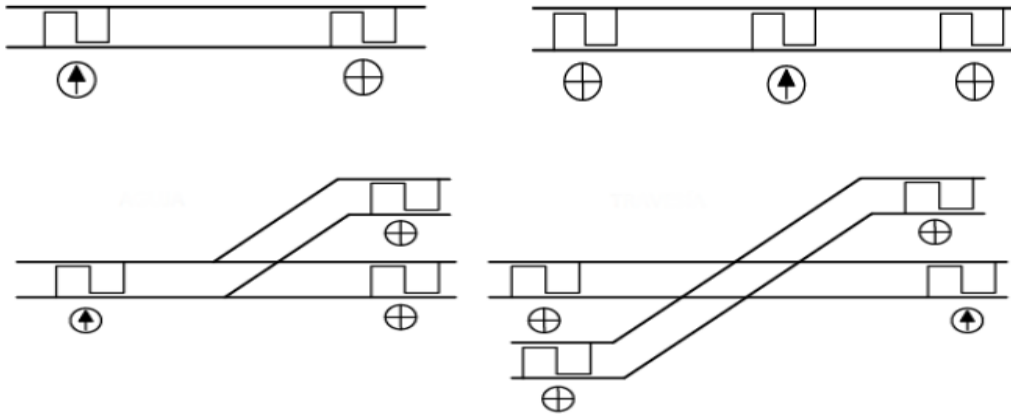
BALAST DİRENCİ	$R_B: 1,2 \Omega/km$	
ŞÖNT DİRENCİ	$R_S = 0,5 \Omega$ (Düz Hat)	$R_S = 1 \Omega$ (İstasyon)
DÜŞÜK ST (istasyon)	$260 \leq L \leq 480$ (m)	$220 \leq L \leq 370$ (m)
DÜŞÜK M (düz hat)	$650 \leq L \leq 970$ (m)	$610 \leq L \leq 680$ (m)
YÜKSEK ST (istasyon)	$30 \leq L \leq 260$ (m)	$30 \leq L \leq 220$ (m)
YÜKSEK M (düz hat)	$260 \leq L \leq 650$ (m)	$220 \leq L \leq 610$ (m)

Bu proje de Çizelge 4.6.'da ilk satırda ki veriler dikkate alınarak tasarlanacaktır.

Çizelge 4.6. Teknik binadan ayar kutusuna kadar olan kablo uzunluğu

Ray Devresi		VERİCİ	ALICI
1,4 mm Q	0,5 Ω	6,5 km	7,2 km
0,9 mm Q	0,5 Ω	3,0 km	2,9 km

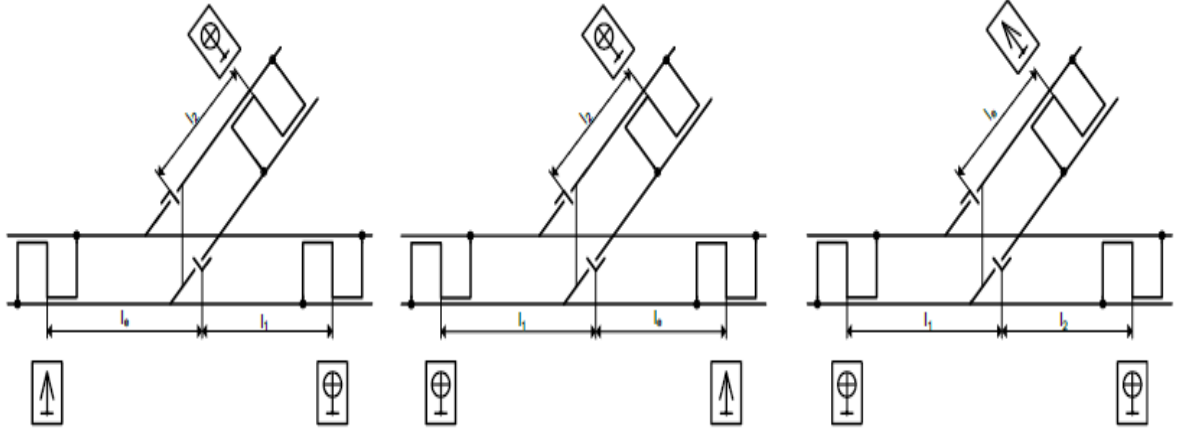
0,5 ohm'dan daha düşük dirençle yapılan kısa devreler TTC tarafından sorunsuz olarak algılanacaktır. Bu değerler modern trenler için ortaktır. TTC, bir vericinin ve üç adede kadar alıcının bulunduğu bir konfigürasyona izin verir.



Şekil 4.9. Verici-Alıcı konfigürasyonları

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi bu bağlantılar yapılarak bond tiplerine ve özelliklerine göre değişmektedir. Açık hatta mesafenin yüksek olması sebebiyle düşük frekans kullanılmaktadır. İstasyon içerisinde daha kısa mesafede sinyal blokları olduğu için yüksek frekans ile beslenen ray devresi bloğu oluşturulur. Uçtan beslemede kullanılan bond tipi s bondtur. Merkez beslemede s ve 8 bond kullanılabilir. Makas alanlarında merkez besleme kullanılmaktadır. İstasyon içerisinde merkez besleme maksimum 550 m, uçtan besleme maksimum 300 m olarak kullanılmaktadır. Ray devresi ekipman beslemeleri için Q tipi kablo kullanılmaktadır. Tüm kablolar %25 yedekli olarak seçilmek zorundadır. Mesafeye göre uzunlukları değişmektedir. Ray devresi bloklarının alıcıları bir kablo vericileri ayrı bir kablo ile taşınmaktadır.

Bir kutudan en fazla 6 verici beslenebilmektedir. Merkezi besleme olarak makas bölgelerine konumlandırılan bir alıcı iki vericiden oluşan ray devreleri konumlandırılırken vericinin makasa olan uzunluğu iki vericinin makasa olan uzaklıklarının oranı Şekil 4.10. ve Çizelge 4.7.'de gösterildiği şekilde dikkate alınarak tasarlanacaktır.



Şekil 4.10. Merkez besleme durumları

Çizelge 4.7. Merkez beslemede ray devresi arası uzaklık

$l_e(m)$	$l_1 = l_2(m)$
25	200
50	150
75	125
100	100
125	50
150	25

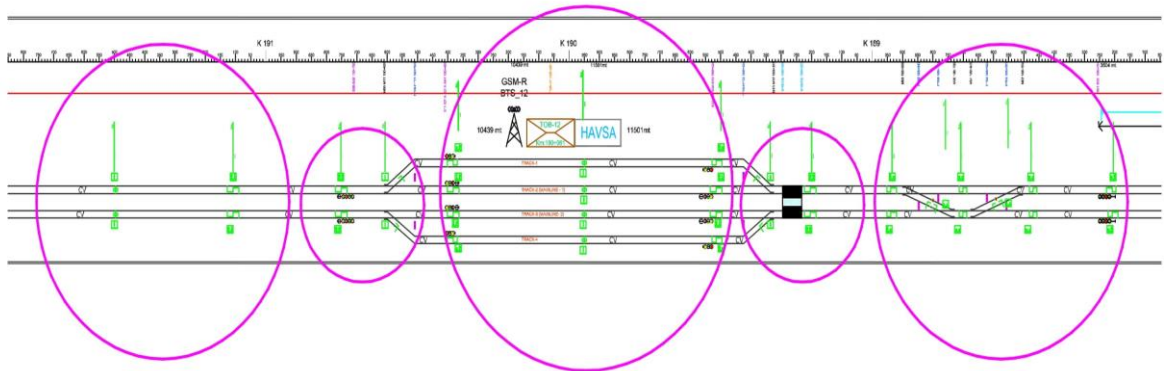
Ray devresi blokları oluşturulurken öncelikle antlaşman sınırları belirlenir. Bu antlaşman sınırlarıyla birlikte kullanılacak ray devresi ekipmanının standartlarına göre maksimum antlaşman sınır bölgeleri oluşturulur. Avrupa standartları içerisinde kullanılan ray devresi beslemesi 5-6 km'ye kadar uygulanmaktadır.

Şartname gereğince balast direncinin 1,2 ohm olması gereğince seçilen ray devresi ekipmanının besleme noktaları merkezden besleme ve uçtan besleme olarak ikiye ayrılmaktadır. Merkezden besleme 2 alıcı 1 verici sistemden, uçtan besleme ise 1 alıcı 1 verici sistemden oluşmaktadır. 2 alıcı arası R1-T-R2 arası mesafe 1.000 m olarak kullanılabilir. Resim 4.11.'de Havsa bölgesinden merkez beslemeli bir ray devresi görülmektedir.



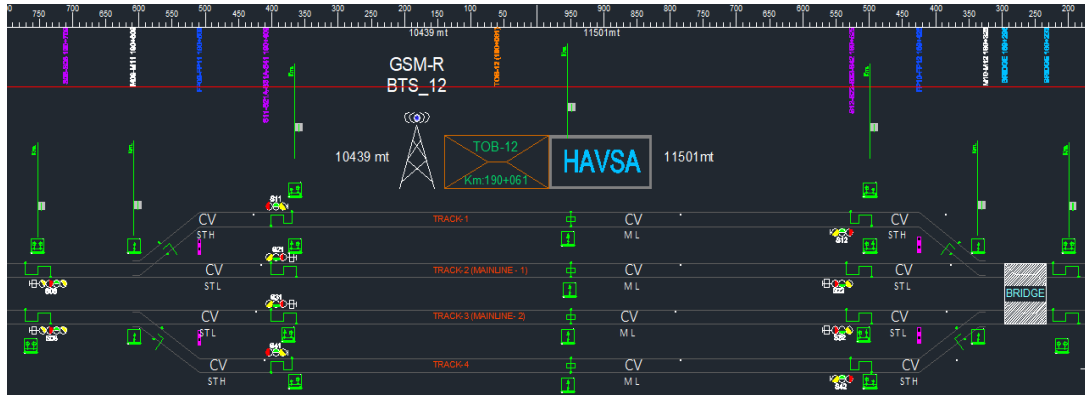
Resim 4.11. Havsa bölgesi düz hat merkez besleme ray devresi planı

Ray devresi planı yapılırken proje bölümlere ayrılır. Teknik binaların sağına 5km, soluna 5 km olacak şekilde 10 km'lik alanlar düşünülerek ray devreleri çizilir. 10 km'lik alanda parçalara ayrılır. Düz hat, makas giriş bölgesi ve makas bölgesi olarak gruplara ayrılır ve ray devresi tasarımı kriterlere uyacak şekilde yerleştirilir. Şekil 4.11.'de ray devresi tasarımı yaparken hattın nasıl bölümlendirildiği görülmektedir.



Şekil 4.11. Ray devresi için hattın bölümlenmesi

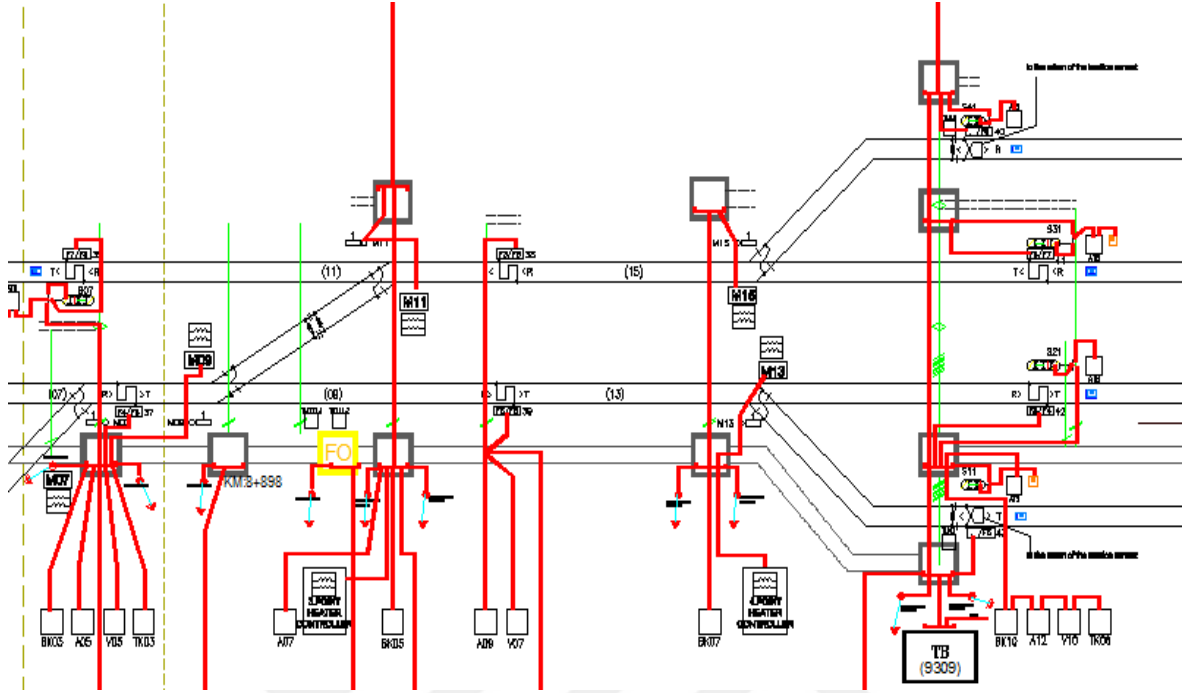
Hat bölümlere ayrıldıktan sonra blok sinyaller, giriş sinyalleri, çıkış sinyallerinin önüne ray devreleri yerleştirilir. Makas bölgesini göz önüne alırsak çıkış sinyallerinin önüne yerleştirilen ray devreleri alıcı olarak yerleştirilmiştir. İki sinyal arasına birde verici yerleştirilir. Her birinin kendi ayar kutusu olur. Bu da projede gösterilir. Makas giriş bölgeleri bir verici bir alıcı ray devresi kullanılarak planlanmıştır. Düz hatlarda merkezi besleme kurallarına göre en çok besleyebileceği mesafeye göre dikkat edilmesi gereken bir diğer konu iki trenin aynı anda aynı yolu kullanmamasıdır. Bu nedenle tren varlığının anlaşılması için ray devreleri belirlenen kurallar doğrultusunda yerleştirilir. Şekil 4.12.'te Havsa istasyon bölgesi için tasarlanan ray devresi planı görülmektedir.



Şekil 4.12. Havsa bölgesi ray devresi tasarımı

Ana hattan tali yollara geçiş noktalarına giriş sinyalleri yerleştirilir proje çizimi giriş ve çıkış sinyallerinin yerleştirilmesiyle başlar. Blok mesafeleri frenleme mesafesinin hesaplanmasının ardından karar verilir ve bu mesafeye tekabül eden yerlere de blok sinyaller yerleştirilir. Her giriş sinyalin önüne bir ray devresi konulur, ray devrelerin alıcı ve verici kutuları vardır. Alıcı olarak çizilmişse alıcı kutusunun içinde, verici olarak çizilmişse verici kutusunun içinde terminasyonu yapılır. Her giriş sinyalinin önüne yakın ATS yerleştirilir. Uzak ATS ile sinyal arasında 300 metre olur. Uzak ATS koyulan bölgelere üzerinde 40 yazan hız sınırı levhası yerleştirilir. Bu levha trene ATS'ye yaklaştığını ve hızını kontrol etmesi gerektiğinin bilgisini verir. Sinyalin koyulduğu yere ATS ile iletişimini sağlayan bir bağlantı kutusu koyulur. Sinyallerin yakınına konulması gereken telefonlar da projede T ile gösterilerek hatta yerleştirilir. Giriş sinyalinin bulunduğu kısımda verici, alıcı, telefon ve bağlantı kutuları koyulur.

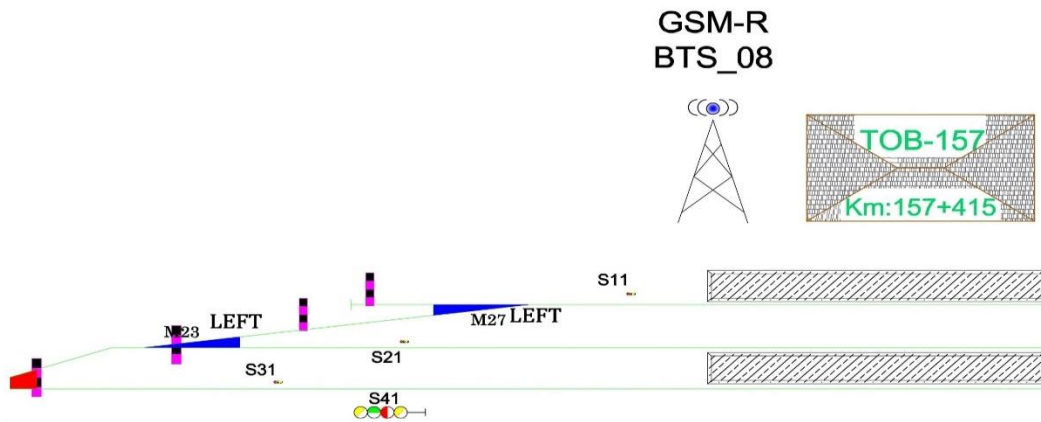
Oluşabilecek sorunlara daha çabuk müdahale etmek için tek bir kutu altında toplanmıştır. Şekil 4.13.'te Kapıkule-Çerkezköy hattına ait sinyal projesi görülmektedir.



4.8.1. Sinyaller, ATS Ve Makas Motorları İçin Çekilen Kablo Planı

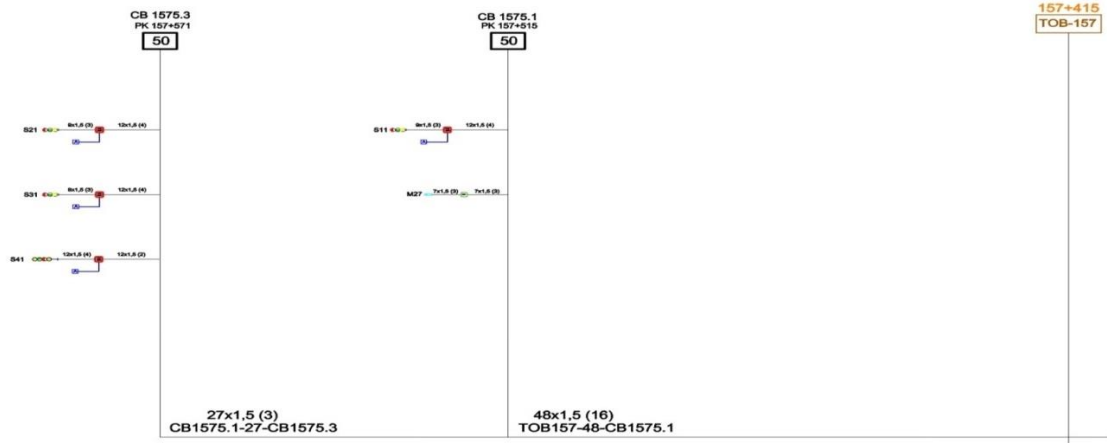
Babaeski’de bulunacak bir teknik bina KM:157+415’de bulunmaktadır. Teknik binadan 5 km sağa 5 km sola olacak şekilde kablo dağılımı yapılır. Artan kilometreyi göz önüne alırsak KM:162+415’e kadar olan ekipmanları besleyebilecektir. Makas bölgesi hedef alınarak kablo planları yapılır. Şekil 4.14.’te görülen M27 nolu makas bölgesinde 3 adet 3’lü sinyal, 1 adet 4’lü sinyal bulunmaktadır. 3 adet 3’lü sinyal için her sinyal lambası için 2 adet damar ihtiyacı olmasından dolayı 3 adet 3’lü sinyale 18 damar, 1 adet 4’lü sinyale 8 damar toplam 26 damarlı kablo ihtiyacı olmaktadır. ATS magneti için 3 damarlı kabloya ihtiyaç duyulmaktadır. Her sinyalin önüne koyulan bir adet ATS magneti koyulmasından dolayı 4 sinyale 4 adet ATS magneti koyulmuştur. 4 tane ATS magneti 12 damarlı kabloya ihtiyaç duymaktadır. M27 nolu makas bölgesinde bulunan tüm ekipmanları göz önünde bulundurursak toplam 36 damarlı kabloya ihtiyaç olacaktır. 36 damarlı kablonun %25’i de düşünüldüğü zaman 45 damarlı bir kabloya ihtiyaç duyulacağı hesaplanmıştır. 45x1,5 mm kablo olmadığı için 48x1,5 mm kablo tercih edilmiştir. M27 makasta bulunan sinyal ve önüne konumlandırılacak ATS göz önüne alındığında sinyal için 3’lü sinyal x 2 damar=6 damar, ATS için 3 damar toplam 9 damara ihtiyaç vardır. %25 opsiyonlu olması istendiği için 9 damarın %25’i ile beraber 11,5 damara denk gelmektedir. 11,5x1,5 mm kablo olmadığı için en yakın olan 12x1,5 mm kablo tercih edilir.

Makas motoruna 4 damar çekilmesi gerektiği için %25 opsiyonlu olması istendiği için 4 damarın %25’i ile beraber 5 damara denk gelmektedir. 5x1,5 mm kablo olmamasından dolayı 7x1,5 mm kablo çekilmesi planlanmıştır.



Şekil 4.14. M27 Makas Bölgesi

Şekil 4.15.'da M27 makas bölgesi için planlanan enerji kablosu planı görülmektedir.



Şekil 4.15. Kablo planı

4.9. ETCS Sistemi

Tren trafiğinin bir merkezden (CTC) yönetilmesi ve izlenmesine bağlı olarak yapılmaya başlanmıştır. CTC ile iletişim için hattaki tüm kilitlemelerde iletişim ağ geçidinin (SCOM ve PCI-R) temini ve kurulumunu sağlayacaktır. Çerkezköy kontrol merkezinde SAM-C merkezi sunuculu arıza teşhis sistemi temini ve kurulumu, tüm istasyonları bakım ağına bağlayacak yerel bir SAM ile donatılacaktır. 7 elektronik kitleme, 8 obje kontrol cihazı, 6 blok kontrol cihazı, hat boyunca dağıtılmış LEU'ları kontrol etmek için 7 LIEM, yönetmek için ICEM ve 7 yerel işletim noktaları için ray devresi sistemi, sinyalizasyon sistemi, ATS sistemi ve yeni led teknolojili ışık sinyalleri içerecektir. Bakım amacıyla her elektronik kitleme istasyonuna bir yerel teşhis konsolü (SAM-L) ve PCE sistemi kurulacaktır. 153 km ETCS1'e dayalı 200 km/s maksimum sürüş hızı ile tasarlanacaktır. Rotaları güvenli bir şekilde oluşturmak için ray elemanlarının durumunu kontrol edecek bir istasyon kapsamında tren hareketini TCDD yönetmelik kitabına ve elektronik antlaşmaların işlevsel gereksinimlerine uygun olacaktır. Bu elemanlar için gereken güvenlik seviyesi SIL4'tür. Görevi güvenli iletişim yoluyla uzaktaki nesneleri kontrol etmek olan genellikle istasyon kitleme odasında uzakta bulunan nesne kontrol ekipmanı, özel durumlarda istasyon boyutu nedeniyle tek bir kitleme istasyonunun tüm hat elemanlarını kontrol edemediğinde, ana kitleme sisteminin aynı teknik binasına kurulabilir. 8 adet nesne kontrolörü düşünülmüştür. Ray devresinde oluşabilecek arızaya karşı trenin varlığını gösterebilecek bir şekilde tasarlanmıştır.

CTC sistemi, otomatik yönlendirme, tren numaralandırma, merkezi alarm yönetimi hattı kontrol etmek için uzak arayüz olarak kullanılır. Trendeki araçlara hat kenarının durumunu ve güzergah koşullarını bildiren ERTMS balisleri, bilgi gönderen sabit balisler ve LEU'dan alınan bilgileri ileten switch balis gruplara ayrılır. Güvenlik bütünlüğü düzeyine bağlı olarak Devlet Demiryolu Güvenliği Ajansı (AESF) tarafından akredite edilmiştir. Bağımsız bir güvenlik değerlendiricisi (ISA) tarafından proje boyunca değerlendirilecektir. Üst üste binen iz devreleri bu proje için dikkate alınması gereken özel örtüşme son müşteri tarafından tanımlanacaktır.

Belirli aralıklar ile raylar üzerindeki demiryolu araçlarının tespit edilmesi ve ilerlemesinin izlenmesi için (30 m - 3000 m) oluşturulan sinyalizasyon sistemi trafik yönetiminin teknik olarak sağlanması için oluşturulmuştur. Aynı hat üzerinde aynı yönde ilerleyen trenler arasında arkadan çarpışmayı önlemek ve yeterli izleme mesafesini sağlamak asıl hedefidir. Karşı yönden gelen trenlerin çarpışmasını önlemek ve tüm trenlerin buluşma, öne geçme, güzergah değiştirme işlemlerini emniyetli bir şekilde gerçekleştirecek sinyalizasyon sistemi kurmak gerekmektedir. Tren hareketlerine yönelik gerekli makasları düzenlemek, sinyal açmak vb. işlerin yapılmasını, izlemesini ve kayıt altına alınmasını sağlayacak şekilde tasarlanacaktır. CTC merkezi, teknik binalar ve dahili ekipmanlar, saha ekipmanları, iletişim sistemleri ve kablolar sinyalizasyon sisteminin parçasıdır. CTC merkezinde lisanslı yazılım ve donanımlar, teknik binalarda lisanslı yazılım ve SIL4 güvenlik seviyesine sahip donanımlar bulunmaktadır. Yol boyu ekipmanları olarak ray devresi, makas motoru, sinyaller, otomatik tren durdurma sistemleri, ETCS-ERTMS L1-L2 ekipmanları, araç üstü ekipmanları, makas ısıtıcı sistemi, sıcak dingil algılama sistemleri ve iletim sistemi kablolardan oluşan bir sinyalizasyon sistemi ile tasarlanmıştır. Çerkezköy-Kapıkule arası hızlı tren projesinde Seviye 2'ye yükseltilebilecek şekilde Seviye 1 sistem ile tesis edilecektir.

4.9.1. Ortalama Asgari Tren Takip Mesafesi

Birbirini takip eden iki tren arasındaki izin verilen geçiş aralığıdır. Her blok kesimi için önde giden trenin frenleme mesafesinin onu takip eden trenin durması için gereken süre hesaba katılarak hesaplanır.

Kapıkule-Çerkezköy arası hızlı tren projesi için ortalama asgari tren takip mesafesi hesaplanırken ETCS Seviye 1 sistem için 5 dakikada ($5 \times 60 \text{sn} = 300 \text{sn}$), ETCS Seviye 2 için 4 dakikada ($4 \times 60 \text{sn} = 240 \text{sn}$) ve ETCS Seviye 3 için ise 1,5 dakikada ($1,5 \times 60 \text{sn} = 90 \text{sn}$) bir tren kalkacak şekilde tasarım yapılır. Dolayısıyla Çizelge 4.8.'deki z değeri saniye olarak alınarak hesaplanır.

Çizelge 4.8. ETCS seviyelerine göre ortalama asgari tren takip mesafeleri

Seviye	z (sn)
ETCSL1	300
ETCSL2	240
ETCSL3	90

Ortalama ara süre (T_p): İki tren arasındaki gecikme süresini kısaltmak için koyulan süresidir. Süreler doğru hesaplanmazsa hat kullanımı azalacağından taşınacak yolcu kapasite değerinde de azalmalar olacaktır. Bu hızlı tren hattı için Çizelge 4.9. kullanılarak hesaplanır. Hattımız Çizelge 4.9.'dan yararlanılarak hızlı tren taşımacılığı yapacağı için hızlı hat planına göre hesaplamalar yapılır.

$$T_p = \frac{z \cdot (1 - Puic)}{Puic} = \frac{\text{ort.asgari tren takip mesafesi} \cdot (1 - Puic)}{Puic} \quad (4.6)$$

$Puic$ yoğun saat değeri=0,75

$Puic$ günlük saat değeri=0,60

Çizelge 4.9. UIC 406 verilen alt yapı kullanımında tavsiye edilen değerler

HAT	Yoğun Saat Oranı (%)	Günlük Saat Oranı (%)
Banliyö	85	70
Hızlı	75	60
Karışık	75	60

ETCS seviyelerine göre ortalama ara süre hesaplamaları aşağıda görülmektedir.

$$Tp_{seviye1} = \frac{300.(1-0,75)}{0,75} = 100 \text{ sn} \quad (4.7)$$

$$Tp_{seviye1} = \frac{300.(1-0,6)}{0,6} = 200 \text{ sn} \quad (4.8)$$

$$Tp_{seviye2} = \frac{240.(1-0,75)}{0,75} = 80 \text{ sn} \quad (4.9)$$

$$Tp_{seviye2} = \frac{240.(1-0,6)}{0,6} = 160 \text{ sn} \quad (4.10)$$

$$Tp_{seviye3} = \frac{90.(1-0,75)}{0,75} = 30 \text{ sn} \quad (4.11)$$

$$Tp_{seviye3} = \frac{90.(1-0,6)}{0,6} = 60 \text{ sn} \quad (4.12)$$

Çizelge 4.10. Yoğun Ve Günlük Saat İçin Ortalama Ara Süre Değerleri

Seviye	Tp (YOĞUN) (sn)	Tp (GÜNLÜK) (sn)
ETCSL1	100	200
ETCSL2	80	160
ETCSL3	30	60

Seviyelere göre ortalama ara süre hesabı yapılırken Çizelge 4.10.'da görüldüğü gibi ETCS seviyeleri arttıkça bu sürenin azaldığı görülmektedir.

Eşdeğer tampon süresi(Tadd): Trenlerin gecikme oranına eklenen ilave süredir. Hat ve tren arasında devamlı olarak devam eden bilgi akışında yaşanabilecek sıkıntılar düşünülerek eşdeğer ara süre eklenir. Bilgi akışını ETCS seviye 1’de LEU ekipmanı sağlar. Ekipmanın bozulma ihtimaline karşı ortalama ara sürenin yüzde 10’u eşdeğer tampon süresidir. Denklem 4.13’te eşdeğer tampon süresi formülü görülmektedir. Seviye 2-3’te LEU ekipmanı kullanılmadığı hattın GSM-R tarafından haberleşmesinden dolayı 0 olarak kabul edilir.

$$ETCSL1 \text{ Tadd} = \frac{Tp \times 10}{100} \quad (4.13)$$

$$ETCSL1 \text{ Tadd (yoğun saat)} = \frac{100 \times 10}{100} = 10 \text{ sn} \quad (4.14)$$

$$ETCSL1 \text{ Tadd (günlük saat)} = \frac{200 \times 10}{100} = 20 \text{ sn} \quad (4.15)$$

Çizelge 4.11.'de eşdeğer tampon süreleri görülmektedir.

Çizelge 4.11. Seviyelere göre eşdeğer tampon süreleri

	Tadd(YOĞUN)(sn)	Tadd(GÜNLÜK)(sn)
Seviye 1	10	20
Seviye 2	0	0
Seviye 3	0	0

Hat kapasitesi hesaplaması(Nopt): Çerkezköy-Kapıkule arası hızlı tren projesi günlük kullanım süresi 16saat=57600saniye olarak belirlenmiştir. 06:00-22:00 saatleri arasında çalışması planlanmıştır. Denklem 4.17 kullanılarak günlük optimum tren sayısı $110,76 \approx 111$ adet olarak hesaplanmaktadır. Yoğun saatlerde seviye 1 için denklem 4.18.'de hesaplandığı gibi $140,48 \approx 141$ adet tren geçişi yapılabilir. Seviye arttıkça yoğun ve günlük saatlerde geçebilecek tren sayısında da artışlar olacaktır. Denklem 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22'de seviye 2 ve seviye 3'e yükseltilmesi sonucu kaç adet tren geçebileceği hesaplanmıştır.

$$N_{opt} = \frac{T}{z+T_p+T_{add}} = \frac{\text{varsayılan süreden geçen toplam zaman}}{\text{ort.asgari tren tak.mes.}+\text{ort.ara süre}+\text{eşdeğer ara süre}} \quad (4.16)$$

$$N_{opt1}(\text{günlük}) = \frac{57600}{300+200+20} = 110,76 \text{ ad} \quad (4.17)$$

$$N_{opt1}(\text{yoğun}) = \frac{57600}{300+100+10} = 140,48 \text{ ad} \quad (4.18)$$

$$N_{opt2}(\text{günlük}) = \frac{57600}{240+160+0} = 144 \text{ ad} \quad (4.19)$$

$$N_{opt2}(\text{yoğun}) = \frac{57600}{240+80+0} = 180 \text{ ad} \quad (4.20)$$

$$N_{opt3}(\text{günlük}) = \frac{57600}{90+60+0} = 384 \text{ ad} \quad (4.21)$$

$$N_{opt3}(\text{yoğun}) = \frac{57600}{90+30+0} = 480 \text{ ad} \quad (4.22)$$

Yüksek hızlı tren kullanım oranı: Hattın tam kapasiteyle çalışacağı düşünüldüğünde bu projenin kullanım oranının denklem 4.23 da hesaplandığı gibi yüzde 9 oranında bir kullanım olması beklenmektedir. Yük trenin sayısı bu projede yolcu trenlerinden daha fazlası olması nedeniyle seviye 1 için denklem 4.24'te hesaplanmıştır. Ve yolcu taşımacılığına göre daha fazla görülmektedir.

Fakat seviye arttıkça hattın kullanım oranında düşüş olacağı görülmektedir. Denklem 4.25 ve 4.26'da ETCS2 sistemi, denklem 4.27 ve 4.28'de ETCS3 sistemi için hesaplanmıştır. Kullanım oranının artması için kullanılan saate göre daha fazla tren geçişinin artması gerekmektedir. Hem yük taşımacılığı hem yolcu taşımacılığı göz önüne alınırsa sosyo-ekonomik açıdan ülkeye katkısı olacağı düşünülmektedir.

N: Hatta kullanılan yüksek hızlı tren sayısı

Z: Ortalama asgari tren mesafesi

T: Hattın kullanılan günlük zamanı

$$n(Yolcu)seviye1 = \frac{N*Z}{T} = \frac{18*300}{57600} = 0,093 \quad (4.23)$$

$$n(Yük)seviye2 = \frac{N*Z}{T} = \frac{30*300}{57600} = 0,156 \quad (4.24)$$

$$n(Yolcu)seviye2 = \frac{N*Z}{T} = \frac{18*240}{57600} = 0,075 \quad (4.25)$$

$$n(Yük)seviye2 = \frac{N*Z}{T} = \frac{30*240}{57600} = 0,125 \quad (4.26)$$

$$n(Yolcu)seviye3 = \frac{N*Z}{T} = \frac{18*90}{57600} = 0,028 \quad (4.27)$$

$$n(Yük)seviye3 = \frac{N*Z}{T} = \frac{30*90}{57600} = 0,046 \quad (4.28)$$

5. SONUÇ

Bu projede raylı sistemlerin yapıtaşını oluşturan sinyalizasyon sistemleri ele alınmıştır. Sinyalizasyon sistemini oluşturan ekipmanlar görevleri ve hatta konumlandırma şekilleri büyük önem taşımaktadır. Tüm ekipmanların hatta konumlandırılması için belirli kurallar bulunmaktadır. Hat uzunluklarına göre tasarlanan hızlı tren projelerinin blok mesafe hesapları ve bununla beraber o blokta bulunacak sinyal ekipmanları ve kablo planlaması yapılmaktadır. Bu planlamayı yaparken geliştirilebilir olması önem taşımaktadır. ETCS sisteminin geliştirilmeye açık bırakılması bunu göstermektedir. ETCS seviyesi arttıkça ortalama ara süre azalmaktadır. Yoğun saatlerde 100 sn olan bu süre günlük saate göre hesaplandığında 200 saniyeye çıktığı bu sürenin arttığı görülmektedir. ETCS seviyesinin yükselmesiyle bu sürelerde azalmalar göstermiştir. ETCS1 de yoğun saatler için 100 sn olan ortalama ara süre ETCS2 ye geçildiğinde 80 saniyeye, ETCS3'e geçildiğinde ise 30 saniyeye kadar düşmektedir. Günlük kullanımlarda ise ETCS2'ye geçildiğinde ETCS1'de 200 sn olan bu süre 160 saniyeye, ETCS3'e geçildiğinde ise 60 saniyeye ineceği hesaplanmıştır. Tren takip mesafesine ek olarak hesaplanan eşdeğer takip mesafesi hesaplandığında yoğun saat için hesaplandığına 10 sn olan bu süre günlük saat için hesaplandığında artış göstermekte ve 20 saniyeye çıktığı görülmektedir. ETCS seviye 2 ve 3'de GSM sisteminin kullanılmasından dolayı değer göstermeyecektir. Bu da daha kısa sürede tren hareketinin sağlanabilmesini sağlamaktadır. Dolaylı olarak günlük tren geçişinde de artış görülmektedir. Günlük ETCS seviye 1'e göre yapılmasından dolayı hesaplandığında 110,76 adet tren geçişi sağlanırken ETCS seviyesinin yükselmesiyle bu sayının yoğun saat ve günlük saatlerdeki hat kapasitesine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Günlük saat kullanımına göre hesaplandığında 111 adet olan hızlı tren sayısı seviye 2'ye geçildiğinde 144 adede, seviye 3'e geçildiğinde ise bu sayının 384'e çıkacağı görülmektedir. Yoğun saat kullanımına göre hesaplandığında ise 140 adet tren geçişi yapabilen bu hat ETCS2'ye geçildiğinde 180'e, ETCS3'e geçildiğinde ise 480'lere kadar ulaşması beklenmektedir. Denklemlerdeki verilerin değişmesiyle bu değerlerde de değişiklik görülecektir. Hattın kullanım saati, yolcu ve yük treni sayısının değişmesi çıkan sonuçları da otomatik olarak etkileyecektir.

Sinyalizasyon sistemini oluşturan ekipmanların doğru yerlerde ve uygun standartlarda yerleştirilmesinin önemi kaza oranlarının en aza inmesini sağlayacaktır. Doğru sinyalizasyon tasarımları yapılması büyük önem taşımaktadır.

Hali hazırda çalışan konvansiyonel hattın tek hat olması ve düşük hızla seyir etmesinden dolayı çalışan yolcu ve yk trenlerinin hattaki meşguliyet durumuna göre hareketinin kısıtlı olması dolayısıyla yapılan yüksek hızlı tren projesi sayesinde taşınacak yolcu ve yk potansiyelinin büyük ölçüde artacağı n görülmüştür. Kullanım oranı 0,093 olarak hesaplanmıştır. ETCS seviyelerinin artmasıyla beraber hat kapasitesinde de artışlar, kullanım oranında artışlar olacağı görülmektedir. Bu da göstermektedir ki demiryollarının kullanımı diğer ulaşım araçlarından daha çok tercih edilecektir. Artan ekonomik sorunlar, oluşan çevresel problemlerin ve ülkemizin gelişmesi için önemli bir kapı açacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Söylemez, T.** *Raylı Sistemlerde Sinyalizasyon: Neden? Nasıl?*, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol Ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü (pp.29-36)
- [2] **Görgülü, Ç.** *Tarihsel Süreç İçerisinde Demiryolu Trafik Yönetim Sistemlerine Yüzeysel Bakış*, Demiryolu Mühendisliği (pp.34-43)
- [3] **Url-1** <<https://www.trenhaber.com/mevzuat/dunya-demiryollarinin-tarihsel-gelisimi-h6180.html>> , erişim tarihi 12.06.2021
- [4] **Milli Eğitim Bakanlığı,** (2006) *Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi*, Raylı Sistem Teknolojisi, Raylı Sistemler, Ankara
- [5] **Türk, S.** (2010). *Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemleri İçin Otomatik Antlaşman Algoritması Ve Kodu Üretme Yönetimi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Alayoğlu, İ.** (2018). *Hızlı Tren Sinyalizasyon Sisteminde Bazı Bileşenlerin Güvenilirlik Analizi* (Yüksek lisans tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- [7] **Url-2** < https://tr.wikipedia.org/wiki/Ankara-Konya_Yüksek_Hızlı_Treni > , erişim tarihi 03.01.2022
- [8] **Demirezer, T.** *Türkiyede Hızlı Tren Projeleri Ve Proje Yapıları*, TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü. Ankara
- [9] **TCDD,** (2009) Demiryolu Sektör Raporu
- [10] **Url-3** < http://www.dlh.gov.tr/Demiryollari/ankara_sivas.htm > , erişim tarihi 11.05.2022
- [11] **Url-4** < <https://hizlitrenseferleri.com/bursa-bilecik-hizli-tren-projesi/> > , erişim tarihi 18.04.2022
- [12] **Gem Sustainability Sevices And Consultancy Inc,** (2021) *Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Hattı Projesi*
- [13] **Url-5** < <https://www.tcddtasimacilik.gov.tr/haber/691/> > , erişim tarihi 18.04.2022
- [14] **Ozan Yazıcı,** (2020) *Yeni Nesil Çevreci Kompozit Traversler*, TCDD 1. Bölge Müdürlüğü, Demiryolu Bakım Servis Müdürlüğü, İstanbul
- [15] **Url-6** < karaca.tr.gg/Mekanik-Sinyaller.htm 15 > , erişim tarihi 02.08.2021
- [16] **Cüneyt, C.** (2001) *Demiryollarında Sinyalizasyon Ve Elektronik Kilitleme* (Yüksek lisans tezi), Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze
- [17] **Söyler, H. Açıkbaş, S.** (2006) *Raylı Toplu Taşımda Sinyalizasyon Sistemleri*
- [18] **TCDD,** (2007) Faaliyet Raporu
- [19] **Özdemir, S.** (2000) *Demiryollarında Sinyalizasyon* (Yüksek lisans tezi), Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli

- [20] **Güngör, Y.** (2013) *Ray devreleri, Raylı Sistemler Teknolojisi*, T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara
- [21] **Gülener, Y.** (2009). *Bir Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemi Gerçekleştirme* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Babacan, V. K.** (2010). *Raylı Sistemlerde Sinyalizasyon Tekniğine Giriş*
- [23] **Url-7** < <https://www.endustri40.com/rayli-sistemlerde-sinyalizasyon-ekipmanlari/> > , erişim tarihi 09.04.2022
- [24] **Kiriş, M.** (1997). *Nippon Sinyal Sistemi*, Haydarpaşa, İstanbul
- [25] **Işık, B.** (2020). *Eddy-Current Fren Sisteminin Türkiye'deki Yüksek Hızlı Demiryolu Hatları İle Uyumunun Analizi*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara
- [26] **Karayanık, S.** *Marmaray Sinyalizasyon Sistemleri*, Demiryolu Mühendisleri Derneği, (pp.71-77)
- [27] **Milli Eğitim Bakanlığı**, (2014) *Tren Koruma Ve Kontrol Sistemleri* , Raylı Sistem Teknolojisi, (pp.36-38)
- [28] **Url-8** < <https://www.thalesgroup.com/en/european-train-control-system-etcs> > , erişim tarihi 05.04.2022
- [29] **Binay, İ.** (2013) *Avrupa Tren Kontrol Sisteminin ETCS Türkiye'deki Demiryollarına Uygulanmasının İncelenmesi*, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul
- [30] **TCDD Tesisler Daire Başkanlığı**, (2007) *ETMS/ETCS Sistemi Kurulacak Hatlar*, Ankara
- [31] **Mert, A.A.** (2016) *Farklı Seviye ERTMS/ETCS Sinyalizasyon Sistemleri İle Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Hat Kapasitesi Optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi), Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [32] **Günoral Ş.** (2013) *Demiryolu Makasları*, Ulaşım A.Ş. Yayınları