



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE PLC İLE MAKAS OTOMASYONU

Nail Ferhat ÖZTÜRK

Elektrik Elektronik Müh. Ana Bilim Dalı

Danışman

Prof.Dr. Sıddık YARMAN

Mayıs, 2012

İSTANBUL



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE PLC İLE MAKAS OTOMASYONU

Nail Ferhat ÖZTÜRK

Elektrik Elektronik Müh. Ana Bilim Dalı

Danışman


Prof.Dr. Sıddık YARMAN


Mayıs, 2012


İSTANBUL

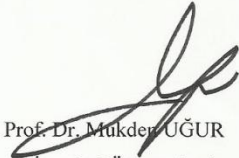
Bu çalışma 30/05/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Prof. Dr. Süddik YARMAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Uhan KOCAARSLAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Aydın AKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Mukden UĞUR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜRKAN
Işık Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof.Dr. Sıddık YARMAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen İstanbul Ulaşım AŞ. çalışanlarına, yazılım ve teknik desteklerinden dolayı Yılmaz Otomasyon ve AB Bilişim çalışanlarına, tezin yazılması ve düzeltilmesi konularında yardımcı olan değerli arkadaşım Yrd.Doç.Dr. Fevzi HANSU'ya teşekkürü borç bilirim.

Mayıs, 2012

Nail Ferhat ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1 KENT İÇİ RAYLI TAŞIMA ÇEŞİTLERİNE GENEL BAKIŞ	3
2.1.1 Tramvay	4
2.1.2 Hafif Metro	5
2.1.3 Metro.....	5
2.1.4 Banliyö Trenleri.....	6
2.1.5 Monoray	6
2.1.6 Füniküler	6
2.2 RAYLI ULAŞIM SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	7
2.2.1 Sinyalizasyon Sistem Bileşenleri	8
2.2.2 Sinyalizasyon Sistemlerinde Emniyet Standartları ve Tasarım Parametreleri.....	14
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	23
3.1 OTOMASYONDA KULLANILAN MALZEMELER.....	25
3.1.1 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) Grubu	25
3.1.2 Elektrohidrolik Makas (DT5/1435).....	30
3.1.3 Ultrasonik Sensörler:.....	32
3.1.4 Infrared Sensörler:.....	34
3.2 TASARIM KRİTERLERİ.....	35
3.2.1 Fail-Safe (Hatada Emniyet) Tasarım Prensiplerinin Otomasyona Uygulanması:.....	35
3.2.2 İç kilitleme (Interlocking).....	36
3.2.3 Yazılım Akış Diyagramı:	37

3.3 TASARIMI YAPILAN SİSTEMİN TANITIMI	39
3.4 TASARIMI YAPILAN SİSTEMİN ÇALIŞMA ŞEKLİ.....	41
3.5 ELEKTRİKSEL BAĞLANTILAR.....	43
3.6 PLC INPUT/OUTPUT (GİRİŞ/ÇIKIŞ) LİSTESİ.....	47
4.BULGULAR.....	51
4.1 PLC programları	51
4.2 Simulasyon	61
4.2.1 Mimik Panel ile Saha Simulasyonu	61
4.2.2 Scada ile İzleme Yazılımı Simulasyonu.....	62
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ:.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: İlk demir atlı tramvay	3
Şekil 2.2: İstanbul Kabataş-Bağcılar tramvayı	4
Şekil 2.3: 2, 3 ve 4 raylı fönükülerin yapısı.....	6
Şekil 2.4: Genel sinyalizasyon sistem mimarisi.....	8
Şekil 2.5: Sabit blok ray devresinin yapısı	9
Şekil 2.6: Makas bölümleri.....	11
Şekil 2.7: IEC 61508 Risk belirleme grafiği[5]	20
Şekil 3.1 : Tramvay depo sahasından bir görünüm.....	24
Şekil 3.2 : Tramvay depo sahası kontrol ünitesi	24
Şekil 3.3: PLC'nin genel yapısı	26
Şekil 3.4: Siemens S7-300 PLC görüntüsü	27
Şekil 3.5: Merkezi İşlem Birimi(CPU) yapısı	28
Şekil 3.6: Merdiven(Ladder) diyagramı ile PLC programlama	30
Şekil 3.7: Komut Dizini (Statement List) ile PLC programlama.....	30
Şekil 3.8: DT5/1435 Elektrohidrolik makas	30
Şekil 3.9: DT5/1435 Elektrohidrolik makas detay çizimi	31
Şekil 3.10: Ultrasonik dalgalar ile cisim algılama	33
Şekil 3.11: Microsonic Mic +600/D/TC ultrasonik sensör.....	33
Şekil 3.12: Infrared cisim algılama ve SUNX-RX-LS200 infrared sensör	34
Şekil 3.13: Makas kontrol sistemi akış diyagramı	38
Şekil 3.14: Makas otomasyonu uygulanan ray bölgesi	39
Şekil 3.15: Tramvay Depo Bölgesi tek hat şeması	40
Şekil 3.16: Anahattan 1.Hatta geçiş için butondan tanzim talebinin istenmesi	41
Şekil 3.17: Anahattan 1.Hatta geçiş için güzergahın kurulması	42
Şekil 3.18: Anahattan 1.Hatta geçişin meşguliyet bölgeleriyle izlenmesi.....	42
Şekil 3.19: Anahattan 1.Hatta geçişin tamamlanmasıyla sinyallerin durumu	43
Şekil 3.20: 1 Nolu makas motoruna ait elektriksel bağlantı şeması.....	44
Şekil 3.21: Makas-1 yön değiştirme valflerine ait PLC çıkışları ve elektriksel bağlantı şemaları	45
Şekil 3.22: Makas-1 yön sensörlerine ait PLC girişleri.....	46
Şekil 3.23: Araç geçişlerini algılayan ultrasonik ve infrared sensörlere ait PLC girişleri.....	47
Şekil 4.1: Makas1 düz tahkiki ve ilgili sinyal tanzimleri programı	51
Şekil 4.2: Makas1 sapan tahkiki ve ilgili sinyal tanzimleri programı	52
Şekil 4.3: Makas1 blokaj bildirim programı	53
Şekil 4.4: Makas-1 düz tanzimi için gerekli durumların işlenmesi programı	54
Şekil 4.5: Makas-1 sapan tanzimi için gerekli durumların işlenmesi programı.....	55
Şekil 4.6: Makas1 meşguliyet bölgelerinin taranması programı.....	55
Şekil 4.8: Ana hattan 4 nolu hatta geçiş resetleme programı.....	56
Şekil 4.9: Ana hattan 4 nolu hatta geçiş izleme programı	57
Şekil 4.10: Makas1 iç kilitleme programı	58
Şekil 4.11: Makas1 Motoru Çalıştırma Programı	59
Şekil 4.12: Makas-1 düz yol tanzim valfi enerjileme programı.....	59
Şekil 4.13: Makas-1 sapan yol tanzim valfi enerjileme programı.....	59
Şekil 4.14: Butonlara uzun süre basılarak blokajı kaldırma programı	60

Şekil 4.15: Makas1 reset programı	60
Şekil 4.16: CNC Router için hazırlanan Corel Draw çizimi.....	61
Şekil 4.17: Ekipman montajı ile oluşturulmuş Mimik Panel	62
Şekil 4.18: WinCC ile oluşturulan Kumanda Merkezi İzleme Ekranı	63
Şekil 4.19: Makas1'e ait 1TC1, 1TC2, 1TC4 ray meşguliyet bölgelerinin izlenmesi.....	63
Şekil 4.20: Mimik Panel ve Scada görünümü.....	64

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: SIL seviyelerine göre THR.....	19
Tablo 2.2: Risk parametreleri değerleri.....	21
Tablo 2.3 : Risk grafiği sonuçları.....	21
Tablo 3.1 : Makas Yön Doğruluk Tablosu	37
Tablo 3.2 : Otomasyon Bileşenlerine ait I/O Listesi ve PLC I/O Numaraları.....	47

SEMBOL LİSTESİ

ATC	Automatic Train Control - Otomatik Tren Kontrolü
ATO	Automatic Train Operation - Otomatik Tren İşletimi
ATP	Automatic Train Protection - Otomatik Tren Koruması
ATS	Automatic Train Supervision - Otomatik Tren Yönetimi
CBTC	Communication Based Train Control - İletişim Temelli Tren Kontrolü
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization – Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
CTC	Centralized Traffic Control – Merkezi Trafik Kontrolü
EN	European Norm – Avrupa Standardı
ERTMS	European Rail Traffic Managemet System - Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi
ETCS	European Train Control System - Avrupa Tren Kontrol Sistemi
GSM-R	Global System for Mobile Communications for Railway – Demiryolu için Global Mobil İletişim Sistemi
HT	Headway Time – Tren Zaman Aralığı
IEC	International Electrotechnical Commission – Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
OCC	Operation Control Centre - İşletme Kumanda Merkezi
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolör)
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety, Güvenilebilirlik, Elde Edilebilirlik, Bakım Yapılabilirlik, Emniyet
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition - Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi
SDH	Synchronous Digital Hierarchy – Senkron Sayısal Hiyerarşi
SIL	Safety Integrity Level – Emniyet Bütünlüğü Seviyesi
THR	Tolerable Hazard Rate - Tolere Edilebilecek Tehlike Oranı

ÖZET

HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE PLC İLE MAKAS OTOMASYONU

Raylı ulaşımda araçların emniyetli bir şekilde seyrini ve hızlı trafik akışını sağlamak amacıyla sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde sinyalizasyon sistemi yazılımlarının uluslararası kabul görmüş SIL sertifikasyonuna sahip olması istenmekte ve bu sertifikasyonlar da az sayıdaki kurumlar tarafından verildiği için bu sistemler çok pahalı olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) yardımıyla anlaşılan tasarımı ile ilgili düşük maliyetli alternatif bir uygulama yöntemi geliştirilmiş ve örnek bir demiryolu bölgesi için makas otomasyonu gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında genel olarak, makaslar, ray devreleri, sinyal lambaları, anlaşılan sistemleri gibi temel sinyalizasyon bileşenleri tanıtarak, sinyalizasyon sistemlerinde emniyet standartları ve tasarım parametreleri incelenmiştir. Siemens S7-300 serisi 315F-2 DP Fail-Safe CPU, Simatic Manager yazılımı ile programlanarak örnek demiryolu bölgesi için bir anlaşılan yazılımı tasarlanmıştır. Bu örnek demiryolu bölgesi için yeni bir Mimik Panel uygulaması gerçekleştirilmiş olup, makaslar, ray devreleri ve sinyal lambaları bu panel üzerinde simule edilmiştir. Tasarlanan yazılım, Mimik Panel üzerinde ve aynı zamanda ilgili demiryolu bölgesinde fiziksel olarak test edilmiştir. Çalışmada ayrıca, Siemens WinCC 7.0 kullanılarak bir Kumanda Merkezi İzleme Ekranı SCADA uygulaması gerçekleştirilerek sahadaki fiziksel makas, sinyal ve meşguliyet bölgesi değişikliklerinin izleme ekranında görülmesi sağlanmıştır. Bu çalışmaların sonucunda PLC'lerin demiryolu depo bölgelerinin sinyalizasyon sistemlerinin tasarımında kullanılabileceği görülmüştür.

SUMMARY

SWITCH POINT AUTOMATION IN LIGHT RAIL SYSTEMS WITH PLC

In rail transportation, signalling systems are needed to ensure safe, rapid and efficient flow of traffic. Nowadays, signalling system softwares are required to be internationally accepted SIL certified and since these certifications are supplied by a few organizations, they are very expensive.

In this study, by PLC used in implementation of industrial automation systems, a low-priced alternative application method is developed for interlocking designing and switch point automation of a model railway is implemented.

In the thesis, basic signalling components such as switch points, rail circuits, signal lamps, interlocking systems are introduced, safety standards and design parameters on signaling systems are investigated. Programming Siemens S7-300 series 315F-2 DP Fail-Safe CPU by Simatic Manager software, an interlocking software is designed for the model railway region. A new Mimic Panel is created for the model railway region and switch points, rail circuits, signal lamps are simulated on the panel. The designed software is also physically tested both on the Mimic Panel and the relevant railway region, at the same time. In addition, with implementation of Control Center Monitoring Screen SCADA application by Siemens WinCC 7.0, physical changes of switch points, signals and train detections on occupation areas on site are displayed on the monitoring screen. In consequence of these studies it is seen that PLCs can be used in the design of signalling systems of railway depot areas.

1.GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığında sinyalizasyon sistemleri, ulaşımın emniyetli ve planlanan zamanda gerçekleştirilmesi için çok büyük öneme sahiptir. Sinyalizasyon sistemi yazılımlarının SIL sertifikasyonuna sahip olması gerektiği ve bu sertifikasyonlar da Avrupa Birliği çatısı altında örgütlenmiş az sayıdaki kurumlar tarafından verildiği için, günümüzde hafif raylı sistemlerin sinyal otomasyonu, dünyada sadece birkaç firmanın tekelinde bulunmaktadır. Dolayısıyla SIL onaylı bu sistemler çok pahalı olmaktadır. Raylı sistemler alanında büyük gelişme gösteren ülkemiz, günümüzde sinyalizasyon sistemleri konusunda tekelleşen birkaç firmaya bağımlı bulunmakta, büyük miktarlarda parasal kaynağımız yurt dışına akmaktadır. Bu amaçla alternatif bir çalışma olarak endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanılan sayısal işlemci tabanlı fail-safe serisi S7-300 PLC ile bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, İstanbul Zeytinburnu-Kabataş tramvay hattına ait depo alanındaki üç adet makas ve dört hattan oluşan demiryolu bölgesinin otomasyon programı tasarlanmıştır. Makas giriş-çıkışlarında bulunması gereken meşguliyet bölgeleri ultrasonik ve infrared sensörlerle sağlanmıştır. Saha ile PLC arasındaki elektriksel bağlantı şemaları ise E-Plan programı kullanılarak çizilmiştir.

Tezde; ikinci bölümde kent içi raylı ulaşımın tarihçesine kısaca değinildikten sonra, kent içi raylı sistemler tanıtılmış, yolculuk kapasiteleri, maksimum seyir hızları, nerelerde ve hangi durumlarda tercih edildikleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Daha sonra sinyalizasyon sistemine ait bileşenler tanıtılmış, sinyalizasyon sistemlerinde kullanılan emniyet standartları ve tasarım parametreleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca raylı ulaşım sinyalizasyon sistemlerinde fonksiyonel emniyet, tehlikeli durum belirleme ve risk analizi, risk değerlendirme ve kabul edilebilirlik durumları anlatılmıştır. RAMS parametreleri de verildikten sonra Emniyet Bütünlüğü Seviyesi (SIL) hesaplama yöntemlerine değinilmiş, İstanbul Zeytinburnu-Kabataş Tramvay hattına ait depo sahasında uygulanan makas otomasyonu için gerekli emniyet bütünlüğü seviyesi, IEC 61508 Risk Belirleme Grafiği baz alınarak hesaplanmıştır. Üçüncü bölümde, depo sahası makas otomasyonunda kullanılan ekipmanlar tanıtılıp, teknik özellikleri verildikten sonra, otomasyonda kullanılan tasarım kriterleri anlatılmış, yazılım akış diyagramı çıkarılmış, tasarımı yapılan sistem tanıtılmış ve çalışma şekli Power Point programı ile oluşturulan animasyonla anlatılmıştır. Üçüncü bölümün sonunda E-Plan programıyla oluşturulan elektriksel bağlantı şemalarından örnekler verilmiş, PLC programı için I/O tanımlamaları bir tablo ile oluşturulmuştur. Dördüncü bölümde ise örnek demiryolu bölgesi makas otomasyonu için Siemens Simatic Manager programı ile gerçekleştirilen PLC programı incelenmiş, programın başarımını test etmek amacıyla oluşturulan Mimik Panel ve Merkezi İzleme Scada'sı anlatılmıştır. Mimik Panel

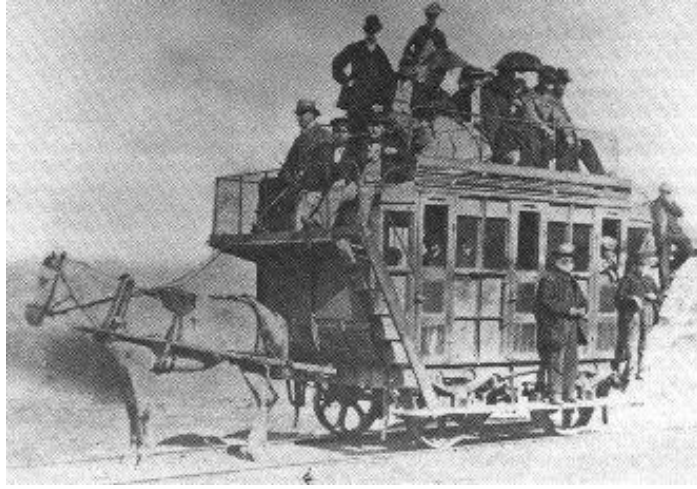
üzerinde sahada bulunan ekipmanlar butonlar ve LED'lerle simule edilerek saha fonksiyon testleri gerçekleştirilmiştir. Siemens WinCC 7.0 ile oluşturulan Merkezi İzleme Scadası ile de sahadaki makasların konumları, meşguliyet bölgelerinin durumları ve sinyal durumlarının kumanda merkezinden izlenebilir hale getirilmesi sağlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 KENT İÇİ RAYLI TAŞIMA ÇEŞİTLERİNE GENEL BAKIŞ

Dünyada ilk kez atlı tramvay, 1807’de İngiltere’de toplu taşımada kullanıldı. İstanbul’da ilk atlı tramvay 1871’de ve ilk elektrikli tramvay 1914’te çalıştı.

19. yüzyıldan önce ahşap tekerlekli yük arabaları için raylar ahşaptan yapılırdı. Ahşap rayların üst kısmı, ilk kez İngiltere’de 1768’de demirle kaplandı. Demirin maliyeti düşünce, ray ve tekerlekler tamamen demirden yapıldı.



Şekil 2.1: İlk demir atlı tramvay

Demir ray üstünde giden ilk atlı tramvay, İngiltere’de 1803’te yük taşımada ve 1807’de toplu taşımacılıkta kullanıldı. Elektriğin üretimi ve uzak mesafelere iletilmesi ucuzlayınca, elektrikli tramvay fikri ortaya çıktı. Ukrayna’da, mühendis F. Pyrotskyi 1875’te elektrikli tramvayı icat etti.

Elektrik izolasyonuyla zeminden ayrılan raylar, aynı zamanda motora elektrik iletiyordu. Ukraynalı mühendis, sistemi daha da geliştirdi ve 1880’de iki katlı bir atlı tramvaya elektrik motoru taktı. Böylece dünyanın ilk elektrikli tramvayı Saint Petersburg’da yolcu taşımaya başladı. Almanya’da 1881’de W. Von Siemens, ilk uzun mesafeli elektrikli tramvayı işletmeye açtı. İngiltere’de zaman içinde kablolu, buharlı hatta yelkenli tramvaylar geliştirildi. Ancak elektrikli tramvay en uzun ömürlü sistem oldu.

Tramvay, tüm dünyada modernleşme ve gelişmenin sembolü oldu. Toplumlara güvenli ulaşım olanağı verdi, raylı sistemlerin ortaya çıkmasını ve gelişmesini sağladı.

Günümüzde, tramvay, hafif metro, metro, banliyö hatları, monoray sistemler ve funiküler gibi kent içi raylı toplu ulaşım sistemleri kullanılmaktadır. Bu bölümde kent içi raylı ulaşım sistemleri tanıtılmış, birbirlerinden farklılık gösteren özellikleri

incelenemiş, hangi durumlarda hangi ulaşım yönteminin tercih edilmesi gerektiği kısaca anlatılmıştır.

2.1.1 Tramvay

Tramvaylar, Şehir içi toplu taşımacılık sistemleri arasında en eski sistem olma özelliğine sahiptir. Geçmişte toplu ulaşımın alternatifi olmayan bir sistem olarak inşa edilen tramvay sistemleri, gelişen diğer alternatif ulaşım sistemlerine paralel olarak önemli gelişmeler göstermiştir ve zaman içerisinde diğer ulaşım sistemleri ile entegre edilerek, toplu taşımacılıktaki etkinliği arttırılmıştır. Tramvay sistemleri, genellikle hemzemin gzerghlar seklinde inşa edilirler. Tramvay yolları inşa edilirken çok büyük çaplı kazı ve inşaat çalışmaları gerekmediği için maliyet açısından diğer sistemlere oranla oldukça ucuz sistemlerdir. Dünyanın pek çok Őehirinde kullanılan tramvay sistemlerinde durak olarak mevcut otobüs durakları veya onlara benzer basit tesislerden faydalanılmaktadır. Tramvaylar için inşa edilen durak boyları en fazla 60 metre civarındadır.



Şekil 2.2: İstanbul Kabataş-Bağcılar tramvayı

Araç genişlikleri 2.200 milimetre ile 2.650 milimetre arasında değişebilmektedir. Kullanılan ray tipleri yaygın olarak Ri59 veya Ri60 oluklu raylardır. Enerji temini tramvaylarda katener diye bilinen havai besleme hatları ile sağlanmaktadır. Yaygın olarak 750 Volt DC katener gerilimi kullanılır. Tüm bu özellikleri sebebiyle Tramvay sistemleri, diğer raylı toplu ulaşım sistemlerine oranla oldukça ucuz maliyetlerle inşa edilebilmektedirler. Tramvay sistemleri, hemzemin yollardaki karma trafiğin etkisiyle düşük seyreden bir trafik rejimine sahiptirler ortalama ticari hızları genellikle 18-20 km/saat maksimum seyir hızı 40 km/saat şeklindedir. Ayrıca karma trafikte araç boylarının fazla uzun olması da mümkün olamamaktadır. Saydığımız sebeplerden dolayı tramvay sistemlerinin yolcu kapasiteleri de diğer sistemlere oranla daha sınırlı kalmaktadır. Tramvay sistemlerinin saatteki maksimum yolcu taşıma kapasiteleri 15.000 yolcu/yn şeklindedir. Tramvay Sistemleri nüfusu fazla olmayan yerleşim birimlerinde ana ulaşım sistemi olarak düşünülebilir, ancak nüfusu fazla olan ve yolculuk talepleri tramvay sistemlerinin kapasitelerini aşan yerleşim merkezlerinde daha

çok ana ulaşım sistemlerini besleyen ve yolcu transferlerini sağlayan tali ulaşım sistemleri olarak tercih edilmektedirler [1,2].

2.1.2 Hafif Metro

Hafif raylı sistemler, esas olarak klasik tramvayın modernleştirilmiş ve evrimleşmiş halidir. Hafif raylı taşımacılık; tek araba veya kısa dizi halinde işletilebilen yer seviyesinde veya yükseltilmiş yollarda kendine ait özel bir yolu ve çoğunlukla caddeleri kullanan bir kent içi elektrikli ulaşım sistemidir. Tramvay sistemlerine oranla daha yüksek yolculuk kapasitesine sahip sistemlerdir. Saatteki maksimum yolcu kapasiteleri 35.000 yolcu/yön seklindedir. Bu sistemler yolculuk taleplerinin yüksek olduğu ulaşım koridorlarında ana ulaşım sistemleri olarak tercih edilmekle birlikte, çok kalabalık metropol şehirlerde daha yüksek kapasiteli sistemlerle entegre çalışan tali ulaşım sistemleri olarak da inşa edilebilmektedirler. Hafif Metro hatları tam tecritli güvenli sistemlerdir. Hemzemin, viyadük veya tünel olarak inşa edilebilirler. Sistem tecritli olduğu için yüksek ticari hızlarda seyre imkân sağlamaktadır. Hafif Metro Sistemlerinde ortalama ticari hız 42-45 km/saat, maksimum seyir hızı 80 km/saattir. İstasyon boyları ortalama 100 metre civarında ve araç genişliği genellikle 2.650 milimetredir. Kullanılan ray tipi yaygın olarak S49 tipi vinyol raylardır. Enerji temini katener diye bilinen havai besleme hatları ile sağlanmaktadır. Yaygın olarak 750 Volt veya 1500 Volt tercih edilmektedir [15,2].

2.1.3 Metro

Günümüzde Şehir içi toplu ulaşım sistemleri arasında en yüksek yolculuk kapasitelerine sahip ulaşım sistemleri olarak kabul edilen Metro sistemleri, dünyadaki pek çok büyük metropolde ana toplu ulaşım sistemi olarak çalıştırılmaktadır. Metrolar yüksek yolculuk kapasitesine sahip sistemlerdir. Saatteki maksimum yolcu kapasiteleri 70.000 yolcu/yöndür. Büyük şehirlerde en yüksek yolculuk taleplerinin tespit edildiği hatlarda metro sistemleri tercih edilmektedir. Tam tecritli raylı ulaşım sistemleri olan metrolar, genellikle yüzeydeki trafik yüklerini hafifletmek amacıyla derin tünel yöntemleri ile yer altında inşa edilirler.

Arazinin yapısına bağlı olarak aç-kapa tünel olarak da inşa edilebilen metro hatları bazen yüzeyde hemzemin seklinde veya viyadük üzerinde de inşa edilebilmektedirler. Metro sistemlerinde ticari hız diğer sistemlere göre daha yüksektir, ortalama ticari hız 42-48 km/saattir. Maksimum hız 90 km/saate kadar çıkabilmektedir. İstasyon boyları genellikle 200 m civarında olan metro sistemlerinde araç boyları da 180-200 metre ye kadar çıkabilmektedir. Metrolarda araç genişlikleri 2.650 milimetre ile 3.050 milimetre arasında değişebilmektedir. Metrolar ağır raylı sistem olarak kabul edilmektedirler. Yolculuk hacimleri yüksek olduğu için tüm tesisler buna göre inşa edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan ray tipleri S49, UIC54 veya UIC60 tipi vinyol raylardır. Enerji temini, katener ve rijit katener şeklinde havai besleme hatlarından yapılabileceği gibi, 3. ray şeklinde tesis edilen alttan besleme sistemlerinden de sağlanabilmektedir. Yaygın olarak 750 Volt, 1.500 Volt veya 3.000 Volt da kullanılabilir [15].

2.1.4 Banliyö Trenleri

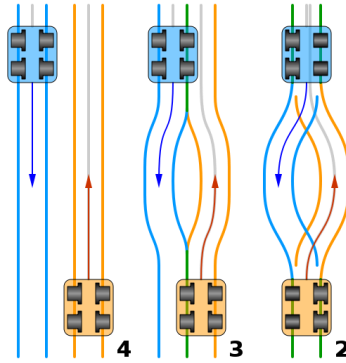
Hat genişliği 1435 mm olup 15-25 KV besleme enerjisini katenerden alan, büyük şehirlerde çoğunlukla şehir dışındaki yerleşim yerlerine yolcu taşımada kullanılan uzun, hızlı yolculuklarda etkin olarak çalışan bu sistemler yüksek kapasite, konfor, hız ve güvenlik sağlarlar. Durak aralıklarının fazla olması nedeniyle kent merkezi için çekici değildir. Metro işletmenin verimliliğini yitirdiği uzaklıklarda ve yeterli sıklık sağlandığında hız ve düzenlilik gibi avantajlarıyla başarılı işletmecilik örnekleri gerçekleştirilmiştir. İşletme giderleri ve enerji tüketimi oldukça düşüktür [2].

2.1.5 Monoray

Monoray, üst yollu yakın mesafe elektrikli, toplu taşıma sistemlerinden biridir. Vagonlar, raylardan aldıkları elektrik enerjisini güce dönüştüren elektrik motorları aracılığıyla, mono yani tek bir adet ray üzerinde veya altında asılı şekilde gidiş ya da geliş istikametinde hareket ederler. Hızı 80 km/h dolayında sınırlanan bu sistem tek kabinle çalıştırılabildiği gibi dizi oluşturularak da çalıştırılabilir. Tek ray üzerinde hizmet veren, yolcu taşımacılığında kullanılan, çoğunlukla yükseltilmiş yollarda seyretmekle birlikte yüzeyde veya metro tünellerinde çalışabilen “ray üstü” yada “ray altı” işletilebilen araçlardır . Türkiye’de ODTÜ kampüsü, Kocaeli ve İstanbul için monoray çalışmaları yapılmaktadır.

2.1.6 Füniküler

Füniküler, eğimli bölgelerde, halatlarla yukarıya çekilerek çalışan bir raylı sistemdir. İki ayrı aracın aynı anda kullanımı, vagonların her birini karşı ağırlık olarak etkilemesi prensibi ile çalışır.



Şekil 2.3: 2, 3 ve 4 raylı fünikülerin yapısı

Çekme halatı, elektrikli motorlar ve redüktörlerle çalışan bir makara tarafından çekilir. Germe halat sistemi ise alt istasyonda yer alır. Böylece araçlar, hat boyunca belirlenen sınırlar içinde hareket eder. 2 Raylı füniküler sistemde, hat ortasında paralel iki ray vasıtasıyla araçlar hat ortasında yan yana geçip belirli bir mesafe kat ettikten sonra, bu iki hat tek bir hatta birleşerek istasyonlara ulaşırlar. 2, 3 ve 4 raylı füniküler yapıları Şekil 2.3’te görülmektedir.

2.2 RAYLI ULAŞIM SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde araç ve yolcu güvenliğini sağlamak amacıyla sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Sinyalizasyon, raylı sistemlerde uçaklardaki güvenlik sistemleri gibidir ve emniyet bütünlüğü seviyesi (SIL) Metro hatlarında SIL4 ve hafif raylı sistemlerde ise SIL2-3 dür. Sinyalizasyon sistemi ile sağlanan emniyet sayesinde yolcuların karşılaşacağı riskler normal hayatta karşılaşacağı riskler ile eşit seviyededir [7].

Sinyalizasyon sistemlerinin birincil amacı trenler arasındaki kazaların önlenmesidir. Genel anlamda demiryolu sinyalizasyon ve anlaşılan sistemleri, trenlerin emniyetli bir şekilde seyretilmelerini ve demiryolunun az bir masrafla maksimum kapasitede kullanılmasını, yani en verimli şekilde çalıştırılmasını sağlamak için yapılan çalışmaların bütünüdür [6].

Demiryolu sistemlerinde emniyet kriterleri sistemin planlama, proje, tasarım ve uygulama aşamasında önemli bir yer tutmaktadır. Demiryolu emniyet kriterleri; CENELEC ve IEC standartlarında yeterli bir seviyeye gelmiş ve uygulamalarda bu standartlar kullanılmaktadır. Bu standartların amacı, olabilecek tehlikeleri, kazaları risk analizleri ile tesbit edip gerekli tedbirleri alarak uygulama aşamasında bu riskleri kabul edilebilir düzeye indirmektir. Yurdumuzda ve dünyada yaşanan demiryolu kazaları bu standartlara uymamanın ne derece önemli olduğunu açık bir göstergesidir [5].

Demiryolu ilk gelişmeye başladığı yıllarda sadece hızlı bir ulaşım aracı olarak kabul ediliyor ve kaza vs. problemler için herhangi bir önlem almak lüzumsuz görülüyordu. Hat ve kavşak sayısı azdı ve tren katarları/dizileri de az sayıda araçlardan oluşmakta idi. Ayrıca trenlerin hızı da çok düşük olduğu için kontrol daha kolay oluyordu. Yol boyunca yolun açık olduğu ve önde tren olmadığı varsayılıyordu.

Fakat zamanla yaşanan kazalardan ve problemlerden sonra çözüm amacıyla el veya bayrakla işaret veren işaretçi görevliler hat üzerine konulmaya ve bu şekilde tren işletmeleri yapılmaya çalışılmıştır. Ancak, tren hız ve ağırlıklarının ve aynı zamanda trenlerin bağlandığı araç/vagon sayılarının artması, makinistlerin görüş mesafesi içinde trenlerin durdurulması veya emniyetli şekilde ilerletilmeleri problem olmaya başlamıştır. Bu nedenle, tehlikeli bölgelerden önce işaretlerin tekrar edilmesi ihtiyacı doğmuştur. Fakat işaretlerin veya flamaların uzaklardan görülememesi tren hareketlerini kısıtlamış ve işaretçilerin artırılması ihtiyacını doğurmuştur.

1840'lı yıllarda hız, emniyet ve ekonomi bakımından zaman aralığı yöntemi uygulanmaya başlanmıştır. Buna göre trenler için belli aralıklar tespit edilmiş ve bu müddetlerde karşılaşma noktalarına varmaları talimatı verilmişti. Fakat bu yöntemde trenlerin aksi veya aynı istikamette yol alan diğer trenlerden haberi olmamakta idi.

Bu eksiklik düşünülerek zaman aralık metodu yerine mesafe aralık yöntemine geçildi. Bu yöntemde demiryolu hattı kısımlara bölünmüş yani bloklar oluşturulmuş ve her

bloğun başına bir işaret konmuştur. Bu işaretler vasıtası ile makinistler girmekte oldukları blokların işgal edilmiş olup olmadığını anlıyorlardı.

Mesafe aralık yönteminin uygulanması sabit hat sinyallerinin keşfine yol açmıştır. Telgrafın keşfi ile beraber zil ve telgraf beraber kullanılmış ve sinyal operatörleri bir sonraki istasyona blokların durumunu bildirerek trenlerin hareketlerini yönlendirmişlerdir. Bir evvelki sinyal operatörü bir sonraki istasyondan müsaade istiyor ve memur devreye yol verdikten sonra müsaadeyi veren memur kendi istasyonundaki sinyal devresini çalıştırabiliyordu.

Trenler arasını belirli miktarlarda mesafelendirmek düşüncesi ile tatbik edilen sinyal sistemi 1900'lü yıllarda, Kontrol operatörleri tarafından elle çalıştırılan blok sistemi, kontrollü elle çalıştırılan blok sistemi, yarı otomatik blok sistemi, Otomatik blok sistemi, mekanik blok sistemi gibi değişik sistemlerle gelişmeye devam etmiştir.

Günümüze gelindiğinde ise sinyalizasyon sistemleri çok gelişmiş, trenleri otomatik olarak makinistlere dahi ihtiyaç duymadan sürebileceği dereceye ulaşmıştır [7].

Sinyalizasyon sistemi bileşenleri temel olarak ikiye ayrılır:

1- Saha Ekipmanları: Ray Devreleri, Otomatik Makaslar, Sinyal Lambaları, Trenle haberleşme ekipmanları (Bikin, endüktif lop, sızıntılı kablo vs.)

2- Merkezi yazılım ve Anlaşman(İnterlocking) Sistemleri



Şekil 2.4: Genel sinyalizasyon sistem mimarisi

Bu bölümde kent içi raylı sistemlerde kullanılan sinyalizasyon sistemi bileşenleri kısaca tanıtılacak, Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi/Avrupa Tren Kontrol Sistemine değinilecek, sinyalizasyon sistemleri tasarımında temel alınan emniyet standartları ve tasarım parametreleri incelenecektir.

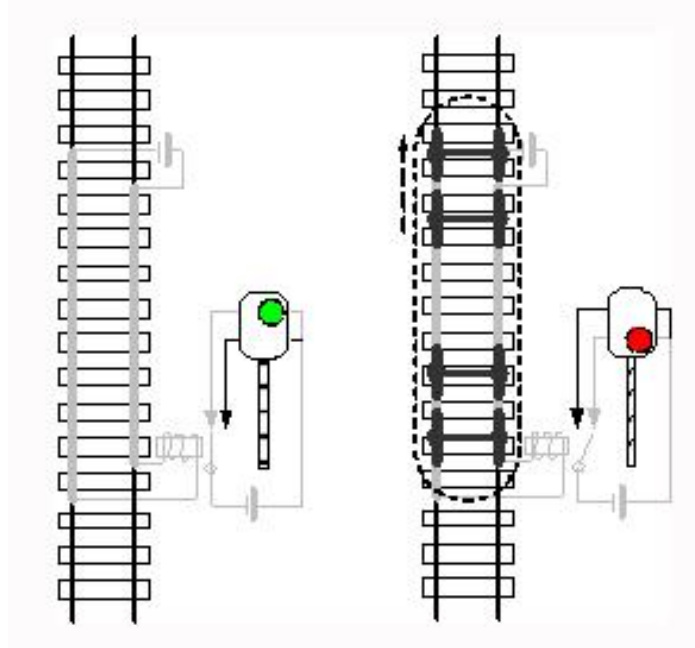
2.2.1 Sinyalizasyon Sistem Bileşenleri

Bir demiryolu sinyalizasyon sisteminde temel bileşenler olarak anlaşman, ray devreleri, makaslar ve sinyaller kullanılır[8]. Otomatik sürüş ve emniyet sistemleri için ise baliz, anten vb. hatboyu ekipmanları ile araç üstü (on-board) ekipmanlar kullanılır.

2.2.1.1 Ray Devreleri

Ray devreleri trenlerin hattaki konumlarını algılamak ve güvenliklerini sağlamak amacıyla kullanılır. Bazı kodlu ray devreleri aynı zamanda trenle data haberleşmesini de gerçekleştirmektedir [7,19].

Ray devresi, rayın elektriksel bir devre içerisinde bulunması ile oluşur. Bu elektriksel devre, ray üzerine trenin gelmesi ile akslar üzerinden Şekil 2.5'te gösterildiği gibi kısa devre durumuna geçerek aracın o ray bölgesi üzerinde bulunduğunu belirlemektedir [6].



Şekil 2.5: Sabit blok ray devresinin yapısı

Ray devreleri hatada emniyet özelliği gereğince her türlü şüpheli arıza durumunu da meşguliyet olarak tanımlar ve sinyalizasyon sistemi bu bölgede araç varmış gibi davranır [6,7].

Sabit blok sistemlerde ray devreleri sabittir ve ray hattının bölümlenmesiyle oluşturulan ray bölgelerinden meydana gelir. Günümüzde sabit blok ray devresi olarak izole conta, kodlu ve aks Sayıcı ray devreleri kullanılmaktadır.

İzole conta ray devrelerinde; izole contalar ile birbirinden elektriki olarak ayrılmış ray bölgelerine uygulanan gerilimin kontrol edilmesi ile trenin varlığı anlaşılır. İzole conta denince anlaşılacak olan, iki komşu rayın mekanik olarak birbirine bağlanması, ama aynı anda da izole olmasıdır [10]. Ray hattı izole cembere ile belli bölgelere ayrıldıktan sonra bu bölgelerin herhangi bir tarafından bir besleme gerilimi verilir ve ray bölgesinin diğer tarafından da gerilim kontrol edilir. Eğer izole edilmiş bölgeden uygulanan

gerilime göre bir geri dönüş gerilimi alınıyorsa ray bölgesinde tren yoktur. Tren bir ray bölgesinde girince iki ray arasını kısa devre eder. Bu durumda raya uygulanan gerilimden geriye dönüş olmaz ve bölgede trenin varlığı anlaşılır. Burada tren algılama sistemi ters mantıkla çalışır. Yani gerilim varsa tren yok, gerilim yoksa tren var addedilir. Bunun sebebi ise hata emniyetli şekilde çalışma mecburiyetidir. Herhangi bir sebepten (kablo kopması, kısa devre, ekipman arızası vs.) dolayı uygulanan gerilim geri alınmazsa o bölgede trenin olduğu düşünülerek sistemde arıza olsa dahi en emniyetli duruma geçeceği için kazalar önlenir [7].

Kodlu ray devrelerinde; rayları izole cebire ile ayırmaya gerek yoktur. Onun yerine ray bölgeleri arasında kapasitif ayırıcılar kullanılır. Ray bölgesinin bir ucundan verici vasıtası ile raya verilen frekans ray bölgesinin diğer ucundan bir alıcı vasıtası ile alınır ve ölçülür. Eğer frekansta bir sapma varsa fail-safe mantığa göre tren varmış gibi düşünülür ve bölge kilitlenir. Son yıllarda inşa edilen sabit bloklu sistemlerde, frekanslı ray devreleri kullanılmaktadır. Özellikle düşük zaman aralıklı tren işletmesi yapılan sistemlerde kullanılması avantajlıdır. Ayrıca ray kesintisiz olduğu için de yolculuk konforu artar ve bakım maliyeti düşer [7].

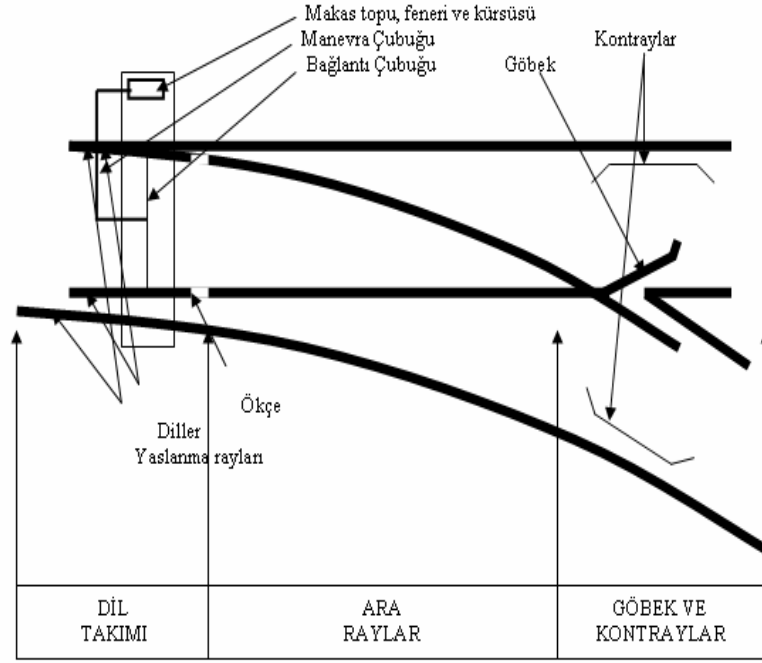
Aks sayıclı ray devrelerinde; ray bölgesine giren-çıkan aksları sayılarak trenin bölgede olup olmadığı anlaşılır. Eğer bölgeye giren aks sayısı bölgeden çıkana eşit değilse fail-safe mantıkla bölgede tren var kabul edilir. Özellikle şehirlerarası raylı sistemlerde ray devresi yerine aks sayıcı tercih edilebilmektedir. Aks sayıcı sistemde izole cebire kullanılmadığından bakımı kolaydır ve ray kesintisiz olduğu için yolculuk daha konforludur [7].

Hareketli blok (moving block) ray devrelerinde ise ray devreleri sanaldır ve uzunluğu trenin hızına, durma mesafesine, fren gücüne, bölgenin kurp ve eğim parametrelerine göre değişir. Kumanda merkezindeki program her trenin önündeki mesafeyi otomatik olarak ayarlar ve trenin hızını düşürür veya yükseltir. Bu şekilde ray devresi olarak kullanılan mesafe kısa olacağı veya gereksiz yere uzun tutulmayacağı için hattın kapasitesi de artar. Genellikle 90 sn ve altındaki hat kapasitelerinde kullanılması daha ekonomiktir [7].

2.2.1.2 Makaslar

Makaslar, trenlerin yön değiştirerek istenilen yere gitmesini sağlar. Her makasın normal ve sapan olmak üzere iki konumu bulunmaktadır. Trenin makas üzerinden yön değiştirmeden gittiği yön normal konum, yön değiştirerek gittiği konum ise sapan konum olarak adlandırılır [8].

Makaslar mekanik olarak basit, çift, çapraz makas gibi yapısal bazı tanımlamalara sahiptir. Basit makaslarda doğru bir hattan(doğru yol), bir diğer hat(sapan yol) ayrılır. Makas başlangıç noktasından makas göbek ucuna doğru baktığımızda sola doğru gidenler basit sol makas ve sağa gidenler de basit sağ makas olarak adlandırılır [10].



Şekil 2.6: Makas bölümleri

Makaslar mekanik olarak aşağıdaki açılardan ayrılırlar;

- Yapı tarzı olarak : EW(Basit Makas), DW(Çift Makas), EKW(Basit Çapraz Makas), DKW(Tam Çapraz Makas) vb.
- Ray şekli olarak: Xa, Am S49, S54, UIC60 vb.
- Yarıçap olarak: 190, 300, 500, 1200 m.
- Eğim oranı olarak: Kurb ekseninin tanjantının, ana hat eksenini ile makas sonunda meydana getirdiği ve iki eksenin birbirine eğimi ile tanımlanan açıdır (1:7, 1:9, 1:12 vb)
- Sapan yolun ayrılma yönü olarak: Sol L, Sağ R
- Makas dili çeşidi olarak: Esnek dil(Fz), Mafsallı dil(Gz), Esnek ray dil(Fsch),
- Travers çeşidine göre: Ahşap traversler(H), Çelik traversler(St) veya beton traversler(B)
- Makas göbeği çeşidine göre: Oynar makas göbeği ucu

Makaslar için aşağıda verilen örnekteki gibi kısaltılmış yazım şekilleri kullanılır:

EW60 – 760 – 1:9 – fb

EW : Basit makas

60 : UIC60 ray

760 : Sapan yol yarıçapı

1:9 : Makas eğimi

fb : Oynar makas göbek ucu [10]

Makasların yönünü değiştirmek amacıyla motorlu makas tahrik tertibatları kullanılır. Makas bölgelerinde araç olduğu veya geçtiği durumda makas komut almaz ve makasların konumu ile ilgili şüpheli bir durum tespit edildiğinde de kumandasına izin verilmez.

Makas tanzim sistemleri elektromotor veya elektrohidrolik sistemler olabilir. Elektrohidrolik sistemlerde tanzim motoru, tanzim kuvvetini hidrolik yollarla makasın diğer kilitlerine iletir. Elektromotor sistemlerde ise tanzim kuvveti direk rot kollarına iletilir ve makas tanzimi sağlanır [10].

Makas tanı sistemleri yardımıyla da makaslar kontrol edilir, makasın çalışma durumu hakkında bilgi verilir. Mevcut değerler, olması gereken değerlerle karşılaştırılır. Elektrohidrolik makas motorlarının çalışma basınçları, elektromotorlarda akım değerleri ölçülür. Dil tertibatı ile yaslanma rayı arasındaki mesafe indüktif sensörler tarafından kontrol edilir. Aynı şekilde elektrikli ısıtma tertibatı da varsa, çalışmaya başladığı anda kontrol alanına girer [10].

2.2.1.3 Sinyaller

Sinyaller, kendisine yaklaşan trene bir sonraki ray devresinin durumu hakkında bilgi verirler. Eğer trene bir güzergah kurulmamışsa veya bir sonraki ray devresi meşgul durumdaysa sinyaller kırmızı renk bildirimini verirler. Bloğun boş ve arızanın olmadığını gösteren bildirim yeşildir. Bloğun meşgul olduğu durumda veya arıza durumunda sinyal kırmızı renk bildirimini verir.

2.2.1.4 Anlaşman

Demiryolu sinyalizasyonunda anlaşman, sinyal tertibatının ve trenler arasındaki mesafelerin güvenli kontrol edilebilmesi ve aynı zamanda seferlerdeki aksamaların da önlenebilmeleri amacıyla kurulan düzenlemelerdir.

Anlaşmanın amacı, tehlikeden emin olmak için, makasları ve sinyal lambalarını birbirleriyle bağlamaktır. Anlaşman donanımı, bağlantı bölgelerinde ve hattın diğer kısımlarında tren çarpışmalarından koruyacak şekilde sinyalizasyonu düzenler [1,6]

Demiryolu sinyalizasyonunda göz önünde bulundurulması gereken önemli kontrol ölçütleri vardır. Bu ölçütler, trenlerin çarpışmadan ve deray (raydan çıkma) olmadan muhafaza edilmeleri ilkelerine dayanır. Bir makas veya ray bölgesine herhangi bir tren girdiğinde, o tren ray bölgesini terk edinceye kadar bölge kilitlenmeli ve bölgede herhangi bir işlem yapılmasına izin verilmemelidir [7]. Benzer şekilde, bir makas, çapraz geçiş konumuna ayarlanmışsa düz geçiş yapmak isteyen trenlere yasaklama getirilmelidir. Tarife düzenlemeleri, trenlerin en uygun uzunlukları, tren sevkiyatının

ayarlanması, rötör durumlarının yönetilmesi gibi problemlerin çözümü için aşağıda verilen soruların cevaplanması gerekmektedir:

- Hangi ray bölgeleri meşgul veya serbest?
- Sinyalizasyon lambalarının renkleri nedir? (kırmızı, yeşil)
- Makas bölgelerinin konumları ve rezervasyon bilgileri nelerdir?

Anlaşmanın fonksiyonları aşağıdaki temel prensipler üzerine kurulmalıdır:

- Sinyalizasyon, trenlerin bir bölgede aynı anda bulunmalarına müsaade etmemelidir.
- Anlaşmanın; treni rezerve edilen rotadaki hareketine izin verebilmesi için, rota üzerinde bulunan makaslar ve diğer donanımlar “uygun” konuma ayarlanmış olmalıdır.
- Rota tanzim edilmesiyle birlikte trenin o rota üzerindeki hareketine izin verecek şekilde sinyalizasyonun ve makas konumlarının ayarlanmış olması ve bu rotanın kilitlenerek ikinci bir rezervasyonu yasaklanması gereklidir. [6]
- Trenin gideceği güzergah tanzim edildikten sonra diğer yollar anlaşmanın tarafından kilitlenir.
- Bütün elektrik motorlu makaslar doğru pozisyona alınır ve tren geçene kadar yön değiştirmesi engellenir.
- Kilitlenen bölgeden trenin geçişi tamamlandığında diğer trenlerin geçişine müsaade edilebilmesi için serbest bırakılır.

2.2.1.5 Araç Üstü (On-Board) Ekipmanlar ve Antenler (Balise)

Antenler, hat boyunca trene bir sonraki sinyalin durumu, mesafesi, hız ve frenleme bilgilerini veren ekipmanlardır. [19]

On-Board veya Otomatik Tren Kontrol (ATC) sistemleri olarak bilinen sistemler, trenin önceden belirlenen sürüş karakteristiklerine göre seyrini, işletimini, güvenliğini sağlayan sistemlerdir. Genellikle metrolarda kullanılır (ATC=ATP+ATO+ATS).

Antenler ve kodlu ray devrelerinden alınan bilgiler tren üstü ekipmanlar tarafından yorumlanarak tren bilgisayarına ve bir monitör vasıtası ile de sürücüye iletilir. Bu monitörde aktif, izin verilen ve hedef hızlar, bir sonraki ekipmana olan mesafe, hata kodları gibi bilgiler yer almaktadır.

2.2.1.6 Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi/ Avrupa Tren Kontrol Sistemi (ERTMS/ETCS)

Bu sistem; özellikle sınırlar ötesi tren işletmesindeki kısıtlamaları ortadan kaldıracak, sinyalizasyon arayüzlerini standartlaştırarak bunları ülkelere özgü olmaktan çıkaracak, daha az hat üstü ekipmanı gerektirdiği için maliyetleri düşürecek, daha kısa işletme aralıkları sunabilecek, ekipmanlarda açık pazarı teşvik ederek ticari olarak cazip hale getirecek, güvenliği ve servis kalitesini arttıracaktır [3].

ERTMS/ETCS'nin temel amacı trenlerin demiryolu ağında güvenli işletimini sağlamak ve hat kapasitesini iyileştirerek tren trafik yönetimiyle ilgilenmektir.

ERTMS sisteminde kullanılan tren üstü ve hat üstü ekipmanları gibi önemli alt sistemler, üretici firmalara bağlı kalmaksızın birbirleriyle iletişim kurabilmektedirler. Ekipmanların yapısı birbiriyle aynı olmasa da gerçekleştirdiği fonksiyonlar birbirinin aynıdır. Yani tren üstü ekipmanları ve hat üstü ekipmanları farklı ERTMS üreticilerden tedarik edilse de bu ekipmanlarla donatılan trenler rahatlıkla bir güzergâhtan diğerine geçebilirler. Bu teknik olarak birlikte işlerlidir. Örneğin, dünyadaki uçaklar herhangi bir ülkenin uluslararası havaalanına rahatlıkla iniş yapabilir. Çünkü uçaklar her ülkede geçerli olan ortak radyo, radar ve navigasyon sistemlerine sahiptirler ve bu sistemlerin işletim metodu, kullanma arayüzleri birbirinden farklı, tescilli veya patentli olsa dahi gerçekleştirdikleri fonksiyonlar aynıdır. ERTMS/ETCS'de de önemli olan sinyalizasyon sisteminin fonksiyonel işletiminin standartlaşmış olmasıdır [3]. Türkiyede Yüksek Hızlı Tren hatlarında ERTM/ETCS kullanılmaktadır. Yakın zamanda işletmeye açılması hedeflenen Marmaray projesinin sinyalizasyon sisteminde de CBTC ve ERTMS/ETCS birlikte kullanılmaktadır.

ERTMS/ETCS teknolojisinde data ve ses iletiminde, genellikle GSM'in demiryoluna özgü düzenlenmiş özel bir çeşidi olan GSM-R tercih edilmektedir.

2.2.2 Sinyalizasyon Sistemlerinde Emniyet Standartları ve Tasarım Parametreleri

Demiryollarında trafiğin güvenli olarak gerçekleştirilebilmesi için güvenilir sinyalizasyon ve anlaşılan (interlocking) sistemlerinin tasarımı büyük öneme sahiptir. Son yıllarda hatada güvenli (Fail-Safe) PLC'lerdeki (Programlanabilir Lojik Kontrolör) gelişmeler, bu tür sistemlerin demiryolu anlaşılan ve sinyalizasyonunda kullanılmalarına olanak sağlamaktadır. Her ne kadar hatada güvenli PLC'lerin çalışma bozuklukları kabul edilebilir düzeyde olsa da, programlamada yapılabilecek mantıksal hatalar kazalara ve demiryolu trafiğinin aksamasına neden olabilmektedir[9]. Bu nedenle sinyalizasyon sistemlerinin tasarımında belirlenen emniyet gereksinimlerini yerine getirmek oldukça önemlidir.

Bu bölümde raylı sistem sinyalizasyon tasarımında uluslararası kabul görmüş emniyet prensiplerinden bahsedilecek ve IEC 61508 standardı kullanılarak Zeytinburnu- Kabataş Tramvay hattı depo sahası makas otomasyonu sisteminde minimum emniyet seviyesinin ne olması gerektiği incelenecektir.

2.2.2.1 Emniyet Standartları

Emniyet; sistemlerin sahip olması gereken bir nitelik, özelliktir ve sistemin çevre ve insan sağlığına yönelik bir tehlike unsuru oluşturmamasıdır [5,17]. Sistemlerin emniyet seviyeleri; kabul edilemez risk oranı ile tespit edilir. Bir sistemin kabul edilemez risk oranının ne kadar düşük olması isteniyorsa sistemin emniyet seviyesi o kadar yüksek olmalıdır. Yeni tasarlanacak olan bir sistemin; insan yaşamı ve çevre üzerine ilave bir risk getirmesi istenmiyorsa, uygulama aşamasında standartlarda belirtilen kriterler esas alınarak gerçekleştirilmelidir [5].

Avrupa Elektroteknik Standartlar Enstitüsü, (European Committee for Electrotechnical Standards) CENELEC, tarafından geliştirilen EN 50126, EN 50128 ve EN 50129 standartları ile demiryolları standartları yeterli bir noktaya gelmiştir. Bu standartlar Demiryolu Standartları olarak kabul edildiğinden, Metro, Hafif Metro, Tramvay ve diğer demiryolu uygulamaları için de geçerlidir. Bu standartlar demiryolu sistemlerinde emniyet proseslerinin omurgasını teşkil ederler [5].

Demiryollarına ilişkin CENELEC standartları;

EN50126 : Güvenilirlik, Kullanılabilirlik, Bakım Onarım ve Güvenlik Analizi (RAMS) konuları anlatılmaktadır.

EN50128 : Demiryolu uygulamaları için yazılım geliştirme gereksinimlerinin anlatılmaktadır.

EN50129 : Demiryolu uygulamalarında kullanılan donanım gereksinimleri anlatılmaktadır.

Bu standartların uygulama alanları şöyledir: EN 50126 tüm raylı sistemleri kapsar ve RAMS hesapları ile ilgilidir. EN 50129 emniyet ilişkili elektrik, elektronik, kontrol ve koruma sistemlerinde uyulması gerekli standartları belirler. EN 50128 emniyet ilişkili kontrol ve koruma sistemleri yazılımlarını kapsamaktadır. EN 50128 ve EN 50129 standartları, Uluslararası Elektrik-Elektronik, Programlanabilir Elektronik standardı IEC 61508'in raylı sistemlerle ilgili kısımların geniş yorumu ve raylı sistemlerdeki uygulamasıdır [5,14].

2.2.2.2 RAMS Parametreleri

RAMS; Reliability, Availability, Maintainability, Safety kelimelerinin baş harflerinden oluşan ve farklı endüstrilerde Güvenilebilirlik, Elde Edilebilirlik, Bakım Yapılabilirlik ve Emniyet Yönetimi olarak tanımlanan bir kısaltmadır.

Bir sistemin RAMS 'i, sistem veya sistemi oluşturan alt sistemlerin veya bileşenlerin, belli bir zaman periyodunda kendinden istenen fonksiyonların elde edilmesine imkan vermesi, bu fonksiyonları emniyetli bir şekilde yerine getirebilmesi, bakım yapılabilme imkan sağlaması ve aynı zamanda bütün olarak güvenilebilir bir yapıda

olmasının nicel ve nitel bir göstergesi olarak tanımlanır. Özetle Sistem RAMS 'i güvenilebilirlik, elde edilebilirlik, bakım yapılabilirlik ve emniyetin bir bileşimidir.

Raylı Taşıma Sisteminin amacı belirli bir zamanda raylı taşıma sistemi trafiği için belirlenen bir işletme seviyesini güvenli bir şekilde başarmaktır. Raylı Taşıma Sistemi RAMS 'i, bu amacın başarılması adına sistemin garanti edebileceği güveni tarif eder. Raylı Taşıma Sistemi RAMS 'inin müşteriye verilen hizmetin kalitesi üzerine açık bir etkisi vardır. Zira hizmetin kalitesi, işlevsellik, performans, hizmetin sıklığı, hizmetin düzenliliği, ücret yapısı ve diğer karakteristiklerin bileşkesidir [12].

Raylı Taşıma Sistemi RAMS yapısında Emniyet ve Elde Edilebilirlik doğrudan birbirleriyle bağlıdır ve birlikte yönetilmek zorundadır, zira birindeki bir zayıflık, güvenli bir sistemin başarılmasını önleyebilir. Örn: Raylı Taşıma Sisteminde 50 km/h yerine 70 km/h hızla bir işletme yapmak istersek, emniyet seviyemizi de ona göre yüksek tutmamız gerekecektir.

Hizmette Emniyet ve Elde Edilebilirlik hedeflerine ulaşılması sadece bütün Güvenilebilirlik ve Bakımı Yapılabilirlik şartlarının karşılanması ve devam eden, uzun vadeli bakım ve işletme faaliyetleri ve sistem ortamının kontrol edilmesiyle sağlanabilir.

Güvenilebilirlik (Reliability); bir sistemin veya ekipmanın verilen bir zaman aralığı (t1-t2) içerisinde problem çıkarmadan güvenilebilir bir şekilde kendinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilme performansdır.

Raylı taşıma sistemlerinde Güvenilebilirlik; sistemin bütünü (sistemi oluşturan hat boyu ekipmanları, araçlar ve yönetim merkezini de kapsayan tüm ekipmanların) sistemin işletme periyotları dahilinde verilen bir zaman aralığı içerisinde problem çıkarmadan güvenilebilir bir şekilde kendinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilme performansı olarak tanımlanır [12].

Elde Edilebilirlik (Availability); bir sistemin veya malzemenin gerekli dış kaynakların sağlandığı varsayımıyla, verilen bir zamanda veya verilen bir zaman aralığı boyunca verilen şartlar altında gerekli bir fonksiyonu yapacak bir durumda olma kabiliyetidir.

Raylı taşıma sistemlerinde Elde Edilebilirlik; Sistemin bütünü (sistemi oluşturan hat boyu ekipmanları, araçlar ve yönetim merkezini de kapsayan tüm ekipmanların, işletme şartlarının ve gerekli dış kaynakların sağlandığı varsayılarak, sistemin işletme periyotları dahilinde veya verilen bir zaman aralığı boyunca verilen şartlar altında üzerine düşen fonksiyonu yapacak durumda olma kabiliyetidir [12].

Bakım Yapılabilirlik (Maintanebility); bir sistemin veya malzemenin belirli bakım şartları altında, belirli prosedürler ve kaynaklar kullanılarak, verilen bir zamanda veya verilen bir zaman aralığı boyunca bakım yapılabilme müsait olabilme yetisidir.

Raylı taşıma sistemlerinde Bakım Yapılabilirlik; sistemin bütünü (sistemi oluşturan hat boyu ekipmanları, araçlar ve yönetim merkezini de kapsayan tüm ekipmanların, belirli bakım

şartları altında, belirli prosedürler ve kaynaklar kullanılarak, sistemin işletme periyotları dahilinde veya verilen bir zaman aralığı boyunca bakım yapılabilme müsait olabilme yetisidir [12].

Emniyet (Safety); bir sistemin veya malzemenin belirli şartlar altında, verilen bir zamanda veya verilen bir zaman aralığı boyunca, şartları önceden tanımlanmış kabul edilemez bir zarar riski ortaya çıkması durumunda, gerekli emniyet fonksiyonlarını yerine getirerek güvenli bir konuma dönebilme kabiliyetidir.

Raylı taşıma sistemlerinde Emniyet; Sistemin bütününün veya sistemi oluşturan hat boyu ekipmanları, araçlar ve yönetim merkezini de kapsayan tüm ekipmanların, belirli şartlar altında, sistemin işletme periyotları dahilinde veya verilen bir zaman aralığı boyunca, tasarımda tanımlanmış kabul edilemez bir zarar riski ortaya çıkması durumunda, gerekli emniyet fonksiyonlarını yerine getirerek güvenli bir konuma dönebilme kabiliyetidir [12].

2.2.2.3 Fonksiyonel Emniyet

Sistemlerin emniyetli olabilmeleri için tüm alt fonksiyonlarını emniyetli bir şekilde gerçekleştirmeleri gerekir. Fonksiyonel emniyet, sistem emniyetinin bir parçasıdır ve sistemin, girdilerine göre doğru işlemleri yapmasına bağlıdır [16,17]. Örneğin; Termal sensör aşırı ısınmaya karşı koruma cihazıdır. Bu cihaz, bir motoru aşırı ısınmaya karşı korumak için kullanılmakta olsun. Motor ısısı normal çalışma düzeyinin üzerine çıktığında koruma cihazı devreye girerek motoru durdurur. Motorun sensör tarafından durdurulması “fonksiyonel emniyete” bir örnektir.

Sistemlerin, ekipmanların bağlı oldukları çevreye ve insana oluşturabilecekleri tüm tehlikeli durumlar ve risk analizleri belirlenir. Bu analiz çerçevesinde, oluşabilecek her tehlike için fonksiyonel emniyetin gerekli olup olmadığı tespit edilir. Eğer gerekli ise, tasarım aşamasında her tehlikeli durum için fonksiyonel emniyetin sağlanması hususunda gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

Fonksiyonel emniyetin sağlanması, tehlikeli durumların elimine edilmesi yöntemlerinden biridir. Daha önemlisi, tehlikeli durumların ortadan kaldırılması, azaltılması ve kalıcı emniyetin sağlanmasının tasarım aşamasında gerçekleştirilmesidir [5,16,17].

Fonksiyonel emniyet örneği için, dönen demir bıçaklı, koruma kapağı olan bir makineyi ele alalım. Makinada rutin temizlik işlemleri kapak kaldırılarak yapılabiliyor. Koruma kapağı interlocking (iç kilitleme) sistemine sahip, kapak açıldığı zaman elektrik kesici devre vasıtası ile motorun enerjisi kesildiğinden bıçaklar duruyor ve operatör güvenli bir şekilde temizlik işlemini gerçekleştirebiliyor [5,17].

Güvenliğin sağlandığından emin olmak için tehlikeli durum ve risk değerlendirme analizlerinin yapılması gerekir.

1) Tehlikeli Durum analizi, döner bıçakların temizlenmesiyle oluşacak tehlikeleri tanımlar. Bu durumda, koruma kapağı 5 mm'den fazla açıldığında acil frenleme devreye girerek makinayı durdurmalıdır. Daha ileri analizler kapak açıldığında makinanın 1 sn içinde durdurulması sonucunu verecektir.

2) Risk Değerlendirme analizi, emniyet işlemlerinin performansını, başarısını belirler. Risk değerlendirmesinin amacı, emniyet bütünlüğünü sağlamak için gerçekleştirilen emniyet işlemlerinin, tehlikeli durumla ilgili kabul edilemez risk değerini aşmamasının sağlanmasıdır.

Emniyet işleminin hatası operatörün zarar görmesi ile sonuçlanabilir. Buradaki risk, koruma kapağının açılma sıklığıyla da ilgilidir. Gerekli olan Emniyet Bütünlüğü Seviyesi, SIL (Safety Integrity Level), yaralanmanın şiddeti ve tehlikeli durumun oluşma sıklığıyla artmaktadır [5,17].

2.2.2.4 Tehlikeli Durum Belirleme ve Risk Analizi

Risk analizinde ana amaç, sistemde oluşabilecek tehlikeli durumları sistematik bir şekilde tespit etmek ve riskleri kabul edilebilir seviyeye çekmektir [18]. Tehlike; kazaya sebebiyet verebilecek durumlardır. Risk ise kazanın şiddeti ve sıklığının bileşkesidir. Riskle ilgili öncelikle tekil ve toplam risk ayrıştırılmalıdır. Tekil risk olarak, inceleme esnasında sadece tekil risk etkisi olan teknik sistemler ele alınmalıdır. Toplam riskte ise; tehlikeli durum sonucunda oluşan kazadan etkilenen tüm kişiler ele alınır. Bundan dolayı, toplam risk birden fazla ölümlü sonuçlanan kazalar arasındaki farkları değerlendirir. Birkaç kişisi etkileyen küçük sistemlerde tekil ve toplam risk birbirine yakın sonuçlar verir[5].

2.2.2.5 Risk değerlendirme ve Kabul Edilebilirlik

Kabul edilebilir risk değeri, tolere edilebilecek tehlike oranı (Tolerable Hazard Rate, THR) kabul edilmiş bir prensibe dayalı olmalıdır. EN 50126 standardında, Avrupa ülkelerinde en çok benimsenen prensipler örnekleriyle verilmiştir. Bunlar; ALARP, GAMAB, MEM prensipleridir [4,12]. ALARP (As low as reasonably practicable): Bu yöntem de toplam risk değerlendirilmiştir. Sistemden kaynaklanan ve sistemi kullanan insan üzerinde, çevrede oluşacak toplam risk hesaba dahil edilmiştir.

ALARP prensibi; oluşabilecek riskleri “sıklık” ve “şiddet” olarak sınıflandırmıştır. Her sınıftaki kaza ihtimali için aşılmayacak maksimum değerler belirtilmiştir. Bu sınırın üstünde, ilaveten risk düşürme ölçümleri yapılmalı ve risk düşürücü tedbirler alınmalıdır. Kabul edilebilir tehlike oranı alt limiti ve üst limit arasındaki bölge ALARP bölgesi olarak adlandırılmıştır [5].

GAMAB (Globalement au moins equivalent): Tüm sürücülü taşıma sistemleri, global olarak üretecekleri risk miktarı en çok varalon eşdeğer sistemin ürettiği risk kadar olmalıdır [5].

MEM (Minimum Endogeneous Mortality) : Bu prensip tekil risk baz alınarak geliştirilmiş ve insan için en düşük ölüm oranı dikkate alınarak THR hesaplanmıştır. Bu oran 15 yaşındaki bir kişi için 2.10^{-4} ' dür. Teknik sistemlerin insan hayatı üzerine %5'den fazla bir risk getirmemesi gerektiğinden, teknik bir sistem yılda 10^{-5} 'den fazla o sistemi kullanan bir insanın ölümüyle sonuçlanan kaza oluşturmamalıdır [5].

2.2.2.6 Emniyet Bütünlüğü Seviyesi (Safety Integrity Level, SIL)

Demiryolu standartları; “tehlikeli durum” tanımlamasını sistemin yaşam süresinin başlangıç anından itibaren yapılmasını ister. Aynı zamanda risk analizlerinin de yapılması gerekir. Bu analizler sonucunda teknik sistemlerin oluşturabilecekleri risk değerleri bulunur. Bu değerler ışığında sistemin sahip olması gereken emniyet seviyesi bütünlüğü (SIL) belirlenir.

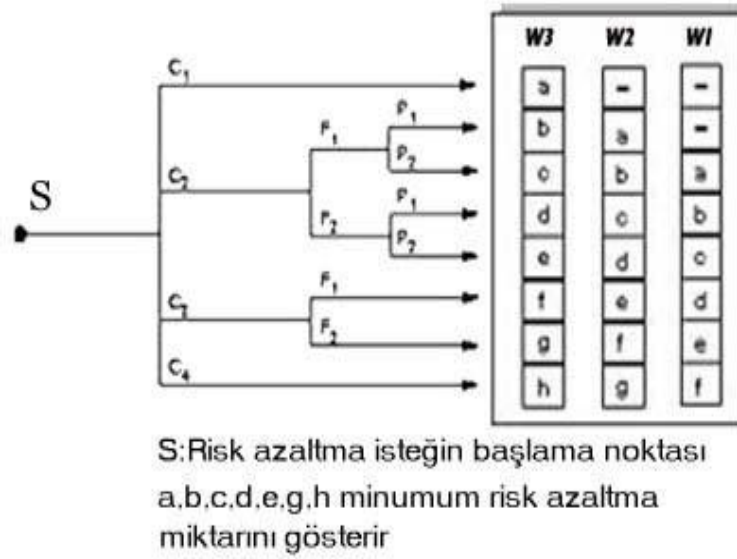
CENELEC raylı sistemler standartları kabul edilebilir risk değerlerini belirlemiştir. Risk analizi ve risk değerlendirme metodlarının uygulanmasıyla “emniyet seviyesi bütünlüğü, SIL” seviyeleri elde edilir. Bu değerler aşağıda Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: SIL seviyelerine göre THR

Tolere Edilebilir Tehlike Oranı, THR (Fonksiyon/saat)	SIL, Emniyet Bütünlüğü Seviyesi
$10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$	SIL 4
$10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$	SIL 3
$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$	SIL 2
$10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$	SIL 1

2.2.2.7 Tramvay Depo Sahası Makas Otomasyon Sistemi için Gerekli Emniyet Seviyesinin Hesaplaması

Emniyet Bütünlüğü Seviyesi IEC 61508 standardında belirtilen risk grafiği metoduyla hesaplanabilir. Bu yöntemle, riskle ilgili parametrelerin grafiğe girilmesiyle, sistemin sahip olması gereken emniyet bütünlüğü seviyesi çıkarılabilir. Şekil 2.7’de IEC 61508’de tanımlanmış risk grafiği verilmiştir.



Şekil 2.7: IEC 61508 Risk belirleme grafiği[5]

C : Risk parametresi

F : Riskin ortaya çıkma zamanı ve sıklığı

P : Tehlikeli riskin engellenme olasılığı

W : Tehlikeli olayın tekrar oluşma olasılığı

a,b,c,d,e,f,g,h: gerekli risk azaltma miktarı

Risk parametre anlamları Tablo 2.2’de verilmiştir;

Tablo 2.2: Risk parametreleri değerleri

Risk Parametresi	Tanımlama
C1	Küçük Yaralanma
C2	Birden fazla insanın ciddi yaralanması yada bir kişinin ölümü
C3	Birkaç kişinin ölümü
C4	Çok kişinin ölümü
F1	Nadiren-Sıklıkla oluşma ihtimali
F2	Devamlı-sürekli oluşma ihtimali
P1	Bazı şartlar altında mümkün
P2	Mümkün değil
W1	Çok az ihtimalle oluşabilir ve tekrarlanabilir
W2	Az ihtimalle oluşabilir ve tekrarlanabilir
W3	Daha çok ihtimalle oluşabilir ve Tekrarlanabilir

Risk grafiği sonuçları Tablo 2.3' de tanımlanmıştır[5],

Tablo 2.3 : Risk grafiği sonuçları[5]

Gerekli Olan Minimum Risk Azaltma	Güvenlik Seviyesi
--	Güvenlik gerekli değil
a	Özel güvenlik ekipmanı gerekli değil
b,c	SIL 1
d	SIL 2
c,f	SIL 3
d	SIL 4
g	E/EE/PE SRS yeterli değil

Depo sahasında 3 adet makas bulunmaktadır. Depo sahasının tamamı, makas bölgeleri dahil karayolu ve yaya trafiğine kapalıdır. Sadece işletme personeli kullanmaktadır.

Yukarıdaki bilgiler dikkate alınarak IEC 61508 Risk grafiği metodu ile Tramvay depo sahası makas otomasyon sistemi için gerekli emniyet seviyesinin ne olması gerektiği hesaplanabilir.

C (Sonuç): C1, makas bölgeleri yaya ve karayolu trafiğine kapalı olduğundan, depo bölgesine araçlar yolcusuz giriş ve çıkış yapacağından ve işletme hızı 20 km/saat altında olduğundan kaza durumunda işletme personelinde küçük yaralanmalar olabilir.

F (Sıklık): F1, Depo sahasında genellikle hattın işletmeye açılış ve kapanış saatlerinde hareketlilik olduğundan nadiren kazanın tekrarlanma ihtimali vardır.

P (Engellenme ihtimali): P1, Makas bölgesi yaya ve karayolu trafiğinden izole olduğundan C1 durumunun oluşmasının engellenmesi mümkündür.

W (Tekrarlama Olasılığı): W1, Depo sahasında genellikle hattın işletmeye açılış ve kapanış saatlerinde hareketlilik olduğundan çok az ihtimalle oluşabilir ve tekrarlanabilir.

Yukarıdaki değerler Risk Grafiğinde yerine konulduğunda, Depo Sahası Makas Otomasyon Sistemi için yolcular açısından güvenlik seviyesinin gerekli olmadığı görülmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, CENELEC EN 61508 ve EN 50128 standartlarında belirtilen fonksiyonel güvenlik şartları göz önünde bulundurularak İstanbul Kabataş-Bağcılar Tramvay Depo bölgesi için tasarlanan PLC ile Makas Otomasyonunda kullanılan malzemeler ve tasarım yöntemi anlatılmıştır. İstanbul Kabataş-Zeytinburnu Tramvay hattına ait depo sahası olan bu demiryolu bölgesi, 600 metre uzunluğundadır, 4 hattan oluşmaktadır ve 28 tramvay aracının park edebileceği kapasiteye sahiptir.

Tesis edilen sistemde Avrupa CENELEC Railway Standarts EN 50126 veya TS EN 50126 standardına uygun, Uluslararası IEC 61508 standardında belirtilen güvenlik kriterlerine uyumlu ekipmanlar kullanılmıştır.

Bu standartlara uygun olarak;

- Makas motorunda mekanik kilitleme tertibatı bulunmaktadır.
- Makas bölgesinde araç sefer güvenliğinin sağlanması için lokal interlocking (iç kilitleme) sistemi uygulanmıştır. Bu sayede makas bölgesinde araç varsa başka bir yön talebi için makasın tanzim edilmesi engellenir.
- Makas bölgesinde araç tespiti için sensörler kullanılmıştır.

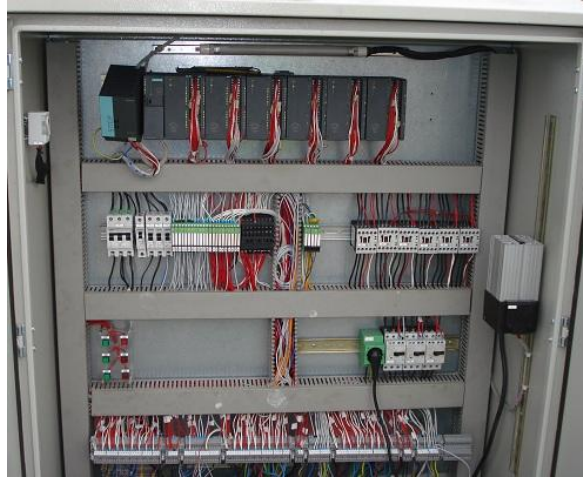
Şekil 3.1’de uygulamanın yapıldığı demiryolu bölgesinden bir bölüm görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi meşgulyet algılama sensörleri katener hattına monte edilmiştir. Meşgulyet bölgelerinde bulunan ultrasonik sensörler aracın varlığını, infrared sensörler ise pantografin geçişini algılamaktadır.



Şekil 3.1 : Tramvay depo sahasından bir görünüm

Makas otomasyonu aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

Kontrol Ünitesi, PLC (Siemens S7 300 Fail-Safe), yardımcı röleler, kontaktörler, termik manyetik şalterler vb. ekipmanlardan oluşmaktadır. PLC, üzerinde koşan program sahadan gelen bilgileri (Tanzim talebi, Makas konumu, Makasın durumu vs.) değerlendirip, gerekli güvenlik kriterlerini dikkate alarak makas tahrik ünitesini sürer.



Şekil 3.2 : Tramvay depo sahası kontrol ünitesi

Makas Tahrik Ünitesi, Makas motoru, hidrolik yağ haznesi , hidrolik hortumlar, yön valfleri ve pistonlardan oluşur. Kontrol ünitesi makas motorunu tahrik ettikten sonra yön valfini açarak makasın istenilen konuma yerleşmesini sağlar.

Konum Belirleme Ünitesi, Makasın konumu 4 adet indüktif sensör ve iki adet disk sensörü ile belirlenmektedir. Konum tesbitinde her yön için (Manevra ve Düzyol) iki adet sensör kullanılmıştır. Sensörler karşılıklı olarak çalışmakta ve birbirini teyit etmektedir. Ayrıca rot kollarını yönlendiren disk üzerindeki sensörler üçüncü bir kontrol daha yapmaktadırlar. Dolayısıyla sensörlerden birisinin makas dil ucunu algılamaması durumunda sistem arızaya geçmekte ve makas sinyal lambasında arıza durumu makinistere iletilmektedir.

Araç Algılama Ünitesi, Makas bölgesinde araç olup olmadığı katener üzerinden makasın giriş-çıkışlarına ve makas üstüne yerleştirilen ultrasonik ve infra sensörlerle tespit edilmektedir. Ultrasonik sensörler katener hattından itibaren(katener hattının raydan yüksekliği~4.6 m) 2.4 m'deki kütleleri algılamakta, infra sensörler ise katener hattından itibaren 20 cm'lik bir mesafeyi algılamakta ve pantograf geçişini tespit etmektedir (her araçta bir adet pantograf bulunmaktadır).

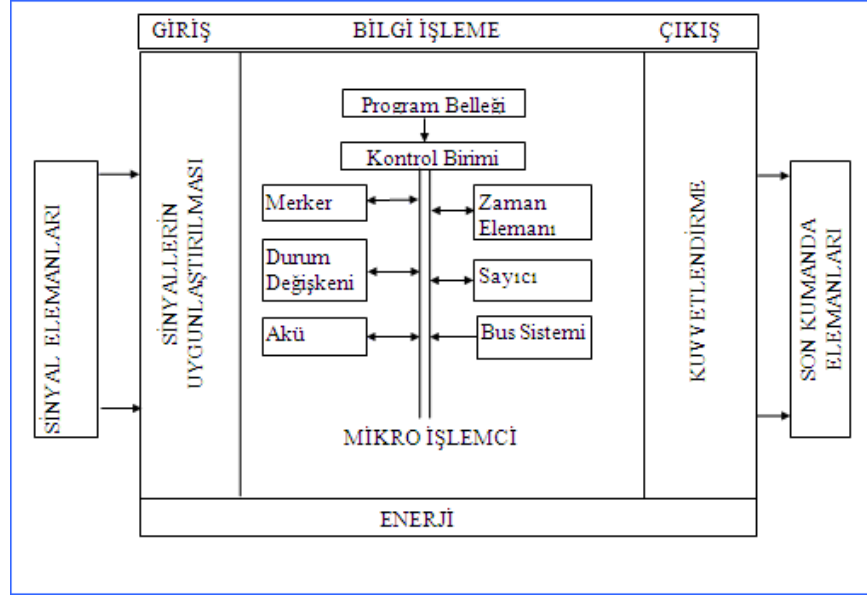
Lokal butonlarla manuel olarak kumanda edilebilen bu depo sahasında 3 adet DT5/1435 motorlu makas, PLC ve şalt malzemeleri ile donatılmış bir adet pano, ultrasonik sensörler, infra sensörler, sinyal lambaları ve yön değiştirme butonları kullanılmıştır.

3.1 OTOMASYONDA KULLANILAN MALZEMELER

3.1.1 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) Grubu

Programlanabilir lojik kontrolör (Programmable Logic Controller, PLC) endüstriyel otomasyon sistemlerinin kumanda ve kontrol devrelerini gerçeklemeye uygun yapıda giriş-çıkış birimleri ve iletişim arabirimleri ile donatılmış, kontrol yapısına uygun bir sistem programı altında çalışan bir özel sayısal işlemci veya endüstriyel bilgisayar olarak tanımlanabilir [20].

Bir PLC, en genel anlamda işlevsel üç temel birimden oluşur. Giriş birimi, işlemci birimi ve çıkış birimi. Giriş birimi çeşitli elektriksel özelliklerdeki kumanda yada geri besleme işaretlerinin PLC' de işlenecek sayısal büyüklüklere dönüştürülmesini, çıkış birimi ise PLC' de işlenen verilere ilişkin sayısal değerlerin kontrol edilen sisteme uygun elektriksel işaretlere dönüştürülmesini sağlayan birimdir. İşlemci birimi, PLC belleğindeki sistem programına göre çalışmayı düzenleyen ve kullanıcı programını yürüten en önemli birimdir. Bir PLC' ye ilişkin genel yapı Şekil 3.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: PLC'nin genel yapısı

İşlemci (mikrobilgisayar veya mikrokontrolör), PLC sistem programı ve kullanıcı programını yürüten, PLC' nin çalışmasını düzenleyen birimdir.

Bellek, işletim sistemi programının bulunduğu sistem program belleği ve veri belleği gibi bölümlerden oluşur. Sistem belleği ve PLC' ye ilişkin değiştirilmeyen veriler için salt okunur kalıcı bellek; program belleği ve veri belleği için rasgele erişimli bellek kullanılır. Veri belleği giriş-çıkış işaret durumları, sayıcı ve zamanlayıcı işaretleri, özel amaçlı kaydedici içerikleri, analog işaretlere ilişkin sayısal değerlerin tutulduğu çeşitli bölümlerden oluşur.

3.1.1.1 Siemens S7-300 Fail-Safe PLC Grubu:

Bu tezde Siemens firmasına ait S7-300 serisi PLC seçilmiş, CPU 315F-2DP Fail-Safe işlemcisi ve programlanması için "Siemens Simatic Manager" yazılımı kullanılmıştır.

Simatic S7-300 bütünüyle entegre otomasyon bağlamında dünya çapında bulunan birçok farklı endüstriyel sektörde yapılmış başarılı referans uygulamalarında yaygın kullanılan PLC'lerden biridir.

S7-300 sistemlerine maksimum 32 modül eklenebilmektedir. Her montaj rayı 8 modül taşıyabilmekte, 4 ayrı montaj rayı monte edilebilmektedir. Rayların kendi aralarında haberleşmesini sağlamak amacıyla haberleşme ara birimini (IM) kullanmak yeterli olmaktadır.

PS =Güç kaynağı (Power Supply)

CPU =Merkezi işlem birimi (Central Process Unit)

IMS =Gönderici arabirim modülü(Interface Modul Sender)

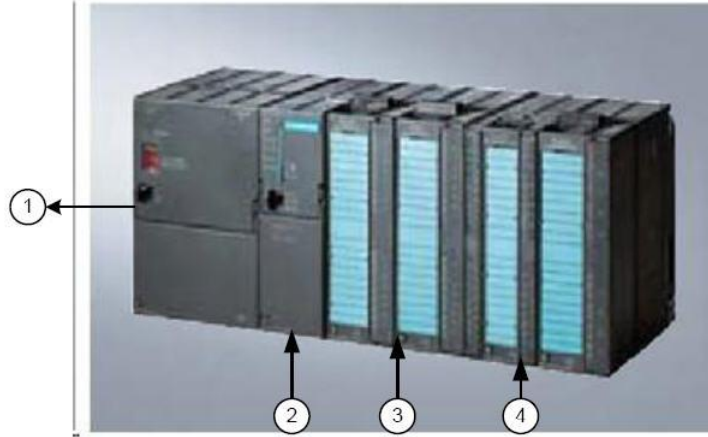
IMR =Alıcı arabirim modülü (Interface Modul Receive)

DI =Dijital giriş birimi (Digital Input)

DO =Dijital çıkış birimi (Digital Output)

PLC grubunda kullanılan ekipmanlar ve özellikleri aşağıda verilmiştir:

- PS 307 10A: 120 / 230 VAC Şebeke girişi kullanarak, 24 VDC çıkış voltajı ile 10 A besleme sağlar.
- CPU 315F-2 DP: Çalışma hafızası 192KB'tır. 32 modüle kadar konfigürasyon sağlar.
- DI SM 326F: 24 VDC, 24 adet dijital input içermektedir.
- DO SM 326F: 24VDC 10 adet 2A çıkış sağlamaktadır.

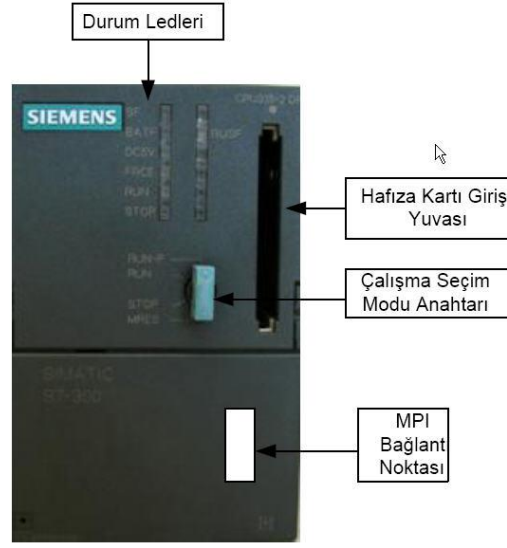


Şekil 3.4: Siemens S7-300 PLC görüntüsü

1 numaralı bölge, güç kaynağını temsil etmektedir. PLC' ye bağlı olan modüllerin güç ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır.

2 numaralı bölge, Merkezi İşlem Birimidir(CPU).

3 ve 4 numaralı bölgeler ise, dijital giriş-çıkış veya analog giriş-çıkış modülleridir.



Şekil 3.5: Merkezi İşlem Birimi(CPU) yapısı

MRES: Hafıza Reset

STOP: Durma Modu

RUN: Çalışma Modu (Bilgisayar tarafından sadece okuma anlamında ulaşım mümkün)

RUN-P: Çalışma modu (Bilgisayar tarafından hem okuma hem de yazma anlamında erişme mümkün)

SF: Grup Hatası, CPU'da ya da modüllerde bir hata var

BATF: Pil hatası, pilin gerilim seviyesi düşük ya da pil yok

DC5V:5 Volt DC sinyali

FRCE: Bir ya da daha fazla giriş ya da çıkış zorlanıyor .

RUN: CPU çalışmaya başlarken yanıp söner, çalışma modunda ise sürekli yanar.

STOP: Durma modunda sürekli yanar. Hafızayı sıfırlama işlemi süresince yavaş bir şekilde yanıp söner, işlemin bitmesiyle beraber hızlı olarak yanıp söner [11].

S7-300 PLC'lerin girişleri 24 VDC veya 120/230 VAC'dir. 24 V ile çalışan S7-300, 20.4V ile 28.8 V'luk gerilimler arasında çalışabilmektedir. Girişe uygulanacak gerilim buton, sınır anahtarı, sıcaklık, seviye, basınç sensörleri gibi anahtarlama elemanları üzerinden alınır.

Giriş bilgisi giriş görüntü belleğine yazılır ve buradan merkezi işlem ünitesine gönderilir. Merkezi işlem ünitesindeki bellek iki kısımdan oluşur:

ROM bellek: Cihazın kendine ait olan bilgilerin tutulduğu ve sadece okunabilen bellektir.

RAM bellek: İşletilmesi istenilen programı barındıran ve silinebilen bellektir. RAM bellek iki kısımdan oluşur. Programın yazıldığı yükleme alanı (Load Memory) ve programın çalıştırıldığı çalışma alanı (Work Memory). Yazılan program Micro Memory Card'a yüklenir.

Giriş görüntü belleğinden alınan bilgi işletilecek programa bildirilir ve program yürütülür. Elde edilen veriler çıkış görüntü belleğine yazılır. Veriler çıkış sinyali olarak çıkış katına aktarıldığı gibi tekrar giriş görüntü belleğine giriş bilgisi olarak gönderilir.

Çıkış sinyalleri kontrol edilen sisteme ait kontaktör, sinyal lambası, röle, selenoid gibi çalışma elemanlarını sürer. PLC transistör çıkışlı ise DC 0.5A, triyak çıkışlı ise AC 1 A ve Röle çıkışlı ise AC/DC 2 A'in geçmesine izin verir.

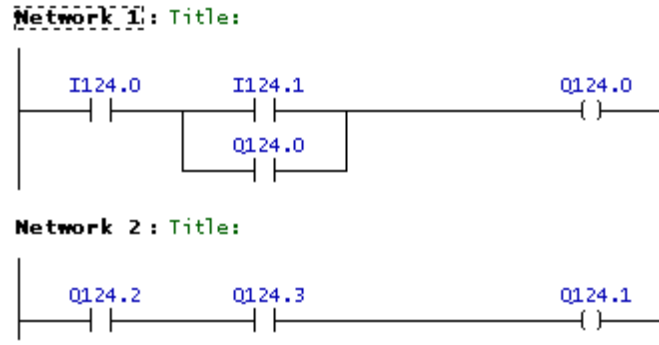
Orta büyüklükte projelerde kullanılan yeni nesil S7-300 PLC'ler, S7-200 PLC'lere göre farklılıklar göstermektedir. S7-300 PLC'lerin program oluşturulurken S7-200'lerdeki gibi kendi içerisinde otomatik olarak değil yazılımcının projeyi oluştururken adım adım kendi tercihinin göre seçmesi gerekir ve projede ihtiyaç duyulan giriş, çıkış sayılarına göre sinyal modülleri eklenmektedir. S7-300 PLC'lerde her 1 toplamda 32 adet sinyal modülü eklenebilmektedir. S7-200'lerde ise işlemcisine göre en fazla 7 adet ek modül takılabilmektedir [11].

Giriş görüntü belleği, programın yürütülmesi sürecinde, giriş birimindeki iki değerli işaretlerin mantıksal durumlarının (0-1) saklandığı bellek alanı; çıkış görüntü belleği ise kullanıcı programının yürütülmesi sürecindeki çıkış noktalarına ilişkin hesaplanan mantıksal değerlerin saklandığı bellek alanıdır. Siemens tarafından üretilen PLC'lerde giriş görüntü belleği için I0.0, I0.1, I0.2 gibi, çıkış görüntü belleği için ise Q0.0, Q0.1, Q0.2 gibi adresler kullanılmaktadır.

PLC'lerde programda hesaplanarak değerlerin saklandığı "marker", "flag", "internal output", "auxiliary relay" gibi isimler verilen bellek alanları da kullanılır. Bu adres alanları için F, M, V gibi harflerle başlayan F0.0, F0.1, ...; M0.0, M0.1...; V0.0, V0.1 gibi adresler kullanılır. Bu tür verilere genellikle 1 bit, 8 bit, 16 bit yada 32 bit olarak erişilebilir [11].

3.1.1.2 PLC Programlama:

Bir kumanda ya da kontrol sisteminin çözümüne ilişkin sözel ya da matematiksel kuralların PLC program belleğine aktarılması özel bir programlama dili ve derleyicisi aracılığıyla yapılmaktadır. Bu programlama dilleri LAD, STL, FBD'dir. PLC programlama dilleri, komut ile programlama ve grafiksel programlama olarak iki ana başlık altında toplanabilir. STL komut ile programlama tekniğine, FBD ve LAD ise grafiksel programlama tekniğine girmektedir. Bunlar aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.6: Merdiven(Ladder) diyagramı ile PLC programlama

Network 1: Title:

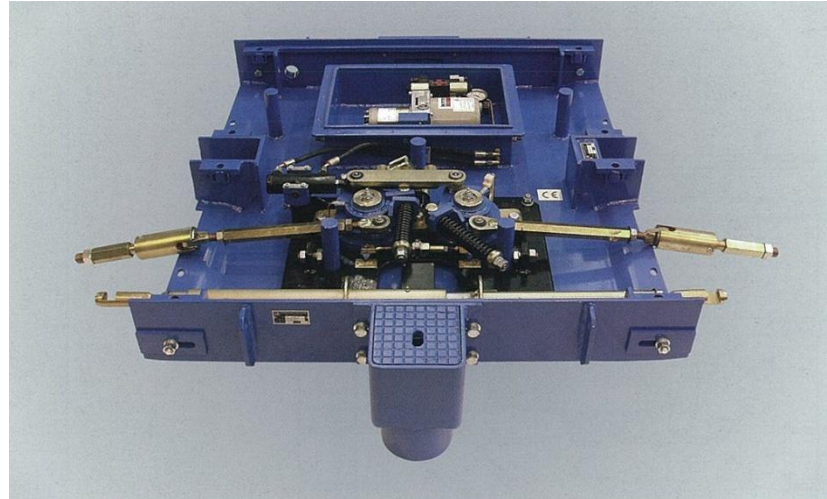
A	I	124.0
AC		
O	I	124.1
O	Q	124.0
)		
=	Q	124.0

Network 2: Title:

A	Q	124.2
A	Q	124.3
=	Q	124.1

Şekil 3.7: Komut Dizini (Statement List) ile PLC programlama

3.1.2 Elektrohidrolik Makas (DT5/1435)



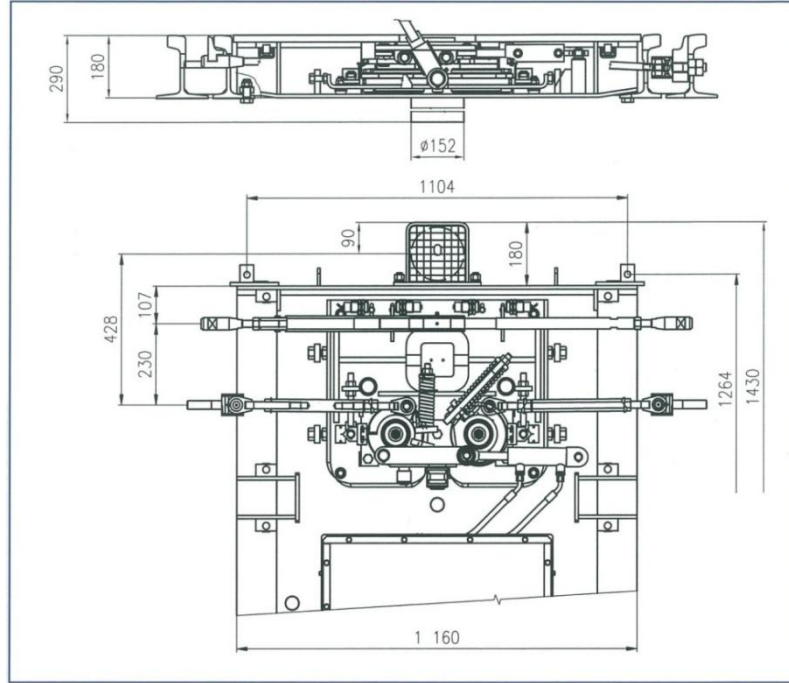
Şekil 3.8: DT5/1435 Elektrohidrolik makas

DT5/1435 tipi elektrohidrolik makas, yön değiştirme dillerinin mekanik ve manuel çevrilmesini ve kilitlemesini sağlamaktadır. 3 faz makas tanzim motoru ile hidrolik pompa yardımıyla hidrolik pistonlara ve dolayısıyla makas dil tertibatına hareket verilir. Makas dilleri uygun pozisyona tahkik olduktan sonra dil sensörleri aracılığıyla makas pozisyon durumu kontrol edilir ve kumanda sistemine iletilir.

3.1.2.1 Teknik Veriler:

Ekartman açıklığı	:1435 mm
Değiştirme dilinin tipi	: saplamalı, esnek-kaynaklanmış-vidalanmış
Dilin kaldırılması	: ayarlanabilir 50-70 mm
Dillerin yükseklik ve yan saptırılması:	+/- 20 mm
Menteşe ekseninde elektromanyetten dillerin çevirme gücü	: 4000-6000N
Menteşe ekseninde mekanik kilidin sigorta(kesme) gücü	: 2500-3500N
1 metre uzunluktaki kumanda kolunda manuel çevirmede kumanda gücü	: 250-350 Nm
Çalışma Sıcaklığı	: -20, +50 °C

3.1.2.2 DT5/1435 Makasının Teknik Tanımı:



Şekil 3.9: DT5/1435 Elektrohidrolik makas detay çizimi

DT5/1435, 1435 mm'lik ray açıklığı olan tramvay değiştirme dillerine uygun otomatik ve manuel çevrilmeyi sağlayan bir makas olarak tasarlanmıştır. Bu makas motoru, kilit

kutusunu, işletme elektromanyetini(solenoid), darbe bastırıcısını ve acil durum çevirme yivini içermektedir.

Küresel kutuplu uzatma parçaları ile tek yönlü iki etkili elektromanyet 0,2 ila 0,5 saniyelik optimum süresinde dilin çevirilmesini sağlamaktadır. Çekirdeğin direkt hareketi +-15 toleranslı kol mekanizması vasıtasıyla döner harekete geçirilmektedir. Elektromanyetin kutusu su geçirmezdir (EN 60529'a göre koruma IP-67).

İşletme aparatı çubuğunun bir parçası olan silindir hareketli gövdesinin içine ve dışına yerleştirilen yaylı mandal mekanizmasının vasıtasıyla kenar pozisyonlarında değiştirme dillerinin kilitlenmesini sağlamaktadır. Gövde aynı anda bağlama çubuğunun küresel bağlantısını ve ani kesilmelere karşı dayanıklı yaylı sigortayı içermektedir.

Dil oturduktan sonra algılayıcı sensörler tarafından 3mm'den fazla boşluk olduğu tespit edilirse tramvayın makastan geçmesi sinyallerle engellenir. Emniyet amacıyla disk çevresinde de her yönde birer adet sensör bulunmaktadır.

Hidrolik İki Etkili Darbe Bastırıcısı, dillerin bağlama çubuğunun hareketinin bastırılmasını sağlamaktadır. Yüksek bastırma etkisini bastırıcı dilin dayanağa oturmasından çok az önce göstermektedir ve bu şekilde mekanik darbeleri ve bununla birlikte de değiştirmenin aşınmasını ve gürültüsünü azaltmaktadır.

Arıza durumunda makas dillerini mekanik olarak çevirmek için "Mekanik Çevirme Yivi" bulunmaktadır. Makas, manuel mekanik anahtarıyla çevirildiği durumlarda sonradan gelen tramvayın girişini ve makasın kendiliğinden çevrilmesini sinyaller vasıtasıyla engelleyen "ayar anahtarının takılma tarayıcısı" bulunmaktadır. Bu şekilde personel tarafından makasın bakımı yapılırken, elektriksel çevrilmesi engellenmekte ve kullanıcı personelin ayar anahtarının darbesiyle yaralanma ihtimali önlenmektedir.

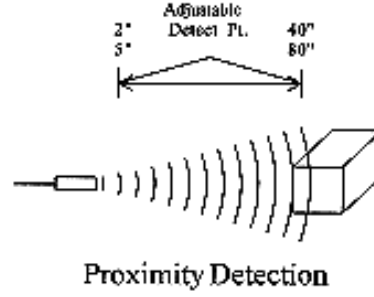
3.1.3 Ultrasonik Sensörler:

Ultrasonik sinyaller, frekansı çok yüksek ses dalgaları gibidir. Birçok ultrasonik sensörde istenilen frekansı oluşturabilmek ve elektrik enerjisini akustik enerjiye (veya tam tersi) dönüştürmek için piezoelektrik kristaller kullanılır.

Bu dedektörler insanlar tarafından duyulamayan 25 kHz ile 75 kHz arasında frekansa sahip bir ultrasonik ses dalgası yayarlar. Doppler kanuna göre hareketli nesneye rastlanıldığında tespit edilen frekansta değişim olacaktır. Doppler efektiyle başarılı bir tespit yapabilmek için:

- Alıcıya doğru veya alıcıdan uzağa gidecek şekilde bir cismin hareket ediyor olması gerekir.
- Bu hareketli cisim alıcı tarafından alınan ultrasonik sinyal üzerinde bir değişiklik yapmalıdır.

Ultrasonik dedektör bir alıcı ve bir verici bölümden oluşur. Dışarıya verilen ultrasonik dalgalar katı cisimlerden yansiyarak sensörün alıcısına döner. Eğer yüzey hareketliyse bu geri dönen dalgalardan anlaşılır ve hareket tespit edilir.

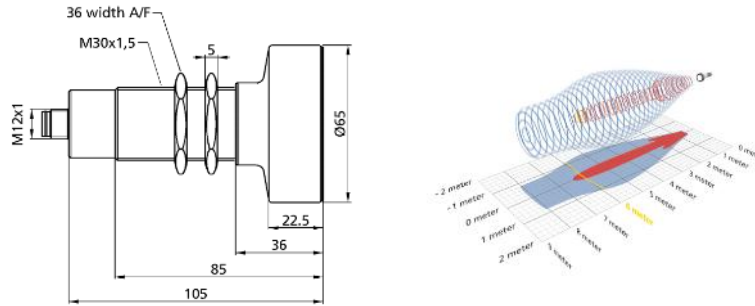


Şekil 3.10: Ultrasonik dalgalar ile cisim algılama

Yukarıdaki şekilde ses sinyallerinin bir koni şeklinde nasıl yayıldığı ve hedef cisme çarptıktan sonra sensöre nasıl geri döndüğü gösterilmektedir.

Algılama fonksiyonlarında kullanıldıklarında ultrasonik yöntem klasik sensörlere göre bazı avantaj sağlamaktadır.

- Hareketli nesnelere tespit edilip mesafeler ölçülebilir.
- Renkten etkilenmez, yüzey şeklinden ve hedef cismin malzemesinden diğer sensörlere göre daha az etkilenir. Uzak mesafelerden bile küçük objeleri tespit edebilir.
- Titreşim, kızılötesi radyasyon, çevre gürültüsü ve EMI radyasyonuna karşı dirençlidir.



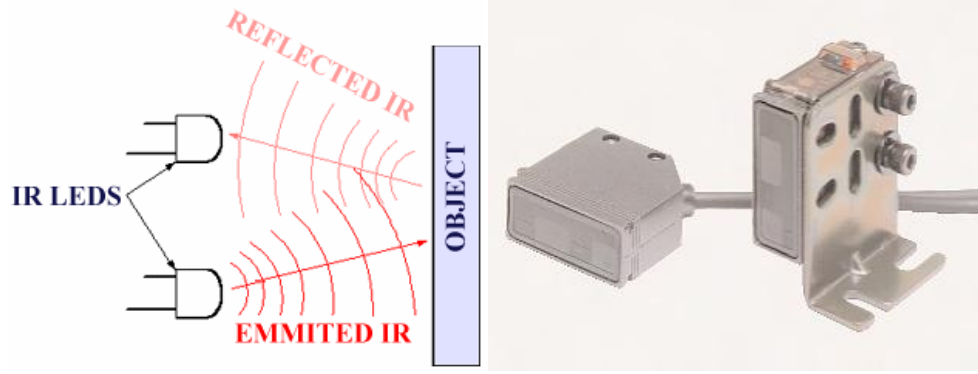
Şekil 3.11: Microsonic Mic +600/D/TC ultrasonik sensör

Teknik Veriler:

- Çalışma Mesafesi : 600 – 6000 mm
- Çalışma Voltajı : 9-30 VDC
- Koruma Sınıfı : IP67
- Çalışma Sıcaklığı : -25, +70 °C

3.1.4 Infrared Sensörler:

Elektromanyetik spektrumda, dalga boyu(Lamda) 0,76 – 300 mikrometre aralığında kalan ışınlar infrared ismini alır. Bu elektromanyetik dalgalar, görünür ışık ile mikrodalgalar arasında kalan kısımdır ve ışık hızıyla yol alır. Türkçeye kızılötesi ışınlar olarak geçmiştir. Aracımızın içindeyken hava soğuk olduğu halde güneşin camdan geçerek bizi ısıtması infrared ışınlar iledir. Güneşi veya ateşi bir aynadan görüp ısıyı hissetmemiz gene infrared ışınların yansımalarıdır. Tıpkı görünen ışık gibi olup tek farkı gözle görülemezdir. Ancak 500 °C sıcaklığın üzerine çıktığında infrared ışık gözle algılanmaya başlar. Donuk kırmızıdan başlayarak sırasıyla turuncu ve son olarak 1800 °C de parlak beyaz ışık olarak görülür.



Şekil 3.12: Infrared cisim algılama ve SUNX-RX-LS200 infrared sensör

Doğada bulunan her madde ortam sıcaklığı 0 °K (273,56 °C) den daha düşük bir sıcaklık olmadıkça infrared ışınlar yayılır. Infrared sensör, hedeften yayılan bu infrared ışınları tespit eder. Belirlenen bu infrared enerjiyi, yükselticiler sayesinde yükselterek voltaja çevirir. Bu voltaj ADC ile dijital sayıya dönüştürülür ve mikro işlemciler yardımıyla malzemenin sıcaklığı rakamsal olarak tespit edilip, bunu endüstride yaygın olarak kullanılan 0-10 V veya 4-20 mA şeklinde çıkış sinyali olarak verir.

Teknik Veriler:

Çalışma Mesafesi : 50 – 200 mm

Çalışma Voltajı : 12-24 VDC

Koruma Sınıfı : IP67

Çalışma Sıcaklığı : -25, +60 °C

Algılama Elemanı : Infrared LED

Lens Materyali : Polycarbonate

3.2 TASARIM KRİTERLERİ

Sinyalizasyon sistemlerinin, anlaşılan sistemi ile birlikte en önemli görevi; sistemin emniyet bütünlüğünü sağlaması ve "fail-safe (hatada emniyet)" olarak çalışmasıdır. Sinyalizasyon sistemlerinde, fail-safe ve interlocking kavramları vazgeçilmez unsurlar kabul edilerek, tasarlanacak sistemlerin "fail-safe" tasarım kriterlerine uygun olarak yapılması gerekmektedir [13].

Depo sahası makas otomasyon tasarımı yapılırken aşağıdaki kurallar dikkate alınmıştır:

- "Fail-safe" prensiplerine uygun olarak tasarlanmıştır.
- Sistemin herhangi bir bölümünde hata oluşması durumunda ilgili sinyal lambası o bölüm için meşgul bildirimine geçecek şekilde tasarlanmıştır.
- Ray devreleri yerine kullanılan ultrasonik ve infrared sensörlerden alınan veriler ile, tren makas bölgelerinden geçerken, makasın hareketli kısımların hareket etmesi engellenecek şekilde tasarlanmıştır.

3.2.1 Fail-Safe (Hatada Emniyet) Tasarım Prensiplerinin Otomasyona Uygulanması:

"Fail – safe" kavramı demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin temel tasarım prensibi olarak; sistemin tümünde ya da tek bir bileşeninde, tehlike ve hata oluşturabilecek unsurları ortadan kaldırmak amacıyla tanımlanmıştır. "Fail-safe" kavramı kısaca, sistem herhangi bir işlem yaparken "başarısız/hatalı-fail" olduğunda, sistemin "güvenli-safe" duruma ulaşmasıdır. Başarısız/hatalı bir işlem gerçekleştiğinde güvenlik bütünlüğü bozulmadan, sistem o an için en güvenli olan pozisyona geçer.

Sistemlerin tasarımında, sistem emniyetine etki edecek tüm fonksiyonlar çıkarılarak her fonksiyon için fail-safe durumlar, rutinler, prosedürler oluşturulmalıdır. Fail-safe durumlar tespit edildikten sonra, sistem emniyetine etki edecek herhangi bir hata oluşması durumunda sistemin o fonksiyon için belirlenmiş olan fail-safe durumuna geçmesi garanti edilmelidir. Sistemlerin fail-safe olarak tasarlanması, sistemin emniyet seviyesinin (SIL- Safety Integrity Level) yükseltilmesinde önemli rol oynamaktadır. Sinyal sistemleri tasarlanırken, tasarlanacak olan sistemin emniyet seviyesi dikkate alınmalıdır. Emniyet seviyesi belirlenirken işletmelerin ihtiyacı ve talepleri de göz önünde bulundurularak, o sistem için gerekli olan seviye belirlenir. Sinyalizasyon sistemleri için en yüksek emniyet seviyesi, tolere edilebilir riskin minimum düzeyde olması, yolcu veya personel için maksimum risk miktarının normal yaşamdaki riske eşit seviyede olmasıdır [13,16].

3.2.1.1 Kapalı devre prensibi

Sinyal sistemlerinin tasarımında "kapalıdevre" prensibinin uygulanması, risk oranının minimize edilmesi açısından önemlidir. Kapalı Devre Prensipleri; normal olarak enerjili olan bir devrede enerji kesildiği veya arıza durumundan dolayı enerji gittiği zaman

kontrol fonksiyonlarının en kısıtlayıcı olanı uygulamasıdır. Buna göre sistem tasarlanırken, sisteme giren bilgiler kapalı kontak üzerinden normalde enerjili olarak alınır, enerji var ise lojik “0” enerji yok ise lojik “1” olarak değerlendirilir. Dolayısıyla herhangi bir nedenle enerji kesildiği zaman; kablo kesilmesi, kablo kopması, kısa devre vs. sistem o pozisyon için belirlenmiş olan en kısıtlayıcı duruma göre hareket eder. Örneğin, makas kontrol sistemi ve makas bölgesinde araç tespitini sağlayan ray devresi incelenebilir. Ray devresinden makas kontrol ünitesine gelen bilgi “kapalıdevre” prensibine göre geldiği kabul edildiğinde; eğer kontakta enerji varsa lojik “0” yani makas bölgesinde araç yok, makasın konum değiştirmesinde sistem emniyeti açısından risk yok. Eğer kontakta enerji yoksa lojik “1” bu durumda ya makas bölgesinde araç var, bölge meşgul ya da sistemdeki herhangi bir hata nedeniyle kontrol panosuna bilgi gelmiyor. Bu durumda makasın hareket etmesi riskli olduğundan kontrol ünitesi makas bölgesinde araç var kabul eder, o pozisyon için gerekli olan en güvenli duruma geçerek kendini ve sistemi koruma altına alır [13].

3.2.1.2 Yedeklilik ve çiftleşlik (*redundancy & duality*) prensibi:

Yedeklilik ve çiftleşlik prensibine göre anlaşılan donanımı iki farklı kanaldan oluşur ve her kanalda sahadan gelen bilgiler ayrı ayrı işlenerek sonuçlar karşılaştırılır. İşlem sonuçlarında farklılık varsa komutlar işlenmez. Bu durumda sistem kendini koruma altına alır[13].

3.2.2 İç kilitleme (**Interlocking**)

“Interlocking” kavramı; tren hareketlerini kontrol eden sinyal sistemi ile birlikte sistemde bulunan tüm interlocking ekipmanlarının kilitlemesi, birbiriyle ilişkili olarak hareket etmesi, bir birinin hareketini etkilemesi, biri hareket etmeden diğersinin hareket etmesinin önlenmesi olarak açıklanabilir.

Interlocking ekipmanları temel olarak makas ve sinyallerdir. Interlocking sistemi, koşulların güvenli ve uygun olduğu durumda sinyalizasyon sisteminin rota yönlendirmesi yapmasına izin verir, bunu yaptıktan sonra da rota ve güvenlik bütünlüğünü sağlar. Sinyal sistemi bir araca “yol serbest” sinyali verdiğinde başka bir araca sistem emniyetini bozacak şekilde aynı bölge için “yol serbest” sinyali vermesi interlocking sistemi sayesinde engellenmektedir. İç kilitleme mekanizmasının kontrol ettiği sinyal ve makaslar hata ile birbiriyle çakışacak şekilde ayarlanamazlar. Yani iki trenin peş peşe aynı ray devresi bölgesine girmesi veya karşı karşıya gelecek şekilde makasların tanzim edilmesi mümkün olmamaktadır. Sinyaller ve makaslar böyle bir duruma izin verecek komutları kabul etmezler.

İç kilitlemeye örnek olarak makasın konumunu ve durumunu gösteren bir sistem incelenebilir. Makas dil uçlarına konulan sensörler, her yön için en az iki adet ve makasın mekanik olarak hareket etmesini sağlayan mafaslar üzerine veya makas yön çubukları üzerine konulan mekanik anahtar ile makasın konumu tespit edilsin. Bu

makas sistemi için üç durum bulunmaktadır. Makas sağa dayalı, makas sola dayalı ya da makas arıza durumundadır. Makasın yönünü tayin etmek için şu kontroller yapılmalıdır:

1. Makas arızalı mı?
2. Makas sağ yön sensörlerinden (her ikisinden de) bilgi geliyor mu?
3. Makas sol yön sensörlerinden (her ikisinden de) bilgi geliyor mu?

Her üç durum için de kontroller yapılarak makasın durumu tespit edilir. Interlocking sisteminde, sistem mekanik ve elektrik olarak öyle tasarlanmalıdır ki hata ile veya harici müdahalelerle makas sağa yaslı iken sinyal lambası sol yönü göstermemelidir. Örneğin; makasın sağa yaslı olduğu bilgisi sol yöne ait sensör takımının ters kontağından geçmeli ki, herhangi bir nedenle makas sola yaslı iken sağ yönü göstermesin. Aşağıdaki doğruluk tablosunda (Tablo 3.1) S1, S2 sağ yöne ait sensörleri S3 , S4 ise sol yöne ait sensörleri göstermektedir. [13]

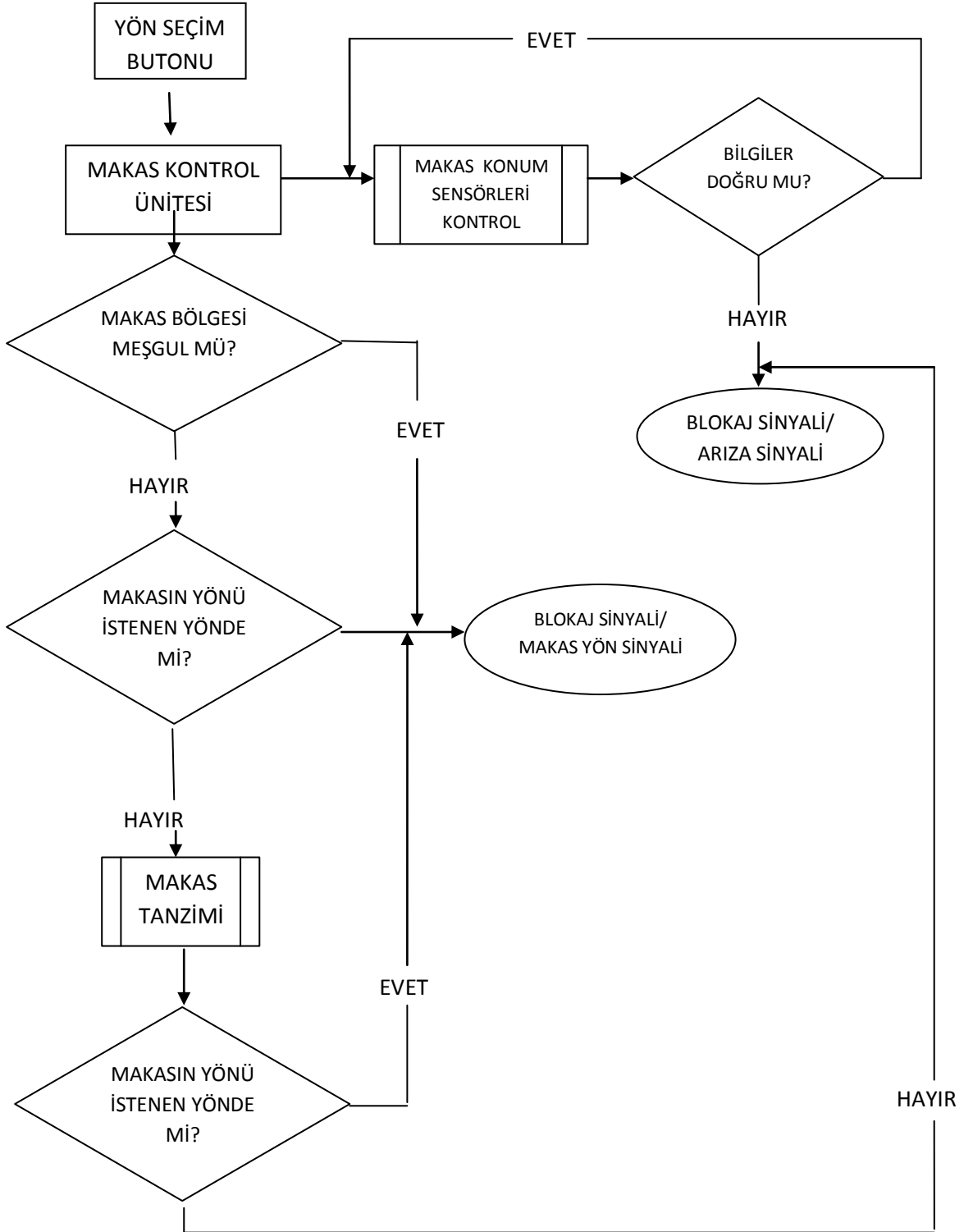
Tablo 3.1: Makas yön doğruluk tablosu

Doğruluk Tablosu	
S1 = 0, S2 = 0, S3 = 1, S4 = 1	Makas Sola Yaslı
S1 = 1, S2 = 1, S3 = 0, S4 = 0	Makas Sağa Yaslı
Diğer tüm durumlar	Arıza

Tablodan görüldüğü gibi S1 ve S2 sensörlerinden lojik “1” bilgisi alındığında makasın sağa yaslı olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda S3 ve S4 sensörlerinden de lojik “0” bilgisi alınmalıdır. Tüm sensörlerden lojik “0” alınması durumunda makas dillerinin mekanik engellemeler (taş, metal vb.) nedeniyle her iki yöne de yaslanamadığı veya makas ekipmanlarında arıza oluştuğu anlaşılır.

3.2.3 Yazılım Akış Diyagramı:

Makas giriş-çıkışlarındaki sinyal direklerine yerleştirilen butonlar aracılığıyla verilen komutlar makas kontrol ünitesine iletilir. Makas kontrol ünitesi, makasın güvenli bir şekilde kontrol edilmesi işlemini gerçekleştirir. Bu döngüyü açıklayan yazılım akış diyagramı şekil 3.13'te görülmektedir.



Şekil 3.13: Makas kontrol sistemi akış diyagramı

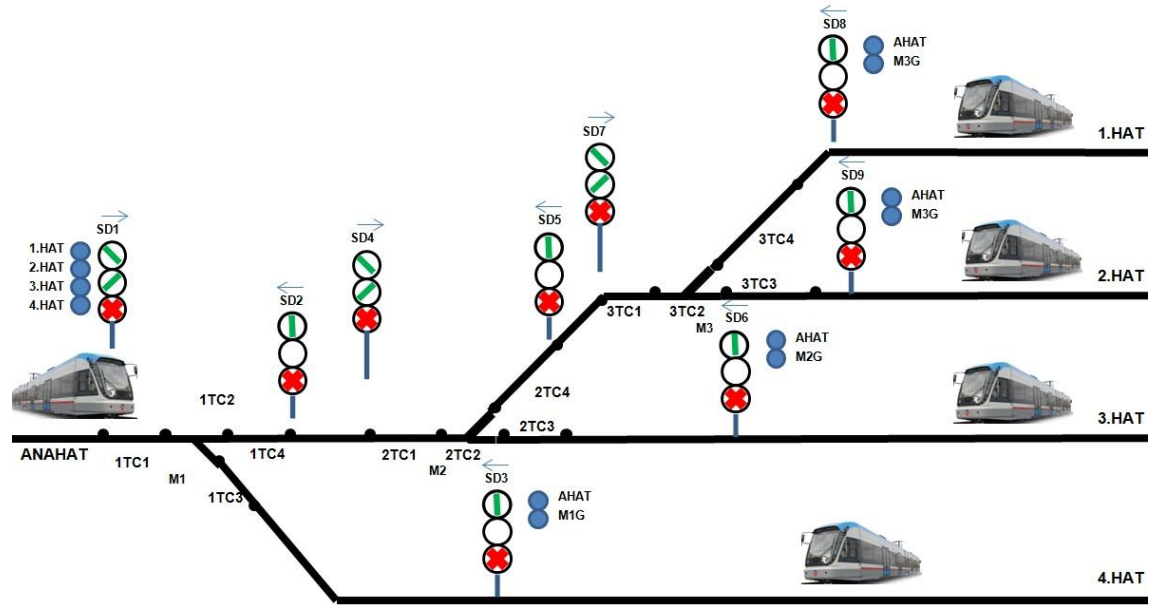
Akış diyagramından görüldüğü gibi butondan gelen bilgiler doğrultusunda makas tanzimi gerekiyorsa, makas kontrol ünitesi, makas bölgesinde başka bir araç olup olmadığını kontrol eder. Başka bir araç yoksa makası istenen yöne tanzim eder ve makas bölgesini bloke eder (interlocking). Blokaj bilgisi bir sinyal lambası vasıtası ile

makinistlere her iki yönde de gösterilir ve araç makası terk edene kadar devam eder. Makas bölgesinde araç varlığı bilgisi katener hattı üzerine monte edilen ultrasonik ve infrared sensörlerden alınır.

Makas bölgesinde araç varsa, makasın bloke edilir ve makas bölgesindeki meşguliyet kalkana kadar herhangi şekilde makasın tanzim edilmesi engellenir.

3.3 TASARIMI YAPILAN SİSTEMİN TANITIMI

Tasarım Şekil 3.14'te görülen ray bölgesine uygulanmıştır. Bu bölge 4 adet park hattı ve giriş-çıkışların yapılması için bir hattan (Anahat) oluşmaktadır. Aracın makaslar üzerinden geçişini algılamak amacıyla ray devresi yerine ultrasonik ve İnfrared sensörler kullanılmıştır. Tren varlığını algılayan; 1TC1, 1TC3, 1TC4, 2TC1, 2TC3, 2TC4, 3TC1, 1TC3, 3TC4 meşguliyet bölgelerinde birer adet ultrasonik ve birer adet infrared sensör kullanılmıştır. Makas üzerindeki 1TC2, 2TC2, 3TC2 ray devrelerinde ise birer adet ultrasonik sensör kullanılmıştır.

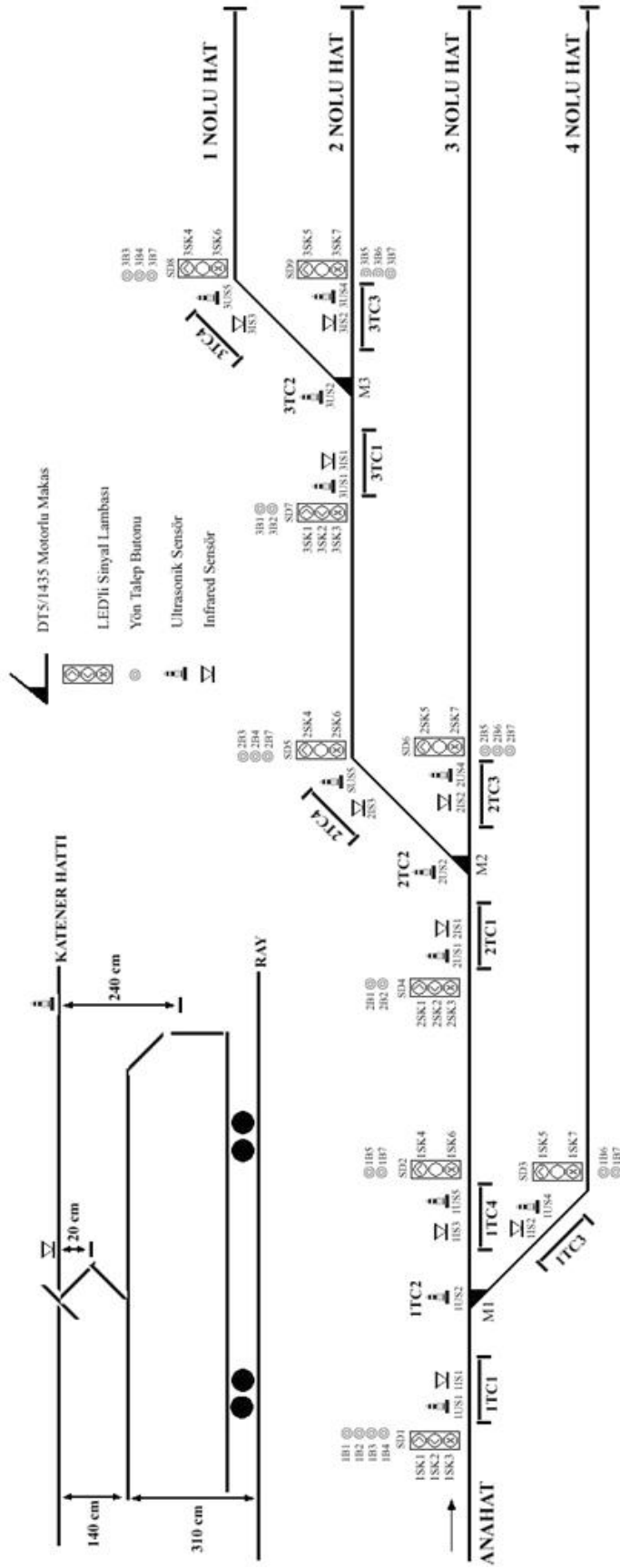


Şekil 3.14: Makas otomasyonu uygulanan ray bölgesi

Şekil 3.14'te görülen M1, M2, M3 hatları birbirine bağlayan makaslardır. SD1, SD4, SD7 çift yönlü; SD2, SD3, SD5, SD6, SD8, SD9 tek yönlü sinyallerdir. Tüm sinyallerde blokaj veya arıza durumlarında uyarı veren birer adet sinyal lambası bulunmaktadır.

Makinist butonla tanzim talebinde bulunduktan sonra, herhangi bir arızadan dolayı makas dil uçları yaslanma rayına oturmaz ise arıza sinyali yanıp sönecek ve makinisti buna karşı uyaracaktır.

DEPO TEK HAT SEMASI



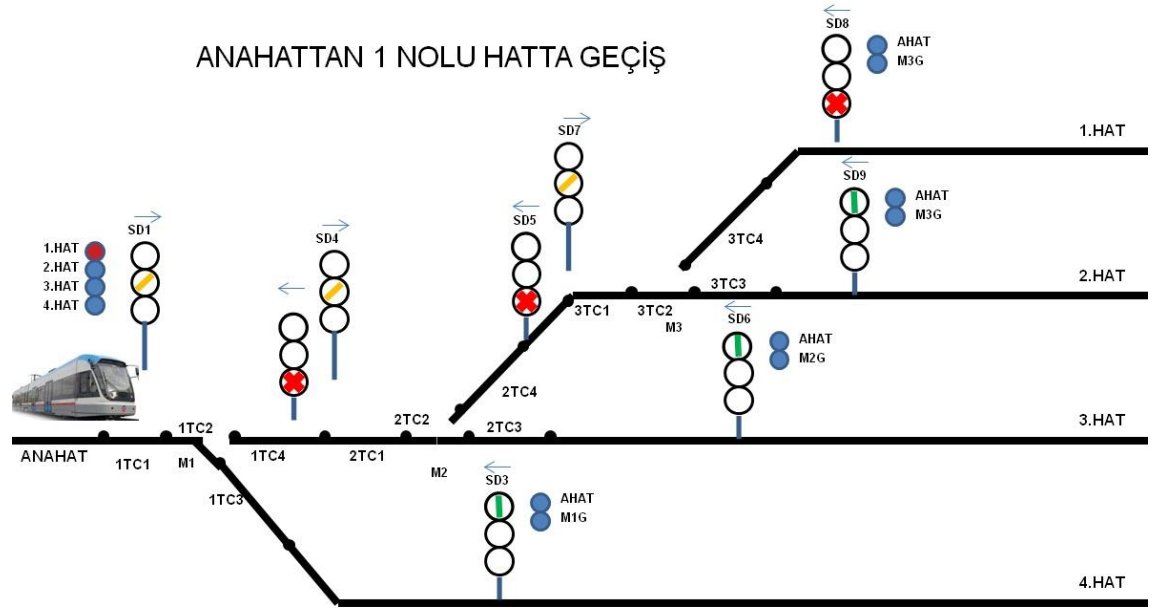
Şekil 3.15: Tramvay Depo Bölgesi tek hat şeması

3.4 TASARIMI YAPILAN SİSTEMİN ÇALIŞMA ŞEKLİ

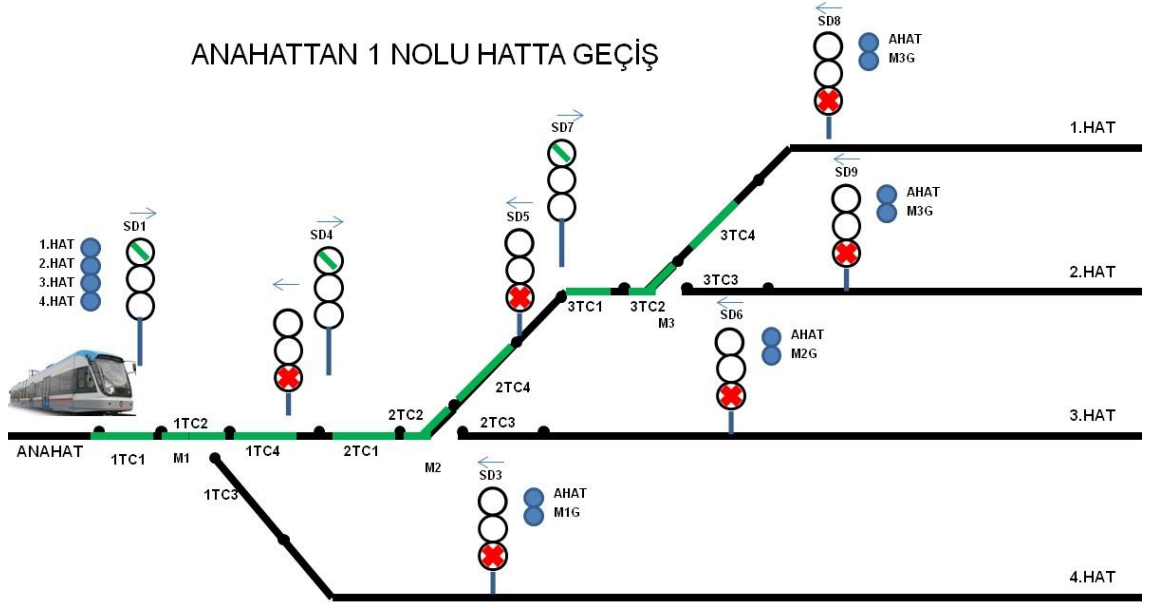
Tramva depo alanında tüm park hatlarına girişler ve çıkışlar “Anahat” tan yapılmaktadır. Anahattan her bir park hattına giriş talebi için birer adet isimlendirilmiş buton bulunmaktadır. 1 ,2 , 3 veya 4. Hattan hangisine giriş yapılmak isteniyorsa ilgili butona basılarak tanzim talebi istenir. Bu tanzim talebi için belirlenmiş koşullar sağlanırsa güzergah kurulur ve sinyal lambaları ile trene hareket izni verilir. Tren hareketi ray devreleri ile takip edilir ve geçiş tamamlandığında sistem yeniden yeni güzergah talepleri için hazır hale gelir.

Cari hattan park sahasına girerken Anahat→1.Hat, Anahat→2.Hat, Anahat→3.Hat, Anahat→4.Hat olmak üzere dört adet istikamet söz konusudur. Park sahasından cari hatta çıkışta ise tersi istikametler seçilir.

İlgili demiryolu bölgesindeki tüm muhtemel senaryoları izlemek amacıyla Power Point programı ile bir animasyon oluşturulmuştur. Şekil 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 ile Anahat-1.Hat geçiş animasyonları resimlerle izlenmektedir. Başlangıçta depo sahasında hiç tren olmadığı kabul edilmiştir. Anahatta gelen trenin 1. Hatta gönderilmesi için sürücü tarafından 1.Hat butonuna basılır (Şekil 3.16, 1.Hat butonunun kırmızı renkle gösterimi). Her üç makas tanzim edildikten sonra SD1, SD4 ve SD7 sinyallerine ait yön sinyalleri yanar ve güzergah kurulur. Bu durum Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

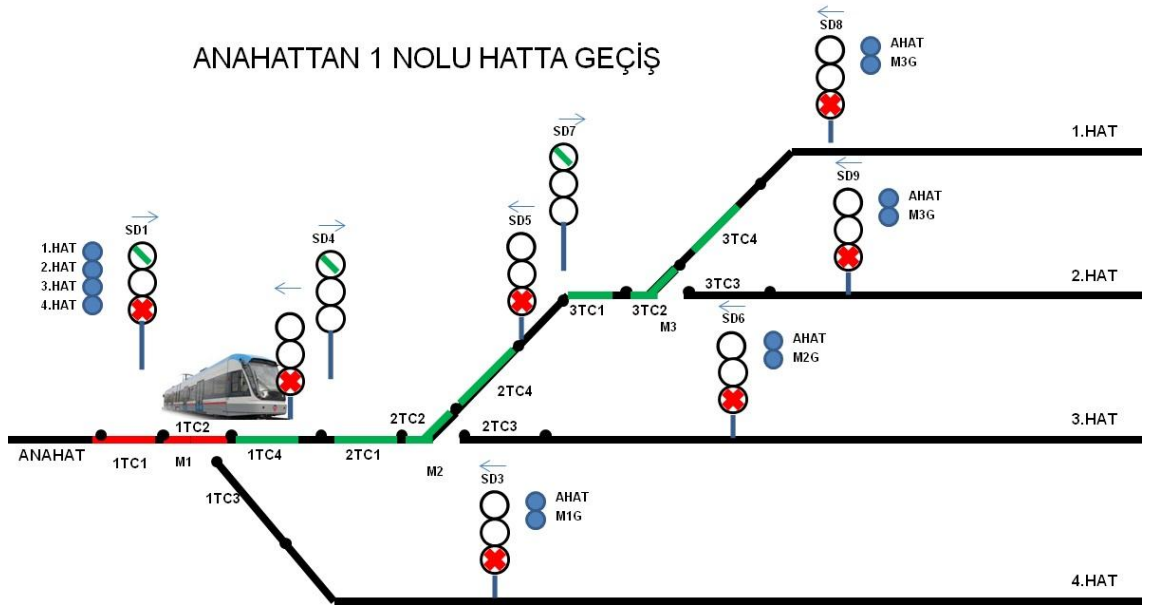


Şekil 3.16: Anahattan 1.Hatta geçiş için butondan tanzim talebinin istenmesi

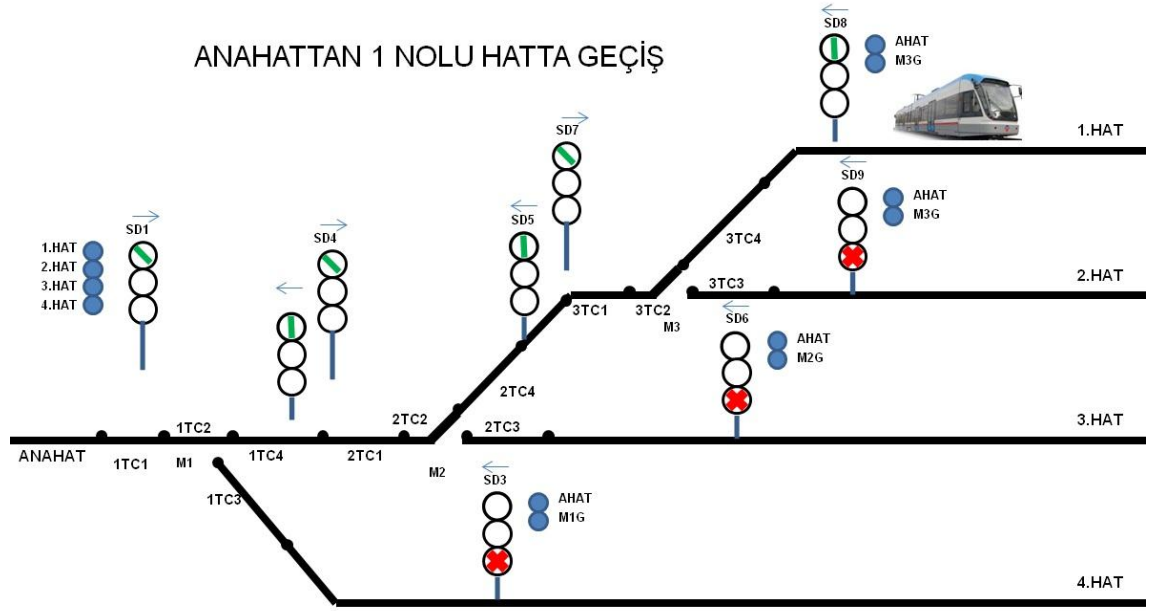


Şekil 3.17: Anahattan 1.Hatta geçiş için güzergahın kurulması

Giriş talebi için güzergah kurulduktan sonra, çıkış sinyalleri kırmızıya döner ve geçiş tamamlanana kadar kilitlenir. Güzergahın ilgili hatta kurulması yeşil renkle, tren TC meşguliyet bölgelerinden geçerken ilgili sensörlerin algılaması ise kırmızı renkle gösterilmiştir. Trenin makaslar üzerinden geçişi Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.18: Anahattan 1.Hatta geçişin meşguliyet bölgeleriyle izlenmesi



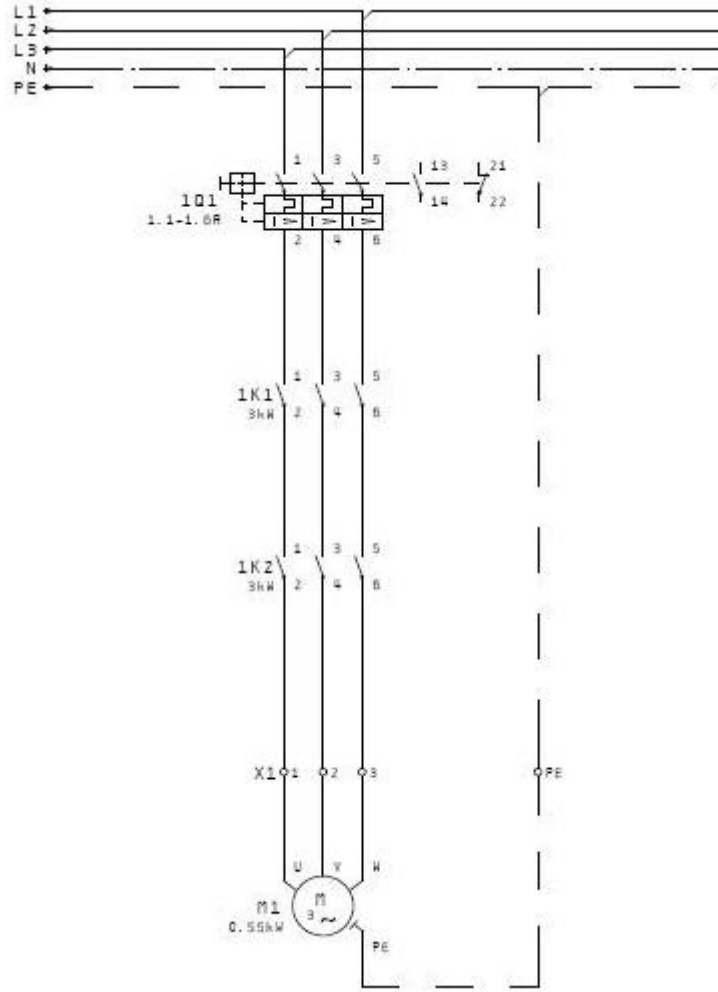
Şekil 3.19: Anahattan 1.Hatta geçişin tamamlanmasıyla sinyallerin durumu

Şekil 3.19’da ise aracın makaslar üzerinden geçerek, geçişi tamamlaması ile sistemin yeni güzergah kurulumlarına hazır hale geldiği görülmektedir.

3.5 ELEKTRİKSEL BAĞLANTILAR

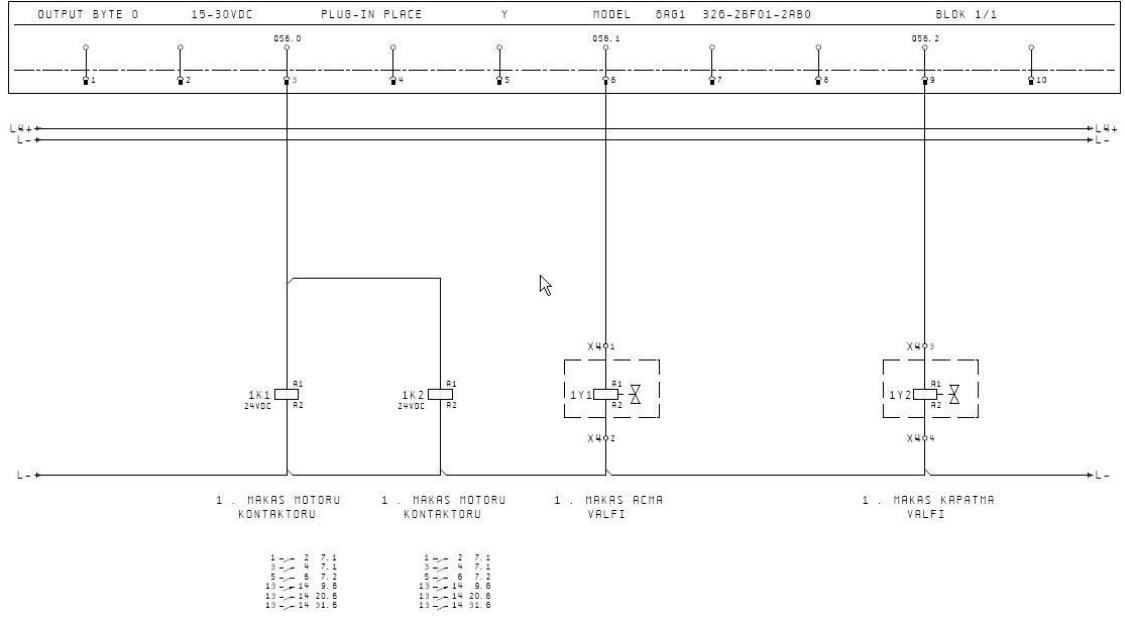
PLC ile saha ekipmanları arasındaki elektriksel bağlantı şemalarının oluşturulmasında E-Plan uygulamasından yararlanılmıştır. Makas motoru, meşguliyet sensörleri, sinyal lambaları ve yön talep butonları için belirlenen I/O numaralarına uygun şematik çizimler E-Plan ile oluşturulmuş ve elektriksel bağlantılar bu şemalara uygun yapılmıştır.

Bu demiryolu bölgesinde bulunan üç adet makasın her biri içerisinde hidrolik pompalarda basınç oluşturmak amacıyla birer adet 3 faz asenkron motor bulunmaktadır. Bu motorları sürmek amacıyla ikişer adet kontaktör ve aşırı akıma karşı korumak amacıyla birer adet termik manyetik şalter kullanılmıştır. Bu ekipmanlara ait elektriksel bağlantı şeması Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



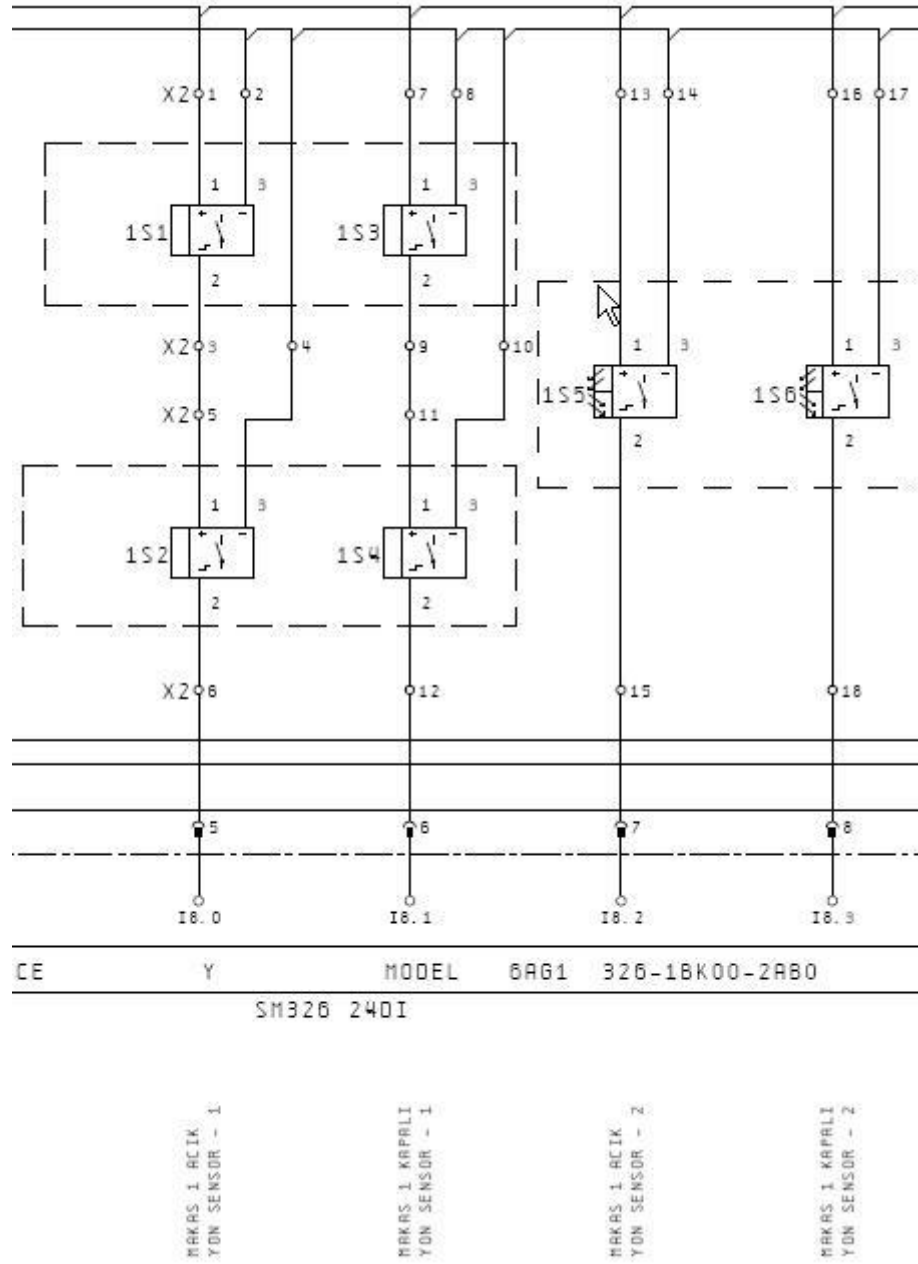
Şekil 3.20: 1 Nolu makas motoruna ait elektriksel bağlantı şeması

3 fazlı asenkron motorlar ile hidrolik pompalarda oluşan basıncı yönlendirerek, makasın yönünü değiştirmek amacıyla yön valfleri kullanılmaktadır. Bu yön valflerine ve motor kontaktör bobinlerine ait PLC çıkışları ile elektriksel bağlantıları Şekil 3.21'de gösterilmektedir.



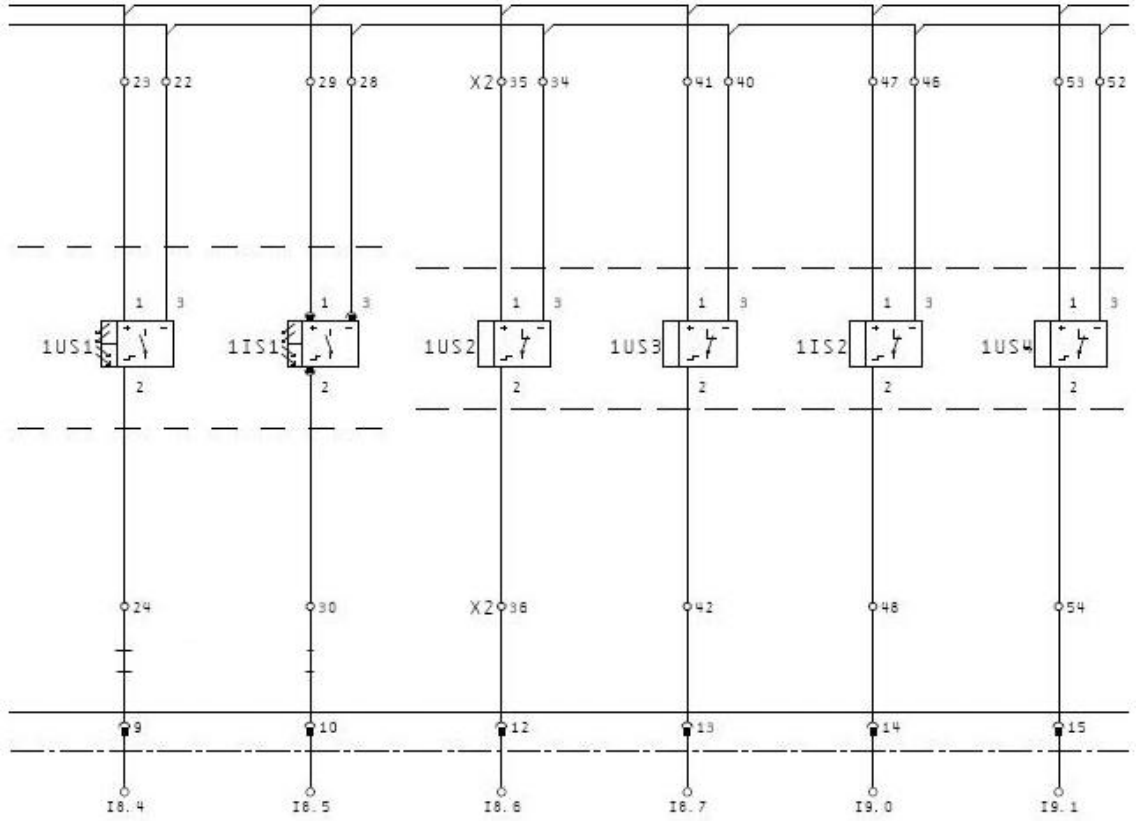
Şekil 3.21: Makas-1 yön değiştirme valflerine ait PLC çıkışları ve elektriksel bağlantı şemaları

Makaslar PLC çıkışlarından verilen kumanda ile sürüldükten sonra yönünü algılamak amacıyla her bir yönde ikişer adet indüktif (S1-S2 ve S3-S4), birer adet yaklaşım (proximity) sensörü (S5 ve S6) kullanılmaktadır. S1-S2, S3-S4 sensör grupları seri bağlı olup, biri algılamadığı takdirde sistem emniyet konumuna geçmektedir. Makasın kesin olarak istenilen yöne tanzim olduğundan emin olmak için ise S5 ve S6 sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörlere ait PLC girişlerini gösteren elektriksel bağlantılar Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22: Makas-1 yön sensörlerine ait PLC girişleri

Makas bölgelerindeki butonlar ile tanzim talebi kontrol ve kumanda panosuna ulaştıktan ve makaslar istenilen yöne tanzim olup, sinyal lambaları ile uyarı verildikten sonra tren hareketi başlar. Trenlerin makaslar üzerinden geçişi de ray devreleri yerine kullanılan ultrasonik ve infrared sensörler ile program tarafından izlenir. Trenlerin makas üzerinden geçişlerini algılayan bu sensörlere ait PLC girişleri Şekil 3.23'te görülmektedir.



Şekil 3.23: Araç geçişlerini algılayan ultrasonik ve infrared sensörlere ait PLC girişleri

Trenlerin geçişi bu sensörlerle izlenerek tamamlandıktan sonra, anlaşılan sistemi bir sonraki kumanda için hazır hale gelir.

3.6 PLC INPUT/OUTPUT (GİRİŞ/ÇIKIŞ) LİSTESİ

Makas bileşenleri, sinyaller, butonlar, ultrasonik ve infrared sensörler için oluşturulan input/output tablosu Tablo 3.2’de verilmektedir. Bu tabloda her bir bileşen için program içinde kullanılmak üzere birer adet sembol tanımlanmış ve atanan I/O’larla eşleştirilmiştir. “I” sembolü girişleri, “Q” sembolü çıkışları ifade etmektedir. Örneğin; I8.2: 8. Nolu giriş kartına ait 2 nolu çıkışı tanımlar.

Tablo 3.2: Otomasyon bileşenlerine ait I/O listesi ve PLC I/O numaraları

AÇIKLAMA	SEMBOL	I/O
KS1 1.HATTA GEÇİŞ BUTONU	1B1_HAT1	I 9.4
KS1 2.HATTA GEÇİŞ BUTONU	1B2_HAT2	I 9.5
KS1 3.HATTA GEÇİŞ BUTONU	1B3_HAT3	I 9.6
KS1 4. HATTA GEÇİŞ BUTONU	1B4_HAT4	I 9.7
KS2 ANA HATTA GEÇİŞ BUTONU	1B5_3.1_HAT_ANAHAT_GEC	I 10.0

KS3 ANA HATTA GEÇİŞ BUTONU	1B6_4.HAT_ANA_GEC	I 10.6
KS2&KS3 RESET BUTONU	1B7_M1_RESET	I 10.7
MAKAS1 INFRA SENSÖR1	1IS1	I 8.5
MAKAS1 INFRA SENSÖR2	1IS2	I 9.0
MAKAS1 INFRA SENSÖR3	1IS3	I 10.2
MAKAS1 MOTORU ÇALIŞTIRMA	1K1_1K2_M1_MOTORU	Q 56.0
MAKAS1 AÇIK DURUM DİL SENSÖRÜ	1S1_1S2_M1_AC	I 8.0
MAKAS1 KAPALI DURUM DİL SENSÖRÜ	1S3_1S4_M1_KA	I 8.1
MAKAS1 AÇIK DURUM DİSK SENSÖRÜ	1S5_M1_ACK	I 8.2
MAKAS1 KAPALI DURUM DİSK SENSÖRÜ	1S6_M1_KAPAL	I 8.3
SD1 MAKAS1 > YÖN SİNYALİ(SAĞ)	1SK1_GIRIS_ACIK_SINYALI	Q 56.3
SD1 MAKAS1 < YÖN SİNYALİ(SOL)	1SK2_GIRIS_KAPALI_SINYAL	Q 56.4
SD1 MAKAS1 X BLOKAJ SİNYALİ	1SK3_GIRIS_BLOKAJ_SINYAL	Q 56.5
SD2 MAKAS1 ÇIKIŞ SİNYALİ	1SK4_CIKIS_1_ACIK	Q 56.6
SD3 MAKAS1 ÇIKIŞ SİNYALİ	1SK5_CIKIS_2_ACIK	Q 56.7
SD2 MAKAS1 X BLOKAJ SİNYALİ	1SK6_CIKIS_1_BLOKAJ	Q 57.0
SD3 MAKAS1 X BLOKAJ SİNYALİ	1SK7_CIKIS_2_BLOKAJ	Q 57.1
MAKAS1 ULTRA SENSÖR1	1US1	I 8.4
MAKAS1 ULTRA SENSÖR2	1US2	I 8.6
MAKAS1 ULTRA SENSÖR3	1US3	I 8.7
MAKAS1 ULTRA SENSÖR4	1US4	I 9.1
MAKAS1 ULTRA SENSÖR5	1US5	I 10.3
MAKAS1 AÇMA VALFİ	1Y1_M1_ACMA_VALFI	Q 56.1
MAKAS1 KAPATMA VALFİ	1Y2_M1_KAPAMA_VALFI	Q 56.2
KS4 MAKAS2 > YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU(SAĞ)	2B1_MAKAS_AC	I 25.4
KS4 MAKAS2 < YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU(SOL)	2B2_MAKAS_KAPAT	I 25.5
KS5 ANAHATTA GEÇİŞ BUTONU	2B3_ANAHATTA_GECIS_1	I 25.6
KS5 MAKAS2 YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU	2B4_2.1_HATTAN_3.HATTA	I 26.4
KS6 ANA HATTA GEÇİŞ BUTONU	2B5_3.HAT_ANA_HAT_GECIS	I 26.5
KS6 MAKAS2 YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU	2B6_3.HAT_2.1_GECIS	I 26.6

MAKAS2 RESET BUTONU (KS5&KS6)	2B7_M2_RESET	I 26.7
MAKAS2 INFRA SENSÖR1	2IS1	I 24.5
MAKAS2 INFRA SENSÖR2	2IS2	I 25.0
MAKAS2 INFRA SENSÖR3	2IS3	I 26.2
MAKAS2 MOTORU ÇALIŞTIRMA	2K1_2K2_M2_MOTOR	Q 64.0
MAKAS2 AÇIK DURUM DİL SENSÖRÜ	2S1_2S2_M2_ACIK	I 24.0
MAKAS2 KAPALI DURUM DİL SENSÖRÜ	2S3_2S4_M2_KAPALI	I 24.1
MAKAS2 AÇIK DURUM DİSK SENSÖRÜ	2S5_M2_ACIK	I 24.2
MAKAS2 KAPALI DURUM DİSK SENSÖRÜ	2S6_M2_KAPALI	I 24.3
SD4 MAKAS2 > YÖN SİNYALİ (SAĞ)	2SK1_GIRIS_ACIK_SINYALI	Q 64.3
SD4 MAKAS2 < YÖN SİNYALİ (SOL)	2SK2_GIRIS_KAPAL_SINYALI	Q 64.4
SD4 MAKAS2 X BLOKAJ SİNYALİ	2SK3_GIRIS_BLOKAJ_SINYAL	Q 64.5
SD5 MAKAS2 >YÖN SİNYALİ (SAĞ)	2SK4_CIKIS_1_ACIK	Q 64.6
SD6 MAKAS2 < YÖN SİNYALİ (SOL)	2SK5_CIKIS_2_ACIK	Q 64.7
SD5 MAKAS2 BLOKAJ SİNYALİ	2SK6_CIKIS_1_BLOKAJ	Q 65.0
SD6 MAKAS2 BLOKAJ SİNYALİ	2SK7_CIKIS_2_BLOKAJ	Q 65.1
MAKAS2 ULTRA SENSÖR1	2US1	I 24.4
MAKAS2 ULTRA SENSÖR2	2US2	I 24.6
MAKAS2 ULTRA SENSÖR3	2US3	I 24.7
MAKAS2 ULTRA SENSÖR 4	2US4	I 25.1
MAKAS2 ULTRA SENSÖR5	2US5	I 26.3
MAKAS2 AÇMA VALFİ	2Y1_M2_ACMA_VALFI	Q 64.1
MAKAS2 KAPATMA VALFİ	2Y2_M2_KAPAMA_VALFI	Q 64.2
KS7 MAKAS3 > YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU(SAĞ)	3B1_MAKAS_AC	I 41.4
KS7 MAKAS3 < YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU (SOL)	3B2_MAKAS_KAPAT	I 41.5
KS8 ANA HATTA GEÇİŞ BUTONU	3B3_HAT1_ANAHATTA_GECIS	I 41.6
KS8 MAKAS3 YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU	3B4_1.HAT_2.1_HATTA_GECI	I 42.4
KS9 ANA HATTA GEÇİŞ BUTONU	3B5_2.HAT_ANA_HATTA	I 42.5
KS9 MAKAS3 YÖN DEĞİŞTİRME BUTONU	3B6_2.HAT_2.1_HATTA_GECI	I 42.6
KS8&KS9 RESET BUTONU	3B7_M3_RESET	I 42.7

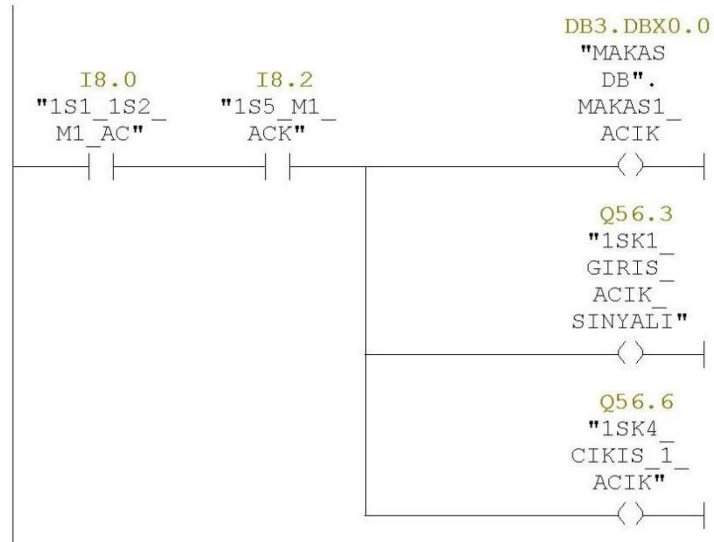
MAKAS3 İNFRA SENSÖR1	3IS1	I 40.5
MAKAS3 İNFRA SENSÖR2	3IS2	I 41.0
MAKAS3 İNFRA SENSÖR3	3IS3	I 42.2
MAKAS3 MOTORU ÇALIŞTIRMA	3K1_3K2_M3_MOTORU	Q 72.0
SD7 MAKAS3 > YÖN SİNYALİ (SAĞ)	3SK1_GIRIS_ACIK_SINYALI	Q 72.3
SD7 MAKAS3 < YÖN SİNYALİ (SOL)	3SK2_GIRIS_KAPALI_SINYAL	Q 72.4
SD7 MAKAS3 BLOKAJ SİNYALİ	3SK3_GIRIS_BLOKAJ_SINYAL	Q 72.5
MAKAS3 AÇIK DURUM DİL SENSÖRÜ	3S1_3S2_M3_ACIK	I 40.0
MAKAS3 KAPALI DURUM DİL SENSÖRÜ	3S3_3S4_M3_KAPALI	I 40.1
MAKAS3 AÇIK DURUM DİSK SENSÖRÜ	3S5_M3_ACIK	I 40.2
MAKAS3 KAPALI DURUM DİSK SENSÖRÜ	3S6_M3_KAPALI	I 40.3
SD8 MAKAS3 ÇIKIŞ SİNYALİ	3SK4_CIKIS_1_ACIK	Q 72.6
SD9 MAKAS3 ÇIKIŞ SİNYALİ	3SK5_CIKIS_2_ACIK	Q 72.7
SD8 MAKAS3 BLOKAJ SİNYALİ	3SK6_CIKIS_1_BLOKAJ	Q 73.0
SD9 MAKAS3 BLOKAJ SİNYALİ	3SK7_CIKIS_2_BLOKAJ	Q 73.1
MAKAS3 ULTRA SENSÖR1	3US1	I 40.4
MAKAS3 ULTRA SENSÖR2	3US2	I 40.6
MAKAS3 ULTRA SENSÖR3	3US3	I 40.7
MAKAS3 ULTRA SENSÖR4	3US4	I 41.1
MAKAS3 ULTRA SENSÖR5	3US5	I 42.3
MAKAS3 AÇMA VALFİ	3Y1_M3_ACMA_VALFI	Q 72.1
MAKAS4 KAPATMA VALFİ	3Y2_M3_KAPAMA_VALFI	Q 72.2

4.BULGULAR

4.1 PLC PROGRAMLARI

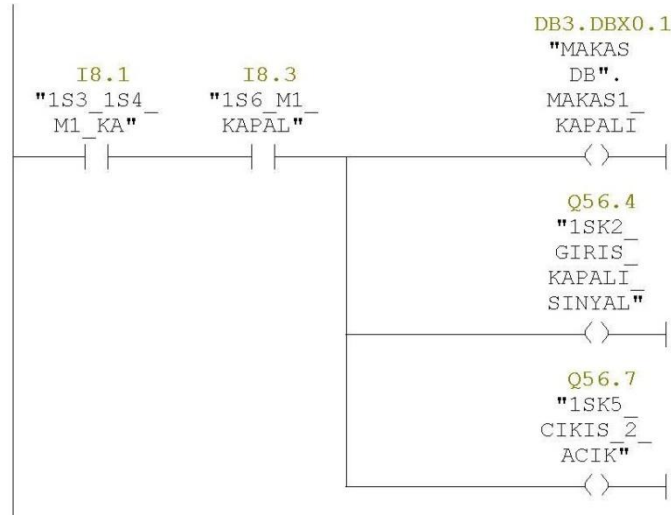
Örnek demiryolu bölgesinin modellenmesi ve bileşenlere ait input /outputlar incelenerek I/O listesinin çıkarılmasından sonra PLC programları oluşturulmuştur. PLC programlama Siemens Simatic Manager 5.4 programı ile yapılmıştır. PLC programı için Ladder ve fonksiyon blok diyagramları kullanılmıştır. Bu bölümde sadece Makas-1 için oluşturulan PLC programları incelenecektir.

Şekil 4.1’de Makas1 Düz konumdayken (I8.0 ve I8.2: düz konum sensörlerine ait PLC girişleri) ilgili 1SK1 (Q56.3), 1SK4 (Q56.6) sinyallerini aktif hale getiren PLC programı görülmektedir.



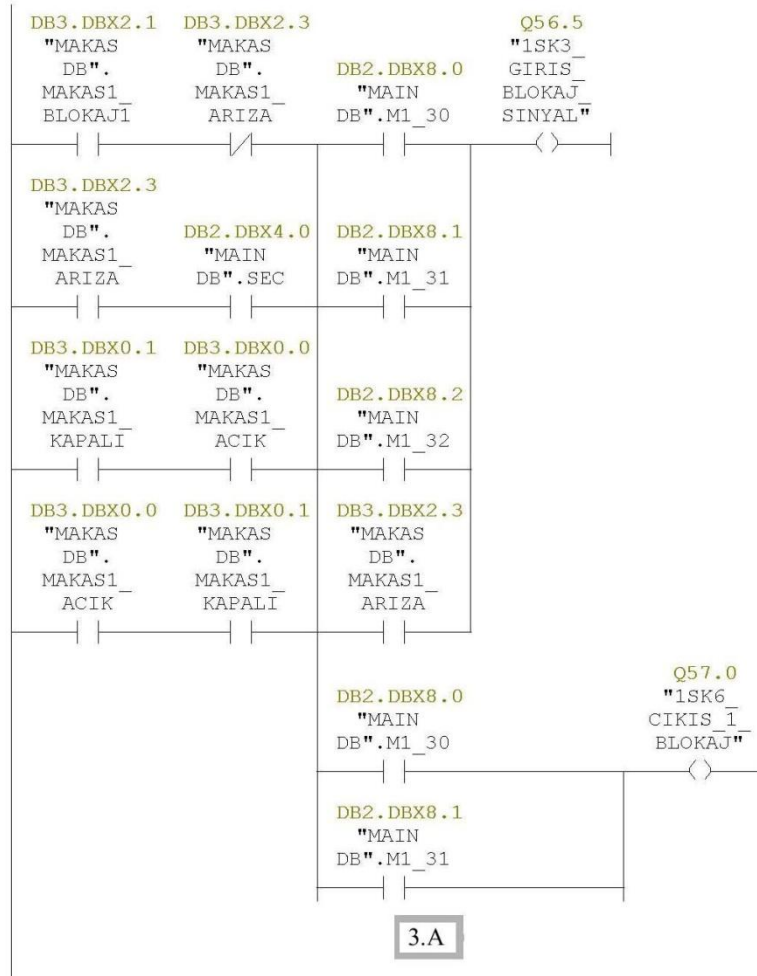
Şekil 4.1: Makas1 düz tahkiki ve ilgili sinyal tanzimleri programı

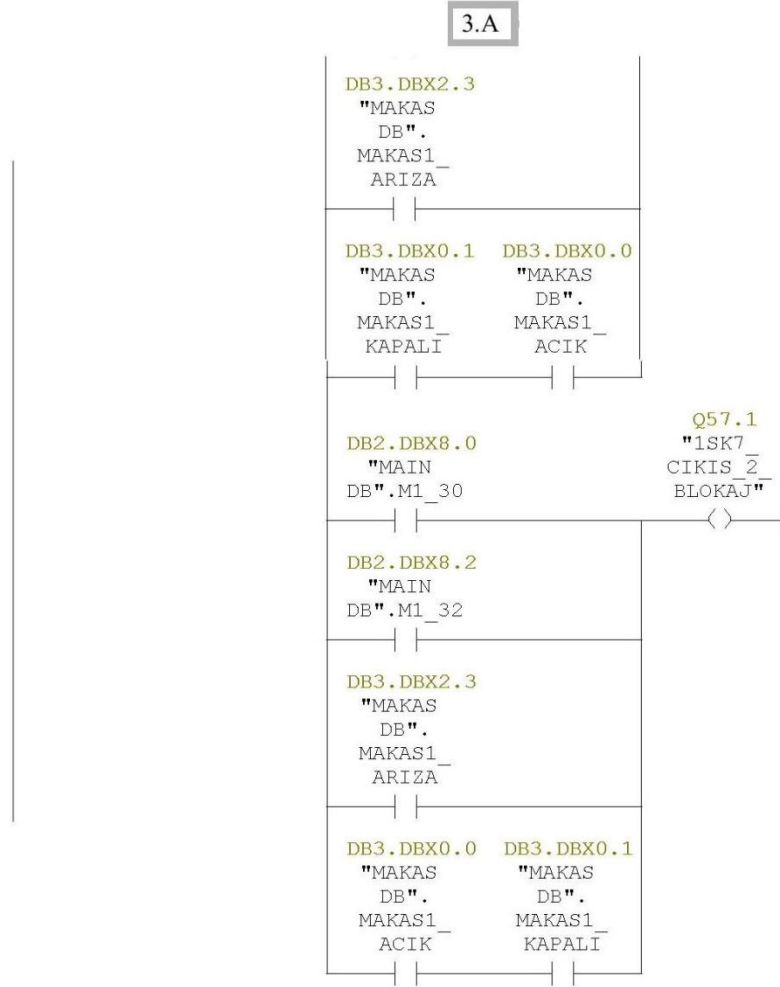
Şekil 4.2’te Makas-1 Sapan konumdayken (I8.1 ve I8.3: sapan konum sensörlerine ait PLC girişleri) ilgili 1SK2 (Q56.4), 1SK5 (Q56.7) sinyallerini aktif hale getiren PLC programı yer almaktadır. Sapan konuma ait S3, S4 ve S6 sensörlerinden “1” dijital bilgisinin alınması ile makasın sapan yöne tanzim olduğu işlemci tarafından anlaşılmakta, giriş ve çıkış yönlerindeki sinyallerle trene geçiş izni verilmektedir.



Şekil 4.2: Makas1 sapan tahkiki ve ilgili sinyal tanzimleri programı

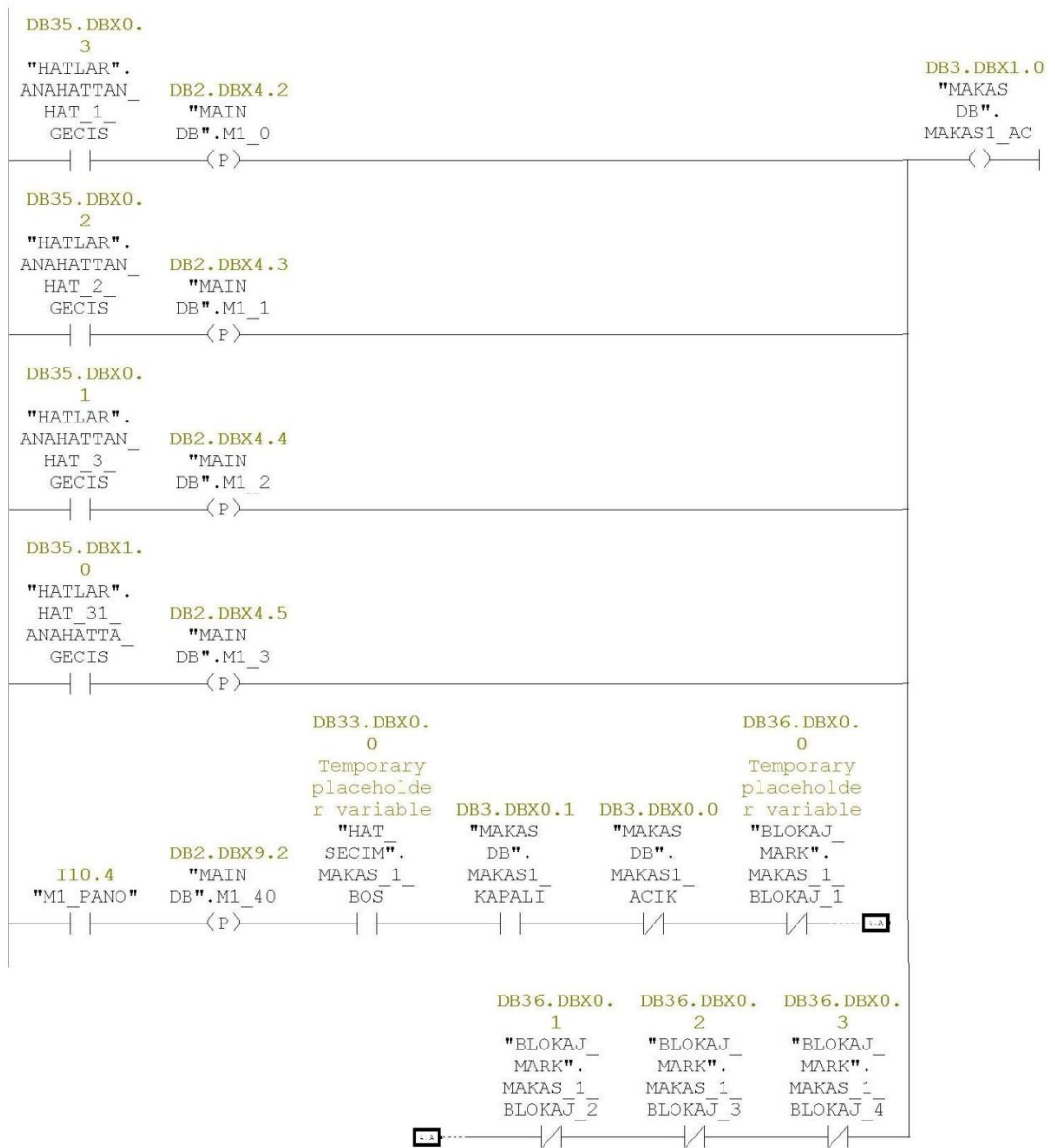
Makas1'e ait kırmızı blokaj sinyallerini aktif hale getiren program Şekil 4.3'te görülmektedir. Makasın düz veya sapan yollardan birine tanzimli olmaması, sensörlerden yön bilgisinin alınmaması arıza durumudur ve blokaj bildirimi verilir. Makas üzerinde tren olması durumunda da blokaj bildirimi verilmektedir.





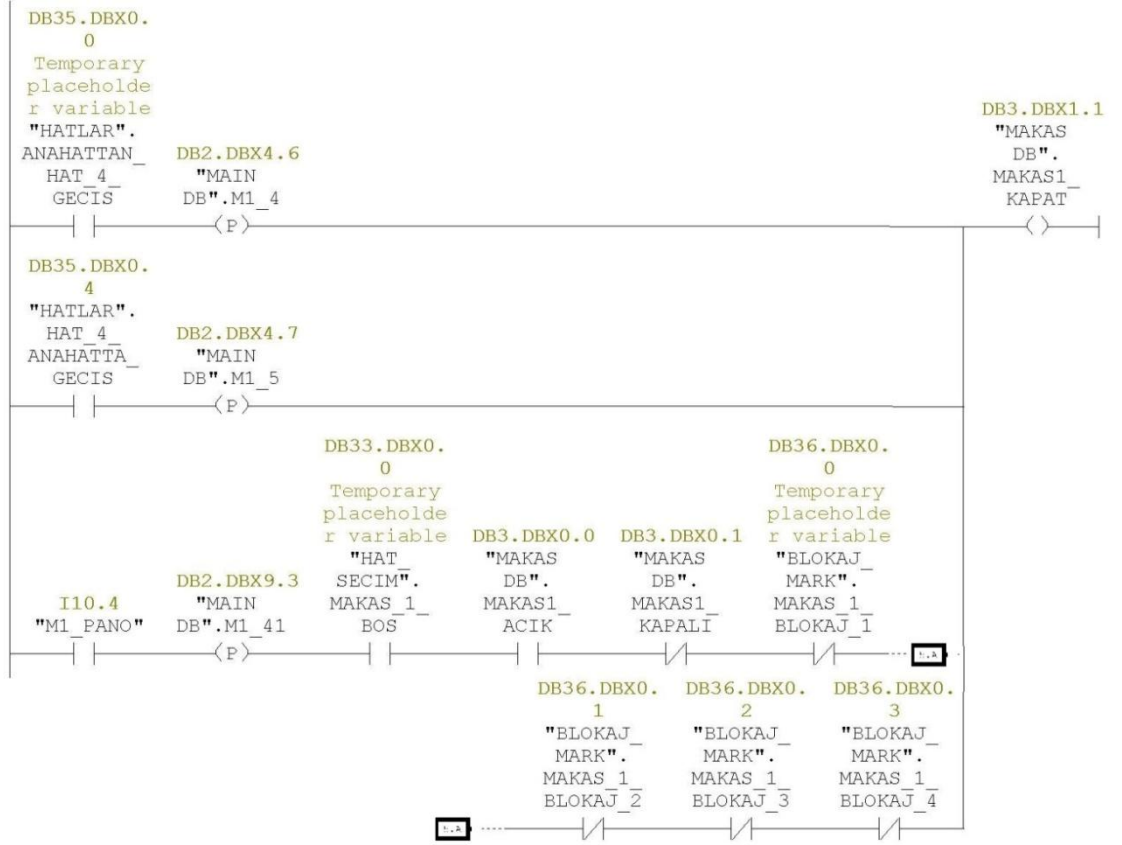
Şekil 4.3: Makas1 blokaj bildirim programı

Makasın sapan konumdan düz konuma tanzim edilebilmesi için gerekli lojik Şekil 4.4'te görülmektedir. Makas bölgesinde başka bir trenin geçisi mevcut değilse, makas arızalı değilse, blokaja yol açacak her hangi bir durum mevcut değilse makas istenilen yöne tanzim edilir ve ilgili sinyal bildirimleri verilir.



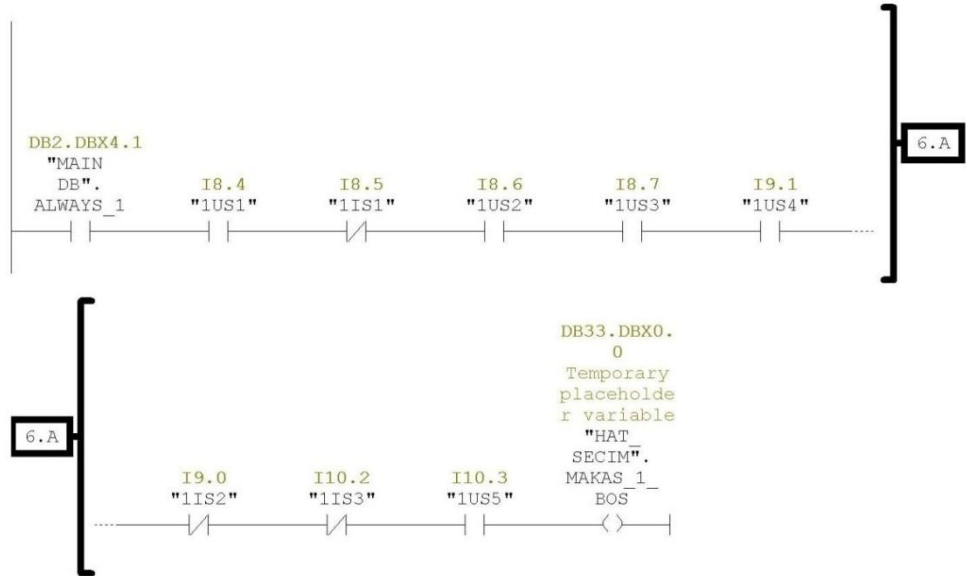
Şekil 4.4: Makas-1 düz tanzimi için gerekli durumların işlenmesi programı

Makasın düz konumdan sapan konuma tanzim edilebilmesi için gerekli lojik Şekil 4.5'te görülmektedir. Makas bölgesinde başka bir trenin geçisi mevcut değilse, makas arızalı değilse, blokaja yol açacak herhangi bir durum mevcut değilse makas istenilen yöne tanzim edilir ve ilgili sinyal bildirimleri verilir.



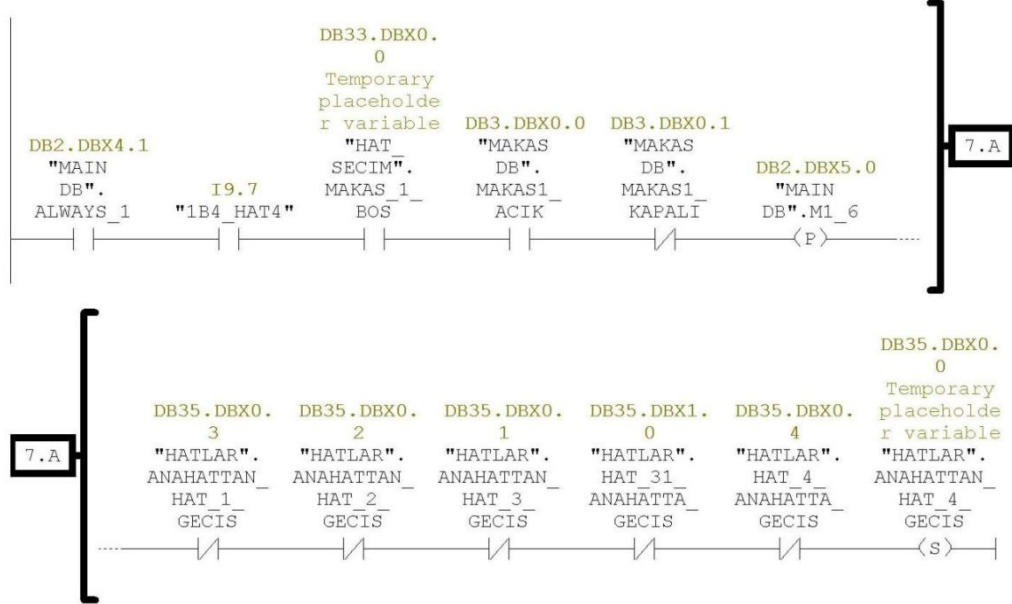
Şekil 4.5: Makas-1 sapan tanzimi için gerekli durumların işlenmesi programı

Makas1 ile ilgili yön değiştirme işleminin yapılabilmesi için Makas1 bölgesinin taranması ve “Makas_1_Boş” lojiğinin dijital “1” çıkışını vermesi gereklidir. Bu durum Şekil 4.6’da görülmektedir.



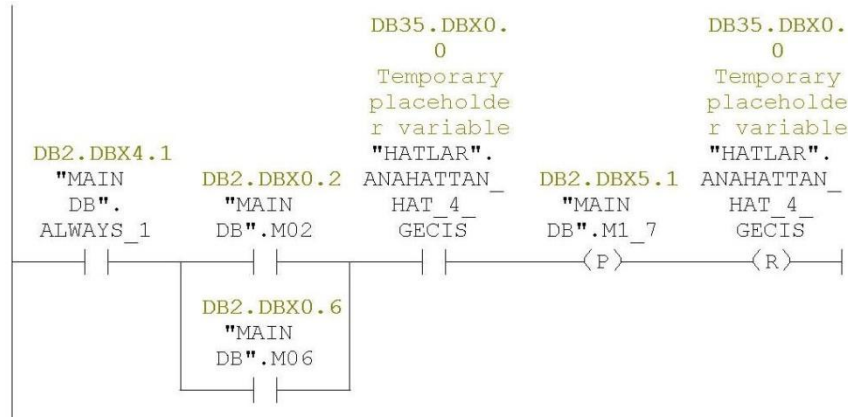
Şekil 4.6: Makas1 meşguliyet bölgelerinin taranması programı

Anahat-4 Nolu Hat geçişi için alınan tanzim talebinden sonra makaslar ilgili yöne tanzim edilir, sinyal bildirimleri verilerek güzergah kurulur ve geçiş setlenir. Bu durum 4.7’de görülmektedir.



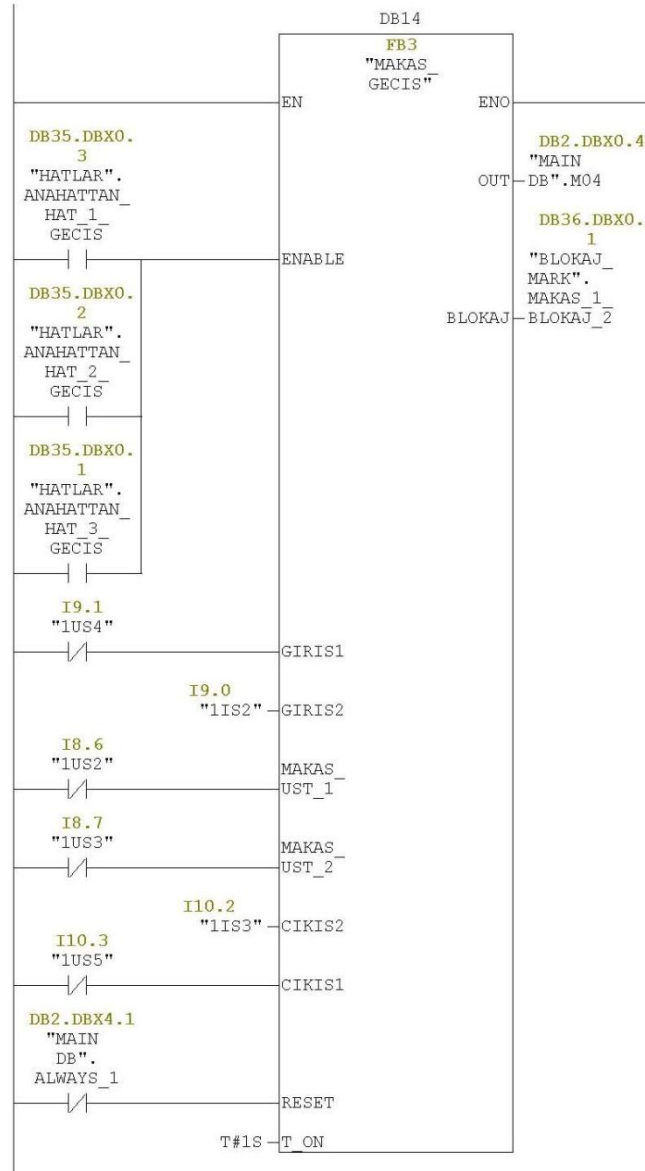
Şekil 4.7: Ana hattan 4 nolu hatta geçiş setleme ve güzergah tanzimi programı

Ana Hattan 4 Nolu Hattın geçiş setlendikten sonra, bu güzergahı iptal edip başka bir güzergah talebi vermek için resetleme işlemi yapılır. Bu durum Şekil 4.8’de görülmektedir.



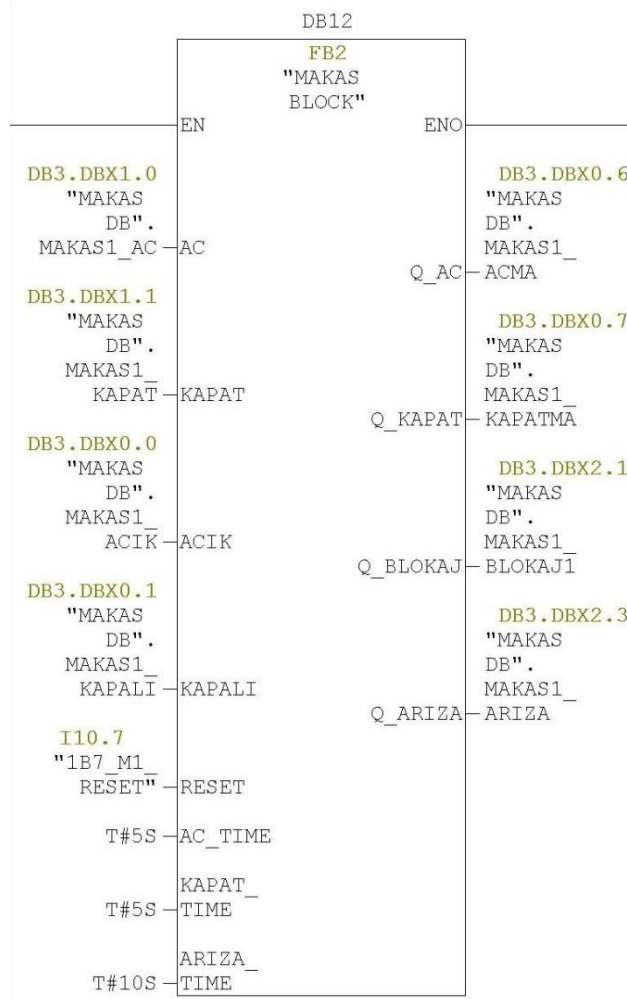
Şekil 4.8: Ana hattan 4 nolu hatta geçiş resetleme programı

Güzergah kurulduktan ve tren hareketi başladıktan sonra meşguliyet bölgeleriyle trenin geçişi izlenir. Geçiş tamamlandıktan sonra yeni güzergah kurulumları için meşguliyet resetlenir, program yeni güzergah tanzim talepleri için hazır hale gelir. İlgili program Şekil 4.9’da görülmektedir.



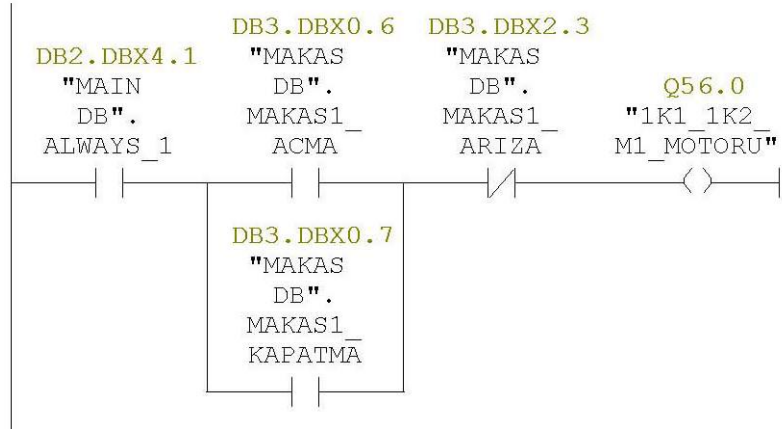
Şekil 4.9: Ana hattan 4 nolu hatta geçiş izleme programı

Anklaşman yazılımı bir araca “yol serbest” sinyali verdiğinde başka bir araca sistem emniyetini bozacak şekilde aynı bölge için “yol aerbst” sinyali vermesi iç kilitleme sayesinde engellenmektedir. İç kilitleme mekanizmasının kontrol ettiği sinyal ve makaslar hata ile birbiriyle çakışacak şekilde ayarlanamazlar. Makas1 için iç kilitlemeyi sağlayan program Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10: Makas1 iç kilitleme programı

Her bir makas tahkik mekanizmasında hidrolik pompada basınç oluşturan birer adet elektrik motoru bulunmaktadır. Motorun çalıştırılmasıyla hidrolik pompada oluşturulan basınç, yön valfleri ve pistonlarla rot kollarına iletilir ve makas dillerinin hareketi sağlanır. Motoru çalıştıran program Şekil 4.11’de, yön valflerini enerjileyerek hidrolik yönlendirme sağlayan program ise Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’te görülmektedir.



Şekil 4.11: Makas1 Motoru Çalıştırma Programı

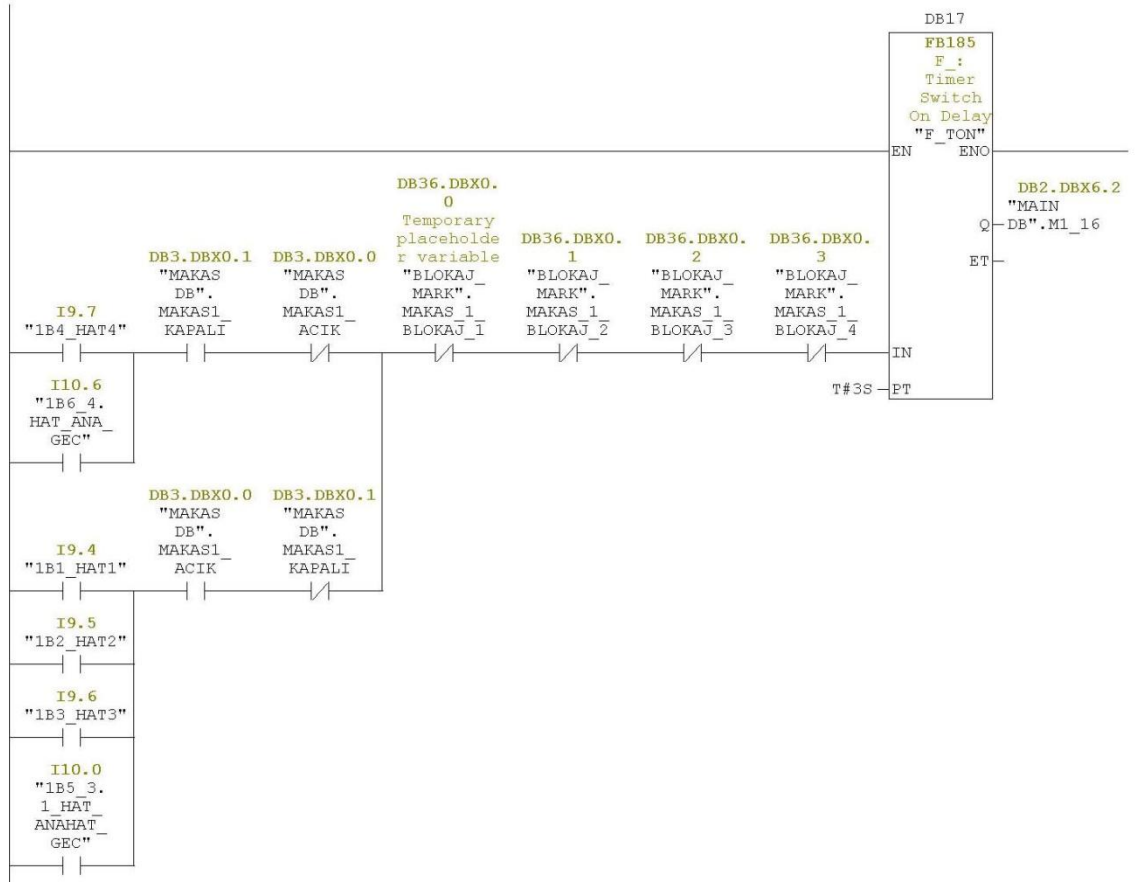


Şekil 4.12: Makas-1 düz yol tanzim valfi enerjileme programı



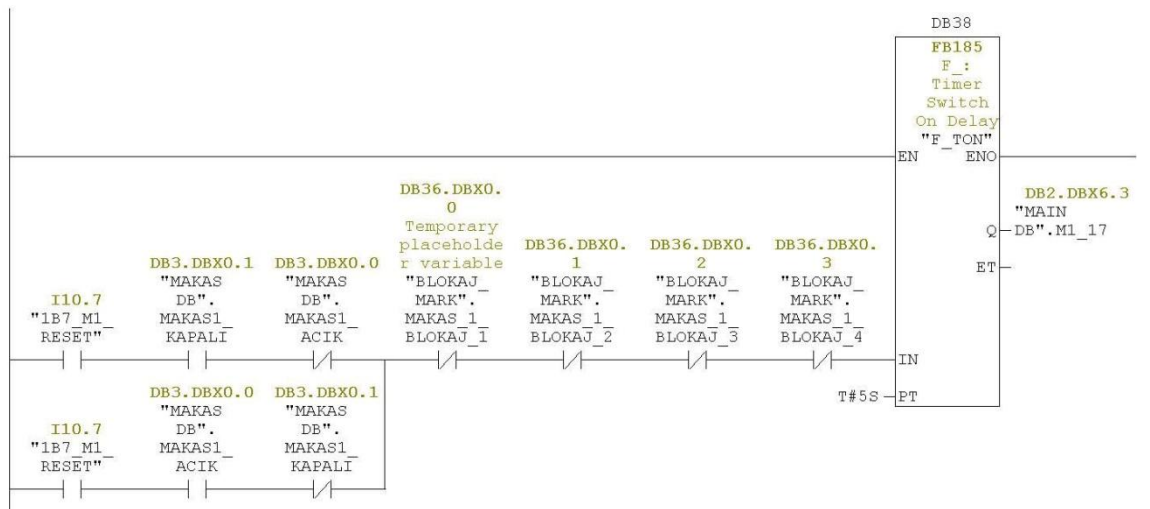
Şekil 4.13: Makas-1 sapan yol tanzim valfi enerjileme programı

Butonlarla tanzim talebi istendikten ve makaslar tanzim edildikten sonra, herhangi bir sebeple, bu işlemin geri alınması istendiğinde aynı butona 3 sn süreyle basılarak bu işlem geri alınabilir. Bunu gösteren program Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14: Butonlara uzun süre basılarak blokajı kaldırma programı

Makaslarda arıza durumlarında, arızaya sebep olan nedenler giderildikten sonra makası tekrar işletmeye almak için resetlemek gereklidir. Makas1 için resetleme programı Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15: Makas1 reset programı

Makasların mekanik bakımlarından sonra da resetlenmeleri gerekebilir.

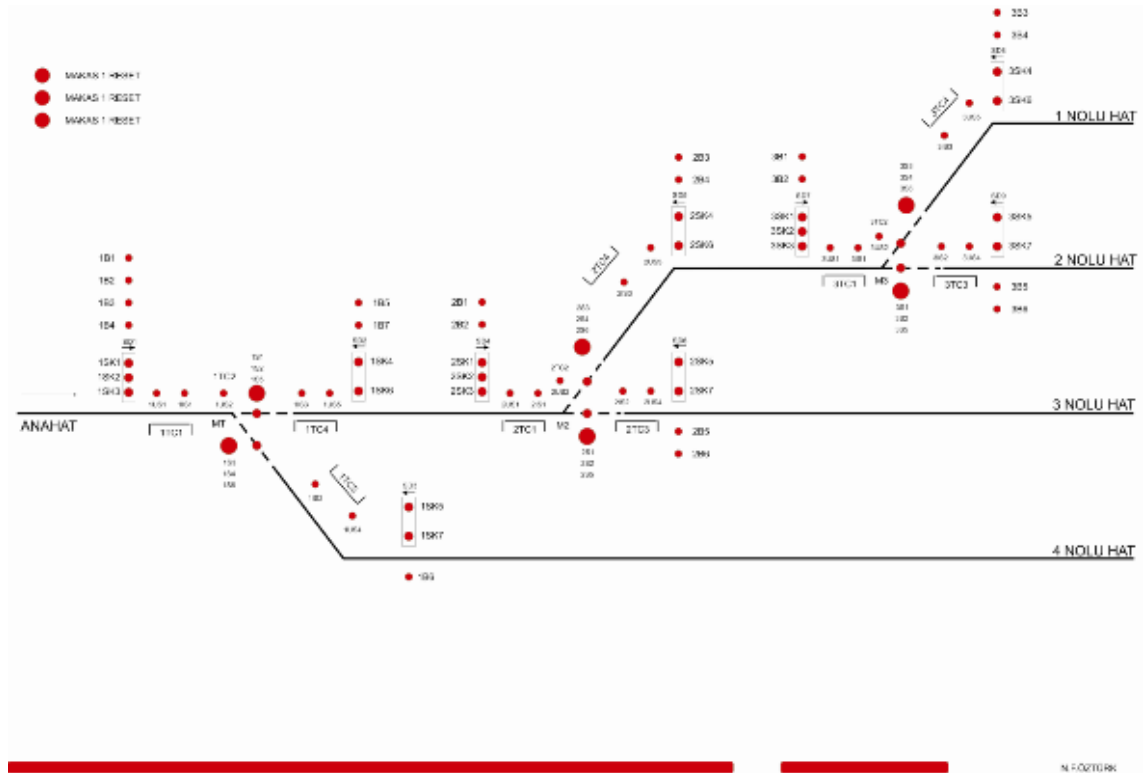
4.2 SİMULASYON

Örnek demiryolu bölgesi makas otomasyonu için PLC üzerinde gerçekleştirilen programın başarımını test etmek amacıyla Mimik Panel ve Scada uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Siemens Simatic Manager üzerinde yazılan PLC programı Mimik Panel üzerindeki CPU'ya yüklenerek fiziksel saha simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sahadaki fiziksel değişiklikleri izlemek amacıyla ise Siemens WinCC ile kumanda merkezi izleme yazılımı simule edilmiştir.

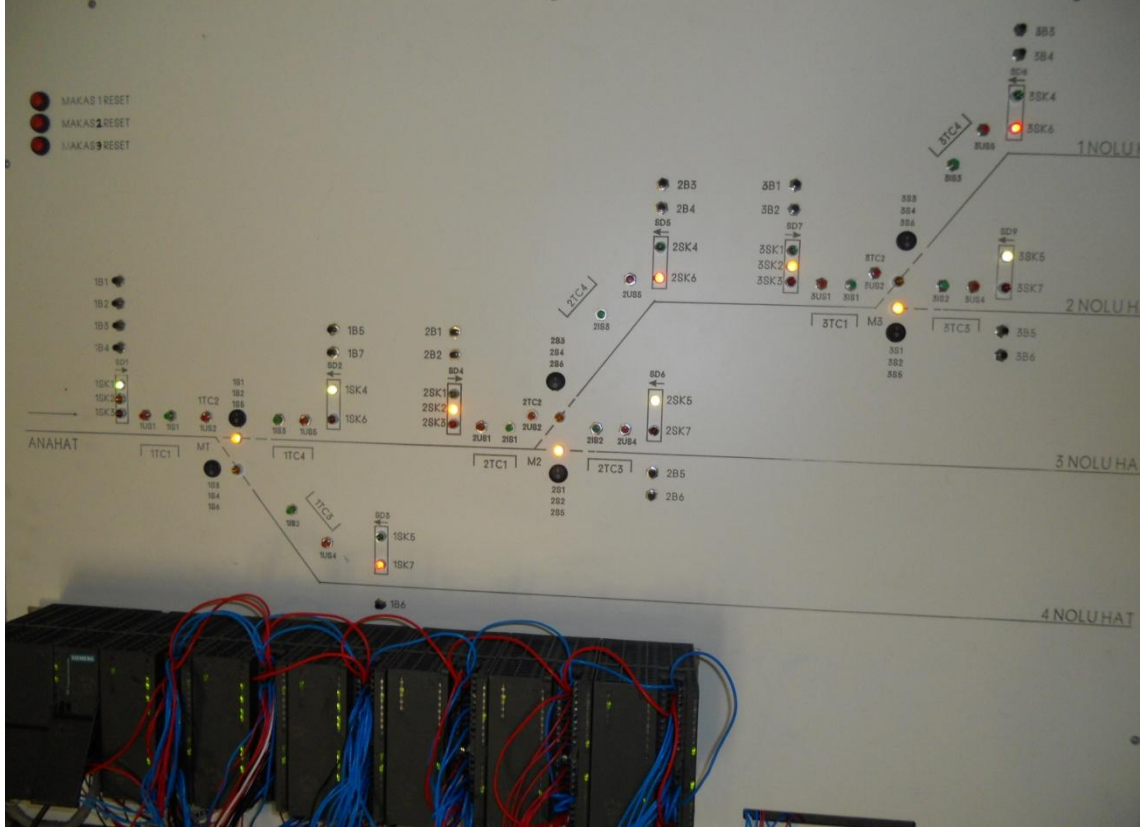
4.2.1 Mimik Panel ile Saha Simülasyonu

Mimik panel üzerinde bir adet 315F-2DP CPU, 3 adet SM-326 Input, 3 adet SM326 output kartı ile birlikte tanzim talebi vermek amacıyla yön talep butonları, makas yönünü simule etmek amacıyla birer adet on/off buton, makasın yönünü görmek amacıyla birer adet makas yön LED'i, meşguliyeti simule etmek amacıyla da ultrasonik ve infrared sensörler yerine birer adet buton kullanılmıştır. Bu ekipmanlar PLC grubundaki ilgili input ve output kartlarına bağlanarak fiziksel saha simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Mimik panel için CNC Router tekniğinden yararlanılmıştır. Panel üzerindeki yazılar, çizimler, kullanılan buton ve LED'lerin çapları Corel Draw programı ile çizildikten sonra Router ile panele dönüştürülmüş ve ekipman motajları yapılmıştır. Corel Draw çizimi Şekil 4.16'da, Router sonrası panele ekipmanların montajı ise Şekil 4.17'de görülmektedir.



Şekil 4.16: CNC Router için hazırlanan Corel Draw çizimi



Şekil 4.17: Ekipman montajı ile oluşturulmuş Mimik Panel

Örnek olarak depo sahasına girmekte olan bir trenin Anahat-3 Nolu Hat güzergahı için simülasyon şöyle gerçekleştirilecektir:

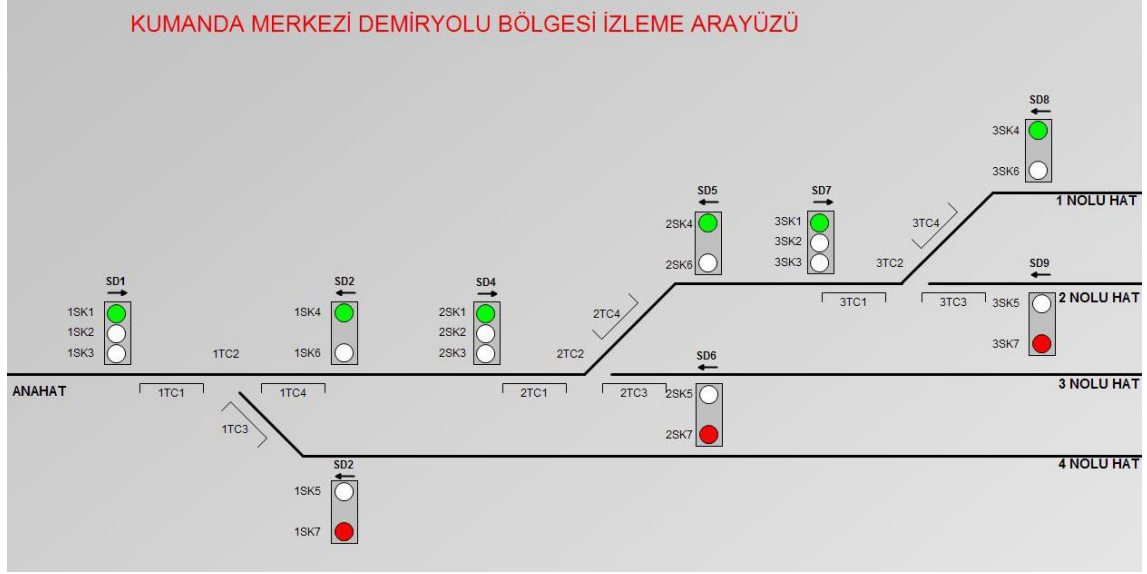
- 1B1 butonuyla tanzim talebi verildikten sonra M1'e ait 1S1-S2-S5 ve M2'ye ait 2S1-S2-S5 butonları "1" konumuna getirilir.
- PLC tarafından M1D, M2S, M3S Ledlerine çıkış verilir ve ilgili sinyal tanzimleri verilir.
- Böylece Anahat-3 Nolu Hat güzergahı kurulur.
- Güzergah kurulduktan sonra trenin geçişi sırasıyla 1US1- 1IS1- 1US2- 1IS3- 1US5- 2US1- 1IS1- 1US2- 2IS2- 2US4 butonlarına basılarak simule edilir.
- Tren geçişi tamamlandıktan sonra yeni tanzim talepleri için program normal konumuna döner.

4.2.2 Scada ile İzleme Yazılımı Simülasyonu

Tramvay Depo Sahası için Merkezi İzleme Ekranının oluşturulmasında Siemens WinCC 7.0 programı kullanılmıştır.

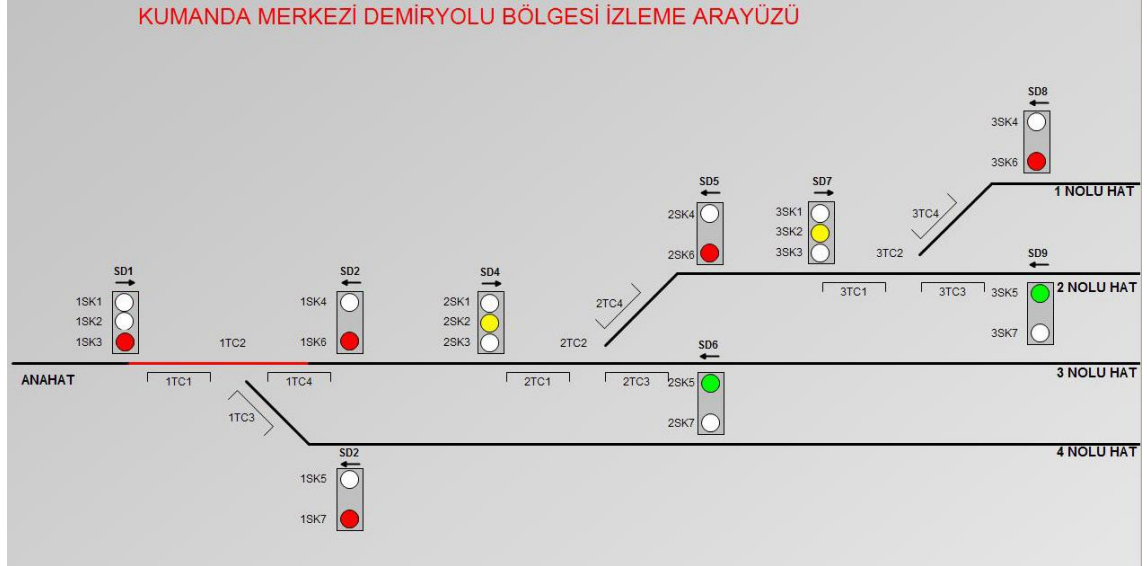
Scada için Mimik Panele bağlı bulunan CPU ile bilgisayar arasında profibus bağlantısı sağlanmıştır. WinCC Graphic Designer üzerinde ray meşguliyet bölgesi, makaslar ve

sinyaller için oluşturulan çizimdeki şekiller ilgili I/O'lar ile ilişkilendirilerek Kumanda Merkezi İzleme Ekranı simule edilmiştir (Şekil 4.18).

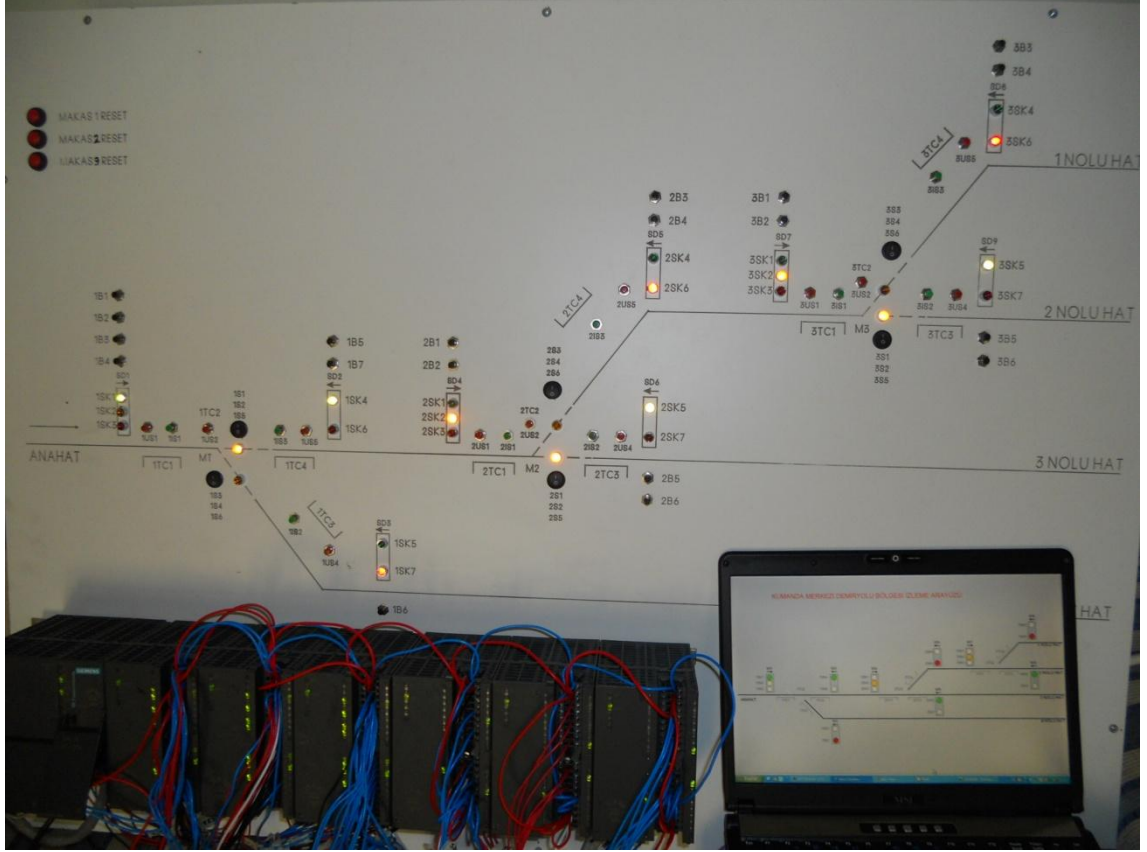


Şekil 4.18: WinCC ile oluşturulan Kumanda Merkezi İzleme Ekranı

Merkez yazılımı aracılığıyla makasların yön değişiklikleri, sinyal bildirimleri, meşguliyet bölgeleri ile tren varlığı izlenmektedir. Trenin meşguliyet bölgelerine girmesi ile ilgili bölge kırmızı renk bildirimini vermektedir (Şekil 4.19)



Şekil 4.19: Makas 1'e ait 1TC1, 1TC2, 1TC4 ray meşguliyet bölgelerinin izlenmesi



Şekil 4.20: Mimik Panel ve Scada görünümü

Şekil 4.20’de ise Mimik Panel ve Scada uygulaması birlikte görülmektedir. PLC grubuna ait CPU ile bilgisayar arasında sağlanan profibus bağlantısı ile sahadaki fiziksel değişiklikler 2 sn içerisinde Scada ekranında görülmektedir.

Bu Scada ekranının sahaya uzak noktada bulunan bir kumanda merkezinden izlenebilmesi de mümkündür. Bunun için kumanda merkezindeki bir bilgisayara Siemens WinCC programı yüklenmeli ve saha ile kumanda merkezi arasındaki haberleşme bir transmisyon sistemi üzerinden sağlanmalıdır. Transmisyon sistemi olarak raylı sistemlerde yaygın kullanılan SDH üzerinde ayrılacak 2 Mbit/s’lik bir kanal yeterli olacaktır.

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Sinyalizasyon sistemleri tasarımında röleli mekanik anlaşımanlar giderek yerini sayısal işlemci tabanlı elektronik anlaşıman sistemlerine bırakmaktadır. Endüstriyel otomasyon sistemlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan sayısal işlemci tabanlı PLC'lerin sinyalizasyon sistemlerinin tasarımında da kullanılabilceği görülmüştür.

Bu uygulamada tren meşguliyetini algılamak amacıyla ray devrelerinin yanı sıra ultrasonik ve infrared sensörlerinin de kullanılabilceği görülmüştür. Bu sensörlerin kullanılması ile çok pahalı olan bu sistemlerin maliyetinin daha da düşürüldüğü gözlenmiştir. Meşguliyet algılama amacıyla aks sayıcıların kullanıldığı demiryolu bölgelerinde ultrasonik ve lazer sensörler kullanılabilir. Infrared sensörler kısa algılama mesafelerine sahip olduklarından pantografi algılamak amacıyla yardımcı olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada yapılan örnek demiryolu sinyalizasyon sisteminin bir avantajı da kolaylıkla genişletilebilir olmasıdır. Demiryolu bölgesine yeni hatların ve makasların eklenmesi durumunda CPU'ya yeni Input/Output modülleri eklenerek programsal değişiklikler yapılabilir. Bir adet S7-300 PLC serisindeki işlemci 32 I/O modülünü destekleyecek kapasiteye sahip olduğu için, daha fazla modül eklenmesi gerektiğinde yeni CPU'lar eklenerek aralarında haberleşme sağlanabilir. SIL onaylı sistemlerde ise, yeni hat ilaveleri ile adaptasyon ve modifikasyonlar gerektiğinde çok yüksek maliyetlere ulaşır.

Alternatif çalışmaların yapılması ve elde edilen bulguların kullanılması ile maliyeti düşük ulusal sinyalizasyon sistemleri tasarlanabilir. Programlanabilir kontrolörler ile oluşturulan bu tür otomasyon sistemlerinin özellikle depo alanları gibi, yüksek seviyelerde güvenlik istenmeyen demiryolu bölgelerinde rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, H., Li, W., 2008, "Component-based Safety Computer of Railway Signal Interlocking System, *8th ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 3-4 August 2008 Beijing*, 538-541.
- [2] Ulusoy, A., 2010, *Ulaşımında Raylı Sistemler ve Kayseray*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.
- [3] Barger, P., Schön, W., Bouali, M., 2009, A Study of Railway ERTMS Safety with Colored Petri Nets, *The European Safety and Reliability Conference, 7.-10. September 2009 Prague*.
- [4] Wigger, P., 2001, Experience with Safety Integrity Level (SIL) Allocation in Railway Applications, *WCCR, 25.-29. November 2001 Cologne, Germany*.
- [5] Gündoğdu, F., Açıkbaş, S., 2007, Raylı Sistemlerde Emniyet Standartları ve Makas Otomasyon Sistemine Uygulanması, *Raylı Sistemler Bülteni*, 5, 16-21
- [6] Saygın, S., Yakın, İ., Durmuş, M.S., Söylemez, M.T., 2009, Petri Ağlarıyla Demiryolu Makas Bölgelerinin Anlaşman ve Sinyalizasyonu Tasarımı, *TOK'09 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 13-16 Ekim 2009 İstanbul*.
- [7] Söyler, H., Açıkbaş, S., Raylı Toplu Taşımada Sinyalizasyon Sistemleri, *Raylı Sistemler Bülteni*, 1, 26-33.
- [8] Yıldırım, U., Durmuş, M. S., Söylemez M. T., Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri İçin Otomatik Anlaşman Tablosu Oluşturulması, *EUSIS 2011, 7-9 Nisan 2011, Eskişehir*
- [9] Akın, K., Durmuş, M.S., Söylemez, M.T., 2010, Demiryolu Sinyalizasyon Sistemi Bileşenlerinin Otomasyon Petri Ağları ile Modellenmesi ve PLC ile gerçekleştirilmesi, *TOK'10 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 21-23 Eylül 2010 Gebze*.
- [10] Lichtberger, B., 2011, *Demiryolu Cep Kitabı*, DVV Media Group, Hamburg, 978-3-7771-0422-5.
- [11] Bayındır, R., Vadi, S., 2011, Endüstriyel Otomasyonda Siemens Simatic S7-300 PLC'nin Kullanımı, *6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May 2011 Elazığ*.
- [12] CENELEC EN 50126, Railway Applications The Specification and Demonstration of Dependability, Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)
- [13] Gündoğdu, F., Söyler, H., 2008, Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Tasarım Kriterleri Ve "Fail-Safe" Kavramı, *Raylı Sistemler Bülteni*, 9, 25-29.
- [14] Bacherini, S., Bianchi, S., Capecchi, L., Becheri, C., Felleca, A., Fantechi, A., Spinicci, E., 2003, *Modelling A Railway Signalling System Using SDL*.
- [15] Yüksel, H.E., 2007, *Raylı Toplu Taşıma Sinyalizasyon Sistemleri ve Marmaray Projesinin Sinyalizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi.

- [16] Yıldırım, U., Durmuş, M.S., Söylemez, M.T., 2010, Fail-Safe Signalization and Interlocking Design for a Railway Yard: an Automation Petri Net Approach, *IMS 2010*, 15.-17. September 2010 Sarajevo, Bosnia Herzegovina, 461-470.
- [17] IEC 61508 parts 1-6, 2008, *Functional Safety of Electrical/Electronics/Programmable Electronic Safety-Related Systems*.
- [18] Schabe, H., 2002, The Safety Philosophy Behind the CENELEC Railway Standarts, *TÜV Inter Traffic*.
- [19] Öztürk, N.F., 2009, Raylı Sistemlerde Sinyalizasyon, *Raylı Sistemler Bülteni*, 12, 18-24.
- [20] Kurtulan, S., *Plc İle Endüstriyel Otomasyon*, 2008.

ÖZGEÇMİŞ:

Nail Ferhat Öztürk 1980 yılında Malatya’da doğdu. 2001 yılında İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2002-2003 yıllarında Çalık Holding Malatya tesislerinde çalıştı. 2003-2004 yıllarında askerlik görevini tamamladı. 2004-2006 yılları arasında Çalık Holding Türkmenistan tesislerinde fabrika kurulum çalışmalarında yer aldı. 2007-2010 yılları arasında İstanbul raylı sistemler işletmeciliğini yapan İstanbul Ulaşım AŞ.’de Elektronik Tesisler Mühendisi olarak çalıştı. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Şu an T.C. Devlet Demiryolları’nda Sinyalizasyon Mühendisi olarak çalışmaktadır.