T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAYLI SİSTEMLERDE OTOMASYON SEVİYELERİ VE SÜRÜCÜLÜ METRO HATLARINDA HATADA EMNİYETLİ HAT İHLAL SİSTEMİ

EMRE BAHÇIVAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZGÜR TURAY KAYMAKÇI

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAYLI SİSTEMLERDE OTOMASYON SEVİYELERİ VE SÜRÜCÜLÜ METRO HATLARINDA HATADA EMNİYETLİ HAT İHLAL SİSTEMİ

Emre BAHÇIVAN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Özgür Turay KAYMAKÇI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Özgür Turay KAYMAKÇI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Hacı İLHAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Tarık Veli MUMCU

İstanbul Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında öncelikle raylı sistemlerde otomasyon seviyeleri incelenmiş ve insan faktörünün işletmeye etkisi değerlendirilmiştir. Bu bağlamda sürücülü metro hatları için IEC 61508, EN 50126 ve 50129 standartları referans alınarak peronda olabilecek bir kaza veya intihar olayına karşılık bir hatada emniyetli hat ihlal sistemi kurgulanmıştır. Raylı sistem ortam koşullarına uygun ve gerçekte işletme ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir sistem tasarımı esas alınmış olup genel olarak sistemin sahip olduğu risklerin tolere edilebilmesi için fonksiyonel emniyet ilkeleri çerçevesinde bir emniyet fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu emniyet fonksiyonunun emniyet bütünlüğü hesabı yapılarak, en kritik risk durumu için önerilerde bulunulmuştur.

Bu tezin hazırlanmasında görüş ve önerileriyle bana yol gösteren değerli hocam Özgür Turay KAYMAKÇI'ya, Metro İstanbul firmasından Sayın Mehmet Demir'e ve tez çalışmam boyunca güven ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Mayıs, 2018

Emre BAHÇIVAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BÖLÜM 3

BÖLÜM 4

SİMGE LİSTESİ

T_1	Kanıt test aralığı
€	Avrupa Para Birimi
λ	Hata Oranı

KISALTMA LİSTESİ

1oo2	one out of two, ikide bir
2oo2	two out of two, ikide iki
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 Denetimi
CBTC	Communication Based Train Control, Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü
CCC	Communication Control Center, İletişim Kontrol Merkezi
CCOT	Central Control Operation Terminal, Merkezi Kumanda Operatör Terminali
CCTV	Close Circuit Television, Kapalı Devre Televizyon
CENELEC	Europian Committe for Electrotechnical Standarts, Avrupa Elektroteknik Standartlar Enstitüsü
CPU/CC	Central Process Unit, Merkezi İşlem Birimi
CTF	Control Terminal Frame, Kontrol Sonlandırma Çatısı
DC	Diagnostic Coverage, Teşhis Kapsamı
DI	Digital Input, Dijital Giriş
DO	Digital Output, Dijital Çıkış
DTO	Driverless Train Operation, Sürücüsüz Tren İşletimi
EB	Emergency Brake, Acil Durum Freni
EN	European Norm, Avrupa Standardı
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis, Sistem Başarısızlık Modları ve Etkileri Analizi
FTA	Fault Tree Analysis, Hata Ağacı Analizi
GoA	Grade of Automation, Otomasyon Seviyesi
HMI	Human-Machine Interface, İnsan Makine Arayüzü
IEC	International Electrotechnical Commission, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IP	Internet Protocol, İnternet Protokolü
MTBF	Mean Time Between Failure, İki Hata Arasındaki Ortalama Süre
MTTF	Mean Time to Failure, Ortalama Hataya Düşme Zamanı
MTTR	Mean Time to Repair, Ortalama Tamir Süresi
NFPA	The National Fire Protection Association, Ulusal Yangından Korunma Kurumu
NTP	Network Time Protocol, Ağ Zaman Protokolü
PAKS	Platform Ayırıcı Kapı Sistemi
PC	Personal Computer, Kişisel Bilgisayar

PESB	Platform Emergency Stop Button, Peron Acil Durdurma Butonu
PFDavg	Probability of Failure on Demand, İsteğe Bağlı Arıza Olasılığı Ortalaması
PFH	Probability of Failure per Hour, Saat Başına Hesaplanan Arıza Olasılığı
PHA	Preliminary Hazard Analysis, Ön Tehlike Tanımlaması Analizi
PIS	Passenger Information System, Yolcu Bilgilendirme Sistemi
PLC	Programmable Logical Controller, Programlanabilir Lojik Kontrolör
RAM	Random Access Memory, Rastgele Erişilebilir Bellek
RBD	Reliability Block Diagram, Güvenilirlik Blok Diyagramı
RF ID	Radio Frequency Identification, Radyo Frekansı Tanımlama
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, Sistem Kontrol ve Veri Toplama
SD	Safety Distance, Güvenlik Mesafesi
SER	Signalling Equipment Room, Sinyal Ekipman Odası
SFF	Safe Failure Fraction, Güvenli Hata Kesri
SIF	Safety Instrumented Function, Emniyetle İlgili Fonksiyon
SIL	Safety Integrity Level, Emniyet Bütünlüğü Derecesi
SIS	Safety Instrumented System, Emniyetle İlgili Sistem
SLC	Safety Life Cycle, Emniyet Yaşam Döngüsü
SMC	System Management Center, Sistem Yönetim Merkezi
STC/ZC	Station Controller/Zone Controller, İstasyon/Bölge Kontrolörü
STO	Semi automatic Train Operation, Yarı otomatik Tren İşletimi
THR	Tolerable Hazard Rate, Tolere Edilebilir Tehlike Oranı
TOD	Train Operation Display, Tren İşletim Ekranı
TÜV	Technischer Überwachungs Verein, Teknik Denetim Kurumu
USB	Universal Serial Bus, Evrensel Seri Yol
UTO	Unattendad Train Operation, Denetimsiz Tren İşletimi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

ÖZET

RAYLI SİSTEMLERDE OTOMASYON SEVİYELERİ VE SÜRÜCÜLÜ METRO HATLARINDA HATADA EMNİYETLİ HAT İHLAL SİSTEMİ

Emre BAHÇIVAN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Özgür Turay KAYMAKÇI

Modern şehirlerin bir gereği olarak ulaşımın kolaylaşması ve hızlanması metro gibi sistemlerin yaygınlaşmasına neden olmuştur. Yoğun yolcu yükü ve dakik işletme konsepti metro hattı operasyonunu kritik bir hale getirmiştir. Bu işletmenin yolcular için güvenli ve rahat olması bir zorunluluk olup bunun için her türlü tedbir alınmalıdır. İşletmenin sahip olduğu otomasyon seviyesine göre söz konusu bu tedbirler şekillenmektedir. Bu tez çalışmasında öncelikle raylı sistemlerde otomasyon ve insan faktörünün işletmeye etkisi açıklanmış ve sürücülü bir metro hattında olabilecek kaza veya intiharların etkisini en aza indirmek amacıyla kurgulanmış bir hat ihlal algılama sistemi üzerinde durulmuştur.

Bölüm 1'de genel bir literatür taraması yapılarak konuyla ilgili olabilecek çalışmalara ve tezin amacına kısaca değinilmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasının akademik bir yönü olmasının yanı sıra sektördeki bir ihtiyaca cevap vereceği belirtilmiştir.

Bölüm 2'de raylı sistem içinde metro hatlarının yeri belirtilmiş ve metro sinyal sistemleri hakkında temel bilgiler verilmiştir. Bu bağlamda genel yapı açıklanmış ve hareketli blok yapısına odaklanılmıştır. Hareketli blok yapısının sahip olduğu iç dinamikler ve prensipler doğrultusunda sinyal sistemlerinin sahip olduğu bileşenler kısaca özetlenmiştir.

Bölüm 3'de raylı sistem otomasyon seviyeleri tanımlanmış ve bu seviyelerin kendine has karakteristik özelliklerine değinilmiştir. Her bir seviye için alınan güvenlik önlemleri

açıklanmış ve bu önlemlerin aslında otomasyon derecesinin artışına bağlı olduğu gösterilmiştir. Acil durum senaryolarının ne şekilde düzenleneceği sürücülü ve sürücüsüz işletme özelinde açıklanmıştır. IEC 62290 standardında da bahsedilen sürücüsüz metro hatları hakkında temel kavramlar verilmiş ve bu metroların avantajları ile dezavantajları karşılaştırılmıştır. Mevcut metro hatlarında otomasyon seviyesi artırımı hususunda açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca metro hatları için perondaki hat ihlallerinin büyük bir problem olduğu belirtilmiştir. Bu ihlallerden dolayı can kaybı ve maddi zarar oluştuğundan dolayı alınabilecek önlemler dünya çapındaki örnekler ışığında incelenmiştir.

Bölüm 4'de genel fonksiyonel emniyet tanımı yapılmış ve genel emniyet parametrelerinden bahsedilmiştir. Bu bağlamda IEC 61508 şemsiye standardı ve raylı sisteme özel EN standartları ışığında risk analizi, hata ağacı vb. uygulamalar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca emniyet bütünlüğü seviyesi (SIL) kavramı üzerinde durulmuş ve kritik öneme sahip sistemlerin sahip oldukları tehlike ve risklere binaen nasıl bir metotla değerlendirilmesi gerektiği açıklanmıştır. Bunların yanı sıra emniyet sistemlerinin endüstride tercih edilen tasarım şekillerine göre (1oo2, 2oo3 vb..) nasıl şekillendiği ve sistemin talep moduna göre emniyet hesabındaki farklılıklar gösterilmeye çalışılmıştır.

Bölüm 5'de baz alınan Kadıköy-Kaynarca metro hattında hatada emniyetli bir hat ihlal algılama sistemi düşünülmüş ve metro koşullarına uygun bir şekilde tasarımlandırılmıştır. Bu noktada seçilen sensörler, kontrolörler ve diğer ekipmanlar için üretici firma beyanları doğrultusunda çeşitli senaryolar planlanarak kurgular yapılmış ve akış şemaları belirlenmiştir. Sistemin algılama yapmasının yanı sıra çıkış anlamında sahip olduğu tetiklemeler belirtilmiş arayüz kurulan sinyal sistemi ile bağlantı detaylarına değinilmiştir.

Bölüm 6'da tasarımı yapılan hat ihlal algılama sistemine binaen öncelikle ön tehlike tahmini yapılmış ve risk grafiği yöntemi ile sistemin sahip olması gereken emniyet bütünlüğü seviyesi (SIL) bulunmuştur. Daha sonra ise hata ağacı çıkarılarak sistemin emniyet fonksiyonunun sahip olduğu SIL değeri bulunmuştur. Olması gereken değer ile bulunan değerin örtüştüğü görülmüştür.

Son olarak sonuç bölümünde ise raylı sistem otomasyon mantığı ve insan faktörünün işletmeye etkisi, tez çalışmasındaki bulgular doğrultusunda tekrar ele alınmıştır. Buna göre dünyadaki genel eğilimin GoA4 seviyesinde işletme yapan sürücüsüz metrolara yönelik olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra sürücüsüz metroların neden tercih edilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. Aynı şekilde hat ihlalleri için dünyada uygulanan PAKS (Peron Ayırıcı Kapı Sistemi) ve diğer çözümler karşılaştırılmış, avantajları ve dezavantajları doğrultusunda değerlendirme yapılmıştır. Sürücülü metro hatları için bile büyük bir problem olarak karşımıza çıkan hat ihlallerinin olumsuz etkisinin en aza indirilmesi için neler yapılabileceği özetlenmiştir. Kadıköy-Kaynarca metro hattı için kurgulanan yapı için emniyet bütünlüğü hesabının sonucu yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Raylı sistem, otomasyon, GoA, fonksiyonel emniyet, SIL.

ABSTRACT

THE GRADE OF AUTOMATION IN RAILWAY SYSTEMS AND A FAIL SAFE LINE INTRUSION DETECTION SYSTEM FOR SEMI-AUTOMATIC METRO LINES

Emre BAHÇIVAN

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI

The facilitation and acceleration of transportation as a means of modern cities has led to the spread of systems such as the metro. The heavy passenger load and punctual operating concept have made metro line operation critical. This is an imperative for passengers to be safe and comfortable and all precautions must be taken. According to the level of automation that the operation has, these measures are shaped. In this thesis study, firstly the effects of automation and human factors on the operation of rail systems are explained and a line intrusion detection system designed to minimize the effects of accidents or suicides which may be on a subway line with a driver has been emphasized.

In Chapter 1, a general literature review is carried out and briefly addressed the purpose of the work and the thesis that might be related to the subject. Moreover, it is stated that this thesis study is an academic aspect and will respond to a need in the sector.

In Chapter 2, the location of subway lines in the rail system is given and basic information about subway signaling systems is also given. In this context, the general structure is explained and focused on moving block structure. The components of signal systems in terms of internal dynamics and principles that moving block structure has summarized briefly.

In Chapter 3, rail system automation levels are defined and specific characteristics of these levels are mentioned. The security measures taken for each level are explained and it has been shown that these measures actually depend on the increase in the automation level. How to arrange the emergency scenarios is described in the driver and driverless operation specific. The basic concepts of driverless subway lines mentioned in IEC 62290 are given and the advantages and disadvantages of these subways are compared. Explanations have been made about the increase of automation level in the existing subway lines. In addition, it is stated that the subway line intrusions are big problem. Measures that can be taken due to loss of life and material damage due to these intrusions have been examined in the light of examples from around the world.

In Chapter 4, the general functional safety description is made and general safety parameters are mentioned. In this context, according to IEC 61508 umbrella standard and specific EN standards; risk analysis, fault tree etc. general information about applications are given. In addition, the concept of Safety Integrity Level (SIL) is emphasized and it is explained how systems with critical mitigation should be assessed by the methodology of the risks and risks they have. In addition to these, safety systems have been tried to be shaped according to the preferred design of the industry (1oo2, 2oo3, etc.) and to show the differences in the safety account according to the demand mode of the system.

In Chapter 5, for Kadıköy-Kaynarca metro line a fail safe line intrusion detection system is considered and designed in accordance with the metro conditions. At this point, various scenarios were planned and edited according to the manufacturer's declarations for the selected sensors, controllers and other equipment, and flow charts were determined. In addition to detecting the system, the triggers that the system has in the sense of output are specified, and the details of the connection with the signaling system in which the interface is established are mentioned.

In Chapter 6, Preliminary hazard prediction of line intrusion detection system is made and found the level of safety integrity (SIL) that the risk graph method should have. Then the fault tree is built and the SIL value of the safety function of the system is found. It is seen that the required value overlaps the found value.

Finally, in the conclusion section, the effect of system automation logic and human factor on the operation was taken up again in the direction of findings in the study of thesis. According to this, the general tendency in the world is directed towards the driverless subway which operates at the GoA4 level. Besides this, it is emphasized why driverless metro lines should be preferred. In the same way, the PSD (Platform Separator Door System) and other solutions applied in the world for line intrusions have been compared and evaluated in terms of advantages and disadvantages.

Another issue is summarized as to what can be done to reduce the negative effect of line intrusions, which is a big problem even for GoA2 subway lines. Kadıköy-Kaynarca metro line was interpreted as the final result of calculation of the safety integrity for the constructed structure.

Keywords: Railway system, automation, GoA, functional safety, SIL.

BÖLÜM 1

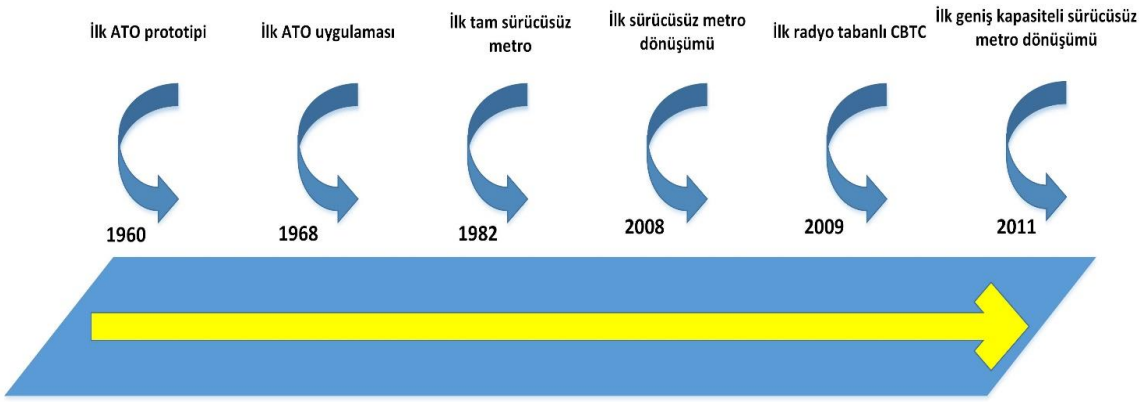
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Tarihte ilk raylı ulaşım örnekleri 19. yy'ın başlarında buharlı makinelerin lokomotif olarak kullanılmaya başlanmasından sonra görülmektedir [1]. Bu aşamada işletme altındaki tren sayısı çok olmadığından genel anlamda bir tren ve hatboyu kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmamıştır. Sürüş, makas tanzimi ve tren ayırımı gibi işlemler el ile ya da mekanik araçlar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Daha sonra artan trafik yükü, el ve bayraklarla yapılan tren ayırımını yetersiz hale getirmiş ve daha gelişmiş sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. İlk sinyalizasyon anklaşman sistemi 1843 yılında İngiltere'de geliştirilmiştir [2]. İlk başlarda röleli ve mekanik bir yapıya sahipken o günden bugüne geliştirilerek elektronik tabanlı bir yapı kazanmıştır. Ayrıca ilk elektrikli makas tanzim sistemi 1875 yılında Mr. W.R. Skyes tarafından icat edilmiştir. Bu gelişme sinyal sistemlerinde güvenli tren ayırımı için bir kilometre taşıdır.

Büyüyen şehirler beraberinde bir takım problemler de getirmiş ve kent içi ulaşım krtitik bir hale bürünmüştür. Tarihteki ilk şehir içi yer altı metro sistemi 1863 yılında devreye alınan Londra metrosudur. Bu bağlamda insanların hızlı ve kesintisiz ulaşım talebine raylı sistem ile cevap verilmeye çalışılmıştır. Kent içi raylı ulaşım üstlendiği misyon nedeniyle modern şehirlerin ayrılmaz bir parçasıdır. Gelişen teknoloji pek tabi ki yolcu taleplerini de etkilemiş ve bu doğrultuda değiştirmiştir. Bu duruma sadece yolcu penceresinden değil işletme gözüyle de bakmak gerekir. Yeni teknolojiler ile daha kolay işletilebilen ve daha az bakım gerektiren sistemler kurulabilir. Ayrıca hatanın en büyük kaynağı olan insan faktörü de olabildiğince engellenmiş olur. Bu bağlamda otomasyon

kavramı raylı sistemlerde yeni olmamakla beraber Şekil 1.1' de ifade edildiği gibi yaklaşık 60 yıllık bir geçmişe sahiptir.



Şekil 1.1 Raylı sistem otomasyon gelişimi

Bunların yanı sıra yoğun yolculuk talepleri yolcu güvenliği için ek önlemler alınmasını gerektirmiştir. Örneğin yolcuların perondan ray hattına geçmesi yani hat ihlali gerçekleştirmesi ister otonom olsun ister olmasın bir sistemde problem teşkil etmekte ve önleyici/koruyucu tedbir alınmasını gerektirmektedir.

Hat ihlal algılamanın önemini anlamak için olaya farklı bir açıdan bakılabilir. Londra yeraltı metro sisteminde yapılan çalışmada intihar veya intihar girişimlerinin tren sürücüleri üzerindeki etkisi incelenmiştir [3]. Buna göre inceleme yapılan tarih itibariyle on yıl boyunca her yıl yaklaşık 100 civarında hat ihlali yaşandı, bunun yaklaşık %90'ında tren sürücüsünün ihlale şahit olması bekleniyordu. Bu olayların çoğu kazayla düşmeden ziyade intihar veya intihar girişimidir. Bu olaylar tren sürücülerinin hayatlarındaki büyük beklenmedik ve şiddetli olayları temsil etmektedir ve sürücülerin buna travma sonrası stres reaksiyonu geliştirerek yanıt vermesi beklenebilir. Bahsedilen araştırma özetle günlük çalışma sırasında halkın ölümüne veya yaralanmasına ilişkin deneyimlere sürücülerin verdiği tepkileri tanımlamak için tasarlanmıştır. Olaylara katılan sürücülerin % 16.3'ünün travma sonrası stres bozukluğu geliştirdiği ve diğer tanıların, örneğin depresyon ve fobik durumların, olaydan bir ay sonra sürücülerin % 39.5'inde mevcut olduğu görülmüştür.

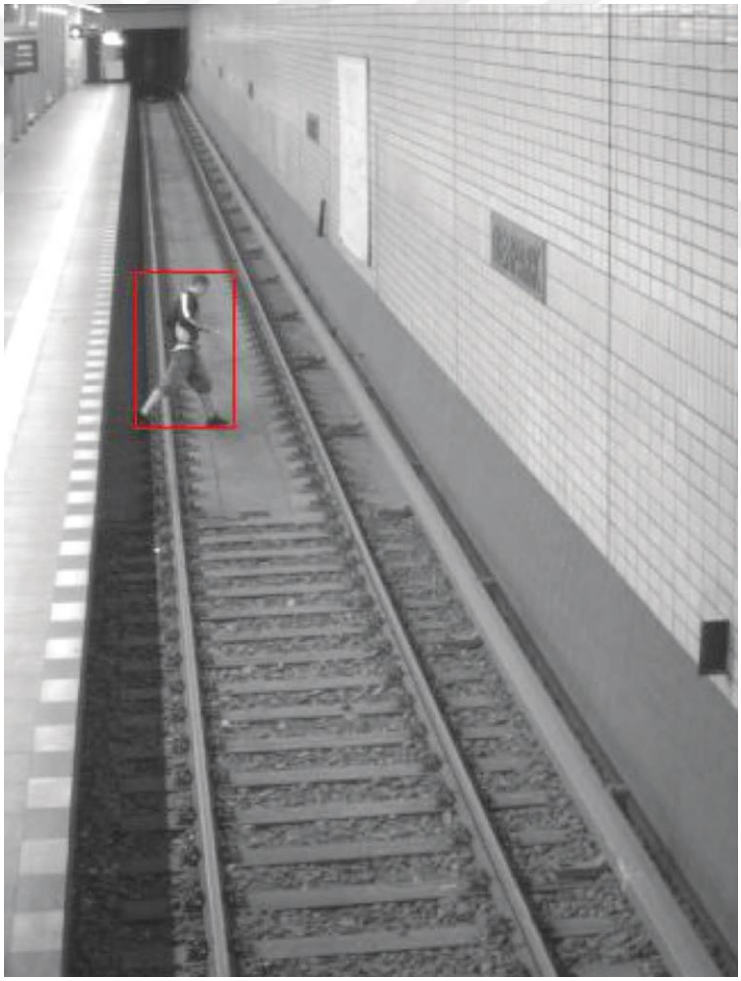
Mevcut demiryolu güvenliği kuralları, izinsiz giriş veya düşen nesnelerin bulunma ihtimalinin yüksek olduğu alanlarda, her şeyden önce otomatik olarak tespit edilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, sinyal kodlamasına ve işlemeye özel önem verilerek,

bir ultrasonik sensör sistemi önerilmiştir [4]. Bu sinyal kodlaması, tamamlayıcı dizilerin kullanılmasına dayanarak sistemi açık havada ultrasonik dalgaları iletirken en sorunlu türbülansa karşı sağlam bir hale getirir. Tamamlayıcı dizilerin kullanımına dayanan sinyal kodlamasının, sistemi atmosferik türbülansın neden olduğu iletilen sinyallerin genliği üzerinde rastgele dalgalanmalara karşı sağlam kıldığı gösterilmiştir. Bu sağlamlık sistemin, bir transmisyon periyodunu engelleyen herhangi bir statik engeli ve bir algılama periyodu için bu transmisyonu bloke edecek kadar büyük olan herhangi bir düşen nesneyi tespit etmesini sağlar. Bu tespit süresi, atmosferik türbülans koşullarına bağlı olarak seçilmesi gereken yayılan dizilerin uzunluğuyla orantılıdır. Sistem performansı sisli koşullarda özellikle iyidir, bu koşullarda ciddi çalışma problemleri olan tüm sistemlerin uygun bir tamamlayıcısı olacaktır. Ultrasonik sistemlerle ilgili yapılmış bir başka çalışmada ise dört emitörden ve altı alıcıdan oluşan ve bu temel yapıyı tekrarlayan temel ultrasonik dizi sensörü ile sistemin daha yüksek bir kapsama alanına kolayca genişletilebildiği görülmüştür [5]. Gelişen teknoloji ile hat ihlal algılama yeni bir boyut kazanmakta ve yeni çalışmalar yapılmaktadır. Tren üzerindeki veya istasyonlardaki kameralardan video analiz edilerek otomatik demiryolu ihlal tespitleri çok anlamlı hale gelmektedir [6]. Bu çalışmada akıllı görüntü analizinin yetenekleri gösterilmiştir. Bilindiği üzere 21. yüzyılda, demiryolları istasyonları en az hava alanları ve hükümet binaları kadar önemli ve vandalizm veya terörizm için savunmasız durumdadır. Demiryolu ve yolcu güvenliği ile ilgili endişeler artmakta ve akıllı CCTV gözetimi, ulaşım organizasyonları için daha önemli hale gelmektedir. Yüz tanıma, nesne izleme, şüpheli paket, insan sayma gibi farklı video analitik özellikleri piyasada hızla yer edinmektedir. Örneğin Şangay'da, anti-vandalizm amaçlı olarak istasyonların turnike bölgelerinde yüz tanıma özelliği uygulanmaktadır. Gelecekte video analitik ve IP tabanlı video ağı yapısı, bir demiryolu endüstrisinde güçlü akıllı gözetim sistemi sağlamak için tek bir platforma entegre edilebilir. Sadece bağımsız bir izleme sistemi değil, aynı zamanda yolcular için kesintisiz, entegre, güvenli ve güvenilir bir demiryolu ortamı sağlamak için erişim kontrol sistemi gibi diğer demiryolu sistemleriyle de bağlantı kurulabilir.

Ancak kamera görüntülerinde çeşitli sebeplerden dolayı titremelerin olması ihlal algılama analizinden önce bir video titreşim önleme yeniden işleme prosedürünü

gerektirmektedir [7]. Bu sorunu çözmek için yapılan çalışmada düşük dereceli polinom dedektörüne dayanan sağlam bir video sabitleme algoritması sunulmuştur. Genel olarak, bu algoritma üç aşamadan oluşur. Öncelikle anahtar noktalar, videonun bitişik çerçevesi arasında sırasıyla ALP dedektörü ve KLT izleyici tarafından çıkarılır ve izlenir. İkincisi, lokal hareket vektörü, görüntü dönüştürme modeli ile elde edilir. Son olarak, global hareket vektörleri sırasıyla Ransac ve Kalman filtresi kullanılarak düzeltilir. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın klasik Harris köşe detektörü tabanlı video dengeleme yönteminden daha sağlam ve etkili olduğunu göstermektedir.

Görüntü analizi ile ihlal algılama çalışmaları, düşük maliyet başarısıyla tüm hızıyla devam etmektedir [8]. Kameralar çok pahalı ekipmanlar değillerdir, Şekil 1.2 ile gösterildiği gibi rayların üstüne monte edilebilir ve bu nedenle kir ve toza karşı daha az savunmasızdırlar; kolayca korunabilir ve güvenli bir şekilde çalışabilirler [9].



Şekil 1.2 Video analizi ile bir hat ihlalinin tespiti [9]

Video analitiği çok önemlidir; çünkü az sayıda operatör, çok sayıda kamerayı görsel olarak kontrol edemez [10]. Bu nedenle, videonun görselleştirilmesi ve olay odaklı bir yaklaşıma göre akıllı kameralar veya diğer sensörler tarafından bir alarm oluşturulduğunda akışların otomatik olarak aktif hale getirilmesi önemlidir. Bilindiği kadarıyla bu yaklaşım, hem video hem de ses gözetimi için yapay zeka algoritmalarını içeren ilk metro güvenlik sistemidir.

Bu bağlamda heterojen ihlal tespiti, erişim kontrolü, akıllı video izleme ve ses algılama cihazları, birleşik bir Güvenlik Yönetim Sistemine (SMS) entegre edilmiştir. Bu çalışmaya göre acil durumlarda, ilgili operatörler için gerekli olan operasyonel eylemler SMS tarafından düzenlenir. Hem sensör çıkışında hem de donanımın yapılandırmasındaki artıklık ve yedeklilik algılama güvenilirliğini, alarm korelasyonunu ve genel sistem esnekliğini geliştirir. Güvenlik mekanizmaları, farklı tehditlerle karşı karşıya kalabilir. Buna göre aşağıdaki faydalar kazanılır;

• caydırıcı etkiler (kasıtlı tehditlerin azaltılması ile);

• güven verici etkiler (algılanan güvenliğin geliştirilmesi ile);

• araştırmacı desteği (olay sonrası analizi için);

• rasyonelleştirici etkiler (acil durum müdahalelerinde durumsal farkındalık).

Ayrıca bu çalışmada CCTV sisteminin analizde kullanılması için; güvenlik uygulamalarında CCTV tarafından yerine getirilmesi gereken bir dizi şartı öngören CENELEC EN 50132-1 uluslararası standardına göre sertifikalandırılacağı vurgulanmıştır.

Bunların yanı sıra görüntü analizinin ihlal algılama olarak kullanılıp deneyimlerin paylaşıldığı görülmüştür. Lyon'da gerçek bir metro ortamında altı ay boyunca bir yeraltı demiryolu hat ihlal tespit sistemi denenmiş, algoritmalar Lyon metro konfigürasyonuna uyacak şekilde ayarlanmış ve sistem gerçek bir dünya deneyimi kazanmıştır [11].

Son yıllarda hat ihlaline farklı bir çözüm getirilmiş, demiryolu alanlarını yetkisiz erişime karşı korumak için uygun beslenen entegre bir optik fiber algılama sistemi, FBG sensörlerine dayalı bir teknolojik çözüm gösterilmiştir [12]. Gerçekleştirilen testler sırasında, sistemin korunan çevre boyunca yürüyen bir insanı her zaman tespit edebildiğini göstermiştir. Ek olarak deneysel sonuçlar algılama sisteminin, izinsiz giriş hızı ve yönü gibi izinsiz giriş hakkında daha fazla bilgi sağlayabildiğini göstermiştir.

Yanlış alarm olasılığını azaltmak için, farklı konumlar ve zamanla ilgili verileri birleştirerek yüksek düzeyli sinyal işleme stratejileri benimsenmelidir. Sonuç olarak, bu entegre sistemin başlangıç, işletme ve bakım maliyetleri diğer güvenlik yöntemlerinden daha düşüktür.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin ilk amacı olarak literatürde geçen ilerleyiş doğrultusunda raylı sistem hatlarının genel otomasyon mantığını açıklamak ve bu bağlamda güncel olarak raylı sistem hatlarının işletim modellerini tariflemek verilebilir. En güvenli ulaşım türü sayılan raylı sistemlerin kent içi için çözümleri olan metro, hafif metro ve tramvaylar farklı işletim konseptlerine ve teknik altyapılara sahiptir. Hatta bu çözümler kendi içlerinde bile ciddi farklılıklar taşımaktadır. Genel olarak bu farklılıklar nedenleriyle birlikte açıklanmış ve Dünya çapındaki uygulamalardan örnekler verilmiştir. Bu bağlamda baz alınan Kadıköy-Kaynarca metro hattının genel otomasyon yapısı ortaya konmuş sistemin güvenliğini ve işletme konseptini geliştirecek öneriler verilmiştir. Kadıköy-Kaynarca metro hattında sürücülü işletme yapılmakla beraber teknik altyapı olarak bazı tedbirlerin alınması şartıyla sürücüsüz hizmet verilebilecektir.

Diğer bir amaç ise yukarıda değinilen işletme konseptlerine bağlı olarak bir raylı sistem hattında işletmenin ihtiyaç duyacağı bir güvenlik fonksiyonunu tanımlamak ve bu fonksiyonun kendi içinde de güvenli olduğunu kanıtlamaktır. Bu tez çalışmasında değinilen emniyet fonksiyonu yolcuların perondan ray hattına inmesinin yani hat ihlali gerçekleştirmesinin algılanması ve can kaybını engelleyecek aksiyonlar alınmasını sağlamasıdır. Hat ihlalleri; kaza, sabotaj ya da intihar kaynaklı olabilir. Kaynağın ne olduğundan ziyade sonuçta bir can kaybı yaşanmaması esastır. Kurgulanan sistemin hatada emniyetli olması yani herhangi bir enerji kesintisi, kablo kopması, arıza ya da vandalizm ile zarar görme durumunda kendini güvenli tarafa çekmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda önerilen hat ihlal algılama sisteminin emniyet bütünlüğü hesabı yapılmış ve kritik bir rol üstlenen bu sistemin yüksek bir emniyet bütünlük derecesine sahip olduğu görülmüştür. Metro istasyonlarının peron yapısı ve yolcu yükü göz önüne alındığında sistemin can kaybını önlemedeki rolü daha iyi ortaya çıkmaktadır. Örnek vermek gerekirse sistemin tasarlanmasında baz alınan Kadıköy-Kaynarca metro

hattında 2017 yılı boyunca işletme sırasında 11 hat ihlali gerçekleşmiştir. Bu da yaklaşık olarak ay başına 1 ihlal olduğu anlamına gelmektedir. Bu oldukça yüksek bir orandır. Bu nedenle hem ihlallerden dolayı metro seferleri aksamış hem de can kayıpları yaşanmıştır. İşte bu noktada yüksek bir emniyet seviyesine sahip "Hat İhlal Algılama Sistemi" kavramı büyük önem kazanmaktadır. Raylı sistemler özellikle metro hatları mali olarak yüksek yatırımlar gerektiren ve yolcular açısından dakik kabul edilen ulaşım türüdür. İnsanların gözünde hızlı olan ve güvenli sayılan metro hatları ulaşım sektörü içinde özel bir yere sahip olmakla beraber gerek tasarım gerekse montaj ve devreye alma safhaları için uzmanlık isteyen bir konudur. Bu durum her zaman için güncel teknoloji doğrultusunda güvenlik ve konfor anlamında yeni gelişmeler yaşanmasına ve ek önlemler alınmasına neden olmaktadır. "Hat İhlal Algılama Sistemi" kavramı bu tip bir ihtiyaca cevap verebilmek için ortaya çıkmıştır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışması Türkiye çapındaki metro hatlarında bir ilk olarak peron seviyesindeki hat ihlalleri için bir algılama çözümünü tanımlar ve kurgulanan sistemin emniyet hesabını sunar. Çalışma işletmesel bir ihtiyaca cevap için ortaya çıkmış ve tasarımlandırılmıştır. Tüm tasarım parametreleri ele alınan Kadıköy-Kaynarca metro hattı için seçilmiştir. Başka raylı sistem hatları için tasarımın ve dolayısıyla emniyet bütünlüğü hesabının değişeceği unutulmamalıdır. Her ne kadar bu parametreler değişse bile bu tez çalışmasındaki ilkeler doğrultusunda uygun peron/tren uzunluğu ve işletme modeli ile tasarım yeniden yapılabilir.

Bu tez çalışmasıyla yoğun yolcu yüküne sahip sürücülü metro hatlarında yolcu güvenliği artırılmaya çalışılmış ve can kaybını engellemenin yanı sıra işletmenin kesintiye uğramaması için tedbirler alınmıştır. Zirve saatlerde yaşanan peronlardaki yolcu yığılmalarını düşününce peron yolcu güvenliğinin önemi daha iyi ortaya çıkacaktır. Tecrübelere binaen, sürücülü metro hatlarında hat ihlali durumunda acil durum aksiyonu için makinistin ya da perondaki diğer yolcuların reflekslerine güvenmek risklidir. Bahsedilen acil durum aksiyonu için kendi başına çalışan ve trenleri ihlal durumunda otomatik bir şekilde durduran sistemin tasarımı daha güvenilirdir.

Bu tez çalışmasında değinilen tasarım raylı sistem özelinde geliştirilebilir. Peron kenarı tespitinin yanı sıra peron altına da konulacak alan tarama sensörleri veya direkt ray hattına ve çevresine tesis edilecek basınç sensörleri ile ihlal algılama derinleştirilebilir. Bu sayede ihlalin türü de yani ihlali yapanın bir insan veya bir çanta vb. olduğu da tespit edilebilir. Bunun yanı sıra platform tavan seviyesinden dikey olarak aşağı doğru yapılacak ek bir algılamayla hem tren ile peron arasında muhtemel olabilecek sıkışmalar hem de hat ihlalleri tespit edilebilir. Dünya çapında metro hatlarında yoğun saatlerde yolcu yığılması sonucu olabilecek sıkışmalara önlem olarak bu tip algılamaların yaygınlaştığını görmekteyiz. Tüm bunlar ele alınacak metro hattı ve hattın otomasyon seviyesi özelinde değerlendirilmelidir. Ayrıca hat ihlal sisteminin dış sistemlerle arayüzleri de geliştirilebilir. Bu çalışmada kritik işlem olarak trenlerin durdurulması öngörülmüş ve sinyal sistemi arayüzü planlanmıştır. Bunun yanı sıra istasyondaki kamera sistemi ile kurulacak arayüz ile hat ihlali durumunda ilgili lokasyondaki kameranın otomatik bir şekilde aktifleşmesi ve kumanda merkezi operatörüne iş istasyonu üzerinden grafik arayüz ile bir uyarı verilmesi mümkündür. Bu fonksiyon anons ve yolcu bilgilendirme ekranları ile desteklenebilir.

Kurgulanan hatada emniyetli hat ihlal sistemi Kadıköy-Kaynarca hattının otomasyon seviyesinin artırılmasına katkıda bulunabilir. Bu bağlamda dünyada Goa4 seviyede sürücüsüz işletme yapan bazı metro hatlarında hat ihlal algılama sistemi kullanıldığı görülmüştür.

BÖLÜM 2

TREN KONTROL SİSTEMLERİ

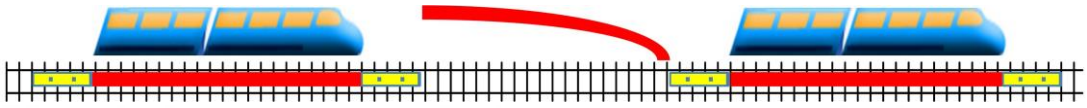
Sinyalizasyon sistemi icat edilmeden önce insanlar trenlerin emniyetli bir şekilde yerine varabilmesi için değişik yöntemler geliştirmişlerdi. Yol boyunca direkler üzerinde bulunan işaretçilerin ellerindeki aynalar ile ışık yansıtılarak ve renkli bayraklarla işaret verilerek trenlerin bulundukları yerler ve hareketleri ile ilgili bilgiler verilmekteydi. Daha sonra arazideki olumsuz hava koşulları göz önüne alınarak yeni yöntemler geliştirilmiştir. Direkler üzerine işaretçiler yerine mekanik cihazlar yerleştirilerek trenin istasyona girişini ve istasyondan çıkışını kontrol altına alan mekanik sinyal sistemleri, teknolojideki gelişmelere bağlı olarak elektrikli sinyal sistemleri ile hız kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Literatürde gelişmiş sinyal sistemlerinin ATC olarak da adlandırıldığı görülmüştür.

Sinyal sistemi en temel anlamda trenlerin güvenli bir şekilde işletilmesinden sorumludur. Bu bağlamda hızlı ve sorunsuz bir işletmenin anahtarıdır. İşletme sıklığının yüksek, araç sayısının çok olduğu hatlarda sinyal sistemi hayati önem taşır. Temel mantık trenlerin ivmelenme, frenleme, boşta gitme, istasyona doğru bir şekilde yanaşma, parklanma, kuplaj vs. gibi işlevlerin güvenli ve tek bir merkez tarafından yürütülmesi esasına dayanır. Tek bir merkez kavramı önemlidir, tüm işletmenin daha hızlı ve efektif olmasını sağlar. Buradaki amaç her zaman için daha hızlı aksiyon alıp daha güvenli ve daha az personelle işletme yapmaktır [13].

Sinyal sistemi için temelde amaç aynı olsa da uygulandığı hat bazında o duruma özel farklı yapılara sahiptir. Bu durumda şehir içi ulaşım ve şehirlerarası ulaşım ayrı ayrı ele alınmalıdır. Şehir içi ulaşım metro, hafif metro, monoray, havaray ve tramvay hatlarını kapsar. Özel olarak şehir içi ulaşım türleri için sinyal sistemi temel anlamda sabit ve

hareketli blok ilkelerine göre çalışma olarak ikiye ayrılır. Bu bağlamda hareketli blok sistemlerin yapısına detaylı olarak değinilecektir.

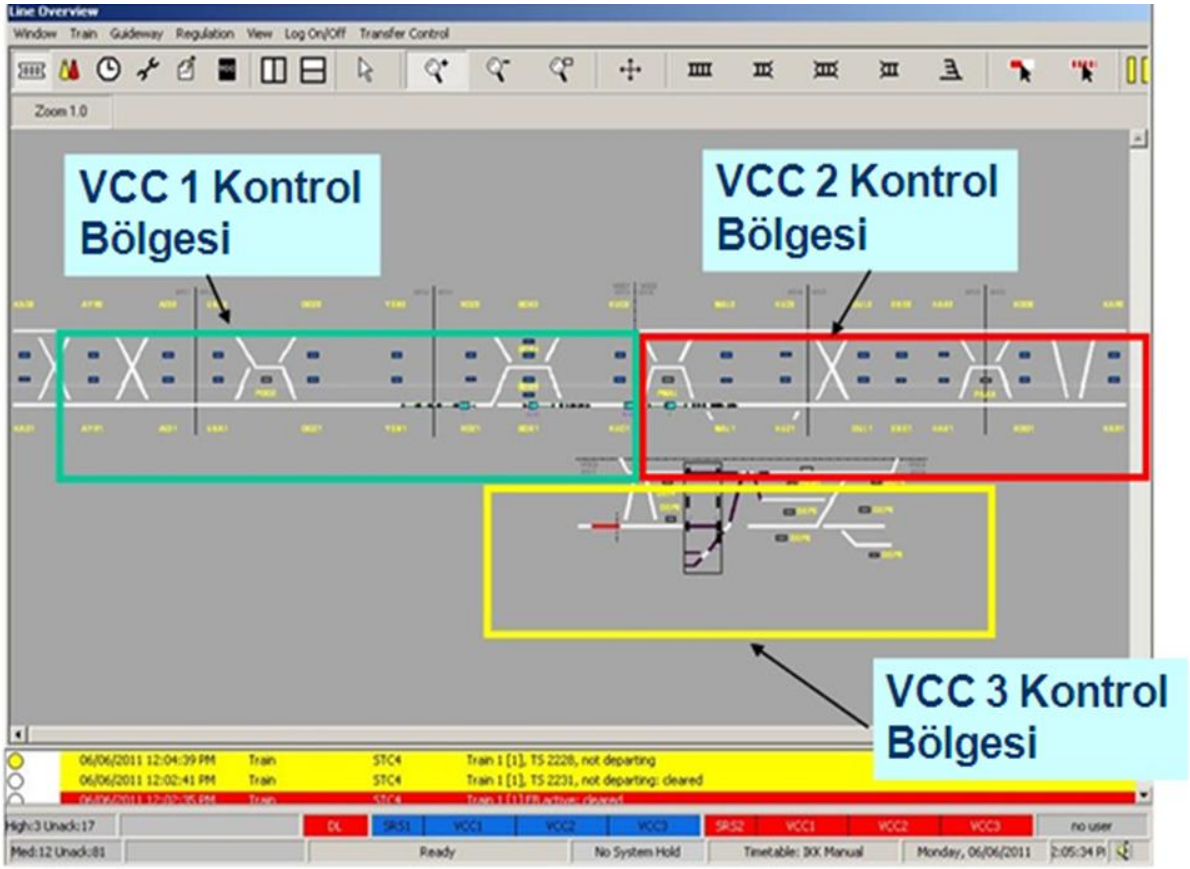
Sabit blok sistemlerde yüksek işletme sıklığı elde edebilmek için blokların kısa dolayısıyla sayısının çok olması gerekir. Daha fazla blok daha fazla hat boyu ekipmanı anlamına gelir. Bu da maliyetleri oldukça artırır. Maliyetin yanı sıra artan ekipman sayısından dolayı işletme ve bakım giderleri artar. Çok ekipman daha fazla arıza noktası anlamına da gelir. Tüm bu nedenlerden dolayı sabit blok sistemler yüksek işletme sıklığı istenen raylı sistem hatlarında tercih edilmez.



Şekil 2.1 Hareketli blok sinyal sistemi şeması

Yukarıdaki Şekil 2.1'de hareketli blok mantığı gösterilmiştir. Buna karşın bir hareketli blok sisteminin temel tasarım hedefi, iyileştirilmiş bir konum çözümlemesi ve hareket yetkisi güncelleme hızı aracılığıyla daha büyük bir kapasite ve azaltılmış tren ayrımı mesafesi sağlamaktır. Bu durum, hareketli blok sisteminde bir araç üstü kontrolörüyle veri iletişimi kullanılarak (başka bir deyişle hat boyu sinyal koruması kullanmayarak) sağlanır. Hareketli blok sistemi aynı bölge içerisinde güvenli bir şekilde birden fazla trenin bulunmasına imkan verebilmektedir; halbuki bu sistem olmadan bir bölge yalnızca tek bir sabit blok için kullanılabilir. Hareketli blok yapısında bloklar sürekli değişir [13]. Üstelik bloklar sabit olmadığından ve gereksiz yere meşgul edilmediğinden işletme sıklığı artar. Çok sayıda tren setinin bulunduğu ve yüksek işletme sıklığı ihtiyacı olan metro gibi demiryolu sistemlerinde kullanılması uygundur. Genelde 90 saniye ve daha az sefer aralıkları için ekonomik olan bir sinyal sistemidir [14]. Bazı raylı sistem hatlarında ise hem sabit blok hem de hareketli blok sinyalin beraber kullanıldığı görülmüştür. Bu durumda çoğunlukla hareketli blok sistem üzerinden işletme yapılırken sistemin arızası durumunda yedek olarak sabit blok önem kazanmaktadır. [15]. Bu tarz düşük mod mantığıyla çalışan yedek sistemlerde sabit blok için genellikle raylara monte edilmiş aks sayıcılar kullanılmaktadır. Hareketli blok yapısında trenle merkez sürekli haberleştiğinden dolayı sabit blok sistemlere oranla daha az hat boyu ekipmanı kullanılır. Bu sayede kurulum, işletme ve bakım maliyetleri azalır, daha az arıza noktası içeren bir sisteme sahip olunur.

Şekil 2.2’ de görüldüğü üzere bu yapıda hat coğrafi olarak bölünür, her bir bölge bir anklaşman (araç kontrol merkezi/bilgisayarı) tarafından yönetilir [16].



Şekil 2.2 Kadıköy-Kaynarca hattına ait anklaşman bölge sınırları

Her bir trende bulunan araç üstü ekipman sayesinde anklaşmanın verdiği komutlar uygulanır. Buna karşılık araç üstü sinyal ekipmanı trenin konumunu ve hızını hesaplayıp anklaşmana sürekli olarak bildirir. Anklaşman her trenden gelen hız ve konum bilgileri doğrultusunda güvenli tren ayrımı hesaplarını yapar ve her bir trene güvenli ayrım ile ilgili ivme/fren komutlarını gönderir. Tren ve anklaşman arası haberleşme için tünel boyunca haberleşme sistemi tesis edilir. Bu haberleşme kablo bazlı ya da kablosuz olabilir.

2.1 Geleneksel Sinyalizasyon Bileşenleri

Bir sinyal sistemi için 3 temel alt sistem tanımlanır.

2.1.1 Otomatik Tren Koruması (ATP)

Otomatik tren koruması (ATP) en genel anlamda trenlerin çarpışmasını engeller. Amaç emniyet olduğu için sinyal sisteminin en önemli bileşenidir. Tüm hayati bileşenler bu alt sistemin bir parçasıdır. Yüksek SIL seviyeleri çoğu zaman bu alt sistem için tanımlanır. Başlıca hedefler;

- Çakışan tren hareketleri nedeniyle oluşacak çarpışmaların önlenmesi,
- Trenlerin izin verilen yapı hızı sınırını veya komut verilen hızları aşması sonucunda tahsisli yola zarar verilmesinin önlenmesi,
- Araçtan hat boyuna haberleşme (iletişim) sistemi kullanılarak, sistemin tamamında trenlerin varlığının sürekli olarak tespit edilmesinin sağlanması,
- Gerekli minimum güvenli duruş mesafesi ile belirlenen güvenli tren ayrımının sağlanması,
- Bir tren, makasın üzerinden geçerken makasın hareket etmesini engellemek için ve makasın doğru konuma geçip kilitlendiği doğrulanmadıkça, trenlere bir makas bölgesine girme izni verilmesini önlemek için, makas anklaşmanının sağlanması,
- Birleşen ve ayrılan güzergâh kesimlerinde hizalama, güzergâh kilitlemesi ve tren seyrinin denetiminin sağlanması,
- Güvenli işletme ve yapı hızı sınırlarına göre trenlerin hızının sınırlanmasıdır.

2.1.2 Otomatik Tren İşletimi (ATO)

Otomatik tren işletimi (ATO) daha çok işletme rahatlığı ve konforu için trenlerin yönetildiği alt sistemdir. Başlıca hedefler;

- ATP işlevleri tarafından konulan sınırlar dahilinde tren hızının düzenlenmesinin sağlanması ve yolcu sürüş kalitesi kriterlerine göre tren hareketi sağlanması,
- Tren kapılarının açılması ve kapatılması dahil, programlanmış istasyonda duruş sağlanması,
- Araç üstü ve hat boyu görsel/sesli anonsun başlatılmasının sağlanmasıdır.

2.1.3 Otomatik Tren Denetimi (ATS)

Otomatik Tren Denetimi (ATS) bileşeni, temel anlamda sistemin yönetimi amacıyla insan-makine arayüzü sağlamak için tasarlanır. Kumanda merkezinde yer alan bu katmandaki dev ekranlar ve iş istasyonları vasıtasıyla en basit anlamda trenlerin denetimi için bir HMI oluşturulmuş olmaktadır. Başlıca hedefler;

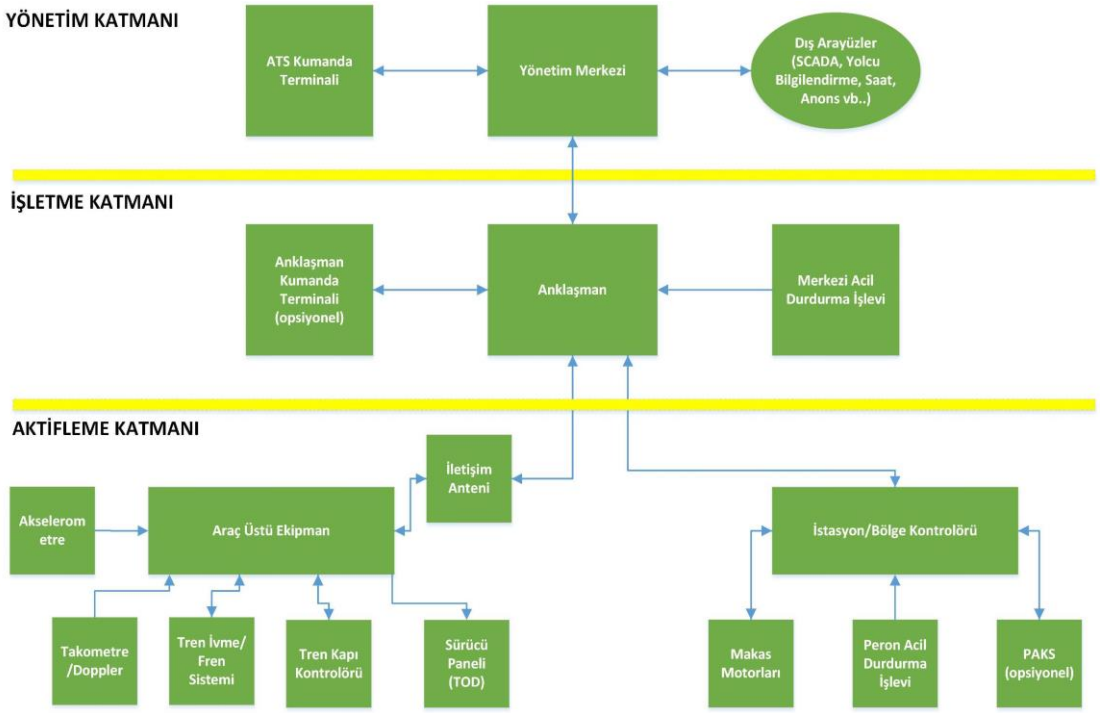
- Trenlerin yerinin ve iletişimdeki sinyal bileşenlerinin durumunun grafiksel olarak izlenmesi ve gösterilmesi,
- Önceden tanımlanmış tarifeleri devam ettirmek için trenlerin işletiminin ve seferlerin düzenlenmesi,
- Trenin hizmetinin başlatılması ve trenin hizmetten çıkarılması,
- Trenlerle ilgili genel işlevlerin (parklanma, yıkama, kuplaj vs.) grafik ekrandan yönetilmesi,
- Sistemdeki gecikmelere cevaben sistem işletme parametrelerinin değiştirilmesi,
- Kontrol Odası Operatörü komutlarına cevaben sistem işletme parametrelerinin değiştirilmesi,
- İstasyonda bekleme sürelerinin kontrolünün sağlanması,
- Yönetim raporları için veri toplanmasıdır.

Ayrıca Otomatik Tren Denetimi (ATS), sinyal sisteminin genel yönetim ve müdahale katmanıdır. Şekil 2.3'de belirtildiği üzere sinyal sistemi ile Merkezi Kontrol Operatörleri arasında arabirim işlevi görmekte ve gerekli ATS merkezi otomatik kontrol ve denetim fonksiyonlarını yerine getirmektedir.

Şekil 2.3 ATS grafik arayüz ekranları

2.2 Genel Sinyalizasyon Yapısı

Sistem fonksiyonel anlamda katmanlar ile ifade edilebilir. Bu katmanlar yönetim, işletim ve aktiflemedir. Her katman kendi içinde kollara ayrılır. Bu kollar birbirleriyle girişimli olabildiği gibi bağımsız da olabilir. Katmanlar Şekil 2.4 ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.4 Sistem katmanları

2.2.1 Yönetim Katmanı

Sinyal sisteminin genel yönetimi, Sistem Yönetim Merkezi (SMC) tarafından koordine edilir. SMC, sinyalizasyon kontrolü ve daha önce açıklanan ATS işlevlerinin tamamını yerine getirir ancak güvenlikle ilgili yapısal bir yükümlülük taşımaz. Çoğu demiryolu hattında ATS/SMC bileşeni için hayati yükümlülük getirilmez ve SIL seviyesi tanımlanmaz.

2.2.2 İşletme Katmanı (Araç Kontrol Merkezi –Anklaşman)

Anklaşman güvenli tren ayrımından birinci dereceden sorumludur ve sinyal sisteminin en kritik parçası olarak kabul edilir. Emniyet Bütünlüğü Seviyesi 4 (SIL 4) olan alt sistem, trenlerin emniyetli bir şekilde otomatik olarak ayrılmasından ve hareketli blok ortamında işletmenin emniyetli olmasından hayati bir biçimde sorumludur. Anklaşmanlarda tahsisli yolun tamamı için bir güvenli frenleme modeli oluşturulmuştur. Bu modelden, bir 'Güvenlik Mesafesi' belirlenir; Anklaşman trenler arasında bu güvenlik mesafesinin daima korunmasını sağlamaktadır. Bu güvenlik mesafesi, izleyen trenin komut verilen duruş noktası ile bir engel arasındaki sabit mesafe olup; bu engel, önceki trenin arkasının doğrulanmış konumu olabilir. Bu

mesafe, en kötü durum koşullarının arka arkaya ortaya çıkması halinde arızaya karşı korunmuş işletmenin hala devam ettirilebilmesine imkan sağlayacak şekilde seçilir. Tahsisli yolun farklı bölgeleri, tanımlı farklı güvenlik mesafelerine sahip olabilir; bunlar arasındaki etkileşim, "Çoklu Güvenlik Mesafesi" mantığı ile ele alınır.

Güvenli tren ayrımının hayati denetimi; araç üstü alt sistemine izin verilen maksimum tren hızı ve mevcut duruş noktasıyla ilgili bilgi verilerek gerçekleştirilir. Trene sürekli güncelleme sağlamak için bu iletişimler periyodik olarak güncellenir. Bu nedenle tren, aşağıdaki faktörlerle tanımlanan gabari içerisinde güvenle işleyebilir:

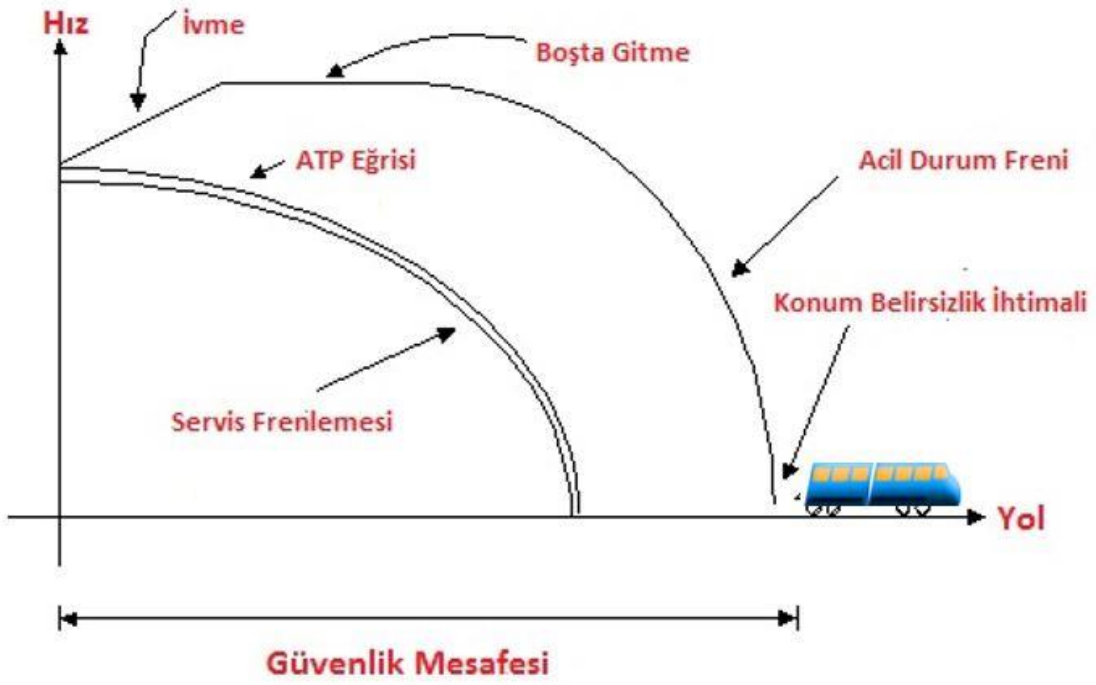
(a) maksimum hız,

(b) doğrulanan duruş noktası,

(c) frenleme eğrisi,

(d) hat eğimi.

Şekil 2.5 ile bu ayrımın nasıl sağlandığı açıklanmıştır.



Şekil 2.5 Güvenli frenleme modeli

Önceki trenin arkasından güvenli bir şekilde ayırma sağlanması; maksimum işletim hızlarına, frenleme eğrilerine ve trenlerin tahsisli yoldaki yerlerine dayanılarak hesaplanır. Yüksek çözümlemeli konum raporlaması ile tahsisli yolun o kesiminde izin

verilen maksimum hıza göre seyreden bir tren, kendinden önceki bir trenin arkasının doğrulanan son konumundan olan güvenli bir frenleme mesafesine emniyetli bir şekilde yaklaşabilir.

Sinyal sistemi altında çalışan bir trenin güvenlik mesafesi (SD) tren hatta ilerledikçe değişir. Servis freni değeri, izin verilen azami hız veya hat eğimindeki değişimler güvenlik mesafesi uzunluğunu değiştirecektir.

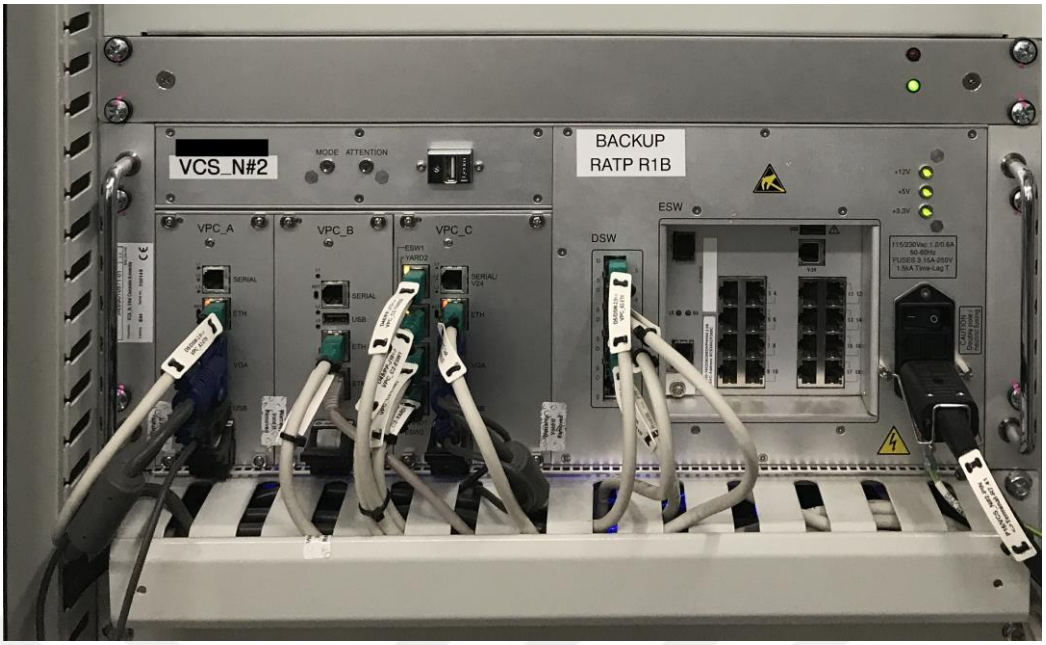
Hareket yetkisi, anklaşmanın araç üstü sinyal ekipmanına sürekli emniyetli durma pozisyonu (hedef noktası) iletmesinden ibarettir. İtme ve fren, hız ve fren oranlarının regülasyonu, istasyon duruşları ve trenin kapı açma-kapama işlevleri gibi komutları uygulamaktadır.

Çoğu firmanın sinyal sisteminde anklaşmana direkt bağlı bir iş istasyonu kurgulanmaktadır. Normal ATS grafiksel iş istasyonlarından farklı olarak anklaşman iş istasyonları hayati komutları yürütmek ve doğrulamak için kullanılmaktadır. Bu iş istasyonları grafiksel arayüz yerine daha sade ve komut satırı mantığıyla çalışan bir arayüze sahiptir.

2.2.2.1 Anklaşman İşlem Yapısı

Merkezi işlem, sistemin çalışmaya devam etmesi için anklaşman içindeki üç bilgisayardan ikisinin tam uyum içinde olması gereken, 2oo3 (3'te 2) adı verilen bir kontrollü yedekli yapılandırmada çalışan ve Şekil 2.6'da verilen üç merkez bilgisayarını (CPU) içerir. Üçüncü bilgisayar, bir bilgisayar arızası durumunda yedek görevi görür. Normal işletim sırasında, bilgisayarlar tam işlevsel kullanılabilirlik sağlamak amacıyla sürekli olarak görev değişimi yapar. Üç bilgisayar, aynı verileri aynı şekilde işler. Bunlar birbirleriyle bağlantılıdır ve bir ortak hata kontrol yöntemi olarak sürekli bilgi paylaşırlar.

Her işlem döngüsü verisi işlemciler arasında değişilerek ana işlemcinin bilgileri ile karşılaştırılabilir. Ana işlemcideki bilgi, diğer iki işlemcideki bilgiden farklı ise, ana işlemcinin veri tabanı diğer iki işlemcinin veri tabanı ile güncellenir. Bu işleme eşitleme denir ve arızalı bir işlemcinin iki sağlıklı işlemci ile senkronize edilebilmesine izin verdiğinden sistem için önemlidir. Bu işlem, sistem kullanıcısına görünmeyen bir arka plan görevidir.



Şekil 2.6 2oo3 işlem yapısı için işlemciler

2.2.3 Aktifleştirme Katmanı

2.2.3.1 İstasyon/Bölge Kontrolörü Alt Sistemi (STC, ZC)

Sinyalizasyon firmalarının isimlendirmesine bağlı olarak bu alt sistem istasyon ya da bölge kontrolörü olarak tanımlanır. STC, sinyal sistemindeki ATP ve ATO fonksiyonlarını tamamlamak için anklaşman ile birlikte çalışmaktadır. STC'nin yol boyu kontrol fonksiyonları, normal işletme sırasında anklaşmanın gönderdiği komut telegramı vasıtasıyla gerçekleşmektedir. STC kumandası altındaki bütün aygıtların durum bilgisi, STC cevap telegramı şeklinde anklaşmana geri gönderilmektedir.

Anklaşmandan veri olarak gönderilen makas hareket komutları, STC tarafından makas makinelerine gönderilecek sinyallere dönüştürülür. Makasların ve hatboyu ekipmanının durumu, STC'den tekrar anklaşmana gönderilir. Normal işletimde, tüm dahili kilitleme işlevleri anklaşman tarafından gerçekleştirilir.

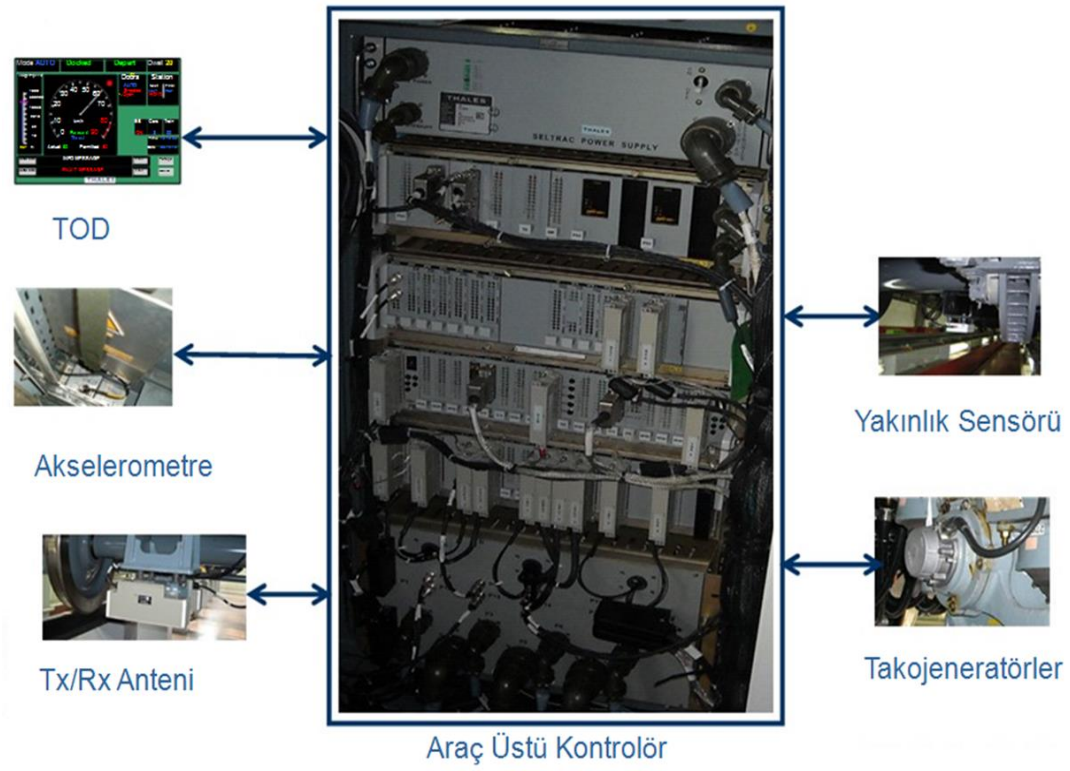
Yolcu platformlarında bulunan acil durdurma butonları aktif olduğunda durumu, bağlı olduğu STC tarafından anklaşmana bildirilmektedir. STC ilgili perondaki hattın kapatılmasını sağlamaktadır. Böylece ilgili platformda bulunan/yaklaşan trenlerin otomatik olarak hareket etmesi/perona girmesi engellenmektedir. Peronda hareket halindeki trenlerde ise acil fren uygulaması yapılarak trenin durması sağlanmaktadır.

2.2.3.2 Araç Üstü Kontrol Birimi

Araç üstü kontrol alt sistemi diğer hayati ekipmanlar gibi SIL4 emniyet seviyesine sahiptir ve trende Otomatik Tren İşletimi (ATO) ve trende Otomatik Tren Koruması (ATP) fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Ekipman sürekli olarak merkezi ATP fonksiyonlarından sorumlu anklaşman alt sistemiyle iletişim içindedir ve trendeki itme, fren ve kapılardan gerekli ATP kısıtlamaları altında öncelikli olarak sorumludur. Ekipman azami hız, hedef nokta, kapı kontrol ve frenleme oranı gibi anklaşman komutlarını yorumlayarak buna göre tren hareketlerini kontrol ve kumanda etmektedir. Trenin izin verildiği şekilde çalıştığından emin olmak için aşırı hız, hedef noktanın dışına çıkma ve kapı durum tespiti gibi durumlarda hayati denetimler yapmaktadır.

Hareketli blok ilkelerine göre çalışan sinyal sistemlerinde tren ve merkez sürekli haberleşmelidir.

Hareketli blok yapısında araç üstü kontrolör ve tren üzerindeki ekipmanlarla olan bağlantılar Şekil 2.7 ile verilmiştir.

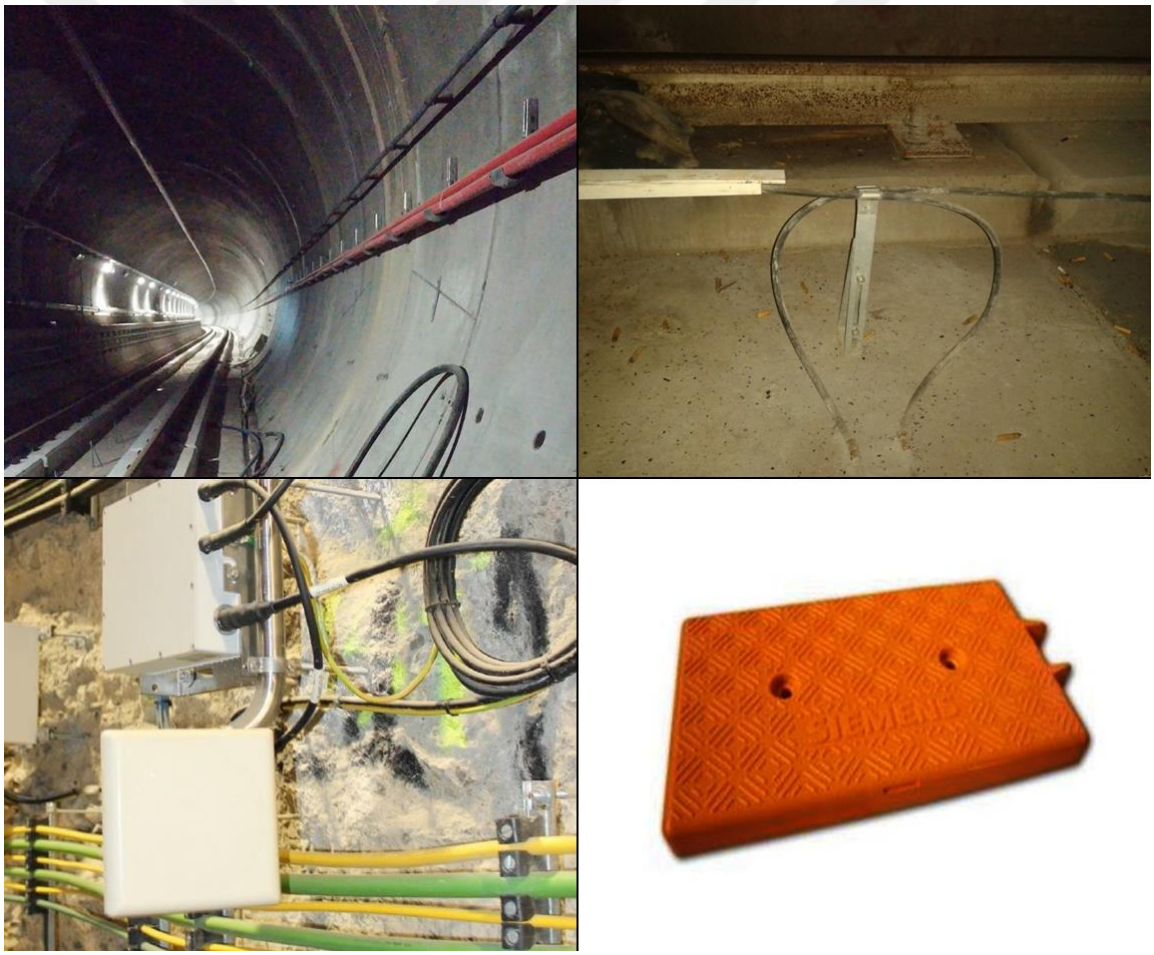


Şekil 2.7 Tipik bir hareketli blok sinyal sisteminde araç üstü ekipmanları

2.2.3.3 Hatboyu Ekipmanları

Araç üstü sinyal ekipmanı anteni ile anklaşman arasında köprü görevi görür ve bilgi alışverişinin ana damarıdır. Kullanılan mimariye göre Şekil 2.8 ile gösterildiği üzere kablosuz, balis, sızıntılı kablo, RF ID ya da indüktif döngü tabanlı olabilir.

Temel hedef, hat boyunca ve hassas konum bilgisi gerektiren (peron için yanaşma ve makas geçişi vb.) bölgelerde araç üstü ekipmana ilave konum bilgisi temin etmektir. Kullanılan mimariye göre aktif ya da pasif cihazlar tercih edilir. Geçişler arasında bulunan ara konumlar, aracın akslarına takılmış takometreler tarafından belirlenir. Bu takometre ve döngü/balis geçişleri bileşimiyle, trenin konumu belirlenir.



Şekil 2.8 Hat boyu haberleşmesi için çeşitli yöntemler

2.3 Kumanda Merkezi

Kumanda merkezi sinyal sistemiyle beraber raylı sistem hattının tüm izleme, kontrol ve yönetim fonksiyonlarının gerçekleştirildiği yerdir. Kumanda merkezi bir metro hattı işletmesi için hayati öneme sahiptir. Sinyal sistemi için daha önce açıklanan ATS/SMC fonksiyonları çeşitli iş istasyonları ve video duvarı ekipmanlarıyla yerine getirilir.

Şekil 2.9 Kadıköy-Kaynarca metro hattı kumanda merkezi genel bir görünüm

BÖLÜM 3

RAYLI SİSTEM OTOMASYON SEVİYELERİ

Raylı sistemlerde otomasyon seviyesi en basit anlamda insan faktörünün tren kontrolündeki etkisiyle ölçülür. İnsan faktörü her zaman risk taşımaktadır. Tarihte bu riskin görülüp çalışma yapılması çok eskilere dayanır. Bu anlamda otomatik sürüşü baz alan ilk ATO çalışmaları 1960 yıllarda görülmüştür. ATO fonksiyonu sinyalizasyon ve raylı sistemlerde otomasyon anlamında bir devrimdir. ATP güvenlikle ile ilgili işlevlere sahipken ATO tren işletimini dolayısıyla yolcu konforunu da ilgilendirmektedir.

3.1 GOA Tanımlaması

IEC 62290 standardı raylı sistem otomasyon seviyelerini tanımlamıştır [17]. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere GoA (Grade of Automation) olarak kısaltılan bu tabir 4 seviyede ölçülmektedir.

Şekil 3. 1 Otomasyon seviyeleri

Tablodan anlaşıldığı üzere GoA1, GoA2, GoA3 ve GoA4 işletim seviyeleri insan faktörünün tren kontrolüne etkisini yansıtmaktadır. Tablodaki fonksiyonel sınıflandırmada yer alamayan sistemler ise genel anlamda GoA0 olarak tanımlanır. Bu seviyede herhangi bir otomasyon görülmez [18].

GoA1 seviyede tren kapılarını açıp kapatma, treni istasyondan kaldırma, limit hız altında treni sürme (hızlanma/yavaşlama) tamamen makinist kontrolü altındadır. Bu seviyeye örnek olarak İstanbul metrolarından M1 Yenikapı-Havalimanı/Kirazlı metrosu verilebilir.

GoA2 seviyede insan faktörü azalmıştır. Bu seviyede makinist sadece tren kapılarından ve trenin perondan güvenli bir şekilde ayrılmasından sorumludur. Bunun haricinde trenin sürülmesi ve perona yanaşması otomatik olarak yerine getirilir. GoA2 birçok kaynakta STO (Semi automatic Train Operation) yani yarı otomatik tren işletimi olarak geçmektedir. Bu seviyeye örnek olarak M2 Yenikapı-Hacıosman, M3 Kirazlı-Başakşehir, M4 Kadıköy-Kaynarca (tercihen) ve M6 Levent-Hisarüstü metroları verilebilir.

GoA3 seviyede makinist yer almamaktadır. Bunun yerine tren işletimi ile ilgili tüm sorumluluk sinyal sistemi uhdesinde olup tren kapılarının kapanması ve trenin perondan güvenle ayrılması bir tren personeli tarafından gerçekleştirilmektedir. GoA3

seviye tam otomatik sürücüsüz aşamanın bir öncesidir. M4 Kadıköy-Kaynarca hattı bu seviyede işletim için alınacak birkaç önlemle uygun altyapıya sahiptir.

GoA4 (sürücüsüz) seviye ise tüm tren işletiminin, tren kapılarının kapanmasının ve trenin perondan ayrılmasının otomatik ve sürücüsüz olarak gerçekleştirildiği otomasyon seviyesidir. Türkiyenin ilk sürücüsüz metroları M5 Üsküdar-Çekmeköy, M7 Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey, M8 Dudullu-Bostancı metro hatlarının ise yapım çalışmaları devam etmektedir. Hatların yeni planlanan uzatmalarının da aynı otomasyon seviyesinde olması öngörülmektedir.

Otomasyon seviyeleri aşağıda yer alan başlıklarda daha detaylı ele alınacaktır.

3.1.1 GoA1 Seviye İşletme

Bu seviye işletme Bölüm 2'de tanımlanan temel sinyalizasyon bileşenlerinden sadece ATP'yi içerir. Bu seviye işletmede temel amaç çarpışmaları engellemektir. Genellikle düşük işletme sıklığına sahip hatlarda tercih edilen GoA1 seviyesi gelişmiş bir ATO ya da ATS işlevine ihtiyaç duymaz. Genellikle sabit blok sinyal sistemine sahip olan hatlarda tesis edilen GoA1 seviyede bir maksimum limit hız makiniste iletilir. Makinist bu limit hız altında trende tüm kontrole sahiptir. Otomatik sürüş fonksiyonu bulunmadığından enerji tasarrufu/optimizasyonu yapılamaz. Boşta gitme noktaları tanımlansa dahi makinist tercihleri geçerlidir.

Bu seviye işletmede kabindeki makiniste iletilen kabin sinyalleri ile sürücü, trenlerin istasyon peronlarından tarifeden önce ayrılmamasını sağlamak için istasyon bekleme süresinin doluşunu işaret eden, ayrıca sürüş esnasında hızı arttırması veya düşürmesi için görsel ve işitsel göstergeler ile uyarılır. Limit hız aşılırsa sürücü önce sesli ve görsel olarak uyarılır aşım devam ederse sinyal sistemi trene acil durum freni uygular.

3.1.2 GoA2 Seviye İşletme

GoA2 seviye işletme sürücü bazlı olmasına rağmen insan etkisinin ciddi oranda azaltıldığı bir konsepttir. Tarihte ilk olarak 1968 yılında Londra-Victoria metrosunda uygulanmıştır [15]. GoA2 seviye işletme sinyalizasyon yapısı olarak sabit blok ya da hareketli blok olabilir. Eski sürücülü metro hatları genellikle sabit blok bir yapıya sahipken yeni yapılan sürücülü metro hatları yüksek işletme sıklığına sahip çok araçlı ve

yoğun yolcu yükü taşıyan hareketli blok sistemlerdir. Goa2 sürücülü metro hatları Bölüm 2'de tanımlanan temel sinyalizasyon bileşenleri ATP, ATO ve ATS'yi içerir. Sürücülü metro hatlarında her ne kadar ATO otomatik sürüş fonksiyonu uygulansa da bir makinistin varlığı nedeniyle güvenlikle ilgili bazı işlevler makinistin sorumluluğundadır. Örneğin bu seviyedeki metro hatlarında çoğunlukla peron ayırıcı kapı sistemi (PAKS) tesis edilmez bu durumda peron hizasında hat, ihlallere ve kazalara açık kalır. Böyle bir durumda güvenlik çoğunlukla makinistin refleksine kalmıştır. Herhangi bir kaza ya da intihar olayında makinistin tren kabinindeki "Acil Durdurma Butonu" vasıtasıyla treni durdurması bu sayede olası bir can ve mal kaybını engellemesi beklenir.

Bunun yanı sıra Goa2 seviye işletmede peronlarda da acil durdurma butonları tesis edilir. Bu sayede herhangi bir kaza ya da ihlal durumunda diğer yolcuların durumu fark edip butona basmaları beklenir. Bu buton direkt olarak sinyalizasyon sistemine bağlı olup hatada emniyetli olarak çalışır. Yani sistem dâhilindeki herhangi bir kablo koparsa veya buton kontakları takılı kalsa ve bu doğrultuda butona basılmasa bile perona giriş yapmak üzere olan trenler otomatik ve hızlı bir şekilde durdurulur. Aynı şekilde hali hazırda peronda bekleyen trenlerin ise kalkışına izin verilmez.

Tüm bu işlemlerin kombinasyonu sonucu peronda olabilecek herhangi bir ihlal ya da kazayla ray hattına düşme durumunda peronda ve tren üzerinde güvenlik önlemleri alınmıştır.

GoA2 seviye işletmede sinyalizasyon harici acil durum senaryoları (yangın ve tahliye) sürücülü konsepte uygun kurgulanır. Bu seviye işletmede istasyon acil durum senaryoları NFPA direktifleri doğrultusunda standart prosedürde işletilir. Tünel acil durum senaryoları ise genel anlamda makinistin etkin rol aldığı şekilde düzenlenir. Bu varsayıma göre tünelin ayrı ayrı hat kesimleri için senaryolar hazırlanır ve makinistin tünelde kalan treni en kötü durumda tahliye edip yolculara kılavuzluk yapıp ve telsiz aracılığıyla kumanda merkeziyle haberleşmesi beklenir. Makinistin alacağı aksiyon ve inisiyatife göre istasyon olay yerine yakın ise direkt tahliye yapılır veya kurtarma aracı beklenebilir. Genel anlamda tünelde tahliye düşünülmez fakat acil durumlarda geçerli işleyiş bu şekildedir.

3.1.3 GoA3 Seviye İşletme

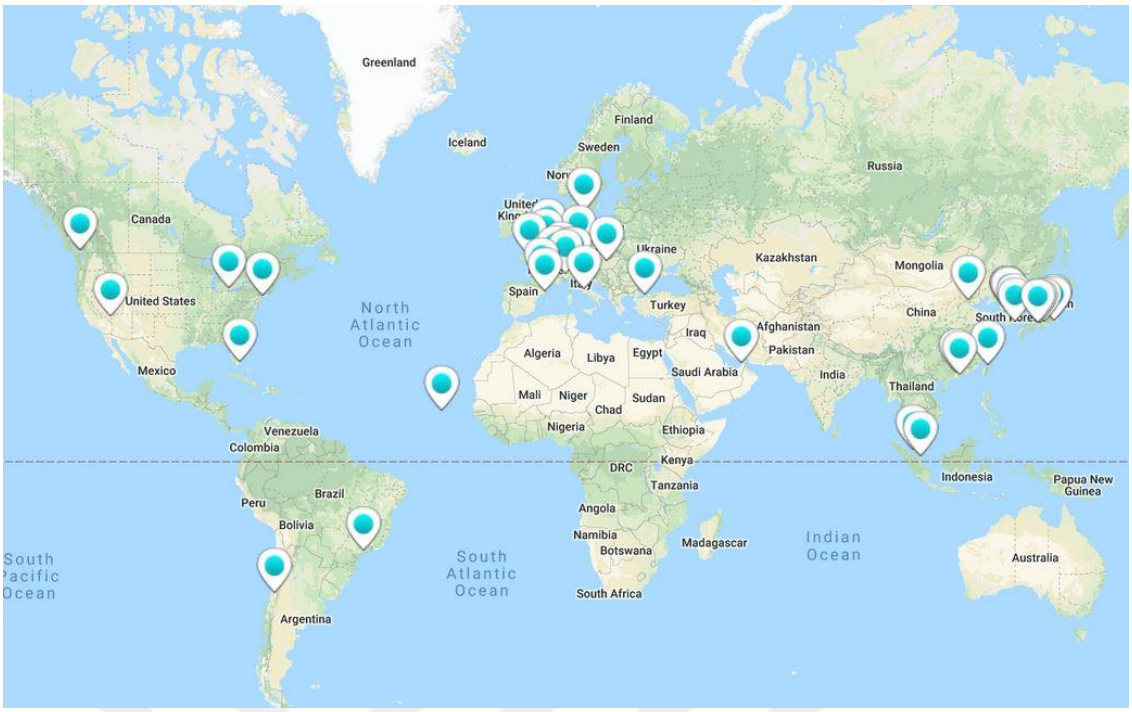
GoA3 seviyesinde işletme GoA2 ve GoA4 arası bir geçiş evresi olarak tanımlanabilir. Dünya çapında pek rağbet görmeyen bu işletme tarzının şu an sadece bir metro hattında (Londra/Dockland-1987) kullanıldığı bilinmektedir. Dünyada genel eğilim GoA4 sürücüsüz metro üzerine olup GoA3 işletmenin yaygınlaşması beklenmemektedir.

GoA3 işletmenin GoA2 işletmeden farkı trende bir sürücü kabininin olmaması ve makinistin ise yerini bir tren görevlisine bırakmış olmasıdır.

3.1.4 GoA4 Seviye İşletme

Literatürde tam otomatik, sürücüsüz, denetimsiz (UTO – Unattendad Train Operation) gibi isimlendirmelere sahip GoA4 seviye işletme raylı sistemde otomasyonun geldiği son noktadır. Tarihte ilk olarak 1981 yılında Kobe metrosunda uygulanmıştır. Bu metro lastik tekerlekli olup demir bogi olarak ise ilk uygulama 1985 yılında Vancouver'da görülmektedir [18]. Şu anda hızla yayılmaya devam eden GoA4 seviye işletme için 2025 yılı toplam hat uzunluğu öngörüsü 1800 km'dir [19].

Dünyadaki tüm metroların kilometre bazında uzunluk olarak %6 oranında sürücüsüz işletme yapılmaktadır [20]. Aşağıdaki Şekil 3.2'de görüldüğü üzere sürücüsüz metrolar çoğunlukla uzak doğu ülkelerinde ve Avrupa kıtasında tesis edilmiştir [21].



Şekil 3.2 Dünya çapında sürücüsüz metro hatları

Sürücüsüz metrolar tıpkı diğer seviye metrolar gibi sabit blok veya hareketli blok sinyalizasyon sistemine sahip olabilir. Sabit blok türe örnek Kopenhag metrosu hareketli blok örneği olarak da Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosu verilebilir.

Sürücüsüz metro, tren işletimiyle ilgili tüm fonksiyonların insan etkisinden çıkarılıp otomatik bir şekilde gerçekleştirildiği işletme konseptidir. İvmelenme, frenleme, boşta gitme, parklanma, tren kapılarının açılıp kapanması, trenin perondan ayrılması/perona yanaşması vb. işlevler sürücüsüz uygulanır.

Sinyalizasyon harici acil durum senaryoları (yangın ve tahliye) sürücüsüz konsepte uygun kurgulanır. Bu seviye işletmede istasyon acil durum senaryoları NFPA direktifleri doğrultusunda standart prosedürde işletilir. Tünel acil durum senaryoları ise genel anlamda başka bir kurtarma aracının ilgili mahale ulaşması üzerine düzenlenir. Bu senaryoya göre öncelikle tren-kumanda merkezi haberleşmesi sayesinde araç içine anons ve yazılı bilgilendirme yapılır. Yolcuların paniğe kapılması önlenir. Daha sonra içinde görevli olan bir kurtarma aracı gelip arızalı treni kuplaj yaparak kurtarır. Eğer tren raydan çıkmış ise veya başka bir nedenden dolayı hareket ettirilemiyorsa yolcular kurtarma aracına aktarılır ve en yakın istasyona hareket edilir. Olayın gerçekleştiği mahale göre eğer istasyona yakın bir konumda arıza gerçekleştiyse direkt olarak araç

içine yapılacak anons ile yolcuların treni terk etmeleri sağlanabilir. Genel anlamda tünelde tahliye düşünülmez fakat acil durumlarda geçerli prosedür bu şekildedir.

İlk bakışta sürücüsüz metroların gelişen teknolojinin doğal bir sonucu olduğu görülse de temel anlamda bazı gereksinimler sonucu ortaya çıktığı söylenebilir. Artan düşük sefer aralığı ihtiyacı, insan hatasının etkisinin azaltılması, inşai kazanımlar, zaman ve enerji tasarrufu vb. diğer hususlar sürücüsüz metroyu bir adım öne çıkarmaktadır. Temel anlamda avantajları sıralayacak olursak;

İnsanlara güncel teknolojinin takip edildiği izlenimi verilecektir.

Daha düşük sefer aralığı; Hat sonu dönüşlerin otomatik (kabin değişimi olmadan) ve hızlı olması bunun yanı sıra istasyon bekleme sürelerinin kısa olması nedeniyle ile daha düşük bir sefer aralığı ve daha yüksek bir yolcu kapasitesi elde edilir. Tecrübeler ışığında sefer aralığının 75 saniyeye kadar düşürülebildiği görülmüştür [15]. Yüksek işletme sıklığı ile peronlarda yolcuların yığılması engellenmiş olur. Yolcuların peronda birikmesi PAKS tesis edilmeyen hatlarda ray hattına düşme gibi kazalara yol açmakta ve can kaybına neden olabilmektedir.

Yüksek işletme hızı; Sürücülü sistemlerde uç istasyonda kabin değişimi işlemi ve sürücüye bağlı diğer işlemler zaman kaybına neden olmaktadır. Ayrıca GoA4 işletme sayesinde sefer aralığı düşeceğinden; örneğin 8 vagonlu işletme yerine 4 veya 6 vagonlu işletme yaparak, personel maliyetinde artış olmadan daha düşük sefer aralığı ile aynı taşıma kapasitesinde işletme yapılabilmektedir.

Personel tasarrufu; GoA4 seviye işletmede bir makiniste ihtiyaç yoktur. Örnek vermek gerekirse; makinist maliyeti aylık yaklaşık olarak 2.000 € varsayımıyla, 20 tren için 70 makinist gereklidir. (vardiya değişimleri dahil) ve bu bağlamda 70 x 2.000€ x 12 ay x 30 yıl (işletme ömrü) = 50.000.000 € tasarruf edilebilir.

Esnek işletme; GoA4 seviye işletme ile gerek işletme esnasında daha hızlı filo azaltımı / artırımı gerekse işletme dışı saatlerde depolama ya da bakım faaliyetleri için tren hareketlerinin en kısa sürede, gereken yere sürücüsüz ve kontrol merkezinden verilen komutlarla esnek ve hızlı bir şekilde yapılabilmekte ve istenildiğinde rahatça gece seferleri uzatılabilmektedir. Ayrıca ani ve beklenmeyen ulaşım talebi değişimlerini karşılamak üzere metro işletmecileri, personel maliyetini arttırmaksızın sık sık ve

kolayca hizmet sıklığını değiştirebilmektedir. Örnek vermek gerekirse bir spor karşılaşması ya da bir etkinlik sonucu tahmin edilemeyen yoğunlukta yolculuk talepleri görülebilmektedir.

İnsan faktörünün devre dışı bırakılması; Tren sürücülerinden kaynaklanabilecek grev ve lokavt gibi problemler ortadan kalkacaktır.

Daha az insan hatası (işletme güvenliği); Sürücüsüz sistemler konvansiyonel sürücülü metrolara göre daha emniyetlidir. Demiryolu kazalarının birçoğu insan hatasından kaynaklanmaktadır. Sürücüsüz metrolarda son 30 yılda sadece 1 kere kaza yaşandığı raporlarda belirtilmiştir [22].

Daha güvenilir; Sürücüsüz hatlarda operasyonun kritikliğine binaen araç üstü sistemler ile hat boyu haberleşme ve sinyalizasyon sistemlerinin yedekliliğinin daha fazla olması sebebiyle servise etki eden arıza olasılığı düşer ve daha yüksek MTBF elde edilir.

Daha çok yolcu kapasitesi; Araçlarda sürücü için kabin bulunmadığından toplam yolcu kapasitesi daha fazladır ayrıca kabin için ayrılan kesimin kısaltılarak tren boyunun kısaltılması mümkündür.

Tek tip personel rejimi; Makinistlerin devreden çıkarılmasıyla tüm araçlardan ve istasyonlardan sorumlu, aynı eğitimi almış, tek tip, çok fonksiyonlu ve esnek görev tanımlı personeller ortaya çıkacaktır. Yurtdışı örneklerde bu tip çalışanlara MST - Multi-Skill Technicians /Çok Yönlü Eleman adı verildiği görülmüştür. Makinist kabininde yolcudan izole olan makinistler yerine araçta veya istasyonda yolcuyla iç içe olan personeller hem yolcular hem de işletme sürekliliği için daha faydalı olacaktır [19].

İnşai kazanımlar; Düşen sefer aralığı sayesinde daha az vagonlu yani daha kısa trenlerle aynı yolcu taşıma kapasitesine ulaşılabilir. Bu sayede platform boyu kısalacaktır. Platform boyunun kısalmasının inşai maliyet anlamda faydasının olmasının yanı sıra işletme kolaylığı, yolcu yönlendirmesi, elektromekanik ekipmanların azalması (aydınlatma ve havalandırma vb.) gibi faydaları da olacaktır.

Enerji kazanımları; GoA1 seviyeye kıyasla ATO fonksiyonu ile sürüş için en optimum frenleme/ivmelenme gerçekleştirilir. Hızlanma ve frenlemenin makinist sorumluluğunda olması enerji israfına yol açabilir. Ayrıca bazı sinyal firmaları tarafından otomatik boşta gitme noktaları tanımlanarak bir “ekonomik sürüş modu” işlevinin

sağlandığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra son günlerde popüler olan rejeneratif enerji kazanımı sayesinde frenleme ile geri kazanılan enerjinin katener hattına basılarak yakında bulunan tren tarafından alınması sağlanabilir. GoA4 işletmeyle düşen sefer aralığı sayesinde trenler birbirine daha çok yaklaşacaktır. Bu sayede birbirine yakın trenler arasında bir nevi enerji alışverişi gerçekleşmiş olur. Yapılan araştırmalara göre düşük sefer aralığında trenler arası enerji takası verimlidir [23].

Daha yüksek elverişlilik; İstatistiklerden anlaşıldığı üzere sürücüsüz metrolar diğerlerine göre daha yüksek bir emre amadeliğe sahiptir ve sürücüsüz metrolarda daha az sefer kaybı yaşanmaktadır [20].

3.2 GoA4'e Daha Yakın Bir Bakış

IEC 62290 standardında belirtildiği üzere böylesine bir otomatik işletim için ek güvenlik önlemleri alınmalıdır. Öncelikle trenin ve sinyalizasyon sisteminin sürücüsüz işletmeyi desteklemesi gerekmektedir. Buna ilaveten tren üzerinde birtakım tespit sistemleri bulunmalıdır. Temel olarak tren üzerinde ;

Ray üzeri engel algılama,

Raydan çıkma algılama,

Yangın algılama,

Kamera, telefon (bas-konuş), telsiz, haberleşme sistemlerinin tesis edilmesi gerekir.

Ray üzeri engel algılama işlevi tünelde ray hattında olabilecek herhangi bir yabancı cisim ile çarpışmadan önce algılama yapıp trenin acil durum freni uygulamasını sağlamaktadır.

Raydan çıkma algılama işlevi trenin herhangi bir sebepten dolayı ray hattından ayrılıp tünel eksenine doğru kayması durumunda trenin acil durum freni uygulamasını sağlamaktadır.

Yangın algılama işlevi araç içinde olabilecek herhangi bir aşırı ısı ya da duman tespitinde kumanda merkezini uyararak gerekli işletim senaryolarının otomatik veya elle başlatılmasını sağlamaktadır. Yangın algılama sistemi sadece yolculu alanlarda

değil aracın altında, üstünde veya içinde bulunan teknik hacimlerde, motor bloğunda vb. alanlarda da tesis edilmektedir.

Kamera, telefon (bas-konuş), telsiz vb. haberleşme sistemleri ise daha çok yolcuların konfor ve güvenliği için tesis edilir. Tam sürücülü işletmelerde tren içindeki yolcu konfor ve güvenliği makinist uhdesindedir. Sürücüsüz işletmede ise tren içinde herhangi bir personel mevcut olmadığı için tren üzerindeki bilgilerin kontrol merkezine taşınması gerekmektedir. Tren üzerindeki kamera, anons, telefon (bas-konuş), yangın algılama vs. sistemlerine ait verilerin kontrol merkezine taşınması için hem tren üzerinde hem de hat boyunda uygun iletişim sistemi tasarlanmalı ve kontrol merkezinde bu bilgilerin değerlendirilmesi için iş istasyonları kurulmalıdır. Bu iletim vasıtasıyla tren içine anons yapılabilir ya da yolcu bilgilendirme ekranlarından mesajlar yayınlanabilir. Trende bir makinist mevcut olmadığından bu sayede yolcular kendini daha güvende hisseder. Kamera görüntüleri ise kumanda merkezinde özel yazılımlar yardımıyla analiz edilerek şüpheli olay/adam tanımlaması yapılabilir. Bu sayede yasadışı olaylar gerçekleşmeden erkenden müdahale edilebilir. Ayrıca çift yönlü telefon haberleşmesi sayesinde yolcular ve kumanda merkezi arasında sürekli, kesintisiz haberleşme sağlanmış olur.

Sürücüsüz sistemlerde işletmenin kesintiye uğramaması esastır. Bu nedenle sürücüsüz sistemlerin emre amadeliğini ve güvenilirliğini artırmak için bazı önlemler almak gerekir. Bu bağlamda sistem için kritik ekipmanlar yedekli tesis edilir. Örneğin araç üzeri yedek sinyal kontrolörü sayesinde arıza durumunda tren durdurulmadan, anında diğer yedek sisteme geçiş yapılabilir. Çoğu zaman bu geçiş yolculara olumsuz bir durum hissettirilmeden gerçekleştirilebilir.

Yedeklilik yaklaşımı pek tabi ki maliyet artışına sebep olur. Ayrıca daha fazla donanım daha fazla bakım ve arıza ihtimali demektir. Tüm bu koşullar göz ardı edilmemeli ve avantajları/dezavantajları birlikte değerlendirilerek analiz yapılmalıdır. Bazı metro hatları için yapılan fizibilite çalışmaları doğrultusunda sürücülü metronun daha uygun bir çözüm olduğu görülürken bazı metro hatları için gereksinimler ışığında sürücüsüz metronun bir adım öne çıktığını görebiliriz.

3.3 Peron İhlalleri

Peron ihlalleri sürücüsüz hatlar için bir numaralı problemdir. Direkt olarak can güvenliği ile ilgili olan bu konu için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Tren hattına izinsiz girişlerin engellenmesi için bir seçenek Platform Ayırıcı Kapı Sistemi (PAKS) tesis etmektir. Bu izinsiz girişler kaza, intihar veya dikkat çekmek amaçlı girişler olabilir. Genel olarak sürücüsüz metro hatlarında bir hat ihlalini tam olarak engellediği için PAKS tercih edilmektedir. Peron ayırıcı kapılarının ilk kurulum maliyetleri yüksektir ayrıca sisteminin bir diğer dezavantajı metro hattının genel elverişliliği üzerinde olumsuz etki oluşturma olasılığıdır. PAKS tren kapıları ile eş zamanlı açılabilmek için sinyal sistemi ile arayüz kurar. Bu arayüzde veya PAKS'ın kendi içinde olabilecek herhangi bir problem sefer kayıplarına ya da gecikmelere direkt olarak sebep olacaktır. Kapıların olması gerekenden geç açılması/kapanması programlanan metro sefer zaman çizelgesinin dışına çıkılmasına sebep olabilir. Ayrıca PAKS sistemi esnek değildir. Peronda belirlenen duruş noktaları değiştirilemez. Bu da değişik tren setleri ya da farklı uzunluktaki trenler için bir engel oluşturur. Karma işletme uygulanan ya da uygulanabilecek hatlarda PAKS iyi kurgulanmalıdır. İnşai olarak PAKS'ın sabit olduğu ve kolayca değiştirilemeyeceği unutulmamalıdır.

PAKS, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 ile görüleceği üzere temel olarak yarım boy ve tam boy olmak üzere iki çeşittir. Tam boy PAKS peron havalandırma uygulamalarında faydalıdır. Demiryolundan piston etkisiyle gelebilecek demir tozundan yolcuları koruduğu için ayrıca bir temiz hava basma sistemine gerek kalmaz.

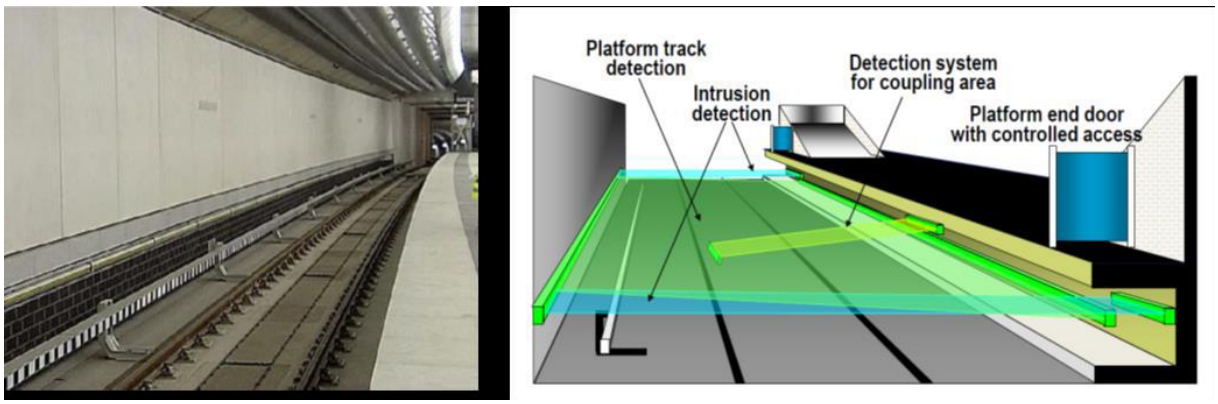
Şekil 3.3 Kopenhag metrosu tam boy PAKS

Şekil 3.4 ÜÜÇ metrosu yarım boy PAKS

Bazı metro hatlarında PAKS'a alternatif olarak ray hattı ihlal algılama sistemi tesis edilmektedir. Bu ihlal sistemleri peron altına konulan iki boyutlu alan taraması

yapabilen radar sistemleri olabileceği gibi peron kenarına tesis edilen ışın demeti şeklinde çalışan lazer ya da kızılötesi dedektör tabanlı da olabilir. Türkiye'de henüz bu tarz bir sistem kurulmamış olup yurtdışında bu sistemlere örnekler bulunabilir. Hat ihlal algılama sistemleri peron ayırıcı kapı sistemlerine (PAKS) nazaran oldukça ucuzdur. Olabilecek herhangi bir ihlali veya kazayı engelleyemezler sadece algılayıp uygun aksiyon alınmasını sağlarlar. Bunların yanı sıra yurtdışı örnekler incelendiğinde bu aksiyonların; sinyal sistemi arayüzüyle trenleri otomatik bir şekilde durdurma, anons sistemi arayüzüyle anons yapma, kamera sistemi arayüzüyle olayın gerçekleştiği alanın kameralarını otomatik aktifleştirme, iş istasyonunda operatörü uyarma gibi fonksiyonlar olduğu görülmüştür.

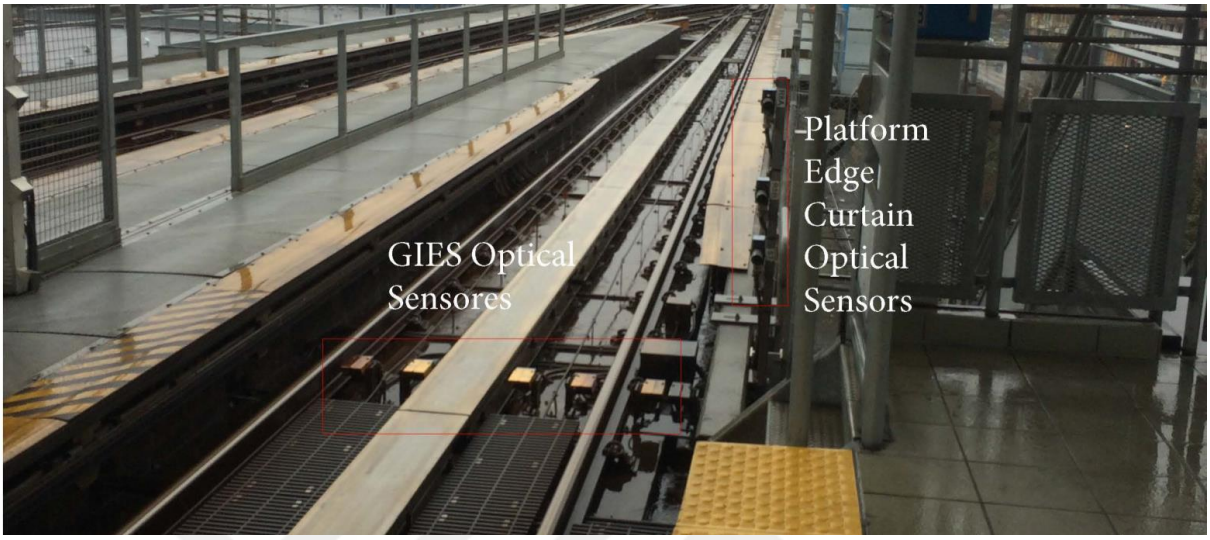
Nurnberg metrosu GoA4 seviyede metro işletimi yapmaktadır. Şekil 3.5 [24] ile görüldüğü üzere PAKS yerine alan taramalı hat ihlal algılama sistemi tesis edilmiştir. Bu sistemlerde ek olarak ray hattına basınç sensörleri de yerleştirilir. Bu sayede gerçek bir alarm durumu oluşturmaya değmeyecek vakalar elenmiş olur. Ayrıca tren hareketinin yorumlanması da bu durumda önem kazanmaktadır. Trenlerin varlığı bir hat ihlali olarak yorumlanmamalı bu iş için ya ek sensörler tesis edilmeli ya da sinyal sistemi arayüzünden "tren perona yanaştı-tren perondan çıktı" bilgisinin alınması gerekmektedir. Kuala Lumpur gibi şehirlerde sadece basınç sensörleri ile de bir hat ihlal sistemi kurulduğu görülmüştür.



Şekil 3.5 Nurnberg metrosu hat ihlal algılama sistemi [24]

"Vancouver- skytrain" hattında Şekil 3.6 [24] ile gösterildiği üzere alan tarama yerine çizgisel olarak platform kenarında ve ray hattında hat ihlal algılama sistemi kurulmuştur. Bu sistemin çalışma mantığı alan taramadan oldukça farklıdır. Eğer hem platform kenarından hem de ray hattından alarm gelirse bu bir ihlal olarak yorumlanır.

Sadece ray hattından gelen bir alarmın “ihlal” olarak yorumlanabilmesi için alarmın en az 10 saniye sürekli olarak gelmesi gerekmektedir. Bu sayede kuş ve diğer yalancı alarm oluşturan dış etkenlere karşı olabildiğince korunmaya çalışılmıştır. Bu metro hattında hat ihlal sistemi direkt olarak sinyal sistemi ile arayüze sahiptir.

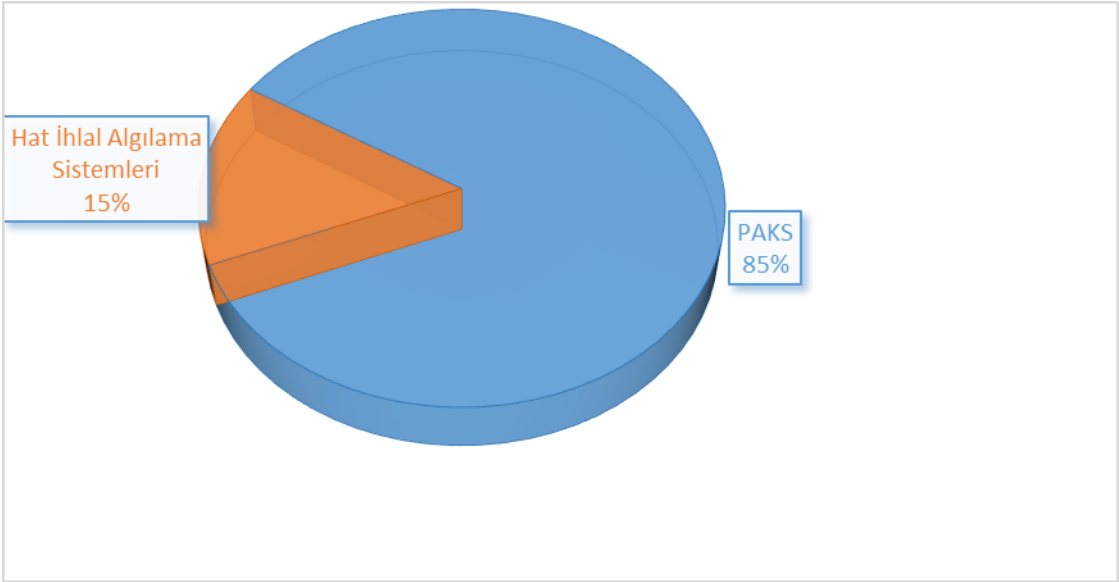


Şekil 3.6 Vancouver metrosu hat ihlal algılama sistemi [24]

Bu çözümlerin yanı sıra video analiz yöntemiyle de ihlal sistemi uygulanabilir. Peronda hali hazırda kurulmuş CCTV sistemi bu iş için kullanılabilir veya yeni bir kamera sistemi kurulabilir. Mevcut kamera sisteminin bu iş için kullanılması bazı ek özel görüntü analizi yazılımları gerektirir ve bu yolla tam başarı sağlanamayabilir.

Genel olarak dezavantajları eleyebilmek için hat ihlal algılama sistemlerinde çok katmanlı bir yapı düşünülmelidir. Bazı tramvay hatlarında ise algılama işlemi sadece araç üzerinde yapılmaktadır. Bu yapıda peronda herhangi bir işlem yapılmaz. İhlal sistemi tasarımında hattın karakteristiğine, türüne, yolcu yüküne, yeraltı veya yerüstü olmasına bağlı olarak karar verilmelidir.

Hat ihlal sistemleri sadece sürücüsüz metrolara değil sürücülü (GoA2) metro hatlarına da uygulanabilir. Dünya çapında makiniste destek olmak amacıyla hat ihlal sisteminin uygulandığı hatlar da görülmüştür. Londra ve New York metrolarının GoA2 seviyesinde işletilen hatlarında bu sistem göze çarpmaktadır. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere genel olarak sürücüsüz metrolarda PAKS %85 gibi büyük bir oranda tercih edilmektedir [20].



Şekil 3.7 PAKS ve hat ihlal algılama uygulanma yüzdeleri

3.4 Otomasyon Seviyesi Artırımı

Gelişen teknoloji ile raylı sistemlerdeki otomasyon seviyesinin artması kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Yeni yapılan metro hatları güncel mevzuata ve teknolojiye uygun sürücüsüz tasarlanırken eski metro hatları sürücülü olarak işletime devam etmektedir. Bu noktada yeni hatların sürücüsüz olarak tasarlanması ve inşa edilmesinin yanı sıra mevcut eski hatların sürücüsüz işletime dönüşümü de gündeme gelmiştir. İşletme altında bu dönüşümün nasıl yapılması gerektiği, işletmenin kesintiye uğramaması için kritik bir hale bürünmüştür.

Son zamanlarda yapılan metro hatlarının çoğunluğunun sürücüsüz olduğu göze çarpmakla beraber eski sürücülü metro hatlarının işletme ömrü bittiğinde ne olacağı sorusu da gündeme gelmektedir. Bu tip metro hatlarını aslına uygun yani sürücülü olarak yenilemek yerine güncel teknolojiye uygun sürücüsüz olarak kurgulanması daha sağlıklı olacaktır. İşletme altında bu dönüşüm pek tabi ki kolay olmayacaktır. Yeni bir metro hattı yapmaktansa mevcut işletme altındaki bir hattın dönüşümü daha zordur. Bu konu için çeşitli yaklaşımlar geliştirilebilir. Söz konusu hat kısımlara ayrılıp her bir kısım tamamlanarak ilerleme sağlanabilir. Açık olan hat kesimleri arasında mekik işletmesi (tek hat işletmesi) yapılabilir. İstasyonların tamamen kapatılması yolcuları mağdur edeceğinden tek peron işletmesi ve iyi bir yolcu yönlendirmesi ile sorun

aşılabilir. Hattın kapalı olan kesimleri için ring otobüs seferleri tanımlanabilir. Bu sayede yolculuk kesintiye uğramamış olur.

Otomasyon artırımı daha önce bahsedilen faydaların yanı sıra fiziksel olarak kapasite artışına da neden olur. Buna göre araçlardaki makinist kabininin kaldırılması taşınan yolcu sayısını artırır. Örneğin Paris metrosu hat-1 sürücülü işletmesi GoA4 seviye işletime dönüştürülüp %6 kapasite artışı elde edilmiştir [19]. Bu artış sadece fiziksel alandan kazanım artışıdır. İşletim sıklığından kazanım sayesindeki artış eklendiğinde bu oran artacaktır.

Otomasyon artırımı temel anlamda araç, hat boyu, sinyal, istasyon ve kumanda merkezi modifikasyonlarını gerekli kılar. Ayrıca sürücüsüz metro için yeni bir işletme anlayışı, yönetim organizasyonu faydalı olacaktır. Sürücüsüz metro için işletmeye uygun bakım ve arıza müdahale prosedürleri geliştirilmelidir.

İstasyon modifikasyonu olarak peronlarda "Peron Ayırıcı Kapı Sistemi" veya hat ihlal algılama sistemi kurulmalıdır. Bunun için hem inşai hem de mekanik imalatlar gerekir.

Sinyalizasyon sistemi ATP, ATO ve ATS'yi desteklemelidir. GoA2 seviye metro hatlarında bu sistemler hali hazırda varken GoA1 sadece ATP içerir. GoA2 bir metro hattının sinyal anlamında dönüşümünde otomatik kuplaj ve parklanma gibi hususlar önem kazanır. Eğer sinyal sistemi bu işlevleri zaten destekliyorsa dönüşüm için büyük bir engel kalmayacaktır. GoA1 seviye metro hatlarında ise sinyalizasyon sistemini tümüyle ele almak gerekir. Bu noktada sistemin ATO ve ATS fonksiyonlarını içerecek şekilde revizyonunu sabit blok yerine hareketli blok ilkeleri doğrultusunda yapılması faydalı olacaktır.

Otomasyon seviyesi artırımı zamanlaması çok önemlidir. Yapılan araştırmalar GoA1 seviye mevcut hatlar için %30 maliyet artışını göstermektedir. Oysa yeni hatlar için bu oran %3'tür. Güncel anlamda tüm GoA4 seviye metroları ele aldığımızda şu an inşa halinde olan sürücüsüz metroların %64'ü yeni %29'u mevcutun uzatması, %7'sinin ise otomasyon seviyesi artırılan hat olduğu görülmektedir [20].

Otomasyon artırımının hem maddi hem teknik olarak zorluklar içerdiği ve ilk bakışta yeni bir sürücüsüz metro inşa etmenin sürücülü bir metroya kıyasla daha maliyetli olduğu aşikardır. Fakat uzun vadede sürücüsüz metroların daha önce açıklanan

avantajları bu durumu egale etmektedir. Yapılan araştırmalar 18 yıl sonra sistemin fazla maliyetini tolere ettiğini göstermektedir [16].

BÖLÜM 4

FONKSİYONEL EMNİYET

Emniyet genel anlamda kabul edilemez riskten kaçınma ve uzak durma anlamına gelmektedir. Fonksiyonel emniyet ise potansiyel olarak tehlikeli bir durumun tespit edilip ortaya çıkmasının önlenmesini veya tehlikeli olayın sonuçlarının azaltılması için koruyucu ve düzeltici bir cihaz veya mekanizmanın etkinleştirilmesini sağlar.

Fonksiyonel emniyet, aktif sistemlere dayanır. Dumanların sensörler tarafından algılanması ve ardından bir yangın söndürme sisteminin harekete geçirilmesi veya yanıcı bir sıvı içeren bir depodaki sıvı seviyesi potansiyel olarak tehlikeli bir seviyeye ulaştığında seviye şalterinin devreye sokulması, tanktaki sıvının taşmasını önleyen bir valfin kapanması fonksiyonel emniyet uygulamalarına örnektir.

Özetle "Fonksiyonel Emniyet" terimi bir sistemdeki tüm SIF (Safety Instrumented Function) bileşenlerinin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi ve bunun sonucunda işlem sırasında oluşan riskin kabul edilebilir bir düzeye inmesi durumunu ifade eder. Amaç riskin tamamen ortadan kaldırılması değil tolere edilebilir düzeye indirilmesidir.

4.1 Emniyet Standartları

Fonksiyonel emniyet sistemlerinin özellikleri, tasarımı ve uygulanmasıyla alakalı ilk olarak 90'lı yılların sonunda oluşturulmuş, 2000 yılında revizyona uğramış, 2010'da 2.versiyonu yayınlanmış olan endüstride fonksiyonel emniyeti kapsayan uygulamalar için uluslararası şemsiye standart olarak adlandırılan IEC 61508 standardı bulunmaktadır. Farklı sektör ve operasyonlar için ise bundan türetilmiş birçok standart bulunmaktadır [25].

IEC 61508 standardının temel amacı, münferit endüstrilerin kendi endüstrileri için özel olarak hazırlanmış fakat yine de orijinal 61508 standardına uygun ek standartlar geliştirmelerine yardımcı olmaktır. İkincil amaç ise belirli uygulama sektörü standartlarının henüz mevcut olmadığı elektrik / elektronik / programlanabilir elektronik (E / E / PE) emniyetle ilgili sistemlerin geliştirilmesini sağlamaktır.

•IEC 61511, süreç endüstrileri için endüstriye özgü bir standarttır.

•ISO 26262, IEC 61508'in Otomotiv Elektrik / Elektronik Sistemleri için uyarlanmasıdır.

•EN 50128 demiryolu uygulamaları için IEC 61508'in özel bir yorumunu sunar.

•IEC 61513, nükleer santrallerin emniyetinde önemli olan sistemler için gereklilikler ve tavsiyeler sunmaktadır.

• IEC 62061, IEC 61508'in makineye özgü uygulanmasıdır.

IEC Komitesinin öncelikli hedefi, otomasyon sistemlerinin kullanımı yoluyla güvenliği artıracak bir mühendislik standardı yaratmaktır. Bu standartlar, tüm endüstrilerde yaygın olarak benimsenmiştir ve Emniyet Ölçümleme Sistemlerinin emniyetini ve kullanılabilirliğini arttırmanın bir aracı olarak güvenilirliğini korumaktadır.

Avrupa Elektroteknik Standartlar Enstitüsü tarafından geliştirilen EN 50126, EN 50128 ve EN 50129 standartları ile demiryolları iyi bir seviyeye gelmiştir. Bu standartlar ortak demiryolu standartları olarak kabul edildiğinden, Metro, Hafif Metro, Tramvay ve diğer demiryolu uygulamaları için de geçerlidir. Bu standartlar demiryolu sistemlerinde emniyet omurgasını teşkil ederler [26], [33].

4.2 Hatada Güvenli Sistem Presipleri

Herhangi bir sistemin, genelinde ya da bir / birden fazla bileşeninde arıza/hata meydana gelmesi durumunda tasarlandığı ve kurgulandığı üzere çalışabilmesi olarak tanımlanır. Sistem kendini daima güvenli duruma çekebilmelidir. Bu sistemlerde arıza ya da hatalar istenmeyen sonuçlara yol açmaz. Sistemlerin tasarım aşamasında sistemin güvenliğiyle ilgili tüm fonksiyonlar çıkarılarak, her fonksiyon için hatada güvenli durumlar belirlenmelidir [14].

4.3 Emniyet Parametreleri

4.3.1 Emniyet Yaşam Döngüsü (SLC)

Enstrümantasyon sistemlerinin tasarlanması, işletilmesi ve bakımı sırasında yüksek seviyelerde fonksiyonel emniyet sağlamak için gereken tüm adımları içeren bir mühendislik prosesidir.

Sonuç şiddeti ve olasılık frekansları, riski belirler.

* Bir tehlike riski tolere edilebilir seviyelerde ise risk azaltımı ve SIS konsepti gerekmez.

* Diğer durumlarda, risk azaltma gereklidir ve risk azaltma miktarı, belirtilen emniyet bütünlüğü seviyesi (SIL) olarak adlandırılan bir büyüklük düzeyi ile belirtilir.

Emniyet Yaşam Döngüsü, yalnızca sistem tasarımcılarına daha güvenli sistemler geliştirmelerine yardımcı olmak için değil, aynı zamanda daha uygun maliyetli sistemler yaratmaya yardımcı olmak için oluşturulmuştur. Süreç riski analiz edilerek, belirli bir riskin aşırı dizayn edilmemiş ve altında tasarlanmamış tolere edilebilir bir seviyeye indirilebilmesi esastır. Emniyet ömrüne dahil olan olasılık doğrulaması mühendislerin "dengeli" tasarımlar yaratmasına yardımcı olur.

* Bazı güvenlik gereksinimleri süreç tasarımındaki değişiklikler, fiziksel koruma engelleri ve acil durum yönetim planları gibi harici risk azaltma faktörleri tarafından karşılanmaktadır.

* Bazı güvenlik gereksinimleri emniyet valfleri, alarmlar ve diğer özel emniyet cihazlarını içeren bir SIS dışındaki güvenlikle ilgili teknolojiyle karşılanmaktadır.

* Kalan güvenlik fonksiyonları, emniyet altına alınmış bir sistemde emniyet donanımlı fonksiyonlar olarak atanır.

Genel olarak bu döngüde amaç;

Hatada emniyetli tasarım,

Arıza / tehlikeyi otomatik olarak tespit etmek için tasarım teşhisi,

Arıza / tehlikeyi tespit etmek için test prosedürlerini tasarlama,

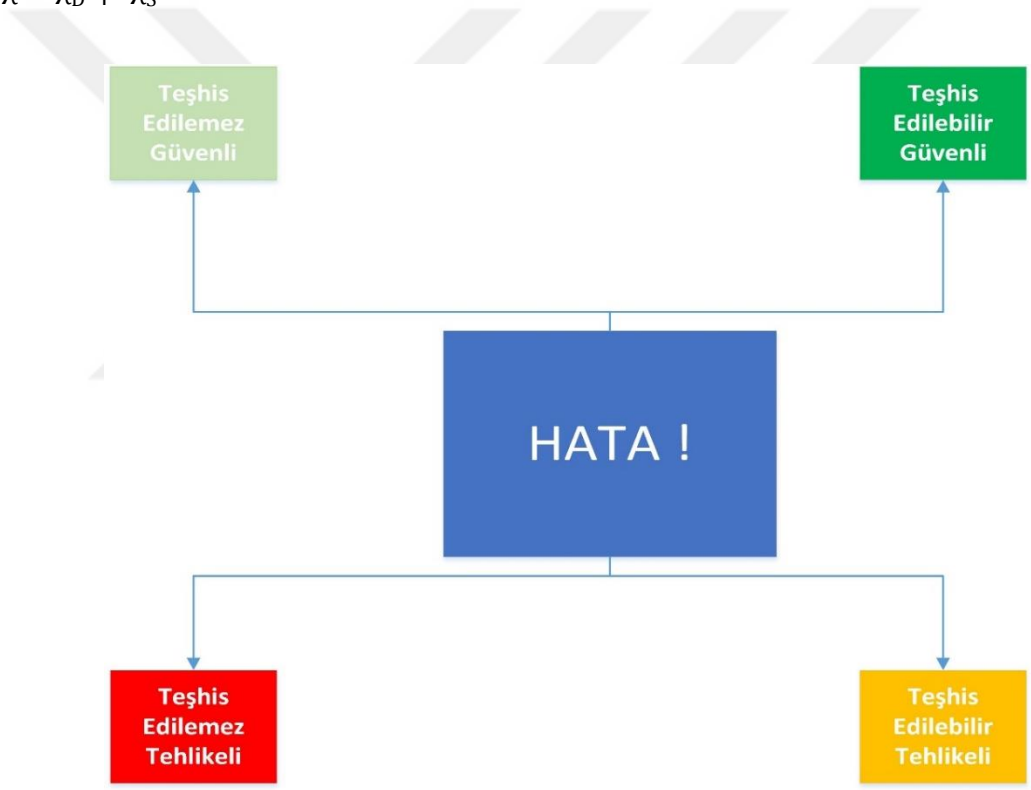
Uluslararası ve yerel standartları karşılamak için tasarım olarak özetlenebilir.

4.3.2 Hata Oranı

Hata oranı emniyet sistemleri için en önemli parametredir. t anında birimin çalışır olduğu kabulü altında, birime ait hata oranı (t, t+ðt) aralığındaki hata olasılığına eşittir ve λ olarak ifade edilir.

Ayrıca (4.1) eşitliği ile verildiği gibi hata, tehlikeli hata ve güvenli hata olarak ikiye ayrılır. Bu iki hata türü (4.2) ve (4.3) eşitlikleriyle ifade edilerek kendi içinde de tespit edilebilir ya da edilemez olarak iki kola ayrılır [27]. Ayrıca emniyet ile ilgili çalışmalarda hata oranının sistemin kullanım süresi içinde sabit olduğu kabul edilir. Şekil 4.1'de hata türleri verilmektedir.

$$\lambda = \lambda_D + \lambda_S \tag{4.1}$$



Şekil 4.1 Hata türleri

$\lambda_S = \lambda_{SD} + \lambda_{SU}$ S : Güvenli / SD : Teşhis Edilebilir, SU : Teşhis Edilemez (4.2)

$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU}$ D : Tehlikeli / DD : Teşhis Edilebilir, DU : Teşhis Edilemez (4.3)

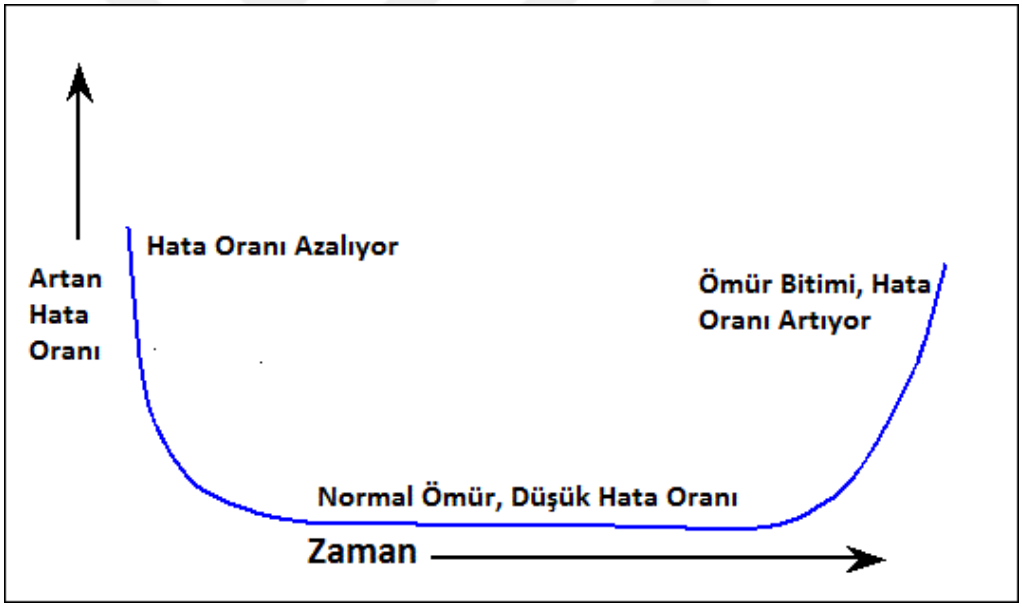
Bir başka bakış açısıyla hatalar rastgele ve sistematik olmak üzere ikiye ayrılır. Rastgele bir arıza, bazı bileşen veya modüllere atfedilebilecek durumda kalır. Sistemin

çalışabildiği ancak amaçlanan fonksiyonunu yerine getirmediği zaman ise sistematik bir arıza meydana gelir.

Sistematik arıza kaynakları neredeyse daima tasarım hatalarıdır, bunlar genellikle yetersiz dokümantasyon veya eğitim nedeniyle oluşur. Anlık bir bakım hatası veya kurulum hatası da sistematik bir arızaya neden olabilir. Koruyucu bakımlar tek başına sistematik hatalara engel olamaz.

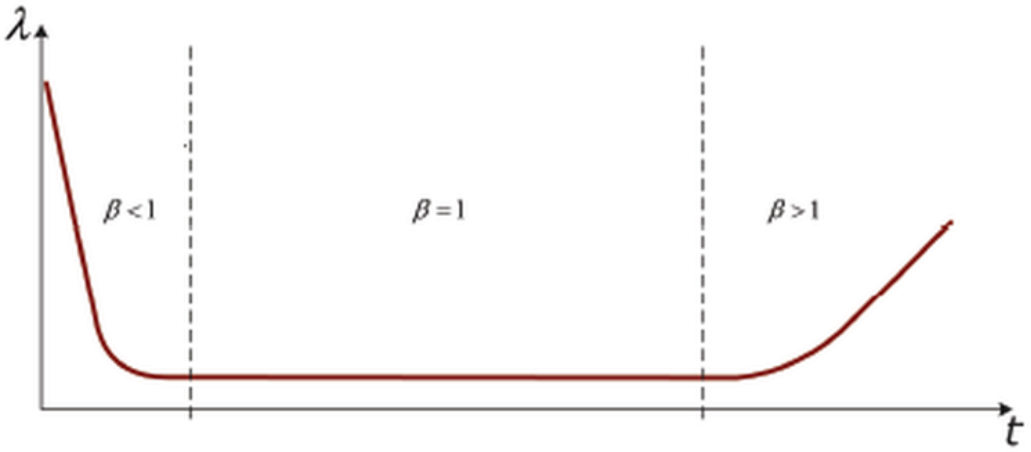
Genellikle, sistemin olağandışı bir işlevi yerine getirmesi istendiğinde başarısızlık meydana gelebilir veya sistem test edilmemiş verilerin bir kombinasyonunu alır. Sistematik arızalar kalıcı veya geçici olabilir.

Güvenilirlik mühendisleri, işlerin ne zaman ve nasıl başarısız olacağı konusunda istatistikler toplamaktadır. Bu bilgiler, SIF tasarımlarının gelecekteki performansını tahmin etmek için kullanılır.



Şekil 4.2 Hata oranı-ömür ilişkisi

Yukarıdaki Şekil 4.2 bir ürünün yararlı ömrü boyunca yapabileceği arızaların oransal bir istatistiğini vermektedir. Buna göre ürün fabrikadan çıkmadan önce, kalite testleri süresince yüksek bir hata oranına sahipken gerçekten kullanılmaya başlandığında yani normal ömrü boyunca sabit ve düşük bir hata oranına sahiptir. Zaman ilerledikçe ve kullanım ömrünün sonlarına doğru ise yine tekrardan hata oranı artmaya başlar.



Şekil 4.3 Hata oranı için kullanım ömrü evrelerinin belirlenmesi

Hata oranının ömrün evrelerine bağlı değişimini içeren durum Şekil 4.3 ve aşağıdaki eşitlik (4.4) ile verilmektedir.

$$\lambda(t) = \lambda.\beta.(\lambda.t)^{\beta-1} \quad (4.4)$$

Hata oranı değerleri üretici firmaların katalog verilerinden alınabileceği gibi bazı programlar çevrimiçi veritabanları aracılığıyla bu bilgileri temin edebilmektedir.

4.3.3 Teşhis Kapsamı (DC - Diagnostic Coverage)

Teşhis Kapsamı, emniyetle ilgili sistemlerde tehlikeli hataların ne oranda bulunabileceği ile ilgili bir ölçüdür. Tespit edilebilen tehlikeli hataların tüm tehlikeli hatalara oranıdır. IEC 61508 standardında tariflendiği üzere (4.5) eşitliği ile ifade edilir.

$$DC = \lambda_{DD} / (\lambda_{DD} + \lambda_{DU}) = \frac{\lambda DD}{\lambda DD + \lambda DU} \quad (4.5)$$

4.3.4 Güvenli Hata Kesri (SFF - Safe Failure Fraction)

SFF, sistemin sahip olduğu tehlikeli bir hata ile sonuçlanmayan hatanın toplam hataya oranıdır. Kısaca, emniyet işlevini tehlikeye sokmayacak güvenli nitelendirilen hataların durumunun hesaplanmasında kullanılır. IEC 61508 standardında tariflendiği üzere (4.6) eşitliği ile ifade edilir.

$$SFF = \frac{\lambda SD + \lambda SU + \lambda DD}{\lambda SD + \lambda SU + \lambda DD + \lambda DU} \quad (4.6)$$

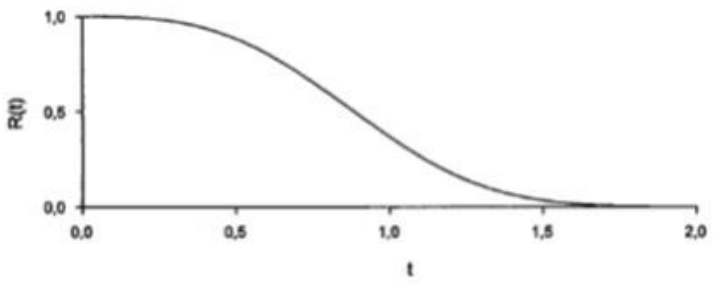
4.3.5 Kanıt Testi Süresi (T_1)

Sistem içindeki bileşenlerin daha önceden tasarlandığı şekliyle tüm fonksiyonlarını yerine getirebildiğini görmek için yapılacak incelemeler arası geçen süredir.

4.3.6 Güvenilirlik (Reliability)

Güvenilirlik fonksiyonu R(t) ile ifade edilir ve belirli bir zaman aralığında başarılı operasyonların bir ölçüsüdür. Ayrıca güvenilirlik sistemin belirli bir zamanda kendisi için istenen işlevi belirtilen sınırlar içerisinde yapabilme olasılığıdır. (4.7) eşitliği ile ifade edilir. Genel güvenilirlik eğrisi ise Şekil 4.4 ile verilmiştir.

$$R(t) = \Pr(T>t) = \frac{1}{T}\int_0^T \lambda . e^{-\lambda D.T}(t)\, dt \qquad (4.7)$$



Şekil 4.4 R(t) eğrisi

Yaşam testi sonuçlarını değerlendirirken güvenilirlik fonksiyonu (4.8) eşitliği ile belirtildiği üzere; hayatta kalan birimler sayısını, testi başlatan toplam birim sayısına bölmek suretiyle hesaplanır.

$$R(t) = \frac{Ns}{N} \qquad (4.8)$$

Ns : hayatta kalan birimler sayısı N : toplam test birimi sayısı

Ölçüm güvenilirliği, bir sistemin belirli bir süre için başarılı olmasını gerektirir. Bu olasılık, sistemin bir görev sırasında tamir edilemediği durumlar için değerli bir tahmin olsa da, çoğunlukla işlem yapılan süreçle onarımların yapılacağı endüstriyel bir proses kontrol sistemi için farklı bir gerekliliktir.

4.3.7 Risk

Belirli bir tehlikeye ait riskin derecesi, uygulanabilir olduğu yerde, tehlikeyi tanımlayan tarafça, hafifletici durumlarına, yani emniyet tedbirlerinin uygulandığı ve tavsiye edilen eylemlerin gerçekleştirildiği durumlara göre yapılmalıdır.

Risk değerlendirme ile tehlikeli durum analizi yöntemleri tarafından belirlenen risklerden hangisinin kabul edileceğine karar verilir. Aynı zamanda risklerin azaltılması ve kabul edilebilir seviyeye çekilebilmesi için stratejiler oluşturulur ve planlar yapılır. Ardından planlar, risklerin varlığını gözlemlemek için test edilmekte ve uygulamaya konmaktadır [28].

4.3.8 Frekans

Her tehlike, tanımlanmış sonuçlara sebep olan, meydana gelme frekanslarının ön değerlendirmesine tabi tutulur. Aşağıdaki tabloda gösterildiği üzere, bir dizi frekans kuşağı içerisindeki frekansının tespit edilmesi için, yarı niceliksel bir değerlendirme uygulanır. Tehlikeye yol açan olayların oluşum frekansı aşağıdaki Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

Çizelge 4.1 Frekans sınıflandırması

Tehlike Sınıfı	Sınıf	Açıklama	Sıklık
A	Sık	Sürekli beklenmektedir	$f \geq 10^{-5}$
B	İhtimal Dahilinde	Birden fazla kez olması beklenir	$10^{-6} \leq f < 10^{-5}$
C	Ara Sıra	Birden fazla kez olması çok büyük olasılık içermese de beklenir	$10^{-7} \leq f < 10^{-6}$
D	Az	Tüm süreç boyunca olması beklenebilir	$10^{-8} \leq f < 10^{-7}$
E	İhtimal Dahilinde Değil	Olası değil fakat yine de süreç içinde beklenebilir	$10^{-9} \leq f < 10^{-8}$
F	Olağanüstü	İhtimal sıfıra yakındır, gerçekleşmeyeceği varsayılabilir	$f < 10^{-9}$

4.3.9 Şiddet

EN 50126 standardına göre öngörülen can kayıpları cinsinden tehlike sonuçlarının şiddeti Çizelge 4.2 ile verilmiştir. Tehlike sonuçlarının değerlendirilmesinde, öngörülen düşürücü koruma tedbirleri kullanıma uygun farz edilmekte olduğu not edilmelidir.

Çizelge 4.2 Şiddet sınıflandırması

Tehlike Şiddet Seviyesi	Tanım	Sonuç	Kayıp Miktarı
1	Felaket	Can kayıpları ve/veya ağır yaralanmalar ve/veya ciddi maddi hasar	>1
2	Kritik	Tek ölüm ve/veya ağır yaralanma ve/veya maddi hasar	1
3	Özel	Hafif yaralanma ve/veya çevreye zarar verme	–
4	Önemsiz	Hafif yaralanma	–

4.3.10 Risk Derecelendirmesi

Risk derecelendirmesi EN 50126 standardı direktifleri doğrultusunda Çizelge 4.3'e göre yapılmalıdır.

Çizelge 4.3 Risk derecelendirmesi

Oluşma sıklığı		Risk			
A	Sık	Tolere edilebilir	Tolere edilemez	Tolere edilemez	Tolere edilemez
B	İhtimal Dahilinde	Tolere edilebilir	Tolere edilebilir	Tolere edilemez	Tolere edilemez
C	Ara Sıra	İhmal edilebilir	Tolere edilebilir	Tolere edilebilir	Tolere edilemez
D	Az	İhmal edilebilir	Tolere edilebilir	Tolere edilebilir	Tolere edilemez
E	İhtimal Dahilinde Değil	İhmal edilebilir	İhmal edilebilir	Tolere edilebilir	Tolere edilebilir
F	Olağanüstü	İhmal edilebilir	İhmal edilebilir	İhmal edilebilir	Tolere edilebilir
		Önemsiz -4	Özel -3	Kritik -2	Felaket -1

4.3.11 Emniyetle İlgili Sistem (SRS- SIS)

IEC 61511 standardı, bir emniyet sistemini (SIS) "bir veya daha fazla emniyet donanımlı fonksiyonu uygulamak için kullanılan sistem" olarak tanımlar. Kontrol elemanı, sensör ve eyleyiciden oluşan ve var olan risk seviyesini azaltarak, sistemin hataya düşmeden güvenli moda geçişini sağlamak amacıyla tasarlanan emniyet sistemidir. SIS yüksek başarı olasılığı ile doğru çalışmalıdır.

Daha yaygın bir tanımla SIS; sensörler, mantıksal çözücüler vb. ile tasarlanmış nihai öğelerden oluşan bir sistem olarak tanımlanır. Amaçları;

*Belirli koşullar ihlal edildiğinde otomatik olarak endüstriyel bir işlemi güvenli bir hale getirmek,

*Belirtilen koşullar izin verdiği zaman bir prosesi güvenli bir şekilde ilerletmeye izin vermek,

*Endüstriyel bir zararlı sonucun hafifletilmesi için harekete geçmek şeklinde sıralanabilir.

SIS sinyalleri statik Boolean değişkenleridir. Sistem potansiyel olarak tehlikeli bir durum tespit edildiğinde harekete geçtiğinden, işletme ve bakım personeli, SIS'in belirli arıza modlarını tespit etmekte zorlanabilir.

4.3.12 Emniyetle İlgili Fonksiyon (SIF)

SIF belirli bir SIL değerini başarmak için gerekli olan fonksiyonlar bütünüdür. Aynı şekilde, belirli bir tehlikeli olayla ilgili olarak süreç için güvenli bir durumu elde etmeyi veya sürdürmeyi amaçlayan bir fonksiyon olarak da tanımlanabilir.

SIF, bir başka bakış açısıyla herhangi bir işlem sırasında oluşabilecek tehlikeli bir durumun algılanması ve bu durumunun engellenmesidir. Örneğin SIF; Aşırı ısınan bir motorun, sıcaklığının termal sensör ile algılanıp motorun durdurulması işlemidir. SIF fonksiyonu belirli bir işlemi kontrol eder. Her bir işlem için ayrı bir SIF fonksiyonu gereklidir. Bununla beraber SIF fonksiyonlarının tümü SIS 'i oluşturur. SIS ise sistemin tümünü kontrol eden ve tehlikeli durumlarda sistemi güvenli bir duruma getiren kontrol sistemidir. Bir SIS için her bir SIF koruma işlevini yerine getirmelidir, işlemi hatalı kapatmamalıdır, iletişim ve teşhis gibi yardımcı işlevleri de yerine getirmelidir.

Bununla birlikte, IEC 61511'e göre bir insan eylemi bir SIS ’in parçası olduğunda, operatör eyleminin kullanılabilirliği ve güvenilirliği SIS 'de belirtilmeli ve SIS ’in performans hesaplamalarına dahil edilmelidir. Standart bir insan eylemi içeren SIF için bu geniş tanımlamayı ima etmektedir.

4.3.13 Ortalama Hataya Düşme Zamanı (MTTF-mean time to failure)

Genellikle, MTTF terimi, bir cihazın faydalı ömrü boyunca tanımlanmaktadır. Cihazın ömrünün bitimine yakın başarısızlıkları genellikle sayıya dahil değildir. MTTF aşağıdaki (4.9) eşitliği ile ifade edilir.

$$\mathrm{MTTF}=\frac{1}{\lambda} \tag{4.9}$$

4.3.14 Ortalama Tamir Süresi (MTTR- Mean Time to Repair)

Bir arızanın oluştuğunu tespit etmek için gereken süreyi ve arıza tespit edildiğinde, tespit edildikten sonra eşleştirilmesi için gereken zamanı içerir. MTTR, başarısız operasyondan başarılı operasyona geçmek için gereken ortalama süredir.

4.3.15 İki Hata Arasındaki Ortalama Süre (MTBF- mean time between failure)

Bir arıza / onarım döngüsünün ortalama süresidir. Arıza süresi, arıza tespiti ve gerçek tamir süresini içerir. MTBF, MTTF ile MTTR sürelerinin toplamı şeklinde ifade edilebilir.

Ayrıca bir donanım ürününün, bileşenin veya sistemin güvenilirliğinin bir ölçüsüdür. MTBF büyük ölçüde varsayımlara dayanmaktadır ve hatanın tanımı ve bu detaylara dikkat edilmesi sorunun doğru yorumlanması açısından önemlidir. Karmaşık, tamir edilebilir sistemlerde bir ekipmanın servis dışına alınması, onarılması ya da değiştirilmesi gerektiğinde ekipman arızalı olarak tanımlanır. Bu tanıma göre tamir edilmeden bırakılabilen, değiştirilmeyen veya sistem dışı bırakılmayan hatalar gerçek arıza olarak dikkate alınmaz. Buna ek olarak, rutin planlı bakım veya envanter kontrolü için sistem dışına alınan birimler hata tanımı içinde kabul edilmez.

MTBF, yaşam süresi ile karıştırılmamalıdır.

4.4 Emniyet Bütünlük Derecesi (SIL)

Emniyet Bütünlük Derecesi, endüstrilerde tehlikeli faaliyetleri korumak için kullanılan emniyet sistemlerinin güvenilirliğine ve performansına uygulanan hedeflerdir. Sistemin talep durumunda arıza yapma ihtimaline göre 4 adet SIL derecesi vardır. Algılanan ilişkili risk ne kadar yüksekse, güvenlik sistemi için gereken performans da o kadar yüksektir ve bu nedenle SIL derecelendirmesi sayısı da artar. SIL seviyesi yükseldikçe sistemin arıza yapma olasılığı azalır ve sistem performansı yükselir. Bununla beraber SIL seviyesinin yükselmesiyle sistemin maliyeti ve bakım masrafları artar ayrıca sistem daha karmaşık bir yapıda olur. Bu durum sistemin emre amadeliğine olumsuz etki yapabilir.

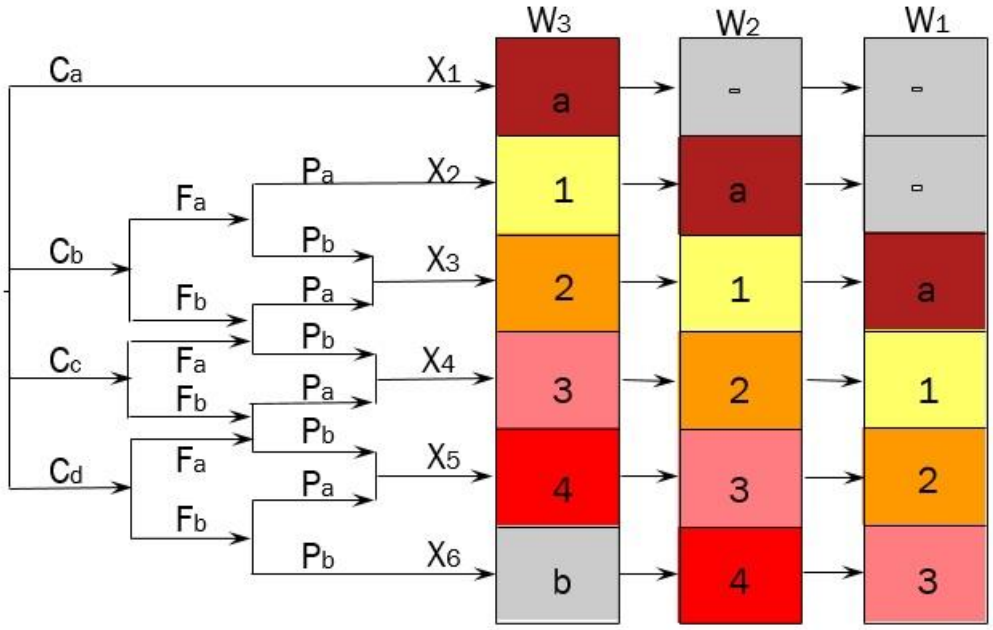
IEC standartları, gerekli SIL derecelendirmesi için emniyet sistemlerinin performans gereksinimlerini tanımlar. Aşağıdaki Çizelge 4.4 SIL değerinin anlamlandırılmasına yardımcı olabilir.

Çizelge 4.4 SIL değeri ile güvenilirlik kavramı arası ilişki

SIL	Güvenilirlik	Talep Durumunda Arıza Yapma İhtimali
4	>%99	%0.01 ile %0.001 arası
3	%99.9 ile %99.99 arası	%0.1 ile %0.01 arası
2	%99 ile %99.9 arası	%1 ile %0.1 arası
1	%90 ile %99 arası	%10 ile %1 arası

Bunların yanı sıra akıl karıştıran bir konu da sertifikalandırmadır. SIL sertifikası sistemin bütünüyle ilgili bir güvenlik seviyesidir. Sistemdeki herhangi bir elemanın ya da bileşenin bağımsız olarak bir SIL seviyesi olmaz. Sistemdeki ekipmanlar SIL sertifikasına sahip bir sistemde kullanılmaya uygun ya da uygun değil şeklinde sınıflandırılmalıdırlar. Ayrıca sadece sistemde kullanılan elemanların ya da bileşenlerin SIL seviyesine uygun olması sistemi SIL seviyesine uygun yapmaz. Bir sistemin herhangi bir SIL seviyesine uygun olabilmesi için sistemin bütününün incelenmesi gereklidir.

Sistemin SIL değerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılır. Risk grafikleri pratik olmalarından ötürü risk değerlendirmede ve SIL değerinin tayininde oldukça fazla kullanılır. Risk grafiği aşağıda yer alan şekil 4.5' de verilmektedir.



Ca : Hafif yaralanma	Fa : Düşük sıklık
Cb : Ciddi yaralanma veya bir ölüm	Fb : Yüksek sıklık
Cc : Birden fazla ölüm	Pa : Düşük ihtimal
Cd : Çok sayıda ölüm	Pb : Neredeyse imkansız

Şekil 4.5 IEC 61508' e göre risk grafiği

Bu çalışmada risk grafiği metodu kullanılacaktır. Bu yaklaşım benimsendiğinde, konuları basitleştirmek için emniyetle ilgili sistemler başarısız olduğunda veya mevcut olmadığında tehlikeli durumun doğasını birlikte tanımlayan bir dizi parametre ortaya atılmıştır. Dört setten her birinden bir parametre seçilir ve daha sonra güvenlik fonksiyonlarına tahsis edilen güvenlik bütünlüğü seviyesini belirlemek için seçilen parametreler birleştirilir. Bu parametreler,

- Yapılması gereken risklerin anlamlı bir şekilde olmasına izin vermek ve

- Anahtar risk değerlendirme faktörlerini içerir.

Yöntem aşağıdaki dört risk parametresini üretir; [29]

- Tehlikeli olayın sonucu (C);

- Tehlikeli olayın frekansı ve maruz kalma süresi (F);

- tehlikeli olaydan kaçınma olasılığı (P);

- istenmeyen olay olasılığı (W).

Tabloda a olarak gösterilen hücreler için bir emniyet gerekliliği aranmazken b olarak gösterilen hücreler için ise tek bir emniyet sistemi yeterli görülmez.

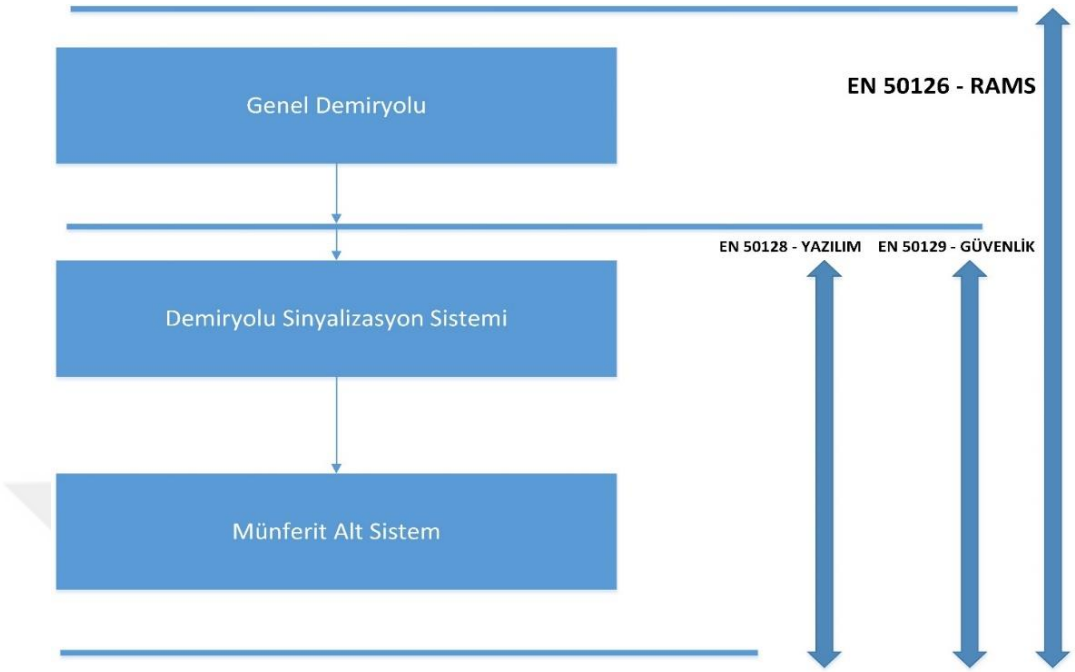
4.5 Emniyet Bütünlüğü Gereksinimleri

Risk değerlendirme işlemine dayandırılarak emniyet seviyesi ayarlandıktan ve gerekli risk indirgenmesi tahmin edildikten sonra, uygulamanın sistemleri ve aksamları için emniyet bütünlük gereksinimleri çıkarılabilir. Emniyet bütünlüğü ölçülebilir unsurlar (genellikle donanımla ilgili, örneğin tesadüfi arızalar) ve ölçülemez unsurların (genellikle yazılım, belgeler, işlemler vs. ile ilgili) bir kombinasyonu olarak görülebilir. Harici risk azaltma tesisleri ve sistem risk azaltma tesisleri sistemin hedeflenen emniyet seviyesi için gerekli risk azaltması ile denk olmalıdır. Bir sistem içindeki bir faaliyetin emniyet bütünlüğünün teminindeki doğruluk belirli sistem mimarisi, metot, alet ve tekniklerin kombinasyonunun uygulaması vasıtasıyla temin edilebilir. Gerekli emniyet faaliyetinin temini için emniyet bütünlüğü arızanın oluşum ihtimali ile bağlantılıdır.

IEC 61508 taslak standardında bir jenerik bağlantı tarif edilmiş olmasına rağmen, EN 50126 demiryolu sistemleri için emniyet bütünlüğü ve arıza oluşum ihtimali arasındaki bağlantıyı tarif etmemiştir. Ancak, EN 50126 da tarif edilen yönetim prosesi jeneriktir ve münferit makamlar veya Avrupa Demiryolu Makamları ile müştereken üzerinde anlaşıldığı üzere herhangi bir bağlantı ile kullanılmaya elverişlidir.

Sistemler içerisindeki emniyet faaliyetleri diğer ilgili detaylı standartlarda tarif edilen mimarlık, metotlar, aletler ve teknikler kullanılarak uygulanmalıdır. Örneğin, EN 50128 yazılım sistemlerini geliştirmek için metotları, aletleri ve teknikleri tarif eder ve EN 50129 elektronik demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin kabul ve onay işlemlerini tarif eder. Emniyet bütünlüğü, temel olarak emniyet faaliyetleri için belirlenmiştir. Emniyet faaliyetleri emniyet sistemlerine ve/veya harici risk azaltma tesislerine tahsis edilmelidir. Tüm sistemin tasarı ve maliyetini optimize etmek için bu tahsis işlemi yinelenmelidir.

Teknik açıdan EN50126, EN50128, EN50129 [30], [31] norm takımlarının uygulanabilirliği aşağıdaki Şekil 4.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 EN standartları

Ürünün emniyet bütünlüğü ile ilgili aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

*Bir sistemde gerekli emniyet fonksiyonu ve bunun karşılığı emniyet bütünlüğü, sistemin kullanıldığı çevrenin etkisindedir.

*Belirli bir emniyet bütünlüğüne uygun metotlar, aletler ve teknikler kullanılmak suretiyle bir ürün geliştirildiğinde, ürünün emniyet bütünlüğü “X” seviyesinde bir ürün olduğu iddia edilebilir. Bu iddia, ürünün belirli bir çevrede, belirli bir bütünlükte belirli bir fonksiyon göstereceği anlamına gelir.

*Değişik uygulamalarda “kullanmaya hazır” ürünlerin kullanılmasında farklılıklar olabilir. Netice olarak, bir üründeki gerekli emniyet bütünlüğü uygulamalar arasında farklılık gösterebilir. Bu sebeple, herhangi bir sistemde bir ürünü uygulamadan evvel, ürünün fonksiyonu ve belirlenen çevre üzerindeki kısıtlamaların sistemin tüm gereksinimlerine uygun olduğunu değerlendirmek gerekir.

4.5.1 Emniyet Bütünlüğü Seviyesinin Emniyetle İlgili Fonksiyonlarla Yüklenmesi

Emniyet Bütünlüğü Seviyelerinin emniyet fonksiyonlarına yüklenmesinin ayrıntılı tarifi aşağıdaki gibidir:

*Her emniyet fonksiyonu, ilgili olduğu tehlikeler arasından en kısıtlayıcı (düşük frekanslı) olan tehlike ile ilişkilendirilir,

*Atıfta bulunulan tehlike ile ilişkilendirilmiş frekans sınıfı bir frekans hedefi olarak varsayılır; dikkat edilmelidir ki frekans sınıfı bir tehlikenin bir kazaya dönüşmesini işaret etmektedir; bu sebeple frekans hedefi kaza ile ilişkilendirilir,

*Emniyet fonksiyonu bir tehlikenin bir kazaya dönüşmesinde, risk azaltıcı bir önlem olarak yer alır,

*Emniyet fonksiyonuna atanacak bütünlük seviyesi, frekans hedefini doğrulamak için gerekli en düşük olandır,

*Emniyet Bütünlüğü Seviyesi hedeflerinin emniyetle ilgili fonksiyonlara atanması Emniyet Bütünlüğü Seviyesinin EN50129 standardındaki, aşağıdaki Çizelge 4.5' de gösterildiği üzere Kabul Edilebilir Tehlike Oranı değerlerine göre olan tanımına dayanacaktır [32], [33].

Çizelge 4.5 SIL-THR ilişkisi

SIL Değeri	Tolere Edilebilir Tehlike Oranı (THR) Aralığı
0	$THR < 10^{-5}$
1	$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$
2	$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$
3	$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$
4	$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$ $THR \geq 10^{-9}$

4.6 Talep Modları

IEC 61508'de, emniyet donanımlı bir işlev sunan ekipman için üç çalışma modu tanımlanmıştır; sürekli talep modu, yüksek talep modu ve düşük talep modu. İsteğe bağlı arıza olasılığı, her mod için farklı şekilde hesaplanır. Temel farklılıklar, tehlikeli durum (gerekçe) ile teşhis/tanı testi arasındadır.

Sürekli Talep modu; Talep etkili bir biçimde her zaman mevcuttur. Tehlikeli koşullar daima mevcuttur ve emniyet donanımlı fonksiyonun tehlikeli bir şekilde arızalanması bir kazayla sonuçlanır [34].

Tek kanallı bir sistemde (1oo1) manuel kanıt testi veya hatta otomatik çevrimiçi teşhis için hiçbir güvenlik önlemi bulunmamaktadır. Tanıların hatayı tespit etmesi ve harekete geçmesi durumunda çok geç kalınır.

Olasılık değerlendirmesi, saat başına hesaplanan arızanın olasılığını karşılaştırarak yapılır. (PFH)

Yüksek Talep modu; Yüksek talep modunda, tehlikeli durum her zaman mevcut değildir, ancak sık gerçekleşir. Talep, manuel kanıt testi aralığıyla neredeyse aynı sıklıkta veya daha sık olmakla birlikte, otomatik tanı testi ve yanıt süresinden çok daha yavaş gerçekleşir.

Otomatik teşhis/tanı işlemi, beklenen ortalama talep oranından iki kat veya daha fazla bir frekansta yürütmeyi tamamlar ve sistem, güvenli bir duruma geçişi başlatır. Yüksek talep modunda, teşhis hızına ve teşhis yanıtına karşılık ortalama talep aralığına bağlı olarak, tek bir kanalda (1oo1) bile otomatik teşhis mümkün olabilir.

Yüksek talep modunda, olasılık değerlendirmesi, saat başına hesaplanan başarısızlık olasılığı karşılaştırılarak yapılır. (PFH)

Otomatik teşhis işlemi, beklenen ortalama talep hızından çok daha hızlı yürütülürse ve otomatik güvenlik eylemi başlatılırsa, olasılık modelleri basitleştirilebilir ve teşhis etkileri tek bir kanalda (1oo1) bile tam başarı sağlayabilir.

Düşük Talep modu; Düşük talep modunda, tehlikeli bir durumun çok seyrek olarak görülmesi beklenmektedir. Yüksek talep ve düşük talep arasındaki sınıflandırma eşiği, planlanan manuel test aralığının talepler arasındaki ortalama aralık oranına göre belirlenmelidir. IEC 61508, kanıt test aralığının beklenen ortalama talep aralığının yarısından veya bir yıldan fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir.

Neyse ki süreç endüstrilerindeki birçok durumda, özellikle bağımsız koruma katmanları talep oranı analizinde doğru bir şekilde tasarlandığında ve değerlendirildiğinde, ortalama talep aralığı çok yüksektir. Genellikle, ortalama talep aralığı yüz yılı aşacaktır.

Düşük talep modunda PFD (İsteğe Bağlı Arıza Olasılığı Ortalaması) değeri hesaplanır. Bu, bir sistemin tehlikeli derecede arıza göstereceği ve gerektiğinde emniyet fonksiyonunu yerine getirememe ihtimalidir. PFD, belirli bir süre boyunca ortalama olasılık veya maksimum olasılık olarak saptanabilir. Bu değer ne kadar düşük olur ise sistem o kadar emniyetlidir. PFD değerini hesaplamak için sadece tehlikeli hatalar dikkate alınmalıdır. Aşağıdaki Çizelge 4.6 SIL değerinin PFD ve PFH ile bağlantısını vermektedir.

Çizelge 4.6 SIL değeri ile PFH ve PFD arasındaki ilişki

SIL	PFD	PFH
4	$\geq 10^{-5}$ ile 10^{-4}	$\geq 10^{-9}$ ile 10^{-8}
3	$\geq 10^{-4}$ ile 10^{-3}	$\geq 10^{-8}$ ile 10^{-7}
2	$\geq 10^{-3}$ ile 10^{-2}	$\geq 10^{-7}$ ile 10^{-6}
1	$\geq 10^{-2}$ ile 10^{-1}	$\geq 10^{-6}$ ile 10^{-5}

Bir bileşenin başarısızlık/hata oranı ve bir çalışma zaman aralığı (görev süresi) göz önüne alındığında, bu bileşenin güvenilirliği hesaplanabilir. Bileşen onarılabilirse ve tamir süresi oranı tahmin edilirse, bileşenin kararlı durum elverişliliği hesaplanabilir. Başarısızlık/hata oranları, kanıt test aralığı ve bileşen ömrü biliniyorsa, başarısızlık olasılığının ortalaması bulunabilir. Sistemin nasıl çalıştığını ve her bir modüldeki her bir bileşenin arızalanmasının, her modda nasıl etkileneceğini anlamak önemlidir. Sistem başarısızlık modları ve etkileri analizi (FMEA) bunu başarmak için sık sık yapılır.

4.7 Hata Ağacı Analizi (FTA)

Bu teknik "istenmeyen olay" tanımıyla başlar, genellikle bir sistem hatası olarak nitelendirilir. Analiz, belirlenen istenmeyen olayla sonuçlanan tüm olayları ve olayların kombinasyonlarını belirlemeyle devam eder. Böylece hata ağacı, belirli bir arıza modunda başarısızlıkların modellenmesinde oldukça yararlıdır. Bu farklı arıza modları, farklı hata ağaçlarında farklı istenmeyen olaylar olarak tanımlanabilir.

Hata ağaçları olasılıkları birkaç temel sembolle bunların mantıksal ilişkisini göstermektedir. En çok kullanılan semboller, AND (ve) geçidi, OR (veya) kapısı, TEMEL ARIZA (daha fazla ayrışamayan bir arıza) ve SONUÇ HATASINI içerir. Ek sembollerden bazıları IEC 61025'te de gösterilmiştir.

4.7.1 Ve (And) Kapısı

Bir hata ağacı "VE" geçidinde tüm girişler, kapının doğru veya aktif olması için mevcut olmalıdır. Arıza olaylarına bakılırsa, kapının arızalanması için her iki arıza (hata) da meydana gelmelidir. Bu olaylar bağımsız ise başarısızlık olayı A ve başarısızlık olayı B'nin elde edilme olasılığı (4.10) eşitliği ile verilir;

$$Fs = Fa \times Fb \tag{4.10}$$

4.7.2 Veya (Or) Kapısı

Bir "VEYA" geçidiyle, girdilerin herhangi biri doğru olduğunda, kapı çıkışı doğru veya daha önce de belirtildiği gibi aktif olur. Sayısal değerlendirme, olasılıkların toplamını gerektirir, karşılıklı olarak münhasır olmayan ve bağımsız arızalar için (4.11) eşitliği ile verilir;

$$Fs = Fa + Fb - (Fa \times Fb) \tag{4.11}$$

4.7.3 Hata Ağacının Yapısı

Hem Güvenilirlik Blok Diyagramları (RBD) hem de Hata Ağaçları (FT), olasılık kombinasyonlarını grafiksel olarak gösteren yöntemlerdir. Birincil farklılık, RBD'nin sistem başarısına odaklanmış olması iken hata ağacının arıza olayına odaklanmasıdır.

Bir hata ağacı oluştururken, bileşenleri tek tek modellemek önemlidir. Özellikle de karmaşık sistemlere bu yolla sonradan kolayca eklemeler yapmak mümkündür.

Genellikle hesaplamayı hızlandırmak ve basitleştirmek için, bir hata ağacındaki arızalar/hatalar ve olaylar bazen karşılıklı olarak münhasır ve bağımsız olarak kabul edilir. Bu varsayım altında veya kapıları için olasılıklar eklenir. Ve kapıları için olasılıklar çarpılır. Bu yaklaşım tekniği, olasılıklar düşük olduğunda SIF doğrulaması yapılırken olduğu gibi kaba cevaplar sağlayabilir.

Bir SIF'in hata ağacı analizi 5 temel adıma ayrılabilir;

SIF Tanımı ve Uygulama Bilgileri,

Önemli Olay Tanımlamaları,

FTA'nın Yapısının Kurulması,

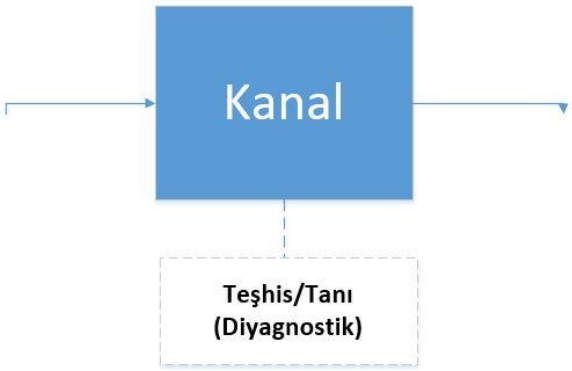
FTA Yapısının Niteliksel İncelenmesi ve

Niceliksel FTA Değerlendirmesi.

4.8 Emniyet Sistemleri İçin Yapı Modelleri

4.8.1 1oo1 Yapı

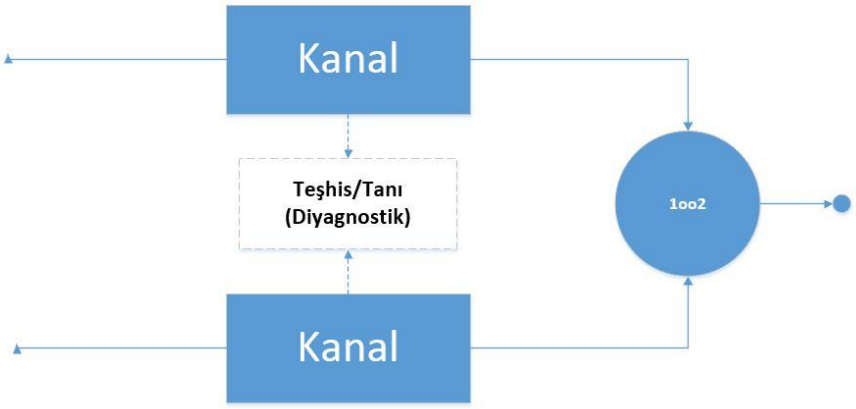
Bu mimari, şekil 4.7 ile ifade edildiği üzere tek bir kanaldan oluşur; burada herhangi bir tehlikeli arıza, bir talebin ortaya çıkması durumunda güvenlik işlevinin başarısız olmasına neden olur.



Şekil 4.7 1oo1 yapı

4.8.2 1oo2 Yapı

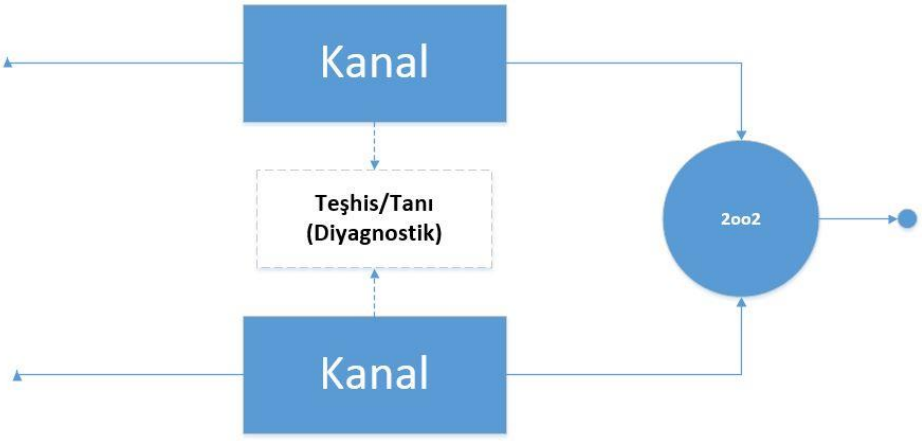
Bu mimari, şekil 4.8 ile ifade edildiği gibi paralel bağlı iki kanaldan oluşur; böylece her iki kanal da emniyet fonksiyonunu işleyebilir. Bu nedenle, bir emniyet fonksiyonu talep üzerine başarısız olmadan önce her iki kanalda da tehlikeli bir arıza olması gerekir. Kanallardan biri çıkış üretmek için yeterlidir. Herhangi bir teşhis testinin sadece bulunan arızaları rapor edeceği ve herhangi bir çıkış durumunu değiştirmeyeceği varsayılır.



Şekil 4.8 1oo2 yapı

4.8.3 2oo2 Yapı

Bu mimari, Şekil 4.9 ile ifade edildiği üzere paralel bağlanmış iki kanaldan oluşur; her iki kanal da gerçekleşmeden önce emniyet fonksiyonunu talep etmelidir. İki kanal da çıkış için hemfikir olmak zorundadır. Herhangi bir teşhis testinin sadece bulunan arızaları rapor edeceği ve herhangi bir çıkış durumunu değiştirmeyeceği varsayılır.



Şekil 4.9 2oo2 yapı

BÖLÜM 5

HAT İHLAL ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI

Çalışmanın asıl amacı Türkiye metrolarında bir ilk olarak hatada emniyetli (fail safe) bir hat ihlal algılama sistemi kurulmasıdır. Peron bölgesinde olası kazaları, intihar girişimleri ve bunların etkilerini en aza indirmek amacıyla yapılacak olan bu çalışma detaylı bir şekilde ifade edilecektir. Sistemin uygulanması için Kadıköy-Kaynarca metro hattı seçilmiş olup bu hattın parametreleri tasarımda kullanılacaktır. Bu amaçla sistem aşağıdaki katmanlara sahip olacaktır.

İhlal algılama devresi,

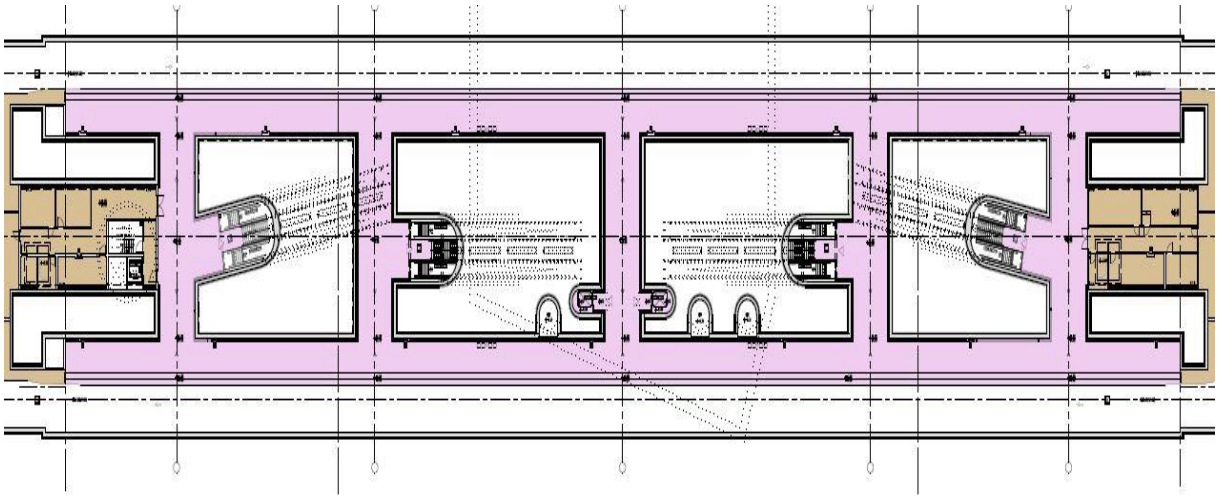
Tren konum algılama devresi,

Yönetim katmanı,

Çıkışlar ve tetikleme.

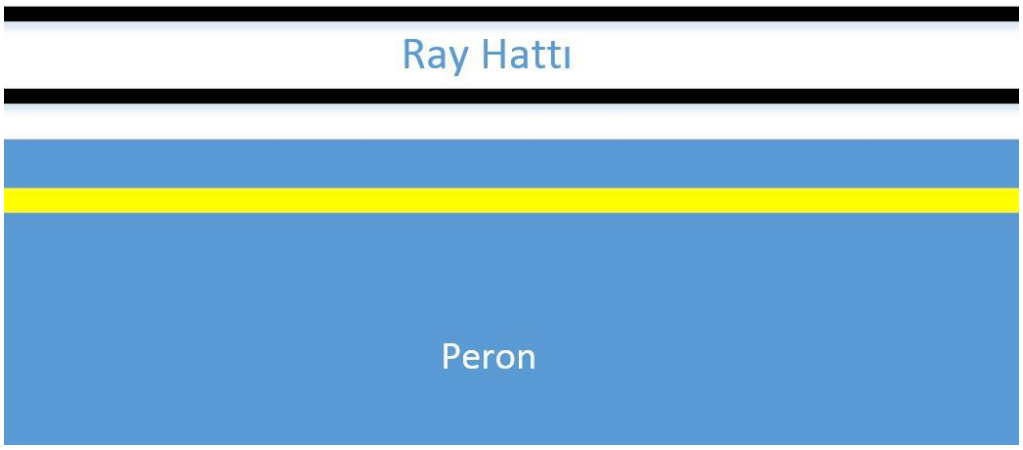
5.1 İhlal Algılama Devresi

Sistemin ilk aşaması olası hat ihlallerini hassas bir biçimde algılamaktır. Söz konusu raylı sistem gibi insan yoğunluğu yüksek ve risk oranı fazla olan alanlarda algılama işlemi klasik bir tespit sisteminden farklı olacaktır. Genel olarak aşağıdaki Şekil 5.1'de tipik bir raylı sistem peronunu görebilirsiniz.



Şekil 5.1 Peron çizimi

Algılama devresinden beklenilen sadece hat ihlallerinin tespit edilmesi olup bunun haricinde yolcu hareketlerinden doğan taşmalar, ileride açıklanacağı üzere farklı yorumlanacaktır. Daha iyi bir örnekle açıklamak gerekirse aşağıda Şekil 5.2 ile verilen peron çizimini incelemek gerekir.



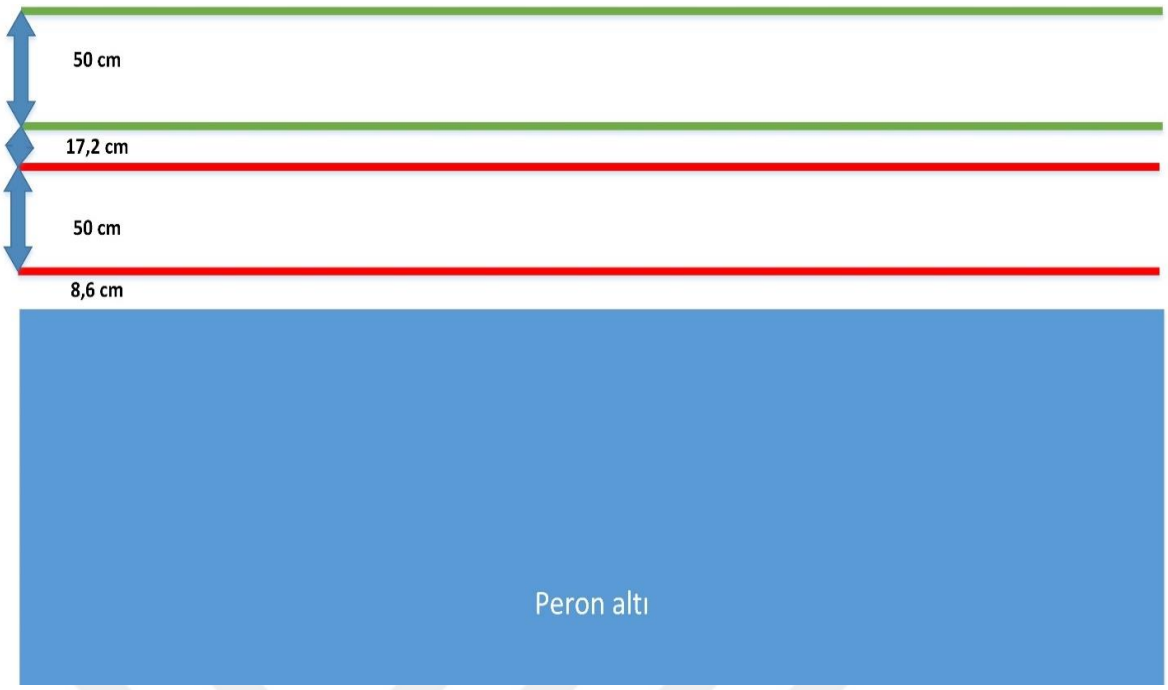
Şekil 5.2 Peron üst görünüm

Şekilde görüldüğü üzere sarı çizgi yolcu sınırlandırması açısından büyük öneme sahiptir. Sarı çizgi işletme için güven sınırıdır. Bu sınır peronda zirve saatlerde yolcu yoğunluğunun yaşandığı dönemde daha bir önemli hale gelmektedir. Sarı çizginin ihlali hat ihlal sisteminin bir parçası olacak fakat yönetim katmanı tarafından farklı yorumlanacaktır. Sarı çizgi algılaması sistem içinde planlanacak fakat Bölüm 6'da yapılan emniyet bütünlüğü hesabına dahil edilmeyecektir.

Sarı çizgi tespitinden sonra algılama devresi esas amacı olan hat ihlalini tespit edecektir. Raylı sistem yapısı gereği yoğun insan yükünü ve bu insanların olası davranışlarını bir senaryo dahilinde içermektedir. Yolcuların sadece ellerini veya ayaklarını kısa bir süre uzatması bir hat ihlali olmayabilir. Küçük ve içi boş bir poşetin piston etkisiyle havalanması da bir hat ihlali değildir. Bu nedenle yönetim katmanının gerekli yorumlamaları yapabilmesi için algılama devresi tasarımı önem arz etmektedir. Aşağıdaki Şekil 5.3' de hat ihlal sensörlerinin fiziksel anlamda perondaki yerleşimi verilmiştir.

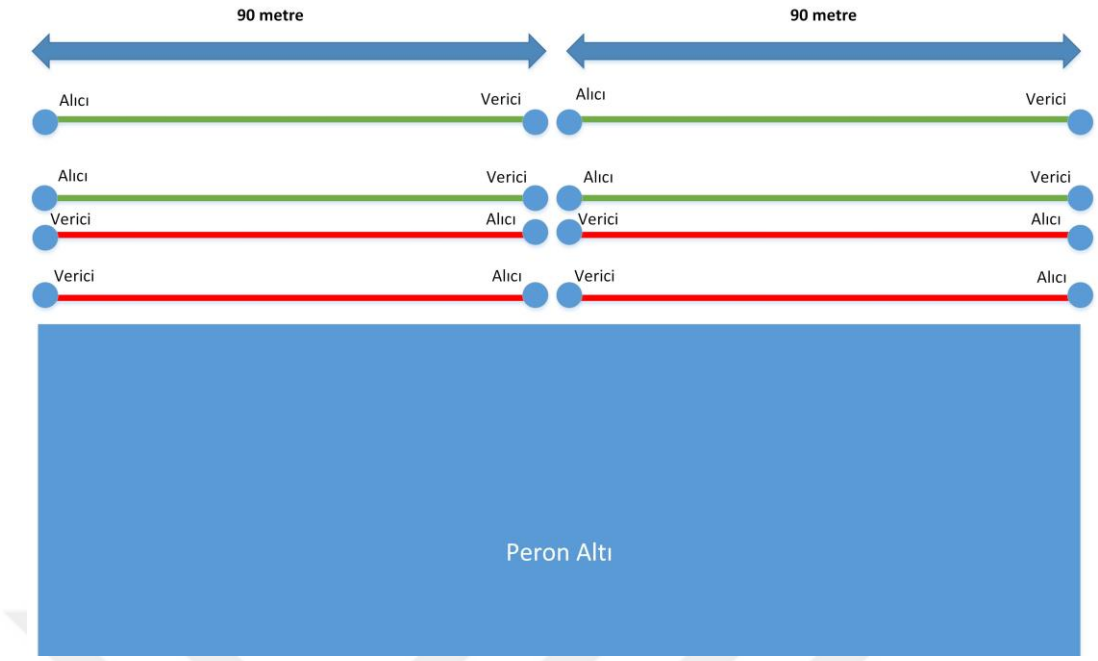
Şekil 5.3 Peron perspektif görüntüsü

Şekil 5.4'de ise algılama devresinin önden kesit görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 5.4 Algılama devresi ölçüleri (hat ihlali)

Ön kesitten anlaşıldığı üzere kırmızı ve yeşil renkte belirtilen sensörler kendi içinde ikişer adet ışın demetine sahip ayrı sensörlerdir. Her bir sensör 1oo2 prensibiyle çalışmaktadır yani kendi içinde sensörün sahip olduğu bir ışın demetinden alarm gelmesi sensörün çıkış vermesine neden olur. Görüldüğü üzere aralarında 50 cm olmak üzere toplam dört adet çizgisel algılama yapan dedektör ile algılama devresi kurulabilir. Seçilen sensörler verici-alıcı prensibinde çalışacaktır. Sensörlerin optimum çalışma mesafesi 90 metredir. Peron boyu 180 metre olduğundan peronun orta noktasında da alıcı-verici tertibatı kurulmalıdır. Şekil 5.5'de görüldüğü üzere üst üste yerleştirilecek iki sensörün toplam 4 adet ışın demeti olacağından bu durumda ışınlar arasında bir girişim olmaması için sensörlerin alıcı-vericileri ters yerleştirilecektir.



Şekil 5.5 Peron hat ihlal sensör yerleşimi (önden görünüm)

Aşağıdaki Çizelge 5.1'de önerilen hat ihlal sensörünün bilgileri yer almaktadır.

Çok ışınlı güvenlik bariyeri deTem4 Core, bir vericiden ve bir alıcıdan oluşan, temassız algılayan güvenlik cihazlarıdır. Verici ve alıcı arasındaki paralel kızılötesi ışınlar, tehlike alanını emniyete alır. Bir ya da birden çok ışın kesilince, çok ışınlı güvenlik bariyeri, ışın hareketinin kesildiğini bir sinyal değişimi ile güvenli anahtarlama çıkışlarına bildirir. Makine veya kontrolör, sinyalleri güvenli şekilde değerlendirmeli (örneğin güvenli bir kontrol ünitesi veya güvenlik rölesi) ve tehlikeli durumu sonlandırmalıdır.

Verici ve alıcı, optik yol üstünde otomatik olarak senkronize olur. Her iki bileşen arasında bir elektrik bağlantısı gerekli değildir.

Çizelge 5.1 Hat ihlal sensörü özellikleri

Tarama mesafesi	90 m
Işık yolunun uzunluğu	10 m ... 90 m
Işın demeti sayısı	2
İki ışın arasındaki mesafe	500 mm
Güvenlik için entegrasyon seviyesi	SIL3 (IEC 61508)
PFHD (saat başına tehlike getiren devre dışı kalma ortalama olasılık)	$3 * 10^{-9}$
Kullanım ömrü	20 yıl (ISO 13849)

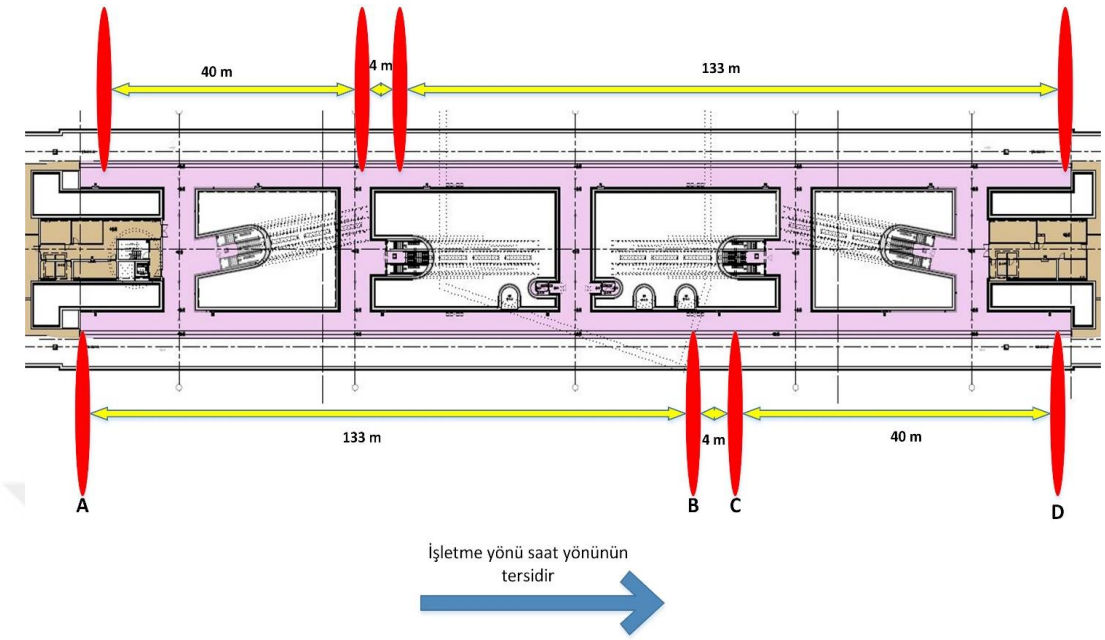
5.2 Tren Konum Algılama Devresi

Sistemin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için algılama hem yolcu hem de tren açısından kritik öneme sahiptir. İhlal ile ilgili algılama devresi için bir önceki başlıkta yeterli bilgi verilmiş olup bu başlıkta tren konum algılama devresi için bir model tasarlanmaya çalışılacaktır.

Hat ihlali, tren peronda değilken ya da tam perona giriş yapmak üzereyken konuşulması gereken bir konudur. Tren perona başarılı bir şekilde giriş yapmış ve peronda önceden belirlenmiş duruş noktalarında belirli toleranslar içinde (Kadıköy-Kartal hattı için durma noktası referans alınırsa +/- 50 cm) durabilmişse sinyal sistemi denetimi altında kapılarını açar ve yolcu sirkülasyonu başlar. İşte tam bu noktada hat ihlali durumu ortadan kalkmaktadır, yolcular trene binmekte ya da trenden inmektedir dolayısıyla hem sarı çizgiyi geçmekte hem de belirlenmiş peron sınırını aşmaktadırlar. Perondaki yolcu dolaşımının hat ihlal uyarı sistemini etkilememesi için tren peronda iken daha doğru bir ifadeyle yolcu sirkülasyonu başlamak üzere iken hat ihlal sisteminin devre dışı bırakılması gerekmektedir. Bu sayede trene binme ve trenden inme bir alarm durumu olarak algılanmayacaktır.

Ele alınan Kadıköy-Kaynarca metro hattında 4'lü ve 8'li dizilerle karma işletme yapılması tren konumlarının algılanmasını ve yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Tren konum algılama devresi için peronun girişine, işletme yönüne göre 133. 137. ve 177. metrelerine mevcudiyet algılama sensörleri yerleştirilmelidir. Bu sensörler sayesinde trenin boyu mantıksal olarak ölçülecek ve yorumlanacaktır. 4'lü ve 8'li diziler için olası senaryolar yönetim katmanı başlığında verilmiştir. Bu tasarım olası kaza senaryoları düşünüldüğünde en iyi tasarımdır. Eğer tren konum algılama devresi basit kurgulanırsa 8 vagonlu tren perona giriş yaptığı anda algılama yapılıp sistem durdurulur ve peronun diğer ucunda olabilecek bir ihlal tespit edilemez. Peron uzunluğunun 180 metre olduğu göz önüne alındığında bu mesafede tamamen makinist reflekslerine güvenmek risklidir. Peron ortasına yakın yapılacak ek algılamalar ile trenin peronda risk içermeyecek şekilde yavaşladığı ana kadar sistem çalışmaya ve hat ihlallerini tespit etmeye devam edecektir. Aynı şekilde 4'lü dizi tekrar harekete geçtiğinde sistem bunu algılayacak ve tren peronu terk edene kadar hat ihlal tespiti devam edecektir. Yönetim katmanında da gösterileceği üzere hem 4'lü hem de 8'li dizi için en iyi senaryo kurgulanacaktır.

Temel olarak devre Şekil 5.6'da gösterildiği gibi öngörülmektedir. Kadıköy – Tavşantepe hattında işletme yönü saat yönünün tersi olup Hat1>Hat2 şeklindedir.



Şekil 5.6 Tren konum sensörleri

A, B, C, D olarak simgelenen sensörlerin her biri gerçekte 1oo2 prensibi ile çalışan iki adet sensör içermektedir. Fiziksel olarak yerleşim ise Şekil 5.7'de gösterildiği gibi öngörülmektedir.

Şekil 5.7 Tren konum sensörü yerleşimi

Tren konumu algılaması için seçilen L41 dedektörünün özellikleri aşağıdaki Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Tren konum sensörü özellikleri

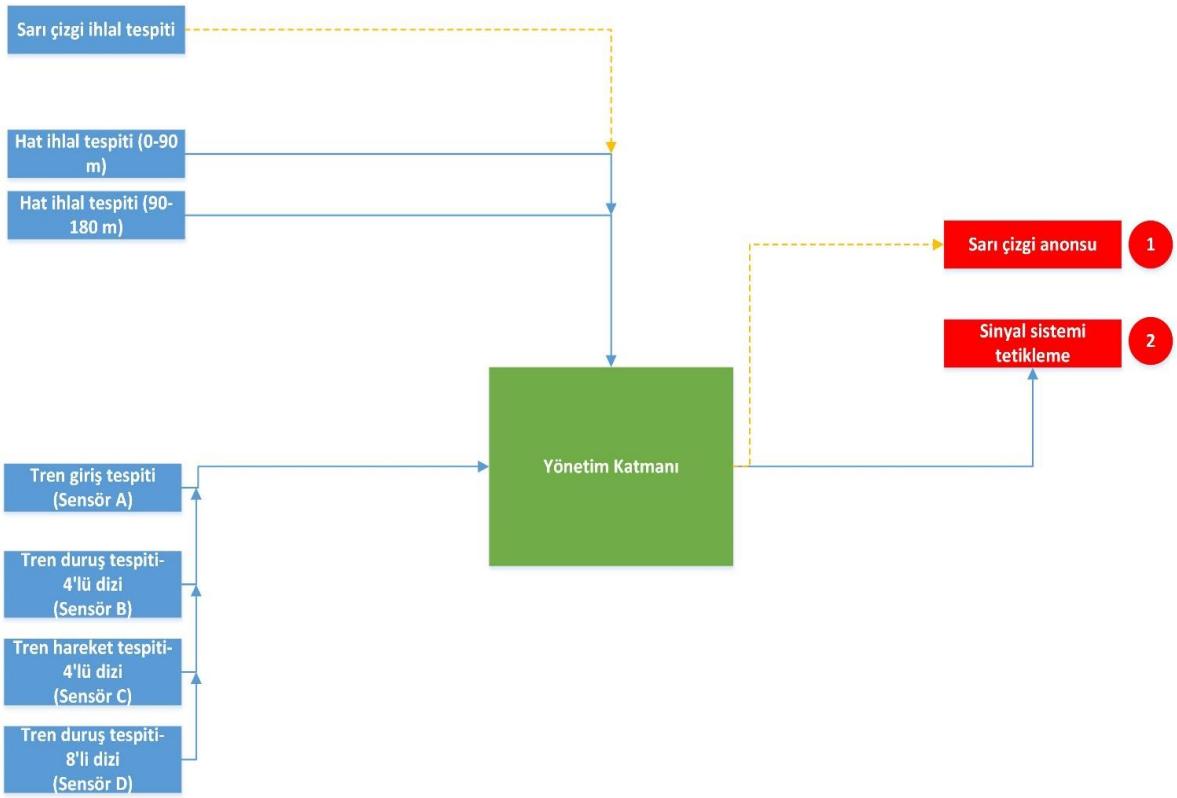
Tarama mesafesi	0-10 m
Işın demeti sayısı	1
Güvenlik için entegrasyon seviyesi	SIL3 (IEC 61508)
PFHD (saat başına tehlike getiren devre dışı kalma ortalama olasılık)	$8.1 * 10^{-10}$
Kullanım ömrü	20 yıl (ISO 13849)

5.3 Yönetim Katmanı

Algılama devresinin hassas ölçüm yapması esastır. Fakat burda önemli olan husus bunun doğru bir şekilde yorumlanmasıdır. Yanlış algılamalar veya yönetim katmanının hatalı yorumları metro sistemin genel elverişliliğine etki edecektir. Algılama devresinden gelecek girdiler ile yönetim katmanından beklenilen doğru zamanda doğru çıkışların tetiklenmesidir. Bu katmanda olabilecek bir hata, algılamanın doğru yapılmasına rağmen yanlış sonuçlar üretilmesine yol açacaktır. Bu noktada kritik bir öneme sahip olan yönetim katmanı için önerilen ürün emniyetli programlanabilir lojik kontrolüdür. Emniyetli PLC' ler endüstride sıkça kullanılmakta olup özellikle riskli ve emniyet seviyesinin önem arz ettiği operasyonlarda rüştlüğünü ispatlamıştır.

Sistemde kullanılması planlanan PLC HIMA firmasına ait F35 tipi CPU'dur. Cihaz kendi içinde giriş, çıkış ve işlem birimlerini içeren kompakt bir ürün olup 24 dijital giriş, 8 dijital çıkış, 2 sayıcı ve 8 analog girişe sahiptir ve bir metal mahfazaya yerleştirilmiştir. Kontrolör, SIL 3'e kadar güvenlikle ilgili uygulamalar için TÜV tarafından sertifikalandırılmıştır. (IEC 61508, IEC 61511 ve IEC 62061). Cihazın PFH değeri $1,5*10^{-8}$ olarak verilmektedir.

Sistem mimarisi genel olarak aşağıdaki Şekil 5.8' de verilen girdi ve çıktılara sahip olacaktır.



Şekil 5.8 Genel prensip şeması

Görüldüğü üzere hat ihlali için yönetim katmanı algılama devrelerinden gelen birbirlerinden farklı ve bağımsız girdileri yorumlayacaktır. Bunlardan ikisi hat ihlali ve kalan dördü tren konum bilgileridir. Yönetim katmanının sarı çizgi ve hat ihlallerine üreteceği çıktı farklı olacaktır. Sarı çizgi ihlali için 1 numaralı çıktı olan sarı çizgi anonsu tetiklenebilir.

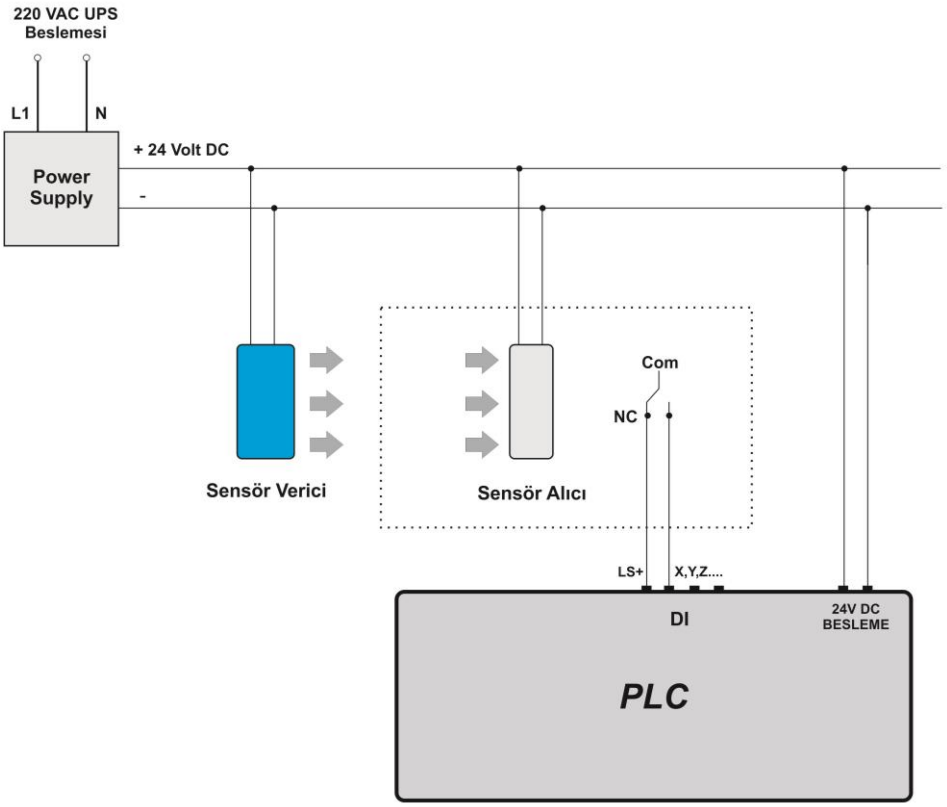
Yönetim katmanı tarafından hat ihlal tespiti girdileri gerçek bir ihlali tespit etme noktasında yorumlanacaktır. Gerçek bir ihlal, yolcuların kısa süreli perondan sarkmaları veya kısa süreli el, kol, ayak hareketlerinden bağımsız tam olarak hat ve yolcu için tehdit oluşturabilecek aksiyondur. Bundan dolayı 0-90 m ve 90-180 m aralıklarında tespit yapmak üzere üst üste yerleştirilmiş sensörlerden veriler paket halinde beraberce gelmeden 2 numaralı çıktı yönetim katmanı tarafından üretilmeyecektir. Trenin giriş, duruş ve tekrar hareket girdileri ise tren peronda iken sistemin devre dışı bırakılmasını sağlayarak yolcu sirkülasyonunu kesintiye uğratmayacaktır. Hem 4 hem de 8 vagonlu işletmede fark etmeksizin peronda duruşlarda tren peronu ortalamaktadır.

Yönetim katmanı Çizelge 5.3'de belirtilen tren konum devresinin anlık durumlarına göre ihlal tespitinin devam edip etmeyeceğine karar verecektir.

Çizelge 5.3 Tren konum durumlarına göre alınacak aksiyonlar

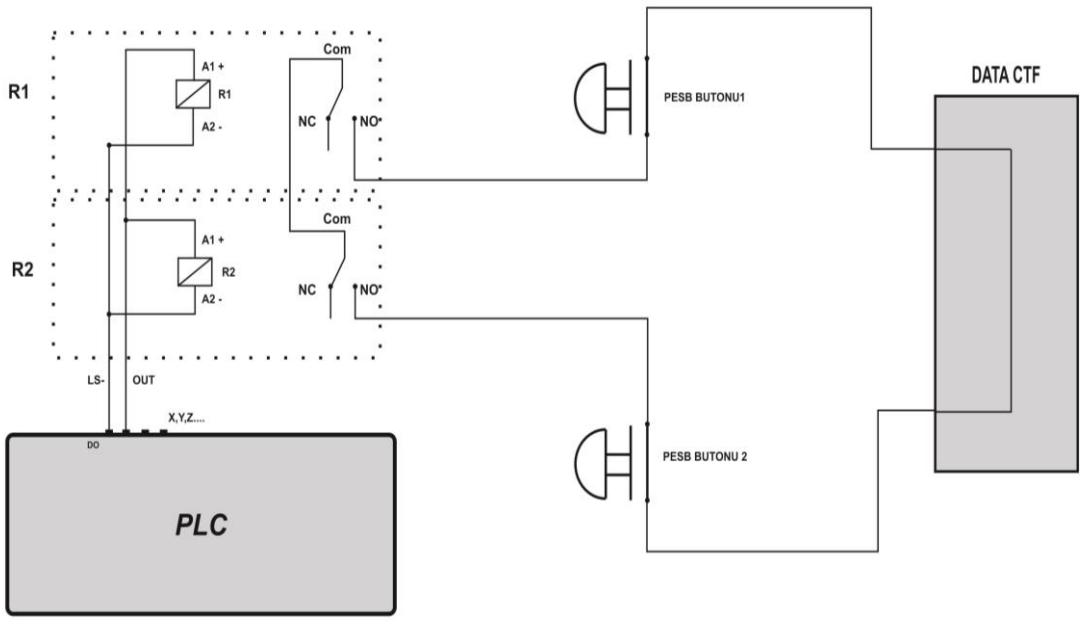
Sensör A	**Sensör B**	**Sensör C**	**Sensör D**	**Aksiyon**
1	0	0	0	Hat ihlal tespiti devam eder
0	0	0	0	Hat ihlal tespiti devam eder
0	1	0	0	Hat ihlal tespiti durdurulur
0	1	1	0	Hat ihlal tespiti devam eder
0	1	1	1	Hat ihlal tespiti devam eder
0	0	1	1	Hat ihlal tespiti devam eder
0	0	0	1	Hat ihlal tespiti devam eder
1	1	0	0	Hat ihlal tespiti devam eder
1	1	1	0	Hat ihlal tespiti devam eder
1	1	1	1	Hat ihlal tespiti durdurulur

Şekil 5.9 ile ifade edildiği üzere algılama devresi için genel bağlantılar hatada emniyetli kurgulanıp normalde kapalı kontaklar üzerinden yapılmıştır.



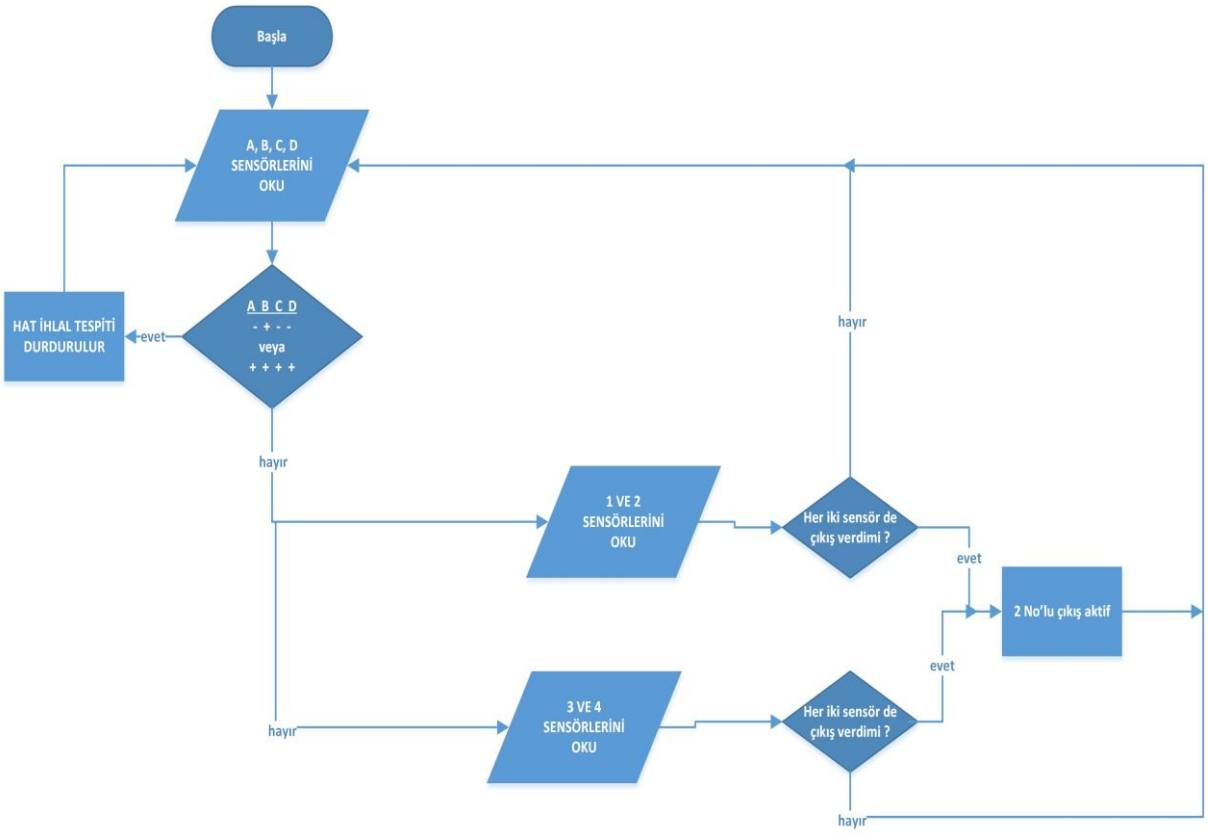
Şekil 5.9 Sensörler için genel bağlantı detayları

Çıkış için aynı hatada emniyetli prensibi kullanılarak Şekil 5.10 ile verildiği üzere tasarım yapılmıştır.



Şekil 5.10 PLC çıkış bağlantıları

Sistemin genel akış diyagramı ise Şekil 5.11 ile ifade edilmiştir.



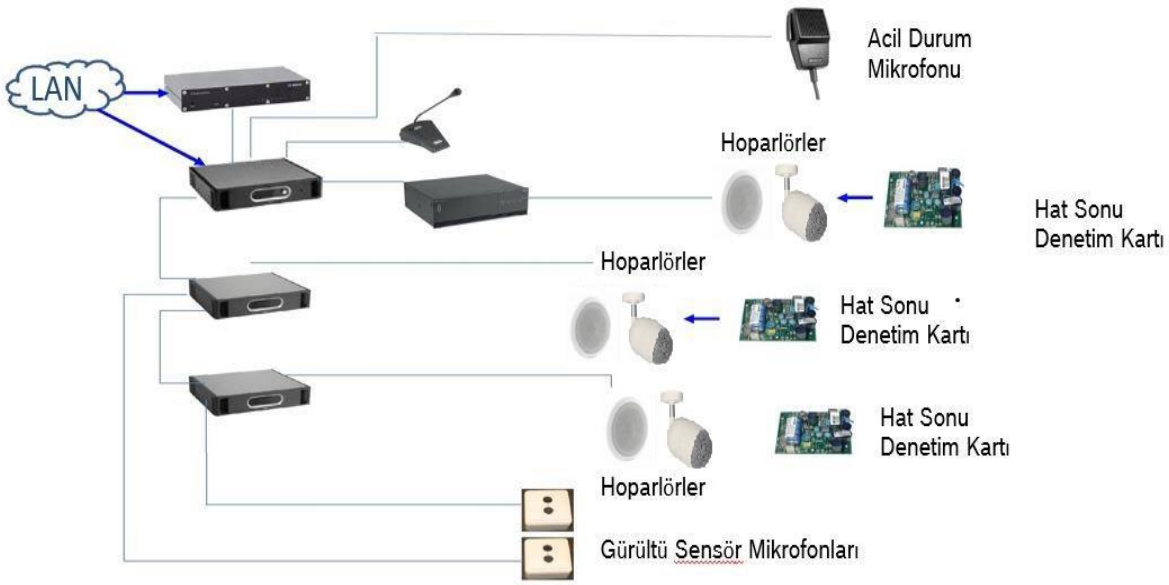
Şekil 5.11 Sistem akış diyagramı

5.4 Çıkışlar ve Tetikleme

Yönetim katmanında bahsedildiği üzere sistem, girdilerin niteliğine göre uygun tetiklemeleri yapabilmelidir. Bu bağlamda 1 ve 2 numaralı çıkışlar irdelenecektir. Çıkışlar için metro hattının halihazırda kurulu olan anons sistemi ve sinyal sistemiyle arayüz oluşturulması gerekmektedir.

5.4.1 Anons Sistemi

Karmaşık bir yapıya sahip olan metro sistemlerine entegre olmak başlı başına bir çalışma gerektirmektedir. Aşağıdaki Şekil 5.12'de mevzubahis metro hattı olan Kadıköy-Kaynarca metrosunun anons sisteminin genel mimarisi yer almaktadır.



Şekil 5.12 Anons sistemi genel şema

5.4.1.1 Alt Sistem Mimarisi

Her istasyonda merkezi kontrol ünitesi, amplifikatörler, anons mikrofonu, gürültü sensör mikrofonları, hoparlörler ve IP-Ses dönüştürücü üniteleri kullanılmaktadır. İstasyonlarda lokal olarak canlı veya kayıtlı anons yapılabileceği gibi, sistem merkezinden de canlı veya kayıtlı anonslar yapılabilmektedir.

Sistem merkezinden gönderilecek ses sinyalleri IP-Ses Dönüştürücüleri vasıtası ile istasyonlara iletilmektedir.

Operatör bilgisayarından USB arayüzü ile bağlı mikrofon veya PC'deki kayıtlı anonslar PC'nin ses çıkışından ses bölücü (Audio Splitter) ekipmanına ulaşmakta burada çoklanan sinyal IP ses arayüzleri aracılığıyla iletim sisteminin sağladığı ethernet altyapısı üzerinden istasyonlara iletilmektedir.

İstasyonlarda sinyal IP ses arayüzü aracılığı ile iletim sisteminin sağladığı ethernet üzerinden alınmakta ve ilgili bölgelere iletilmektedir.

Platformlara yerleştirilen gürültü algılama mikrofonları ile anons veya müzik seviyesi yolcuların ve metro aracının oluşturacağı ses seviyesine göre otomatik olarak ayarlanmaktadır. Çok gürültünün olduğu ortamlarda ses seviyesi artırılmakta ve yine ses seviyesinin düşük olduğu durumlarda da ses seviyesi düşürülerek kaliteli ve düzgün bir anons yapılması sağlanmaktadır.

5.4.1.2 Acil Durum Modu

Bu mod, anons sistemi ana çağrı mikrofonları tarafından veya SCADA sistemi tarafından çalıştırılabilir. (kuru kontak arayüzü).

Anons sistemi çağrı mikrofonları, en yüksek öncelikteki canlı mesajları (operatörlerin sesi) gönderebilir veya önceden kaydedilmiş Acil Durum mesajlarını (korumalı düğmeler) aktifleştirebilir.

SCADA, yalnızca önceden kaydedilmiş acil durum mesajlarını tetikleyebilmektedir.

5.4.1.3 Arayüz

Hat İhlal Sistemi Arayüzü

İhlal sistemi ile metro hattı anons sistemi arasında bir arayüz tesis edilmelidir.

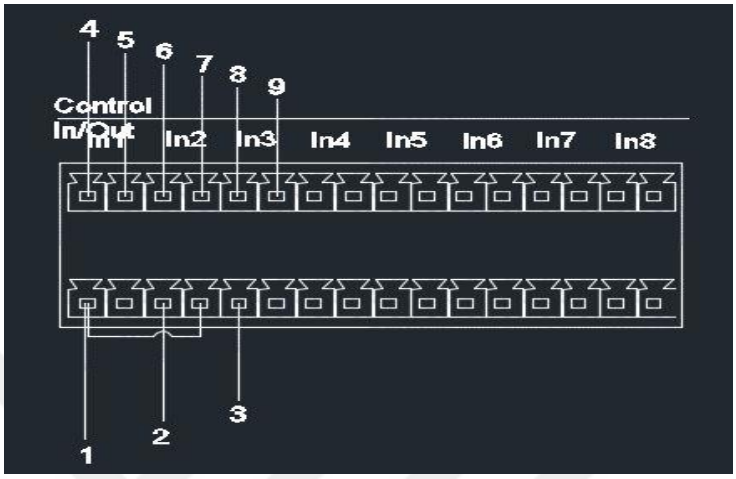
Anons kabininde entegre olunacak ekipman Bosch marka PRS-NC03 model üründür. Ürün sistemin genel anlamda beyni olup Şekil 5.13'de görüldüğü üzere kuru kontak bağlantılara sahiptir.

Şekil 5.13 Anons kuru kontak bağlantıları

Ağ kontrol ünitesi sistemin kalbidir. Ünite, maksimum 28 adet anlık ses kanalını yönlendirir, sisteme güç sağlar, arızaları rapor eder ve sistemi kontrol eder. Ses girişleri; anons istasyonlarından anonslar, arka plan müziği veya yerel ses olabilir. Ağ kontrol ünitesi, en karmaşık genel seslendirme sistemleri için konfigüre edilebilir.

Konfigürasyon, bilgisayar yoluyla rahat ve etkili bir şekilde yapılabilir. Bilgisayar, yalnızca yapılandırma için gerekir. Denetleyici, bilgisayardan bağımsız olarak çalışabilir.

Yönetim katmanından alınacak girdi şekil 5.14'de gösterilen interfaz kartına iletilecek olup buradan tetiklenecektir.



Şekil 5.14 İnterfaz kartı çizim

Kart üzerindeki IN4 numaralı giriş kullanılabilir. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 no 'lu kontaklar hali hazırda acil durum senaryolarında kullanılmaktadır.

Metro anons sistemi modüler ve esnek olacak şekilde tasarlandığından arayüz işlemleri yazılım üzerinden konfigüre edilebilmektedir. Kullanılacak olan IN4 kontağı normalde açık veya kapalı olarak seçilebilmektedir. Ağ üzerindeki herhangi bir bilgisayar üzerinden bu işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

5.4.2 Sinyal Sistemi

Sinyal sistemi genel çalışma yapısı ile ilgili daha önce Bölüm 2'de detaylı bilgi verilmiş olup bu başlıkta genel anlamda arayüze odaklanılacaktır.

5.4.2.1 Hat ihlal Sistemi-Sinyal Sistemi Arayüzü

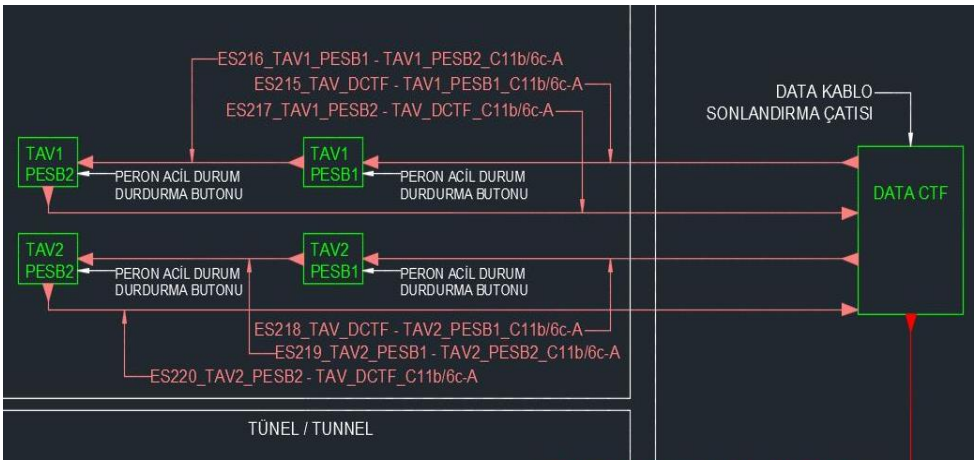
Hat ihlal sisteminin arayüz oluşturacağı bir diğer sistem Sinyal sistemidir. Sinyal sistemi metro hattı işletmesinin merkezindedir. Tüm tren hareketlerinin, atamaların ve tahsislerin güvenli ve emniyetli bir sınır dahilinde yapılmasını garanti eder.

Daha önce açıklandığı üzere her istasyonda peron acil durdurma butonları (PESB) vasıtasıyla peron seviyesinde ray hattına herhangi bir müdahale olduğunda zarar en

aza indirilmeye çalışılmaktadır. Mevcut sistemde butonlar manuel olarak çalışmaktadır yani başka bir yolcunun intihar ya da kaza durumlarında butona basması gerekmektedir. Butona basılmasıyla ilgili peron tren hareketine kapanmakta perona tren girişi kesilmekte eğer hali hazırda peronda bir tren varsa tekrar harekete başlaması engellenmektedir. Pek tabi ki böylesine kritik bir işlemin başka bir yolcunun acil durumda butona basabilme refleksine bırakmak yerine otomatik gerçekleştirilmesi daha faydalı olacaktır. Bu bağlamda bir hat ihlal sistemi tasarlanması ve bunun sonucunda mevzubahis acil durum işlemlerinin otomatik bir şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Sinyal sistemi kapsamında PESB'ler bir kapalı çevrim içindedir. Normalde kapalı kontak prensibi ile çalışan bu butonlar ve çevrim üzerinde sürekli 24 volt dolaşmaktadır. Her peronda iki adet olmak üzere bir istasyonda toplam dört adet buton tesis edilmektedir. Peron boyu 180 metre olduğundan bir yolcunun butona ulaşması için yürümesi gereken maksimum mesafe 45 metredir. Kadıköy-Tavşantepe metrosunda tipik bir PESB döngüsü şekil 5.15 ile verilmektedir.

Peronda kapalı çevrim olarak olarak tasarlanan PESB kablosu istasyon sinyal odasında "Data CTF" kabinlerinde sonlanır.



Şekil 5.15 PESB kapalı çevrimi

Tasarlanacak hat ihlal sistemi peron acil durdurma butonları döngüsüne dahil olacaktır. Hem sinyal sistemi hem de hat ihlal sistemi kendi içinde hatada emniyetli olduğundan arayüz kapalı kontaklı bir emniyet rölesi ile gerçekleştirilebilir. Daha önce yönetim katmanında gösterildiği üzere hem röle üzerinde hem de sinyal sistemi kapalı

çevrimindeki butonlar üzerinde normal durumda sürekli 24 volt dolaşacaktır. DO kartı çıkış verdiğinde emniyetli röle kontağını açacak ve mevcut butonlar arası bağlantı kopacaktır. Sinyal sistemi bu durumda hatada emniyetli çalışma prensibi nedeniyle trenleri derhal durduracaktır. Arayüz için kullanılan röle Schneider-XPSAFL5130 ürünüdür.

Röle katalog bilgisinde ürünün emniyetli olarak acil durdurma devreleri için üretildiği belirtilmiştir. Üretici beyanları doğrultusunda cihazın emniyet parametreleri ;

DC (Teşhis kapsamı) > 99 %

$MTTF_D$ = 172 yıl

$PFH_D = 5{,}61*10^{-9}$ olarak verilmektedir.

BÖLÜM 6

EMNİYET BÜTÜNLÜĞÜ DEĞERİ

Sürücülü bir metro hattında uygulanan işletme konsepti ve yolcu güvenliği için alınan önlemler daha önce Bölüm 3'de detaylarıyla açıklanmıştı. Yolcu güvenliğinin en çok düşünülmesi gereken yerlerden biri yolcunun trene bindiği ve trenden indiği peronlardır. Her ne kadar yolcu güvenliği için istasyon peronunda tedbirler alınsa da acil durumlar için farklı bir bakış açısına sahip olunmalıdır. Dünyada görüldüğü üzere hat ihlal algılama sistemleri bir ilave tedbir olarak peronlarda tesis edilmektedir. Tasarlanacak hat ihlal sistemi direkt olarak tren işletimini ve yolcuların can güvenliğini etkilediğinden fonksiyonel emniyet açısından "güvenli" olmalıdır. Bölüm 4'te tarif edildiği gibi emniyetli kavramı "Emniyet Bütünlük Derecesi" ile sınıflandırılabilir. Söz konusu hat ihlal sisteminin emniyet bütünlük derecesinin (SIL) ne olması gerektiği yani ne kadar "güvenli" olması gerektiği tespit edilmelidir. Buna göre sistem tasarlanıp uygulanmalıdır.

6.1 Ön Tehlike Tanımlaması

Sistem tasarlanırken öncelikli olarak risklerin ne olduğu ortaya koyulur. Bu yaklaşım, potansiyel ölüm ve yaralanmalara sebebiyet verecek tüm tehlikeleri kapsamlı ve sistematik şekilde tanımlar ve kayıt eder.

Tehlike tanımlaması ve analizi aşağıdaki adımları bünyesinde bulundurur:

Tehlike tanımlaması,

Sistem ile ortak olan tüm tehlikelerin detaylı analizleri,

Güvenlik tedbirleri ve koruma özelliklerinin tanımlanması,

Tehlikelerin sonuçlarının tanımlanması.

Bu analiz, en olası tehlikeli olayların ve ekipman arızalarının tipik sonuçlarını göstermesini amaçlamaktadır. Bunların seçimleri, benzer ulaştırma sistemlerinde uygulanan analizlere ve diğer demiryolu sistemlerinde meydana gelen kazalara dayanmaktadır.

Mümkün olan sonucun tanımı, tehlikenin gerçekleşmesi halinde doğurabileceği en şiddetli sonucun en kötü durumda değerlendirilmesi üzerine kurulmuştur. Örneğin, ray hattına bir yolcunun düşmesi durumunda sadece yaralanmalar olabilir ama mümkün olan en kötü durumda ölümle sonuçlanabilir ve dolayısıyla hat ihlali şiddet kategorisi 2'ye tekabül eder.

Analiz ile aşağıdaki başlıca sonuçlar elde edilmiştir:

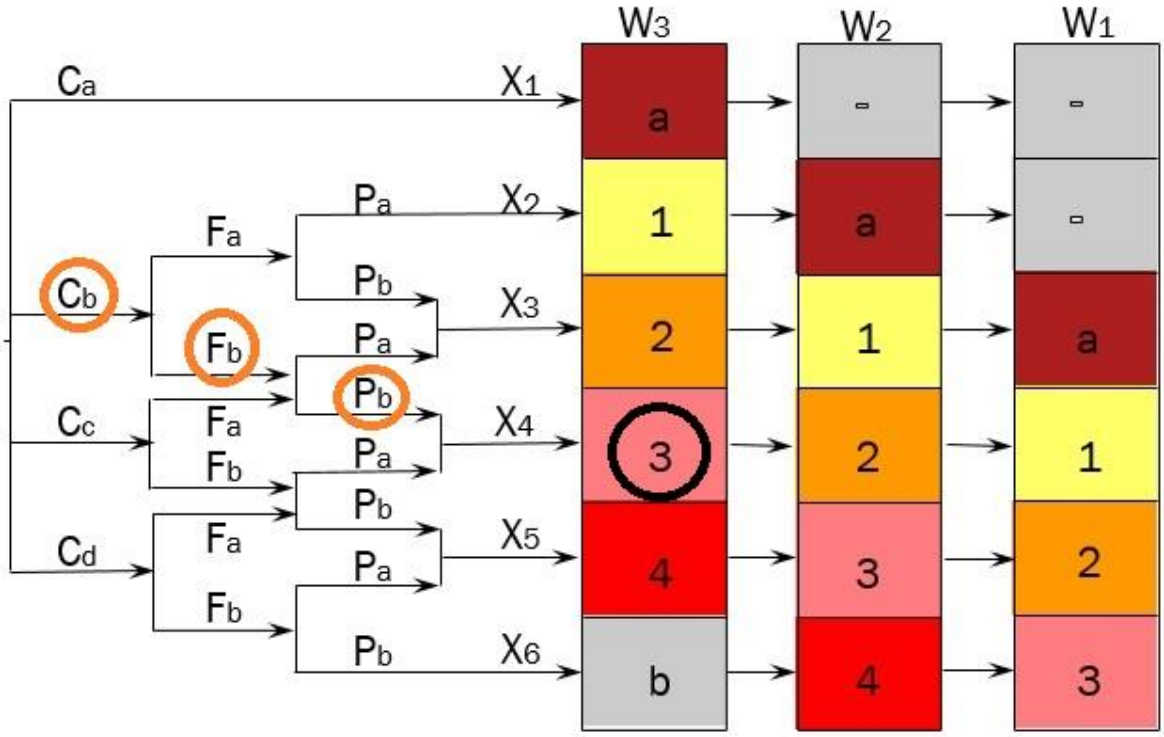
- Sistemin bütün yaşam döngüsü boyunca riski bertaraf etmek veya kabul edilebilir bir seviyeye düşürmek hedefli faaliyetler bakımından bir tehlikeler grubu tanımlanmış, takip edilmiş ve değerlendirilmiştir,
- Diğer benzer sistemlerden alınan dersleri de ihtiva eden tarihsel emniyet verileri dikkate alınmış ve kullanılmıştır,
- Tehlikeleri gidermek veya riski kabul edilebilir bir seviyeye indirmek için alınan önlemler belgelendirilmiştir (tasarım sırasında emniyet özelliklerinin vaktinde dahil edilmeleri, sistemin belirlenmesi ve geliştirilmesi, emniyeti arttırmak için güçlendirme çalışmalarına olan ihtiyacı azaltacaktır).

Çizelge 6.1'de belirtilen ön tehlike analizine göre risk, frekans (oluş sıklığı) ve şiddet tanımlanmıştır.

Çizelge 6.1 Ön tehlike analizi

Tehlike Tanımı	Konum	Sebep	Sonuç	Frekans	Şiddet	Risk	Hafifletici Önlemler/Açıklamalar
Bir yolcunun ray hattına düşmesi	peron	kaza, sabotaj veya intihar	yaralanma veya muhtemelen can kaybı	A	2	Tolere edilebilir	"Hat İhlal Algılama" sistemi ile ray hattı ihlalleri algılanır ve riski azaltacak aksiyonlar alınır.

Şekil 6.1 ile verildiği üzere risk grafiği yöntemiyle IEC 61508 direktifleri doğrultusunda işlem yapıldığında kurulacak hat ihlal algılama sisteminin en az SIL 3 seviyesinde olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

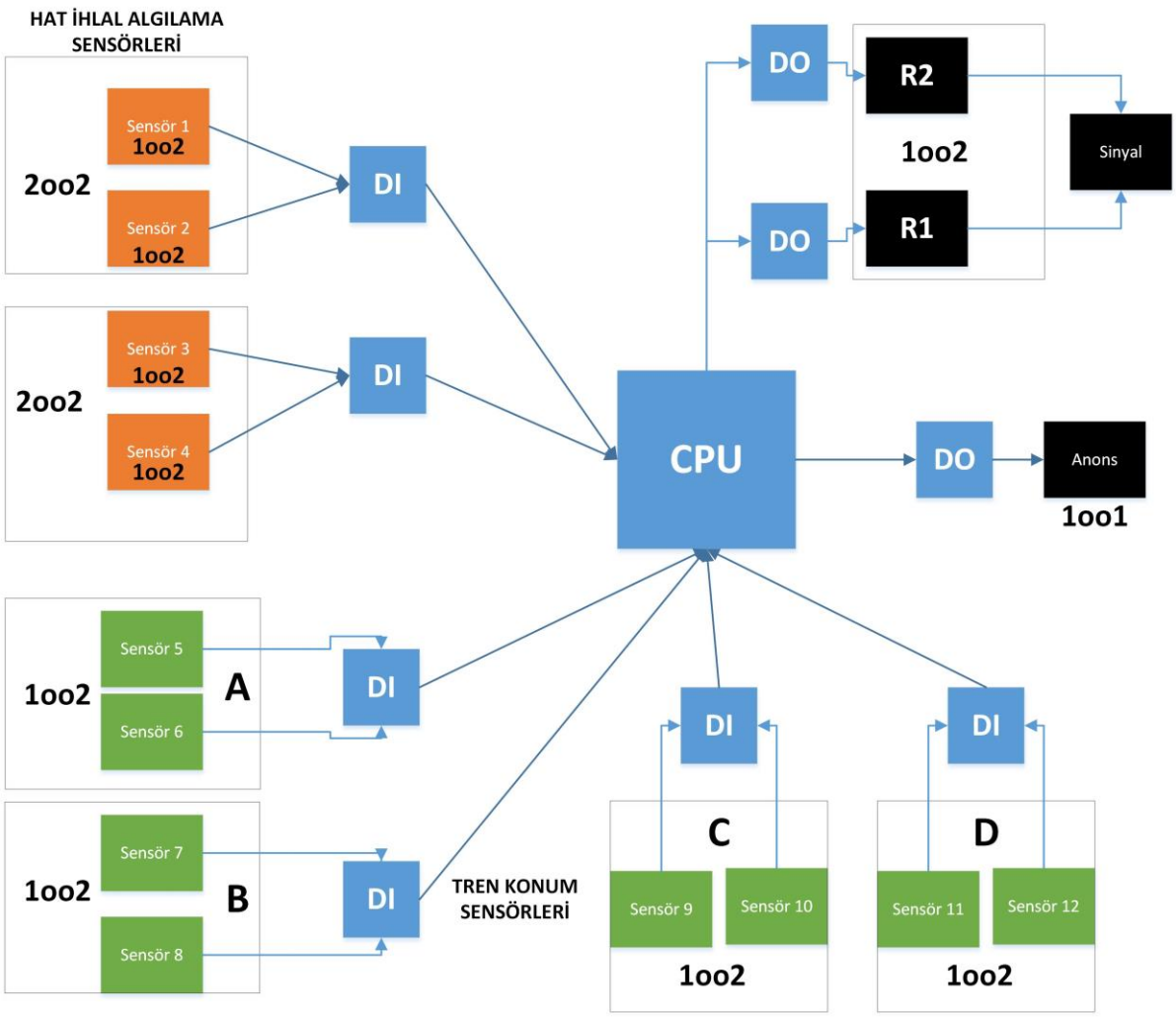


Şekil 6.1 Tehlike tanımlamasına göre risk grafiğinin şekillenmesi

Daha önce bölüm 4'de açıklandığı üzere risk grafiği için seçilen değerler; Cb, Fb, Pb ve W3'tür.

6.2 Emniyet Bütünlük Derecesinin Tespiti

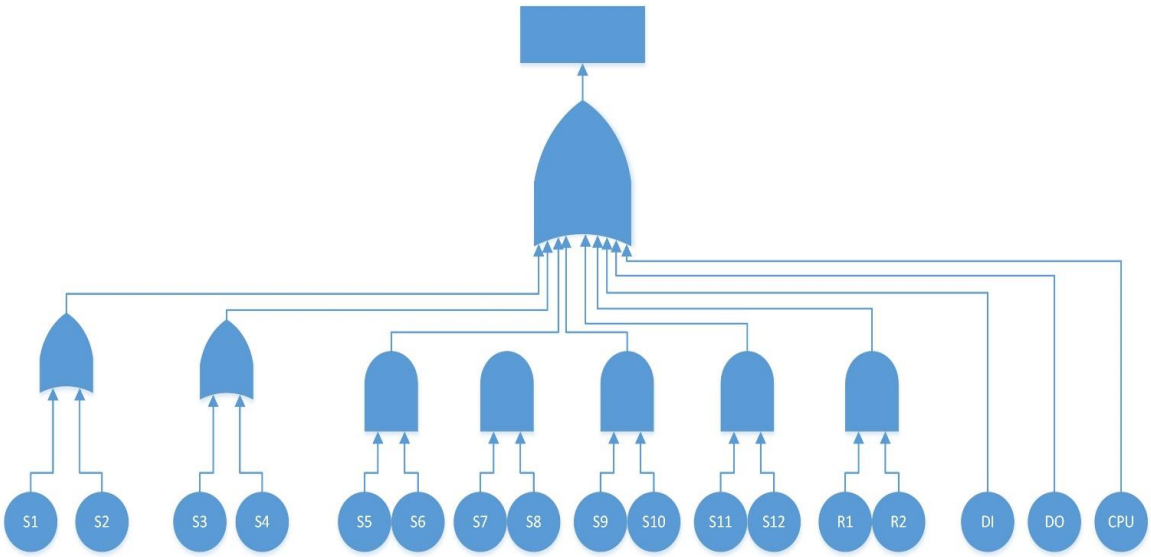
Sistem genel emniyet prensip şeması Şekil 6.2' de verilmiştir. Sistem toplam 4 adet 2oo2 ilkesine göre çalışan ihlal algılama sensörüne ve 8 adet 1oo2 ilkesine göre çalışan tren konum sensörüne sahiptir. Çıkışlar anons ve sinyal tetikleme olarak iki adettir. Daha önce belirtildiği gibi emniyet hesabı sadece sinyal sistemi tetiklemesi için yapılacaktır. Anons sistemi için verilecek çıkış ayrıca tasarımlandırılabilir.



Şekil 6.2 Sistem genel emniyet şeması

Görüldüğü üzere hat ihlal algılama sensörleri kendi içinde iki ışın demeti içermekte ve her biri 1oo2 olacak şekilde çalışmaktadır. Tasarımda ise bu sensörler ikişerli olarak gruplandırılmış ve 2oo2 yapısı kurulmuştur. Sensörlerin kendi içinde 1oo2 çalışması hesaplamaları etkilememekte olup direkt olarak üreticinin beyan ettiği hata oranı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Bu bilgiler ışığında sistemin hata ağacı şekil 6.3’ de verilmektedir.



Şekil 6.3 Sistemin hata ağacı

Öncelikle sistem yüksek talep modunda çalışacağından PFH hesabı yapılmalıdır. Sistemin toplam PFH değeri THR değerine eşit kabul edilebilir. Her bir bileşenin ayrı ayrı PFH değerleri üzerinden değerlendirme yapılır. EN 61508 standardında 1oo2, 2oo2 ve 1oo1 vb. bileşenlerin hesabının nasıl yapılacağı belirtilmiştir [35].

Standartta verildiği üzere PFH_{SYS}, emniyetle ilgili sistem için bir güvenlik işlevinin tehlikeli bir şekilde arızalanması olasılığı, birlikte güvenlik fonksiyonunu sağlayan ve bu bireysel değerleri bir araya getiren tüm alt sistemler için tehlikeli arıza oranlarını hesaplayarak belirlenir ve (6.1) eşitliği ile ifade edilir.

$$PFH_{SYS} = PFH_S + PFH_L + PFH_{FE} \quad (6.1)$$

PFH_{SYS}; Sistemin geneli için bir emniyet fonksiyonunun tehlikeli arızalarının ortalama frekansıdır.

PFH_S; sensör alt sistemi için tehlikeli arızaların ortalama frekansıdır.

PFH_L; mantıksal alt sistem için tehlikeli arızanın ortalama frekansıdır.

PFH_{FE}; son eleman alt sistemi için tehlikeli arızaların ortalama frekansıdır.

İlgili standartta PFH formülleri yapı modellerine göre şekillenmektedir. Buna göre formüller (6.2), (6.3), (6.4) ve (6.5) eşitlikleriyle verilmiştir.

1oo1 yapı için;

$$PFH = \lambda_{DU} \quad (6.2)$$

2oo2 yapı için;

$$PFH = 2\lambda_{DU} \tag{6.3}$$

1oo2 yapı için;

$$PFH = 2[(1 - \beta_D)\,\lambda_{DD} + (1 - \beta)\,\lambda_{DU}]\,(1-\beta)\lambda_{DU} t_{CE} + \beta\lambda_{DU} \tag{6.4}$$

$$t_{CE} = \frac{\lambda DU}{\lambda D}\left(\frac{T1}{2} + MRT\right) + \frac{\lambda DD}{\lambda D} MTTR \tag{6.5}$$

Formülde yer alan T_1 değeri kanıt test aralığını simgelemektedir. β değeri için ise standartta tanımlandığı üzere değerler alınmıştır. İhlal algılama ve tren konum sensörleri için üretici firma kataloğunda PFH_D değeri verilmektedir. Bu değer saat başına tehlike getiren devre dışı kalma için ortalama olasılıktır. Bu değerden (6.6) eşitliği yardımıyla λ_{DU} bulunabilir.

$$PFH_D = \frac{1}{MTTF} = \lambda_{DU} \tag{6.6}$$

Ayrıca DC (Teşhis kapsamı) oranından tehlike arızalardan yüzde kaçının tespit edilebilir tehlikeli, yüzde kaçının tespit edilemeyen tehlikeli olduğu bulunabilir. Sensörler için genel teamül olarak DC oranı %60 alınabilir. Bunun yanı sıra sinyal çıkış rölesi için hesaplamalar tekrar edilir. Çıkış rölesi için katalogta belirtilen DC oranı %99'dur. Daha önce verilen (4.3), (4.5), (6.1), (6.2), (6.3), (6.4) ve (6.5) eşitlikleri yardımıyla veriler değerlendirilince çıkan sonuçlar ve bileşenlerin parametreleri Çizelge 6.2 ile verilmiştir.

Çizelge 6.2 Sistem bileşenlerinin parametre değerleri ve sonuçlar

	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}	β	β_D	T_1	MTTR	t_{CE}	PFH
Hat İhlal (2oo2)	-	-	$3 * 10^{-9}$	-	-	-	-	-	$6*10^{-9}$
Tren Konum (1oo2)	$20.25*10^{-10}$	$12.15 *10^{-10}$	$8.1*10^{-10}$	0,1	0,05	4380	8	884	$81000,25*10^{-15}$
CPU (1oo1)	-	-	$1,5*10^{-8}$	-	-	-	-	-	$1,5*10^{-8}$
Çıkış Rölesi (1oo2)	$561*10^{-9}$	$555,4 * 10^{-9}$	$5,61*10^{-9}$	0,1	0,05	4380	8	29,9	$560160,8*10^{-15}$
SİSTEM GENEL	-	-	-	-	-	-	-	-	$27,88*10^{-9}$

Çizelge 4.6’ dan anlaşılacağı üzere sistem SIL 4 emniyet seviyesine sahiptir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile literatürde yer alan bazı kavram karmaşalarına cevap vermeye çalışılmıştır. UTO, ATO, DTO gibi birbiriyle sürekli karşılaştırılan ve yanlış kullanılan terimler ile ilgili soru işaretleri giderilmiştir. İnsan faktörünün hata anlamında ne kadar büyük bir kaynak olduğu ve otomasyon artışının bu konudaki pozitif etkisi kaza istatistikleri yoluyla anlaşılmıştır. Temel sinyalizasyon yapıları olan sabit blok ve hareketli blok yapıları karşılaştırılmış ve hangi çözümün nerede ve nasıl daha uygun olacağı tariflenmiştir.

İkinci olarak bu tez çalışmasında, açıklanan avantajlarının ağır basmasından dolayı dünyadaki genel eğilimin GoA4 seviyesinde işletme yapan sürücüsüz metrolara yönelik olduğu anlaşılmıştır. GoA4 seviye işletmenin artıları olacağı gibi eksilerinin de olabileceği görülmüş ve maliyet artışı gibi problemler belirtilmiştir. Otomasyon seviyesi artırımı konusunda ise iyi bir fizibilite çalışması yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Uygun koşullar altında bir sürücüsüz metronun fazla maliyetini orta vadede tolere edebildiği anlaşılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken ne istendiğidir. Yolculuk yükü, talep edilen emre amadelik, talep edilen işletme sıklığı, bulunulan coğrafya, kültür, uygulanması düşünülen işletme konsepti vb. etkenler hattın sürücülü mü yoksa sürücüsüz mü olması gerektiğini belirleyen ana unsurlardır. Bu analiz yapılmadan sürücülü metro ya da sürücüsüz metro daha uygun bir çözümdür denilmemelidir. Hat ihlalleri için ise Dünyada GoA4 seviyede çalışan hatlar için genel eğilimin %85 oranında PAKS (Peron Ayırıcı Kapı Sistemi) olduğu görülürken bazı sürücülü metro hatlarında ise makiniste ek olarak hat ihlal algılama sistemleri bulunduğu anlaşılmıştır. PAKS bir hat ihlalini tam olarak engelleyebilir fakat yüksek maliyeti ve esnek olmayan yapısı ile göze batmaktadır. Ayrıca sinyal sistemi ile olan arayüz iyi kurgulanmazsa genel sistem

elverişliliğini düşürebilir. Hat ihlal algılama ise PAKS'ın sahip olduğu tüm faydaları içermese de daha az maliyetli bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son olarak metro hatları için bir emniyet fonksiyonu olarak tanımlanmış hat ihlal sisteminin tasarımının mevcut metro hattında yapılan karma işletmeye (4'lü ve 8'li dizi) uygun olduğu teyit edilmiştir. Ayrıca olabildiğince sensörlerin PFH_D saat başına tehlikeli durum getiren olasılık değerinin küçük olmasına dikkat edilmiştir. Bu sayede tüm sistemin emniyeti yükselmiştir. IEC 61508 standardında tanımlandığı üzere toplam saat başına tehlikeli durum getiren olasılık (PFH) değerinin 1oo1, 1oo2, 1oo3, 2oo3 vb. yapı kurulmasına göre değiştiği ve tasarımı kurgularken buna dikkat edilmesi gerektiği görülmüştür. Sonuç olarak standartta verilen formüllerle, kurgulanan sistemin öngörülen risk grafiğindeki emniyet derecesini sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Türk, S., (2010). Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemleri İçin Otomatik Anklaşman Algoritması Ve Kodu Üretme Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] Durmuş, M., Yıldırım, U., Söylemez, M.T., (2011). "Demiryolu Sinyalizasyon Tasarımında Fonksiyonel Güvenlik Ve Ayrık Olay Sistem Yaklaşımı", EUSİS 2011 Elektrikli Ulaşım Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Nisan 2011, Bursa-Eskişehir.

[3] Farmer, R., Tranah, T., O'Donnell, I., Catalan, J., (1992). "Railway suicide: the psychological effects on drivers", Cambridge University Press, 22(2) : 407-414.

[4] Alverez, J.F., Urena, J., Mazo, M., Hernandez, A., Garcia, J.J., Donato, P., (2004). "Ultrasonic Sensor System for Detecting Falling Objects on Railways", 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 14-17 2004, Parma.

[5] Alverez, J.F., Urena, J., Mazo, M., Hernandez, A., Garcia, J.J., Jimenez J.A., Donato, P., (2004). "Complementary Sets Of Sequences-Based Codıng For Ultrasonıc Array Sensor", 2004 IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Pracessjng Workshop, 18-21 July 2004, Barcelona.

[6] Chan, T.S.K., Chung, S.M., (2008). "Applications and Selections of Intelligent Surveillance System in Railway Industry", 2008 International Conference on Railway Engineering - Challenges for Railway Transportation in Information Age, 25-28 March 2008, Hong Kong.

[7] Guan, L., Li, X., Yang, H. ve Jia, L., (2017). "A Video Stabilization Algorithm for Train-Mounted Intrusion Detection System Based on ALP Keypoints", 2017 IEEE 3rd International Conference on Control Science and Systems Engineering, 17-19 Aug. 2017, Beijing.

[8] Clarke, D., (2015). "Introduction to the Future Railway Programme", Intelligent Rail Infrastructure, 7 May 2015, Birmingham.

[9] Schutte, J. ve Scholz, S., (2009). "GUIDEWAY INTRUSION DETECTION A New Video-Based Safety System for Metropolitan Railways", IEEE Vehicular Technology Magazine, 4(3):76-81.

[10] Bocchetti, G., Flammini, F., Pragliola, C. ve Pappalardo, A., (2009). "Dependable integrated surveillance systems for the physical security of metro railways",

2009 Third ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC), 30 Aug.-2 Sept. 2009, Como.

[11] Seyve, C., (2005). “Metro Railway Security Algorithms with RealWorld Experience Adapted to the RATP Dataset”, IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 15-16 Sept. 2005, Como.

[12] Catalano, A., Bruno, F.A., Pisco, M., Cutolo, A., Cusano, A., (2015). “An intrusion detection system based on the optical fiber technology for the protection of railway assets”, 2015 XVIII AISEM Annual Conference, 3-5 Feb. 2015, Trento.

[13] Gülener, Y., (2009). Bir Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemi Gerçekleştirme, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] Sonat, A., (2010). Raylı Ulaşım Sistemlerinde Anklaşman Algoritması Tasarımı Ve Otomat Yaklaşımı İle Otomatik Kod Üretme, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] Arlı, V., (2013). “Otomatik Metro Sistemleri”, 2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE’13), 9-11 Ekim 2013, Karabük.

[16] Atalay, S., (2012). Sürücülü Ve Sürücüsüz Metroların Performans Ve Maliyet Yönünden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[17] BS EN62290-1, (2014). Railway Applications - Urban Guided Transport Management And Command/Control Systems - Part 1: System Principles And Fundamental Concepts, BSI, UK.

[18] Powell, J.P., Fraszczyk, A., Cheong, H.K.Y., (2016). “Potential Benefits and Obstacles of Implementing Driverless Train Operation on the Tyne and Wear Metro: A Simulation Exercise”, Urban Rail Transit, Volume 2, issue 3-4, pp 114–127.

[19] Cohen, J.M., Barron, A.S., Anderson, R.J., Graham, D.J., (2015). “Impacts Of Unattended Traın Operatıons (Uto) On Productıvıty And Effıcıency In Metropolıtan Railways”, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2534:75-83.

[20] UITP, (2017). Metro automation Introduction, İstanbul.

[21] UITP, Automation Atlas, http://metroautomation.org, 1 Mart 2018.

[22] UITP, METRO AUTOMATION FACTS, FIGURES AND TRENDS - A global bid for automation: UITP Observatory of Automated Metros confirms sustained growth rates for the coming years, http://www.uitp.org/metro-automation-facts-figures-and-trends, 1 Mart 2018

[23] Kılıç, B., Tuna, S., Yağcıtekin, B., Temiz, M.S., (2011). “DC Raylı Sistemlerde Frenleme Enerjisi Geri Kazanımı”, EUSİS 2011 Elektrikli Ulaşım Sistemleri Sempozyumu Ve Sergisi, 7-9 Nisan 2011, Bursa-Eskişehir.

[24] Hulse, J., (2017). “Guideway Instrusion Detection Systems”, APTA Rail Conference 2017, 11-14 June 2017, Baltimore.

[25] Balcı, M., (2014). Hidroelektrik Santrallerdeki Regülatör Sisteminin Güvenirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[26] Kaymakçı, Ö.T., Fonksiyonel Emniyet ve Endüstriyel Uygulamaları Ders Notları.

[27] Koyun, A. ve Kaymakçı, Ö.T., (2015). "Bir Tramvay Hattının Güvenilirlik Analizi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30 (4) : 615-626.

[28] Gündoğdu, F., (2012). "Raylı Sistemlerde Emniyet TS EN 50126", 1. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı (IWRSE'12), 11-13 Ekim 2012, Karabük.

[29] Özkılıç, Ö., (2015). "Proses Güvenliğinde Fonksiyonel Güvenlik (SIL) ve ATEX Direktifi İlişkisi", 3.Atex (Parlayıcı Ve Patlayıcı Ortamlarda Güvenlik) Sempozyumu, 1-2-3 Ekim 2015, Kocaeli.

[30] BS EN 50126, (2017). Railway applications- The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Part 1: Basic requirements and generic process, BSI, UK.

[31] BS EN 50129, (2003). Railway applications- Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling, BSI, UK.

[32] Macii, D., Dalpez, S., Passerone, R., Corra, M., Avancini, M. ve Benciolini, L., (2015). "A safety instrumented system for rolling stocks: Methodology, design process and safety analysis", Elsevier Science Measurement, 67 : 164-176.

[33] Gündoğdu, F. ve Açıkbaş, S., (2005). "Raylı Sistemlerde Emniyet Standartları Ve Makas Otomasyon Sistemine Uygulaması", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi Ve Fuarı, 22-25 Eylül 2005, İstanbul.

[34] Hokstad, P., Habrekke, S., Lundteigen, M. A., Onshus, T., (2009). "Use of the PDS Method for Railway Applications", SINTEF Technology and Society Safety Research, A11612.

[35] BS EN 61508-6, (2010). Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic safety related systems Part 6: Guidelines on the application of IEC 61508-2 and IEC 61508-3, BSI, UK.

[36] MEB, (2011). Raylı Sistemler Teknolojisi Sinyalizasyon Elektrifikasyon Ve Haberleşme Tesisleri, 521MMI508, Ankara.

[37] MEB, (2014). Raylı Sistemler Teknolojisi Tren Koruma Ve Kontrol Sistemleri, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre BAHÇIVAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 23.10.1989, Adana

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : emrebahcivan01.89@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühensidisliği	Mersin Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Anafartalar Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2012-…	İBB Anadolu Yk. Raylı Sistem Md.	Kaynarca-Pendik-Tuzla Metrosu Elektromekanik İşler Şefliği

YAYINLARI

Bildiri

Bahçıvan, E., (2018). “Investigation of Railway System Automation Levels of Istanbul Metropolitan Areas”, ISAS (International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies), 11-13 Nisan 2018, Antalya.