

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU HATLARININ EMNİYETİNİN SAĞLANMASI İLE
İLGİLİ RİSK ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cahit KAYA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan GÜLER

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİRYOLU HATLARININ EMNİYETİNİN SAĞLANMASI İLE
İLGİLİ RİSK ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cahit KAYA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA

Bu tez **29/05/** 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

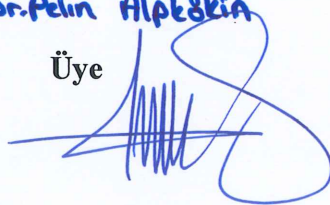
Doç. Dr. Hakan Güler

Jüri Başkanı



Doç. Dr. Acln Alptekin

Üye



Dr. Öğr. Gör. İrfan Amuk

Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Cahit KAYA

29.05.2019

TEŞEKKÜR

Demiryolu mühendisliğinde bir uzman olan ve benim bu konuya ilgimi arttırarak doğru şekilde çalışmaya teşvik eden, tez çalışmalarına başladığım andan itibaren çalışmanın niteliğini yükselten yapıcı eleştirilerinden ve önerilerinden faydalandığım, güler yüzü, anlayışı destekleyici tavrıyla beni her zaman motive eden, iş yaşamımla beraber yürüttüğüm çalışmada zorlandığım anlarda bana anlayış gösteren, hiçbir yardımını benden esirgemedi her türlü soruma cevap veren, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, tez çalışmalarımız haricinde de güzel sohbetini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım ve hocam Doç. Dr. Hakan GÜLER' e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, demiryolu hatlarına yapılan bakım, yenileme çalışmaları ve emniyet tedbirleri konusunda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen TCDD yol dairesi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde sayısız emekleri geçen, her anlamda yanımda olan ve beni devamlı destekleyen Malik KAYA'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
DEMİRYOLLARINDA GÜVENİLİRLİK BULUNABİLİRLİK	
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE EMNİYET (RAMS)	4
2.1. Demiryolları İle İlgili Avrupa Birliği Standardı EN 50126	7
2.2. Demiryolu RAMS'ını Etkileyen Faktörler	7
BÖLÜM 3.	
DEMİRYOLLARINDA EMNİYET	9
3.1. Avrupa Birliği Demiryolu Emniyet Yönetmeliği Direktifi (2004/49/EC)	9
3.2. Ortak Emniyet Göstergeleri	9
3.3. Altyapı Yöneticileri ve Demiryolu Yükleniceleri	10
3.4. Emniyet Sertifikasyonu	10
3.5. Araçların Bakımı	11
3.6. Ulusal Emniyet Otoritesi	11

3.7. Kaza ve Olay İncelemeleri	12
3.8. Türkiye’de Demiryolu Emniyeti	12

BÖLÜM 4.

RİSK ANALİZLERİ	15
4.1. Risk	15
4.2. Risk Analizi	15
4.2.1. Risk sınıflandırma	17
4.2.2. Risk kabul prensipleri	18
4.2.3. Risk değerlendirmesi	20
4.2.4. Risk azaltma	21
4.3. İstatiksel Metotlar ve Dağılımlar	23
4.3.1. Üstel dağılım	23
4.3.2. Normal dağılım	26
4.3.3. Weibull dağılım teorisi	28
4.3.4. Lognormal dağılım	31
4.3.5. Poisson dağılımı	32
4.3.6. Seri bağlı sistemler	33
4.3.7. Paralel bağlı sistemler	34
4.3.8. Karışık bağlı sistemler	36
4.4. Risk Analiz Yöntemleri	37
4.4.1. Hata türü etkileri analizi (FMEA)	37
4.4.2. Hata ağacı analizi	39
4.4.2.1. Hata ağacının yapısı ve semboller	40
4.4.2.2. Hata ağacı oluşturma ve aşamaları	41
4.4.3. Olay ağacı analizi	44
4.5. Emniyet Bütünlüğü Seviyesi (SIL)	45
4.5.1. Fonksiyonel güvenlik parametreleri	46
4.5.2. SIL değerine karar verme	48

BÖLÜM 5.

DEMİRYOLLARINDA YOL EMNİYETİ	50
------------------------------------	----

5.1. Tehlike Bölgesi	50
5.2. Emniyet Mesafesi	51
5.3. Risk Değerleme Prensipleri	52
5.4. Demiryollarında Beş Önemli Riskin Tanımı ve Emniyet Tebirleri	53
5.5. Çalışma Hattında Trenin Çalışana Çarpması veya Vakum Etkisiyle Yaralanması (Risk 1)	54
5.6. Bitişik Hat Üzerinde Trenin Çalışana Çarpması veya Vakum Etkisiyle Yaralanması (Risk 2)	55
5.6.1. Ayırma	57
5.7. Bloklı Hat Üzerinde Raylı Taşıtın veya Makinenin Çalışana Çarpması (Risk 3)	58
5.7.1. Önlemler	58
5.7.2. Çalışma bölgesindeki süreçler	58
5.8. Bitişik Hat Üzerinde Trenin Makine, Malzeme ve Ekipmanlara Çarpması (Risk 4)	59
5.9. Elektrik Çarpmasından Etkilenen Personel (Risk 5)	60
5.10. Tünellerde Çalışmak	61
5.11. Hat Uyarı Sistemleri	64
5.11.1. Gözcü kontrollü hat uyarı sistemi (LOWS)	66
5.11.2. Otomatik hat uyarı sistemi (ATWS)	68

BÖLÜM 6.

DEMİRYOLUNDA BAKIM VE YENİLEMELER	71
6.1. Bakım Nedir	72
6.2. Yol Bakım ve Tamiri İşlem Basamakları	72
6.2.1. Ot temizliği	73
6.2.2. Balast temizleme	73
6.3. Buraj	75
6.3.1. El ile buraj yapımı	75
6.3.2. Makine ile buraj yapımı	76
6.4. Ray Değiştirme	77
6.5. Ray Yağlama	78

6.6. Ray Taşlama	78
6.7. Ray Kaynağının Yapılması	79
6.7.1. Alüminotermi ray kaynağı yapımı öncesi ve yapım esnasında yolda yapılacak işler	81
6.7.2. Kaynakların kontrolü	82
6.7.3. Rayda optimum sıcaklık ve gerilim hesaplaması	83
6.7.4. Gerilim hesaplamaları	84
6.8. Demiryollarında Bakım Yenileme Çalışmalarında Emniyet	86
6.8.1. İşaretlere uyma zorunluluğu	88
6.8.2. Durmanın bildirilmesi	88
6.8.3. Yol bakım onarım görevlerinde bulunması zorunlu işaretler ...	89
6.9. Bakım Çalışmalarında Kazaların Sebepleri	92
6.10. Güvenli Bakımın Temel Kuralları	95
6.10.1. Bakım planlaması	96
6.10.2. Çalışma alanını güvenli hale getirme	97
6.10.3. Planlı çalışma	98
6.11. İSG Tüzüğünde Demiryolları ile İlgili Maddeler	98
6.12. Öneri	99

BÖLÜM 7.

DEMİRYOLU BAKIM ÇALIŞMALARINDA GÜVENİLİRLİK VE RİSK ANALİZLERİ: TCDD İÇİN UYGULAMALAR	100
7.1. TCDD Hatlarında Muayene, Bakım ve Yenileme Çalışmalarının Analizi	100
7.1.1. Rijit bağlantı sistemi: tirfonların (bulon) kontrolü ve sıkılması	102
7.1.2. Demiryolu hattının görsel incelenmesi	103
7.1.3. Hat geometrisi kontrolü	104
7.1.4. Raylara koruyucu taşıma yapılması	106
7.1.5. Demiryolu hattının kotuna getirilmesi (rölevaj)	107
7.2. Bakım Yenileme Çalışmalarında Emniyet Tedbirlerinin Alınması	109

BÖLÜM 8.

TARTIŞMA VE SONUÇ	111
-------------------------	-----

KAYNAKLAR	113
-----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	117
----------------	-----



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
AIAG	: Otomotiv Endüstri Faaliyet Grubu
ALARP	: As Low As Reasonably Practicable
ASQC	: Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu
ATWS	: Otomatik hat uyarı sistemi
cdf	: Kümülatif yoğunluk fonksiyonu
DDGM	: Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü
ETA	: Olay ağacı analizi
EYS	: Emniyet yönetim sistemi
FMEA	: Hata türü etkileri analizi
FTA	: Hata ağacı analizi
GAMAB	: Globalement Au Moins Equivalent
İSG	: İş sağlığı güvenliği
LOWS	: Gözcü kontrollü hat uyarı sistemi
MEM	: Minumum Endogeneous Mortality
MTTF	: Ortalama hataya düşme süresi
MTTR	: Ortalama onarım süresi
pdf	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu
RAMS	: Güvenilirlik bulunabilirlik sürdürülebilirlik ve emniyet
SCWS	: Sinyal kontrollü uyarı sistemi
SIL	: Emniyet bütünlüğü seviyesi
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
THR	: Hata sıklık oranı
TWS	: Hat uyarı sistemleri
UIC	: Uluslararası Demiryolu İstatistikleri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Demiryolu RAMS elemanları arasındaki ilişki	5
Şekil 2.2. RAMS'ı etkileyen faktörler	5
Şekil 2.3. Bir neden-etki diyagramı örneği	8
Şekil 3.1. Tren hızlarına göre risk bölgeleri ve risk mesafeleri	13
Şekil 3.2. Yüklenicilerin demiryolu hatlarında işe başlama süreçleri	14
Şekil 4.1. Alarp prensibi	20
Şekil 4.2. Risk yönetim sistemi	22
Şekil 4.3. Bir parametrelili üstel dağılımının R(t) güvenilirlik ve F(t) dağılım	25
Şekil 4.4. Simetrik dağılım genişliği	277
Şekil 4.5. Seri sistem	34
Şekil 4.6. Paralel sistem	35
Şekil 4.7. Karışık bağıli sistem	37
Şekil 4.8. Tren derayına örnek bir hata ağacı modeli	41
Şekil 4.9. Hata ağacı oluşturma aşamaları	41
Şekil 4.10. Risk grafiği metodu	45
Şekil 5.1. Tehlikeli bölgenin tanımı	51
Şekil 5.2. Havai hattının çıplak parçaları için güvenli mesafelerin gösterimi	51
Şekil 5.3. 89/391/ECC ve 92/57ECC direktifine göre demiryolu riskerinin emniyet planı	53
Şekil 5.4. İşçilerin güvenlik önlemlerini almak için akış çizelgesi	54
Şekil 5.5. Çalışma hattı için emniyet tedbiri	54
Şekil 5.6. Bitişik hat için emniyet tedbiri	55
Şekil 5.7. Elle yönlendirilen makineler için ilave çalışma boşluğu ve gerekli çalışma alanı	57
Şekil 5.8. Elektrik riski için emniyet	61
Şekil 5.9. Tünellerde çalışma için emniyet	62
Şekil 5.10. Hat uyarı sistemi	65

Şekil 5.11. Tren kontrol sisteminin tanımı ve işlem adımlarının ilişkisi	66
Şekil 5.12. Gözcü kontrollü hat uyarı sistemleri (LOWS).....	67
Şekil 5.13. Gözcü kontrol biriminin işlevsel kısımları	68
Şekil 5.14. Otomatik hat uyarı sistemleri (ATWS)	69
Şekil 5.15. Tehlikeli ve emniyetli bölge	70
Şekil 6.1. Buraj makinesi çalışırken	76
Şekil 6.2. Kaynağa hazır conta	82
Şekil 6.3. Termitin reaksiyona girdiği pota	82
Şekil 6.4. Mıknatıslı termometre	83
Şekil 6.5. İşaret bayrağı.....	89
Şekil 6.6. El işaret feneri	90
Şekil 6.7. İşaret levhaları.....	90
Şekil 6.8. Çalışan takıma dikkat levhası	91
Şekil 6.9. Kestane fişegi yerleşimi	91
Şekil 7.1. Temsili TCDD hatları	101
Şekil 7.2. Çalışanların temsili konumu ve toplanma bölgesi	102
Şekil 7.3. Tirfonöz makinesi ve çalışanlar	102
Şekil 7.4. Hat denetleyecisinin temsili gösterimi	103
Şekil 7.5. Hat üzerinde görsel inceleme yapan personel	104
Şekil 7.6. Hat geometrisi için çalışanların konumu ve kaçış yönü	105
Şekil 7.7. Hat geometrisi ölçüm cihazı ve el bilgisayar	105
Şekil 7.8. Ray taşlama için çalışan işçiler ve kaçış yönleri	107
Şekil 7.9. Ray taşlama makinesi	107
Şekil 7.10. Rölevaj için çalışanlar ve kaçış yönleri	108

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Tehlikeli olayların meydana geliş sıklığı.....	17
Tablo 4.2. Tehlike şiddet seviyesi.....	18
Tablo 4.3. Nicel risk kategorileri	18
Tablo 4.4. Sıklık-sonuç çizelgesi (risk matrisi)	18
Tablo 4.5. Emniyet risk matrisi.....	21
Tablo 4.6. Risk analizlerinde kullanılan metotlar	37
Tablo 4.7. Hata ağacı analizinde kullanılan semboller	42
Tablo 4.8. Talep anındaki hata olasılığı (functional safety)	48
Tablo 4.9. SIL seviyelerine göre THR	48
Tablo 5.1. EN 50126-1:1999'a göre demiryolu çalışanları için risk sınıflandırması.	52
Tablo 5.2. Parametrelere göre hattın kapatılmasını mecbur kılan kriterler.....	56
Tablo 5.3. Bariyer kullanım kriterleri	57
Tablo 5.4. Trafiğe kapatılmamış hatta çalışma için ülkesel hız limitleri	63
Tablo 5.5. Bitişik hatlardaki ülkelere göre hız limitleri	63
Tablo 5.6. Tünellerde trafiğe açık hatlarda çalışmak için ülkesel hız limitleri.....	64
Tablo 5.7. Tünel içerisinde çalışma esnasında komşu hatlardaki ülkesel hız limitleri...	64
Tablo 6.1. TCDD 1985-2013 yılları arası personel sayısı	94
Tablo 6.2. 2008 yılı uluslararası demiryolu istatistikleri UIC	95
Tablo 7.1. BY faaliyetleri ve faaliyetlerin açıklaması	100
Tablo 7.2. Güvenilirlik analizleri (saat)	102
Tablo 7.3. Tirfonların (bulon) kontrolü ve sıkılması çalışması ve süreler.....	102
Tablo 7.4. Tirfonların (bulon) kontrolü ve sıkılması çalışması güvenilirlik analizleri.	103
Tablo 7.5. Demiryolu hattının görsel incelenme çalışması ve süreler	103
Tablo 7.6. Demiryolu hattının görsel incelenmesi sırasındaki güvenilirlik analizleri..	104
Tablo 7.7. Hat geometrisinin ölçümünün yapılması ve süreler.....	105
Tablo 7.8. Hat geometrisinin ölçümü esnasında güvenilirlik analizleri.....	106
Tablo 7.9. Ray taşlamanın yapılması ve süreler	106

Tablo 7.10. Ray taşlama çalışması güvenilirlik analizleri	107
Tablo 7.11. Demiryolu hattının kotuna getirilmesi	108
Tablo 7.12. Ray taşlama çalışması güvenilirlik analizleri	108
Tablo 7.13. Telefonun ve telsizin çalışma olasılıklarını etkileyen faktörler.....	109
Tablo 7.14. Sadece telefonun kullanılması durumunda güvenlik oranları.....	109
Tablo 7.15. Güvenlik sistemi olarak ATWS nin kullanılması durumunda güvenilirlik	110



ÖZET

Anahtar kelimeler: Demiryolu emniyeti, demiryollarında bakım ve yenileme, güvenilirlik ve risk analizi.

Türkiye'deki demiryolu yatırımları dikkate alındığında yakın bir gelecekte demiryolu ulaşımında önemli bir artışın yaşanacağı görülmektedir. Demiryollarında tren trafik sayısına ve tren teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak da tren hızları artacaktır. Trafik yoğunluğu ve tren hızlarının artmasıyla birlikte işletmenin emniyetinde ciddi riskler ortaya çıkacaktır. Tren trafiğinin ve hızların yüksek olması demiryollarında bozulmaları hızlandıracak, buna bağlı olarak bakım ve yenileme çalışmalarının sayısı da artacaktır. Bu çalışmalar işletmenin kesintiye uğramasına hatta hattın işletmeye kapatılmasına sebep olacaktır. Demiryolu işletmesinin verimliliğini ve diğer ulaşım sistemleri ile rekabet gücünü artırmak için işletme altında hat bakım ve yenileme çalışmaları kaçınılmaz hale gelecektir. İşletme altında yapılacak bakım ve yenileme çalışmaları sırasında tren işletmesinin ve hat üzerinde çalışanların emniyetini sağlamak için gerekli önlemlerin alınması ve risk analizlerinin yapılması daha da önem kazanacaktır. Bu amaçla Avrupa Birliği EN 50126 ve EN 16704 numaralı standartları geliştirmiş ve uygulamaya almıştır. EN 50126, demiryollarında güvenilirlik, bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet ile (RAMS) ilgili kavramlar; EN 16704 ise, demiryolu rayları üzerinde veya yakınında bakım ve yenileme çalışmaları sırasında önemli ve spesifik demiryolu risklerini içeren şartlar ve önlemler ile ilgilidir. Bu standart aynı zamanda sabit ve hareketli çalışma alanlarının çalışma hattında dolaşan trenler ve / veya makinelerde ve bitişik pistte dolaşan trenler ile korunmasında ortak prensipleri içerir.

Bu çalışmada, öncelikle RAMS kavramları üzerinde durulmuş, bu kavramlar hakkında özet bir literatür bilgisi verildikten sonra risk analizleri ve önemli risklerin nicel olarak hesaplanabilmesi için kullanılan yöntemler ele alınmıştır. EN 50126 ve EN 16704 numaralı standartlarına uygun olarak Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) için güvenilirlik ve risk analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda TCDD'de yapılan bakım, yenileme çalışmalarının değerlendirilmesi yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

RISK ANALYSIS FOR ENSURE THE SAFETY OF RAILWAY TRACKS

SUMMARY

Keywords: Railway safety, maintenance and renewal of railways, reliability and risk analysis.

Considering the railway investments in Turkey, it is expected that there will be a significant increase in railway transportation in the near future. Train speeds will increase in parallel with amount of train traffic and improvement of train technology. There will be serious risks on railway safety because of increased train traffic and high speeds trains. Train traffic and high speeds will accelerate the deterioration of the railway tracks increasing the number of maintenance and renewal works. These maintenance and renewal activities will cause the railway operation to be interrupted even more close the railway line for operation. In order to increase the efficiency and competitive capacity of railway operation, the maintenance and renewal works will become inevitable while the railways in operation. During the maintenance and renewal works under the railway traffic, it will become even more important to take the necessary precautions and to carry out risk analyses of railway track work site safety in order to ensure the safety of operation and workers. For this purpose, the European Union has developed and implemented the standards EN 50126 and EN 16704. EN 50126 provide guidance on RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) for rail industry. EN 16704 is about requirements and measures including the significant and specific railway risks during maintenance and renewal works on or in proximity of the railway tracks. This standart also includes common principles for the protection of fixed and mobile work sites with trains and/or machines circulating on the working track and trains circulating on the adjacent track.

In this study, a comprehensive literature survey was realized, the RAMS concepts were summarised and finally a case study for TCDD was done on railway worksite safety analyses by using quantitative risk calculation methods on the base of EN 50126 and EN 16704 standards.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Avrupa Birliği'nde demiryollarında emniyet yönetim sisteminin kurulmasına yönelik çalışmalar 80'li yıllarda başlamış ve 1991 yılında yayımlanan bir direktifle (91/440/EC), her ülkenin bir demiryolu emniyet yönetim sistemine sahip olması ve demiryollarında emniyet kültürünün temellerinin oluşturulması kararı alınmıştır [1]. Avrupa Birliği, 1991 yılındaki direktife paralel olarak 1995 yılında yayımladığı yeni direktifle (95/18/EC), demiryollarında işletme ve altyapıdan sorumlu kuruluşların lisanslı olması konusunda bir karar almıştır. 1995 yılında alınan kararlarla demiryollarında işletme ve altyapıdan sorumlu kuruluşların sorumluluk ve yetki alanları, daha verimli ve emniyetli demiryolu sistemi için açık bir şekilde tanımlanmıştır [2]. 2001/14/EC numaralı Avrupa Birliği direktifi demiryolu altyapısının kullanılmasıyla ilgili ücretlerin belirlenmesi ve demiryolu yüklenicilerinin emniyet sertifikasyonu ile ilgilidir. Demiryolu yüklenicilerinin Avrupa Birliği kanunlarına uygun olarak lisanslandırılmaları ve emniyet sertifikasyonunun da yine Avrupa Birliği kanunlarına uygun olarak verilmesi bu direktifte belirtilmiştir [3]. Avrupa Birliği'nin 2004 yılında yayımladığı direktifle (2004/49/EC), Avrupa Birliği üyesi ülkelerde bulunan demiryolu işletmecilerinin ve demiryolu altyapı yöneticilerinin bir demiryolu Emniyet Yönetim Sistemi'ni (EYS) uygulamaya alması zorunlu hale getirilmiştir. Bu direktifle, demiryolu işletmelerinde ve altyapı yönetiminde yüksek bir emniyet standardına ulaşılması amaçlanmıştır. 2004/49/EC numaralı Avrupa Birliği direktifi demiryolu sistemi ile ilgili olup altyapı ve trafik yönetiminde emniyetle ilgili hususları kapsamaktadır. Bu direktif aynı zamanda demiryolu yüklenicileri ve altyapı yöneticileri arasındaki ilişkilere de değinmektedir [4 ve 26].

Bir demiryolu sisteminin amacı, belirli bir zaman aralığında belirli bir demiryolu trafiğini emniyetli bir şekilde sağlamaktır. Bu amaçla geliştirilen EN 50126

numaraları AB standardı, Avrupa Birliği içinde bulunan ülkelerin demiryolu organizasyonları ve demiryolu sanayisi için güvenilirlik, bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet (RAMS) konularının etkili bir şekilde yönetime uygun bir yaklaşım süreci sağlamak için geliştirilmiştir. RAMS gereksinimlerinin özellikleri ve uygulama süreçleri bu standardın ana içeriğidir. Demiryolu RAMS, hangi sistemle bu amacın garanti altına alınacağını tanımlar [5]. Demiryolu sanayisinde RAMS'ın yolculara verilen hizmetin kalitesine doğrudan etkisi vardır. EN 50126 ile birlikte dikkate alınan ve demiryollarında yazılım ve donanımla ilgili olarak EN 50128 ve EN 50129 numaralı standartlarda da demiryollarında emniyeti sağlayan sistem ve donanımlarla ilgilidir [6, 7 ve 26].

Demiryollarında yol emniyetiyle ilgili EN 16704 numaralı AB standardı; ray üzerinde veya yakınında çalışan personeli, yaklaşan tren veya raylı araçlardan korumak için kullanılan Hat Uyarı Sistemleri'ne ait (TWS) gerekliliklerinin tanımlanmasıyla ilgilidir. EN 16704 standardı Hat Uyarı Sistemleri'ni; Gözcü Kontrollü Uyarı Sistemi (LOWS), Otomatik Hat Uyarı Sistemi (ATWS) ve Sinyal Kontrollü Uyarı Sistemi (SCWS) olmak üzere üçe ayırmaktadır [8 ve 9].

Avrupa Birliği'nde demiryolu emniyet yönetim sistemi konusunda yapılan çalışmaları yakından takip eden Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları'nda da (TCDD) emniyet yönetim sistemi kurulması yönünde çalışmalar 2008 yılında başlamıştır. 2014 yılında TCDD Emniyet Yönetim Sistemleri Müdürlüğü kurulmuş ve emniyet personelinin görev tanımları yapılmıştır [10]. İlerleyen dönemlerde Demiryolu Düzenleme Kurulu (DDGM) tarafından Demiryolu Emniyet Yönetmeliği hazırlanmış ve 2015 yılında yayımlanmıştır [11]. TCDD'de yol emniyetiyle ilgili olarak 2701 ve 551 sayılı emirler bulunmaktadır. Bu emirler, demiryolu güzergâhında yapılacak inşaat, bakım, onarım ve benzeri işlerde trenlerin trafik emniyetinin tehlikeye girmemesine ve çalışanların trenlere karşı korunmasına dair kuralları belirlemektedir [12 ve 13]. Ulusal anlamda 2012 yılında iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili 6331 sayılı kanun yayımlanmıştır. Bu kanunun amacı; işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması, mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının

iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektir [14].

Bu tez çalışmasında işletme altında bulunan demiryollarında bakım, onarım sırasında ray üzerinde veya yakınında çalışan kişilerin veya inşaat ekipmanlarının meydana getirebileceği maddi hasarı büyük veya ölümcül kazalara yönelik emniyetin sağlanması için TCDD’ de oluşmuş kaza ve kazaya sebebiyet veren olayların istatistiklerinden faydalanarak Hata Ağacı Analizi (FTA), Olay Ağacı Analizi (ETA), Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) metotları kullanılarak risk analizleri yapılmıştır. Risk analizi sonucunda elde edilen verilere göre, kazaya sebebiyet verecek olaylara karşı hangi önlemlerin geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Türkiye 'de demiryolları için çeşitli uygulamalar yapılmıştır.

BÖLÜM 2. DEMİRYOLLARINDA GÜVENİLİRLİK BULUNABİLİRLİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE EMNİYET (RAMS)

RAMS ilk olarak havacılık sektöründe kullanılmaya başlanmış ve daha sonra raylı ulaşım, ordu ve diğer alanlarda da kullanılmıştır. Günümüzde RAMS raylı ulaşımın kilit taşı olmuştur. 1990'lı yılların başlarında, Avrupa Birliği içinde bulunan ülkelerin demiryolu organizasyonları ve demiryolu sanayisi için güvenilirlik, bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet (RAMS) konularının etkili bir şekilde yönetimine uygun bir yaklaşım sürecini sağlamak için EN 50126 numaralı AB standardı geliştirilmiştir [5]. Günümüzde, Avrupa Birliğine aday olan Türkiye'nin devlet demiryollarında da Emniyet Yönetim Sistemi (EYS) kurulması yönünde çalışmalar 2008 yılında başlamıştır. 2015 yılında Demiryolu Düzenleme Kurulu (DDGM) tarafından Demiryolu Emniyet Yönetmeliği hazırlanmış ve yayımlanmıştır. Avrupa Birliği üye devletlerin yanı sıra Malezya ve Hong Kong'da tüm demiryolu ve metro projelerinde kapsamlı RAMS sistemleri kullanılmaktadır. EN 50126 standardına adını veren RAMS'in her bir kısaltmasının kelime anlamı şu şekilde ifade edilir:

Güvenilirlik (Reliability): Belirli bir zaman aralığında ve belli koşullarda bir ögenin gerekli fonksiyonları yerine getirebilme olasılığıdır.

Bulunabilirlik (Availability): Verilen bir zamanda veya bir zaman aralığında, verilen koşullar altında, gerekli tüm kaynakları sağlanmış olan bir ürünün gereken bir fonksiyonu yerine getirebilmesi için bir konumda bulunabilme yeteneğidir.

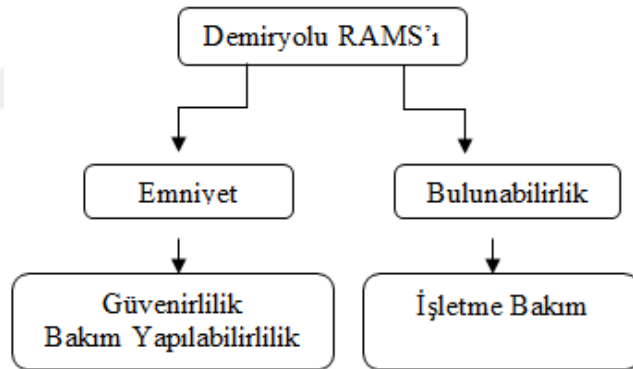
Sürdürülebilirlik (Maintainability): Belirlenen koşullar altında, belirlenen prosedürler ve kaynaklar kullanılarak bakım yapılması koşuluyla, belirli koşullar altında

kullanımda olan bir öge için belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilebilecek belirli bir aktif bakım faaliyetinin olasılığıdır. Diğer bir deyişle, bir sistemin veya ürünün belirli bakım şartları altında, belirli prosedürler ve kaynaklar kullanılarak, verilen bir zamanda veya verilen zaman aralığı boyunca bakım yapılabilmeye müsait olabilme yetisidir.

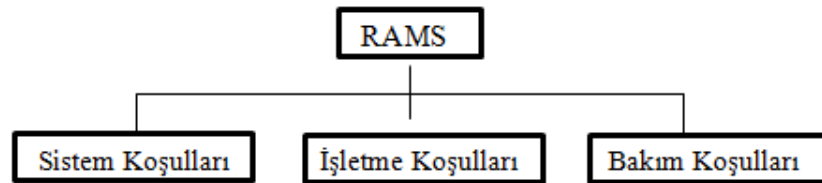
Emniyet (Safety): Kabul edilemeyen risklerin zararlarından uzak olmak.

Emniyet ve bulunabilirlik birbirine yakından bağlı iki kavramdır. Demiryolu RAMS'in bileşenleri arasındaki ilişki Şekil 2.1.'de gösterilmiştir [5].

RAMS'ı etkileyen faktörler tüm endüstriyel uygulamalar için geçerli olup genel bir özelliğe sahiptir. Şekil 2.2.'de ulaştırma sistemlerinin RAMS'ını etkileyen bu genel faktörler gösterilmiştir [5].



Şekil 2.1. Demiryolu RAMS elemanları arasındaki ilişki [5]



Şekil 2.2. RAMS'ı etkileyen faktörler

Demiryolu sisteminin amacı; belli bir zamanda demiryolu trafiği için belirlenen bir seviyeyi güvenli bir şekilde başarmaktır. Demiryolu RAMS'ı bu amacın

başarılmasını garanti edeceği güveni tarif eder. Güvenlik ve bulunabilirlik arasındaki çelişkilerin yanlış yönetimi veya birindeki bir zayıflık güvenli bir sistemin başarılmasını önleyebilir. Güvenirlilik hedeflerine ulaşılması için güvenirlilik ve bakım yapılabilirlik şartlarının sağlanması ve uzun vadeli bakım ve işletme faaliyetlerinin kontrol edilmesiyle sağlanabilir [5].

Güvenirlilik ve bakım yapılabilirlik sistemin emniyetini etkilemektedir. Örneğin; yol güzergâhında emniyetin sağlanması için kullanılan sistem uyarı işaret ve cihazların kataloglarında hangi aralıklarla bakımının yapılacağı belirtilmektedir. Bu aralıklarda bakımın yapılmadığını düşünürsek cihazların kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirmesini bekleyemeyiz. Sonuç olarak; cihaz güvenirliliğini kaybedeceği için emniyetli olma durumunu da kaybedecektir [5].

Günümüzde zaman çok önemli bir kavramdır, fakat daha önemlisi olan insan hayatını unutmamak gerekir. Teknikleri geliştirmede uygulanan her ne çalışma olursa olsun insan sağlığı en önemli faktördür ve burada devreye RAMS'in dört ana maddesinden biri olan işin emniyet kısmı girmektedir. Bir sistemin tasarımında en önemli ana kriterlerden biri her zaman emniyet faktörüdür. Burada da can ve mal kaybını engellemeye yönelik öngörüler ve çalışmalarda emniyet faktörü ana kriterlerdendir. Fakat özel bir sistem tasarımı söz konusu olmadığı için net bir emniyet katsayısı gibi durumlardan söz edilemez. Her sistem kendi başına özgündür, uygulaması ve pratiği gerekir [15].

Endüstri devriminin başlangıcından beri, mühendisler gerçekleştirebilir ve dayanıklı ekipmanlar ve sistemler geliştirmek için çabalamaktadır. O zamanlarda tasarım sürecinde yapılan gelişmeler deneme yanılma prosesine dayanmaktaydı. Bütün gelişmelere rağmen, hala kusursuz, hatasız, risksiz bir insan aktivitesi ummak imkansızdır. Sistem veya ekipmanlardaki karışıklığın azalmasına ve teslim sürelerinin kısılmasına bağlı olarak arızaların sebep olduğu maliyet ve risk büyümektedir. Tasarım aşamasında en erken şekilde öngörülerin yapılması için arızaların değerlendirilmesi çok daha önemli bir hale gelmiştir [15].

2.1. Demiryolları İle İlgili Avrupa Birliği Standardı EN 50126

TS EN 50126, 50128 ve 50129 Demiryolu RAMS standartları olarak bilinmektedir ve demiryolu uygulamalarında RAMS tekniklerini içermektedir. Bu standartlara göre RAMS; bir ürünün veya bir sistemin ömür çevrimi boyunca tüm evrelerde, belirli şartlar altında, kendisinden beklenen işlevselliğini, fonksiyonlarını yerine getirmesini tahmin etmeyi amaçlayan, bu doğrultuda ortaya çıkacak sonuçları kontrol etmek için yöntemler geliştiren bir mühendislik disiplini [16]. Bu standartlar içerisinde her hangi bir özel uygulama için parametreler bulundurmaz. Ayrıca sistem emniyetini garanti edecek gereksinimleri özellikle belirtmez ve bunun için onay veren kurumların onay proses işlemlerini de içermez. Kendine özel sistematiğe sahip olan modern bir bakım aracı olarak tanımlayabileceğimiz RAMS'ı uygularken başvurulması gereken bu standartların çeşitli uygulama alanları vardır. Bunlar standartlardan sonra kurulan yeni sistemler olmak ile birlikte bu standartların oluşumdan önce üretilen mevcut sistemlere entegre edilen yeni sistemlerin işletmelerini de kapsar [5].

Güvenilebilir bir demiryolu sistemi, RAMS elemanlarının etkileşimlerinin göz önüne alınmasıyla ve sisteme ait RAMS bileşiminin belirtilmesi ve başarılmamasıyla oluşur [5].

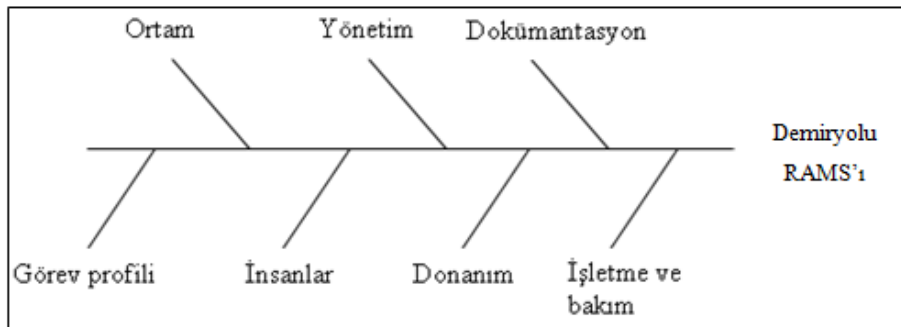
2.2. Demiryolu RAMS'ını Etkileyen Faktörler

Demiryolu sistem RAMS'ı üzerinde insan faktörlerinin etkisi büyüktür. İnsan etkilerinin görüldüğü yerler tipik olarak; hemzemin geçitlerdeki taşıt sürücüleri, sistemleri işletmekten sorumlu personel ve yolculardan oluşan çeşitli insan gruplarıdır. Bir sistem üzerine insan faktörleri, insan karakteristiklerinin etkisi, beklentileri ve davranışı olarak tanımlanabilir. Bu faktörlere insanların anatomik, psikolojik ve ruhsal yönleri dâhildir. Sonuç olarak demiryolu RAMS'ının başarılmaması bütün sistem ömrü boyunca insan faktörlerinin daha detaylı kontrolünü gerektirir.

Bir demiryolu sistemi RAMS'ı üç yoldan etkilenir. Bunlar; sistemin ömür çevriminin herhangi bir fazındaki sistemin dâhili arızalarından kaynaklı nedenlerden, sistemin işletme şartlarında işletiminde arızalardan ötürü nedenlerden, sistemin bakım şartlarında bakım işlemleri sırasındaki arızalardan ötürü nedenlerdendir [5].

- Sistemin görevlerini yerine getirmesi gerektiği şartlar ve sistemin yerine getirmesi gerektiği görevler,
- Sistemin tahmini ömrü ve işletme yoğunluğu,
- Demiryolu sistemlerinin fiziki çevreye uyumu,
- Mevcut alt yapı ve sistemler tarafından sisteme getirilen sınırlamalar,
- Yol kenarını esas alan tesis şartları ve bakım şartları,
- İnsanların çalışma şekilleri, yeterliliği, görevlerinin tasarımı, geri besleme işlemi ve insan eğitimi,
- İnsanların yeterliliği, motivasyonu ve çalışma arzusu, reaksiyon süresi, kasıtlı kural ihlalleri, risk algılama ve sistem problemlerini tahmin etme kabiliyeti,
- Demiryolu organizasyon yapısı, kültürü ve demiryolu terimleri,
- Yeni teknolojilerin getirilmesinden kaynaklanan problemler,
- İşletme güvenlik tedbirleri,
- Makine ve insan iletişimi,
- Bilgi yoğunluğu ve aktarma hızı.

Ayrıntılı faktörlerin elde edilmesinde şematik bir yaklaşım tavsiye edilir. Şekil 2.3.'te basitleştirilmiş bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Bir neden-etki diyagramı örneği [5]

BÖLÜM 3. DEMİRYOLLARINDA EMNİYET

3.1. Avrupa Birliği Demiryolu Emniyet Yönetmeliği Direktifi (2004/49/EC)

Avrupa Birliği'nin 2004 yılında yayımladığı direktifle (2004/49/EC), Avrupa Birliği üyesi ülkelerde bulunan demiryolu işletmecilerinin ve demiryolu altyapı yöneticilerinin bir demiryolu Emniyet Yönetim Sistemi'ni (EYS) uygulamaya alması zorunlu hale getirilmiştir. Bu direktifle, demiryolu işletmelerinde ve altyapı yönetiminde yüksek bir emniyet standardına ulaşılması amaçlanmıştır. Bu emniyet sistemi ile üye ülkelerin mevzuatlarının harmonize olması, aktörler arasında sorumlulukların belirlenmesi, ulusal kuralların harmonizasyonu ile emniyet hedeflerinin ve yöntemlerinin gelişimi, üye ülkelerde demiryolu ile ilgili bir emniyet otoritesi ve kaza, olay araştırma kurulu kurulması, demiryolu emniyetinde yönetim, düzenleme ve denetim gibi başlıca ilkelerin oluşturulması hedeflenmiştir [4].

2004/49/EC direktifi, altyapı ve işletmeyi birbirinden ayıran AB üyesi ülkeleri kapsamaktadır. Bu standart ile tüm demiryolu sistemi içinde emniyet gereksinimleri ortaya konmaktadır. Bu direktif, altyapı ve trafiğin emniyet yönetimini kapsadığı gibi altyapı işletmecileri ile tren işletmesi yöneticileri arasındaki etkileşimi de içermektedir [4].

3.2. Ortak Emniyet Göstergeleri

2004/49/EC direktifinde AB birliği içindeki demiryolu organizasyonlarında ortak bir terminoloji oluşturmak amacıyla demiryolları ve demiryolu emniyet yönetim sistemiyle ilgili tanımlamalar yapılmıştır. 2004/49/EC direktifi dört temel içeriğe sahiptir [4];

- AB üyesi her bir ülkede emniyetten sorumlu bir kuruluş oluşturmak,
- Üye ülkeler tarafından oluşturulan emniyet sertifikalarının karşılıklı tanınmasını sağlamak,
- Demiryolu sisteminin ortak emniyet hedeflerini (CST) sağlamak ve demiryolu emniyet performansını takip etmek için ortak emniyet göstergeleri (CSI) ortaya koymak,
- Emniyetle ilgili araştırmalarda ortak kuralları tanımlamak.

3.3. Altyapı Yöneticileri ve Demiryolu Yüklenicileri

2004/49/EC direktifinde altyapı ve işletmeyle ilgili farklı kuralları belirlemek ve koordinasyonunu sağlamak için Altyapı Yöneticileri ve Demiryolu Yüklenicileri arasındaki farklılık tanımlanmıştır [4].

Altyapı yöneticileri: Demiryolu altyapısının bütününe ya da bir kısmını kurmak, inşa etmek, sürdürülebilir yapmak ve emniyetini sağlamakla görevli kişiler ya da kuruluşlardır. Bununla birlikte bazı üye ülkelerde emniyet demiryolu yüklenicileri tarafından sağlanabilir [4].

Demiryolu yüklenicileri: Demiryollarında yolcu ve yük taşımacılığından sorumlu kamu ya da özel kuruluşları ifade etmektedir [4].

3.4. Emniyet Sertifikasyonu

Bir demiryolu yüklenicisinin, demiryolu altyapısında işletme faaliyeti yapabilmesi için demiryolu emniyet sertifikasına sahip olması gerektiği 2004/49/EC direktifinde belirtilmiştir. Bu sertifika üye ülkelerin tüm demiryolu ağında geçerli olabileceği gibi sadece bir bölümünde de geçerli olabilir. Demiryolu emniyet sertifikası her bir üye ülkede ulusal düzeyde olan Emniyet Otoritesi tarafından verilecektir. Uluslararası ulaşım hizmetleri yapabilmek için, emniyet yönetim sistemini bir üye ülke içinde onaylatmak ve bu onayı Avrupa'da geçerli kılabilmek mümkün olacaktır.

Ulusal yeterlilikleri sağlamak için her bir üye ülkede ilave sertifikasyonlara sahip olma durumları ortaya çıkacaktır. Demiryolu yüklenicisi tarafından alınan emniyet sertifikaları beş yılı geçmeyen periyotlarda yenilenecektir. Demiryolu yüklenicisi tarafından işletmede kullanılmak istenen çeken-çekilen araçların teknik özellikleri ve tipleri ilgili emniyet otoritesine iletilmek durumundadır.

Sertifikada belirtilen emniyet gereksinimlerinin yanında, lisanslı demiryolu yüklenicisi Avrupa kanunlarına uygun olan ulusal gereksinimleri de ayrımcılık olmadan karşılamak durumundadır. Bu ulusal koşullar; sağlık, emniyet, sosyal haklar, çalışma süresiyle ilgili yasal sorumluluklar, işçi ve müşterilerin haklarıdır.

Emniyetin en önemli kapsamlarından birisi başta makinistler olmak üzere personel eğitimleri ve sertifikasyonudur. Eğitimler; işletme kurallarını, sinyalizasyon sistemini, güzergâh bilgisini ve acil durumları da kapsamaktadır [4].

3.5. Araçların Bakımı

Demiryolu araçları işletmeye alınmadan önce bir bakım atölyesine alınarak incelenmesi gerektiği 2004/49/EC direktifinde belirtilmiştir. Demiryolu araçlarının bakım kitapçıklarına uygun olarak bakım yapılıp yapılmadığı ve gerek duyulan emniyet koşullarını sağlayıp sağlamadıkları atölyelerde kontrol edilmelidir [4].

3.6. Ulusal Emniyet Otoritesi

2004/49/EC direktifinde her bir ülkenin, demiryolu yüklenicilerinden, demiryolu altyapı yöneticilerinden ve diğer kuruluşlardan bağımsız olan bir emniyet otoritesine (kuruluşuna) sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Bu kuruluş gerekli olan tüm bilgiler sağlandıktan sonra dört ay içinde yapılan başvurulara ve taleplere gecikme olmadan cevap vermek durumundadır. Demiryolu emniyet otoritesi, görevlerin başarı ile yerine getirilmesi ile ilgili tüm araştırma ve incelemeleri yapabilecek, altyapı yöneticileri ve yüklenicilerin ilgili dokümanlarına, ekipmanlarına ulaşabilecek ve tesislerine girebilecektir [4].

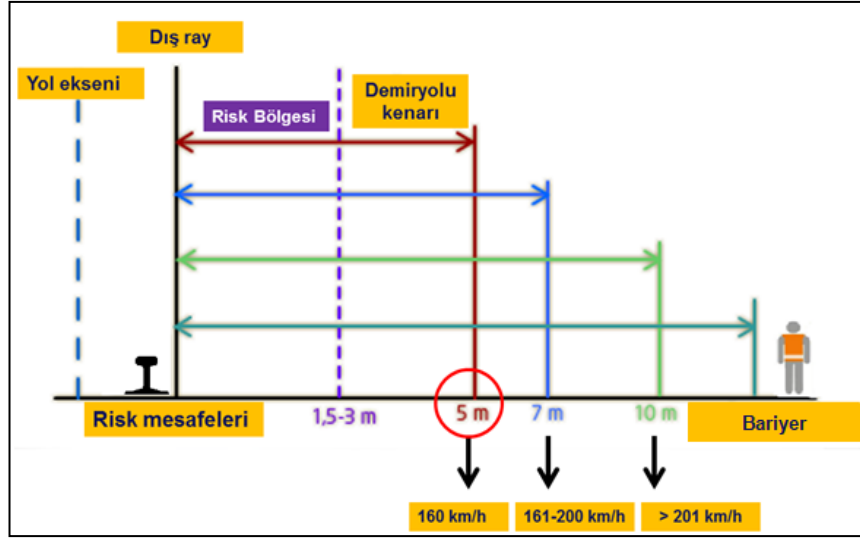
3.7. Kaza ve Olay İncelemeleri

2004/49/EC direktifinde kaza araştırma kuruluşunun, demiryolu sektöründe faaliyette bulunan aktörlerden bağımsız olacak şekilde tanımının yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu kuruluş, üstlenilen bir kaza veya olayın araştırılıp araştırılmayacağını, izlenecek yol ve kapsamlı araştırmalar konusundaki kararların verilmesinde bağımsız olması gerekmektedir. Her bir üye ülke kaza ve olayların sürekli olarak yetkili tek bir kuruluş tarafından yapılacağını garanti etmelidir. En az bir araştırmacı kaza ve olaylarla ilgili araştırmayı yapmalıdır [4].

3.8. Türkiye’de Demiryolu Emniyeti

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları’nda (TCDD) bir emniyet yönetim sistemi kurulması yönünde çalışmalar 2008 yılında başlamıştır. 2014 yılında TCDD Emniyet Yönetim Sistemleri Müdürlüğü kurulmuş ve emniyet personelinin görev tanımları yapılmıştır [10]. İlerleyen dönemlerde Demiryolu Düzenleme Kurulu (DDGM) tarafından Demiryolu Emniyet Yönetmeliği hazırlanmış ve 2015 yılında yayımlanmıştır. Bu yönetmelik demiryolu altyapı işletmecilerine, demiryolu tren işletmecilerine ve şehir içi raylı toplu taşıma işletmecilerine emniyet sertifikası verilmesi ve/veya emniyet yetkilendirmesi verilmesini kapsamaktadır. İçerik olarak Avrupa Birliği’nin 2004/49/EC sayılı direktifi esas alınmıştır [11].

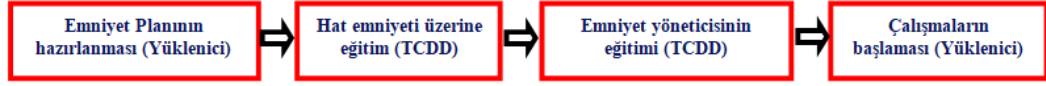
TCDD yol emniyetiyle ilgili olarak 2701 ve 551 sayılı emirler bulunmaktadır. Bu emirler, demiryolu güzergâhında yapılacak inşaat, bakım, onarım ve benzeri işlerde trenlerin trafik emniyetinin tehlikeye girmemesine ve çalışanların trenlere karşı korunmasına dair kuralları belirlemektedir. 2701 ve 551 sayılı emirlerde tren hızlarına göre risk bölgeleri ve risk mesafeleri belirlenmiştir (Şekil 3.1.) [12 ve 13].



Şekil 3.1. Tren hızlarına göre risk bölgeleri ve risk mesafeleri

551 sayılı emirde emniyet yöneticisi, emniyet görevlisi ve refakat görevlisi gibi görev tanımları yapılmıştır. Emniyet planı tanımı ile yapılacak işin kapsamına göre; işi yapan yüklenici, üçüncü şahıs ve diğer kurum ve kuruluş tarafından sunulacak, içerisinde işin tanımının, çalışma programının, çalışma alanının, emniyet yöneticisinin, emniyet görevlisinin ve çalışanların bilgilerinin, çalışma ve çalışma alanı ile ilgili tehlikelerin, tehlikelere göre alınacak önlemlerin, gerektiğinde risk analizlerinin, acil müdahale ve ilk yardım senaryolarının yer aldığı doküman ile demiryolu trafik emniyeti ile ilgili demiryolu tarafından belirlenen tedbirlerinin yer aldığı bir doküman istenmektedir. Çalışmaya başlamadan önce yüklenici personeline, “Üçüncü Şahısların Demiryolu Hattı Üzerinde veya Yakınında Yapacakları Çalışmalarda Uyması Gereken Kurallar Eğitimi” vermek zorundadır. Eğitim sonunda başarılı olanlara belgeler verilecektir ve bu belgelerin geçerlilik süresi iki yıl olacaktır. Çalışanların çalışma boyunca bu belgeyi yanlarında bulundurmaları zorunludur. Ayrıca iş süresince çalışma alanında sürekli emniyet görevlisi bulundurulmalıdır.

Yüklenicilerin demiryolu hatlarında işe başlaması için Şekil 3.2.’de sıralanan adımları gerçekleştirmeleri gerekmektedir [12 ve 13].



Şekil 3.2.Yüklenicilerin demiryolu hatlarında işe başlama süreçleri

2012 yılında yayınlanan 6331 sayılı ulusal kanun iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması, mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektedir. Bu kanunla, işverenin çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlama yükümlülüğü güvence altına alınmıştır. İşverenin yükümlülüklerinin yerine getirilmesinde aşağıdaki ilkeler göz önünde bulundurulmaktadır [14]:

- Risklerden kaçınmak,
- Kaçınılması mümkün olmayan riskleri analiz etmek,
- Risklerle kaynağında mücadele etmek,
- İşin kişilere uygun hale getirilmesi için iş yerlerinin tasarımı ile iş ekipmanı, çalışma şekli ve üretim metotlarının seçimine özen göstermek, özellikle tekdüze çalışma ve üretim temposunun sağlık ve güvenliğe olumsuz etkilerini önlemek, önlenemiyor ise en aza indirmek,
- Teknik gelişmelere uyum sağlamak,
- Tehlikeli olanı, tehlikesiz veya daha az tehlikeli olanla değiştirmek, Teknoloji, iş organizasyonu, çalışma şartları, sosyal ilişkiler ve çalışma ortamı ile ilgili faktörlerin etkilerini kapsayan tutarlı ve genel bir önleme politikası geliştirmek,
- Toplu korunma tedbirlerine, kişisel korunma tedbirlerine göre öncelik vermek,
- Çalışanlara uygun talimatlar vermek.

BÖLÜM 4. RİSK ANALİZLERİ

4.1. Risk

Tehlikeye yol açan olay veya olayların meydana gelme ihtimali veya meydana gelme sıklığı ve tehlikenin sonucudur. Risk; gelecekle ilgili projelerde hesaplanmış olsun veya olmasın hasar, kayıp, kar, kazanç v.b durumların oluşma olasılığı olarak açıklanabilir.

4.2. Risk Analizi

Fransızca kökenli bir kelime olan risk; zamana, kayıplara ve tehlikelere yol açabilecek bir olayın meydana gelme olasılığıdır. Bu türde olayların gerçekleşmemesi için tedbirler alınır. Bu tedbirler alındığı halde herhangi bir olayın gerçekleşmesi durumunda oluşan sonuçların değerlendirilmesi sürecine de risk analizi denir. Risk analizi yapılırken öncelikle bir risk resmi oluşturmak gerekir. Bu süreçte riske ilişkin birbirinden farklı alternatifler ve sonuçlar karşılaştırılmalıdır. Risk açısından önemli olan koşullar, faktörler, faaliyetler ve sistem bileşenleri tanımlanmalı ve risk için alınması gereken önlemler belirlenmelidir. Bir risk analizi yapmanın temel nedeni doğru karar vermeyi sağlamaktır [17].

Geçtiğimiz yıllar boyunca riskle ilgili konularda birçok çalışma yapılmıştır ve toplum, risk analizi alanında kayda değer bir ilgi göstermiştir. Risk analizi bilimin olasılık teorisi, matematiksel istatistik, mühendislik, tıp, felsefe, psikoloji ve ekonomik bilgi ve sonuçlarının birleştirildiği disiplinler arası bir alandır.

Risk kelimesi çok farklı anlamlara sahiptir. Risk analizi, riskin büyüklüğünün değerini belirmeyi ve çeşitli risklerin doğasını anlamayı dener. Risk analizinde hangi

sistemin göz önünde bulundurulacağını bilmek çok önemlidir ve bu birçok durumda belli değildir. Planlanan bir sistemi çalışmakta olan aynı sistemle karşılaştırmak açıkça farklıdır. Risk analizine konu olacak sistem açıkça tanımlanmış olmalıdır ve sistemin limitleri ve sınırları ayarlanmış olmalıdır. Risk analizine dahil edilmiş insanların göz önüne alınan sistemi ilgili işlemleriyle birlikte anlamış olmalarını sağlamak çok önemlidir. Sistemi tanımlamak risk analizine ait bileşenler, alt sistemler, süreç, zaman, fonksiyonlar vb. gibi neyin dahil olacağı bilgisini ortaya çıkaracaktır. Sistemi tanımlama aşamasından sonra risk analizinde beş önemli adım vardır [18];

- Risk tanımlama,
- Risk tahmini,
- Risk algısı,
- Risk değerlendirme,
- Karar.

İlk adım, risk tanımlama, “Ne olabilir?” veya “Tehlikeli bir sonuca neden olabilecek yanlış, hata ne olabilir?” sorularını sormaktır. Risk tanımlaması sayısal olmadığından beyin takımı gibi danışmanlar tavsiye edilir ve kullanılır. Risk tanımlamasındaki problem, risk kaynaklarının basit nedenler için gözden kaçabilmesidir. Buna örnek olarak; şu ana kadar herhangi bir kazaya sebep olmamış olayları gösterebiliriz. Riskin önemli kaynaklarını saptamaktaki hata, toplam risk için eksik tahmine yol açar ve ölümcül kazalara neden olabilir. Bir sistemi çok iyi tanımlamak oldukça imkânsızdır, bu yüzden her olası durumu içerecektir. Basitleştirmeler gerekli olacaktır.

İkinci adım farklı durumlar ve sonuçlar için riski ve olasılığı tahmin etmektir. Bu, istatistiksel metotlar veya risk analiz metotlarıyla yapılabilir. Kopustinskas’ın dediği gibi her risk tahmini belli bir ölçüde öznellik ve sınırlar içerir. Mevcut kontroller çerçevesi içinde, olasılık ve sonuç bakımından riskler analiz edilir. Bir dizi sonuç göz önüne alınabilir, bir risk seviyesi tahmini üretmek için olasılık ve sonuç tahmini yapılır. Risk analizi yapmak için bir çok metodoloji mevcuttur, bunlardan en uygun

olanı seçilir. Risk analizi, nicel veya yarı nitel metodolojilerin kullanımı ile gerçekleştirilir [18].

Risk analizindeki üçüncü adım bizim riski algılama yöntemidir. Risk algısı, riskin fiziksel yönüyle, görünüşüyle ilişkilidir. Fiziksel risk, kabul edilebilir riskin ne olduğu sorusuyla yakından ilişkilidir. Kabul edilebilir risk terimi sadece tekniksel değerlendirmeler içermeyen bunun yanında toplumun inanış değerlerini ve toplumsal risk kabulünü içeren karmaşık bir durumdur. Risk birileri tarafından algılandığında, fark edildiğinde anlam ifade eder [18].

Dördüncü adım, risk değerlendirme, riskin büyüklüğünü hesaplama ve riskin tolere edilebilir olup olmadığına karar verme yani riskleri makul bir seviyeye indirebilmek için gerekli önlemlerin belirlenmesi ve bu önlemlerin hangilerinin öncelikle alınması gerektiğine karar verilmesi işlemidir. Sistemli bir değerlendirme, risklerin belirlenmesini kolaylaştırarak tehlikelerin azaltılmasına destek olmaktadır.

Risk analizinin ilk dört farklı adımları kontrol edilip, gözden geçirildikten sonra karar için bir temel olarak, farklı karar alternatifleri, risk analizlerinin sonuçlarına göre yarar ve maliyetleriyle birlikte mukayese edilmelidir.

4.2.1. Risk sınıflandırma

Tehlikeli olayların meydana geliş sıklığı Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Tehlikeli olayların meydana geliş sıklığı [5]

Kategori	Tanım
Sık	Sık olarak oluşması muhtemel.
Muhtemel	Birkaç kez oluşur.
Ara sıra	Birkaç kez oluşması muhtemel. Makul olarak beklenilir.
Uzak ihtimal	Sistem ömrü boyunca bazı zamanlar oluşabilir.
Olasılık dışı	Oluşması mümkün olan, muhtemel olmayan.
İmkansız	Aşırı ihtimal dışı

Tehlikeli olayların meydana gelme sıklığını belirleme göz önüne alınan uygulamaya bağlıdır Farklı tehlikeli durumlar neticesinde oluşabilecek kazalar ve sonuçlarıyla

ilgili dört temel kategori bulunmaktadır. Tablo 4.2.'de tehlikenin oluşturacağı riskin şiddetine bağlı olarak sınıflandırılmasını gösterilmektedir..

Tablo 4.2. Tehlike şiddet seviyesi [5]

Şiddet Seviyesi	Şahıslara veya Ortama Sonuçları	Sonucu
Felaket	Çoklu ölümler ve/veya çoklu ağır yaralanmalar	Sistem kaybı
Kritik	Ölümler ve/veya yaralanmalar, çevreye zarar	Sistem kaybı
Marjinal	Küçük yaralanma ve çevreye önemli tehdit	Şiddetli S.H.
Önemsiz	Küçük yaralanma	Küçük S.H.

Tablo 4.3.'te nicel risk kategorileri gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Nicel risk kategorileri [5]

Risk Kategorisi	Her Bir Kategoriyeye Göre Atılacak Adımlar
Tolere edilemez	Elimine edilmeli
Arzu edilemez	Demiryolu idaresi veya güvenlik yetkilisinin izniyle kabul edilir.
Tolere edilebilir	Uygun bir kontrolle demiryolu tarafından kabul edilebilir.
İhmal edilebilir	Demiryolu idaresinin izni olmaksızın kabul edilebilir.

Tehlikeli olay tarafından ortaya çıkan risk seviyesini oluşturmak için tehlikeli olayın meydana gelme sıklılığı ile şiddeti birleştirilerek yapılır. Tablo 4.4.'te sıklık-sonuç çizelgesi (risk matrisi) gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Sıklık-sonuç çizelgesi (risk matrisi) [5]

Tehlikeli olayın Sıklığı	Risk Seviyeleri			
Sık				
Muhtemel				
Ara-sıra				
Uzak				
Olasılık dışı				
Önemsiz				
	Önemsiz	Marjinal	Kritik	Felaket
	Tehlike Sonucu Şiddet Seviyeleri			

4.2.2. Risk kabul prensipleri

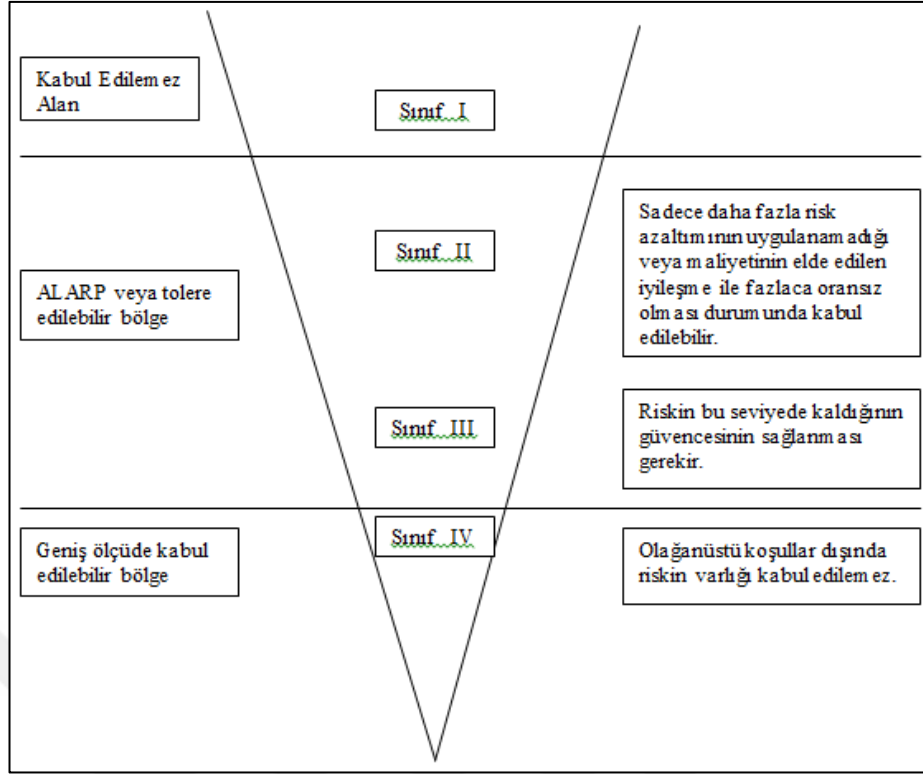
Risk kabulü genel olarak kabul edilen bir prensibi esas almalıdır. Kullanılabilecek bir takım prensipler aşağıdaki gibidir;

- İngiltere’de uygulanan ALARP prensibi,
- Fransa’da uygulanan GAMAB prensibi,
- Almanya’da uygulanan MEM prensibi.

ALARP (As Low As Reasonably Practicable): Bu yöntemde toplam risk değerlendirilmiştir. Sistemden kaynaklanan ve sistemi kullanan insan üzerinde, çevrede oluşacak toplam risk hesaba dahil edilmiştir. ALARP prensibi; oluşabilecek riskleri “sıklık” ve “şiddet” olarak sınıflandırmıştır. Her sınıftaki kaza ihtimali için aşılmayacak maksimum değerler belirtilmiştir. Bu sınırın üstünde, ilaveten risk düşürme ölçümleri yapılmalı ve risk düşürücü tedbirler alınmalıdır. Kabul edilebilir tehlike oranı alt limiti ve üst limit arasındaki bölge ALARP bölgesi olarak adlandırılmıştır [5]. Şekil 4.1.’de ALARP prensibi gösterilmektedir.

GAMAB (Globalement Au Moins Equivalent): Tüm sürücülü taşıma sistemleri, global olarak üretecekleri risk miktarı en çok varolan eşdeğer sistemin ürettiği risk kadar olmalıdır [5].

MEM (Minumum Endogeneous Mortality): Bu prensip tekil risk baz alınarak geliştirilmiş ve insan için en düşük ölüm oranı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu oran 15 yaşındaki bir kişi için 2.10^{-4} tür [5].



Şekil 4.1. Alarp prensibi

Üst sınır tolere edilemez risk seviyesini tanımlar. Risk seviyesi bu seviyenin altına düşürülemiyorsa işlem yapılmamalıdır.

Diyagramın en alt sınırı, risklerin çok düşük olduğu, kabul edilebilir bölgeyi tanımlar.

Üst ve alt sınırlar arasındaki alan ALARP bölgesi olarak adlandırılır. Bu ALARP bölgesindeki riskleri göstermek için yeterli olmayacak şekilde zorlanmalıdır. Bunlar en düşük seviyede makul uygulanabildiği şekilde yapılmalıdır.

4.2.3. Risk değerlendirmesi

Risk değerlendirmesi, işyerlerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerden kaynaklı risklere karşı çalışanların, işyerinin ve çevresinin korunması, risklerin ortadan kaldırılması ve kontrol etmek amacıyla koruyucu ve önleyici tedbirlerin alınmasını sağlamak amacıyla yapılan sistematik çalışmalar olarak tanımlanır.

Risk değerlendirmesi, sistemin tanımlanması, tehlikelerin belirlenmesi, yürütülen işten kaynaklanabilecek kaza senaryoları ve sonuçları; tehlikeli olayların insan, mal ve çevre üzerindeki etkileri ve sonuçları, farklı işletme ve kurumlardaki tehlikeler de hesaba katılarak pratikte bu tehlikelerin meydana gelme olasılığı ve etkileri, dışarıdan gelebilecek tehlikeler ve sonuçları nicel risk kriterleri referans alınarak, risk düzeylerinin değerlendirilmesi ile ilgili bilgileri içermelidir [19].

4.2.4. Risk azaltma

Sistemdeki riskler belirlendikten sonra risk kabul kriterlerine göre riskleri azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için gereken işlemler yapılmalıdır. Bu işlemler;

- Tehlikeli durumların tasarım değişikliği ile ortadan kaldırılması,
- Risk kabul kriterlerine göre sistemin yenilenmesi,
- Tehlike uyarıcı cihazlar kullanılarak personelin uyarılması,
- Riskleri ve etkilerini azaltmak için talimatların uygulanması,
- Personelin eğitimi,
- Emniyet özelliklerinin ilave tedbirler olarak arttırılması.

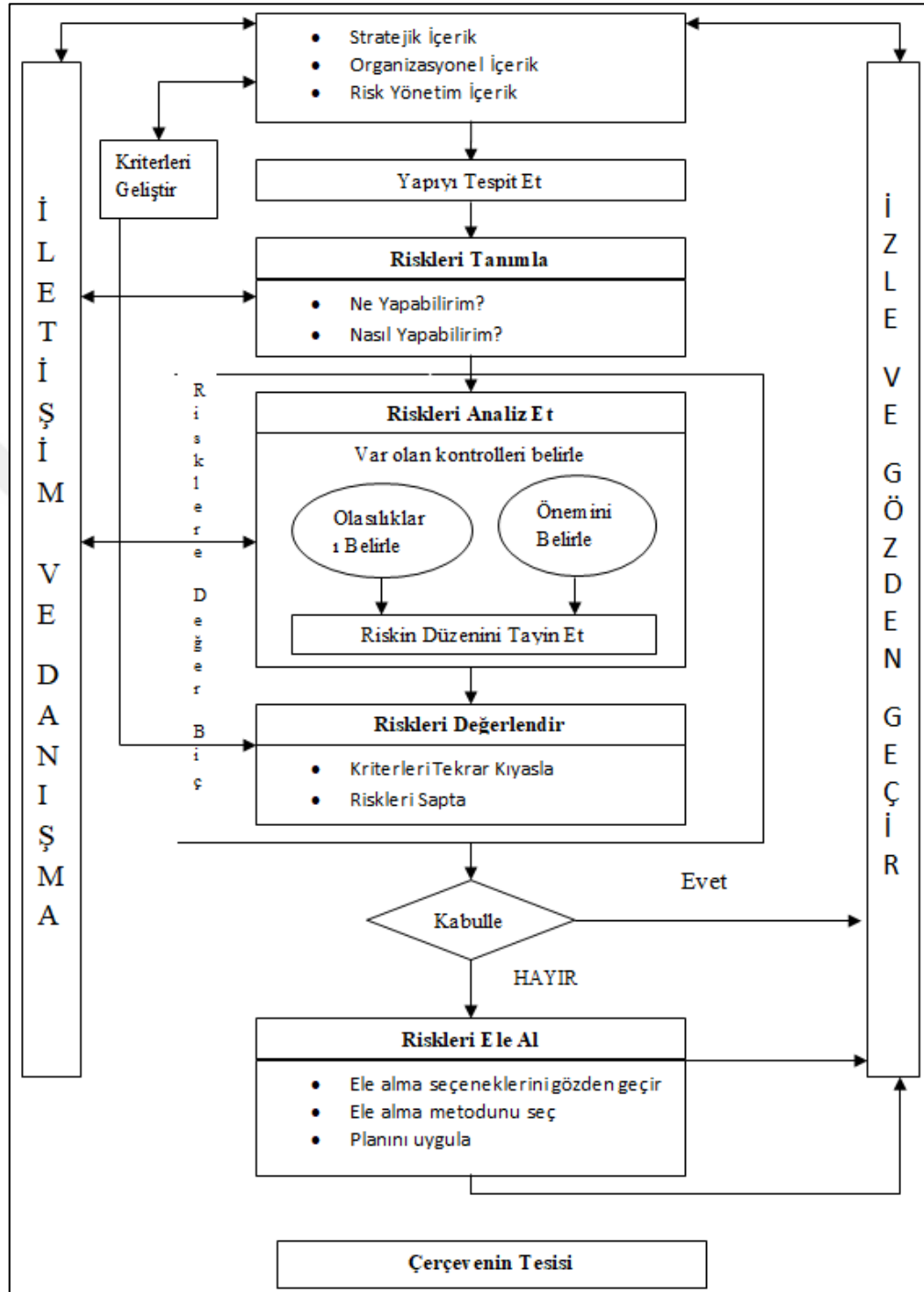
Bu aşamalardan sonra riskler gözlem altına alınıp kontrol edilmesi gerekir. Bu kontrol belirli periyotlarla sürekli yapılmalıdır [5].

Tehlikeli olay tarafından ortaya çıkan risk seviyesini belirlemek, tehlikeli olayın meydana gelme sıklığını, sonucunun şiddeti ile birleştirilerek yapılır. Risk değerlendirme ve kabul için Tablo 4.5.'te dikkate alınabilir [5].

Tablo 4.5. Emniyet risk matrisi [5]

Oluşma Sıklığı	Tehlike Şiddet Seviyesi			
	Önemsiz - IV	Marjinal III	Kritik - II	Felaket - I
Sık Sık (A)	Arzu Edilmez	Tolere Edilemez	Tolere Edilemez	Tolere Edilemez
Muhtemel (B)	Tolere Edilebilir	Arzu Edilmez	Tolere Edilemez	Tolere Edilemez
Ara Sıra (C)	Tolere Edilebilir	Arzu Edilmez	Arzu Edilmez	Tolere Edilemez
Uzak (D)	İhmal Edilebilir	Tolere Edilebilir	Arzu Edilmez	Arzu Edilmez
Olasılık Dışı (E)	İhmal Edilebilir	İhmal Edilebilir	Tolere Edilebilir	Tolere Edilebilir
İmkansız (F)	İhmal Edilebilir	İhmal Edilebilir	İhmal Edilebilir	İhmal Edilebilir

Risk yönetim sistemi şeması Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Risk yönetim sistemi [22]

4.3. İstatiksel Metotlar ve Dağılımlar

İstatistiksel yöntemler, çeşitli önlemler kullanılarak kaza oranlarının tahminlerini ve sonuçlarını ortaya koymak için ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır. İstatistiksel yöntemlerin kullanılması her yıl kazaların çok sayıda olduğu yol sektöründe yaygındır. Kaza oranlarının ve ortalama sonuçlarının güvenilir tahminlerini hesaplamak mümkündür. Demiryolu güvenliği analizi için istatistiksel metotların kullanılmasında başlıca problem veri eksikliğidir. Hemzemin geçitler hariç, birkaç kaza meydana gelir ve güvenilir tahminlerini elde etmek zordur. Örneğin; yılda beklenen ölümcül kazaların sayısının güvenilir tahminlerinin elde etmek zordur. Bu sorunu çözenin bir yolu olayları detaylı olarak raporlamak ve istatistiksel analiz için bu verileri kullanmak olacaktır. Ne yazık ki, demiryolu sektörünün havayolu sektörü gibi olayları raporlama geleneği yoktur [21].

Bazen kaza risklerinin daha doğru açıklamalarını almak için verilere istatistiksel olasılık dağılımları sığdırmak mümkündür. Teorik olasılık dağılımı risklerin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir. Teorik olasılık dağılımı ampirik verilere uydurulurken, aşağıdaki adımlar takip edilir.

- Belirli dağılımlar lehine argümanlar göz önüne alınır.
- Eğer böyle argümanlar yoksa, değişkenin olası değerleri analiz edilir ve bu yüzden dağılımların gözden geçirilmesi kısıtlanır.
- Teorik dağılımların bir listesinden değerlerin doğru aralık dağılımlarının bir veya birkaçı seçilir.
- Dağılımların parametreleri tahmin edilir.
- Ki-kare veya diğer testlerle ölçülmüş değerleri dikkatle inceleyerek dağılımlardan biri seçilir [21].

4.3.1. Üstel dağılım

Üstel dağılım, bir bileşende ilk hata/başarısızlık gerçekleşinceye kadarki geçen süreye ait dağılımdır. Üstel dağılım, zamana karşı dayanma modeli olarak kullanılan

istatistiksel dağılımlar arasında en çok kullanılanıdır. Bunun nedeni, sabit hata oranının, zamanla değişiklik gösteren hata oranına göre matematiksel olarak kolaylık sağlamasıdır. Üstel dağılım sabit hata oranına sahip olduğu için erken ölümlülük periyodu bitimi sonrasında yani yararlı ömür periyodu için iyi bir model oluşturur [22].

Sürekli tipteki t rastgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 4.1 ile ifade edilmektedir.

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (4.1)$$

Burada;

t : rastgele değişkenine,

λ : parametrelili üstel dağılıma sahiptir denir. Burada λ parametresine oran parametresi de denir [22].

Kümülatif dağılım fonksiyonu; belirli bir zamanda bir ürünün bozulma olasılık dağılım fonksiyonudur. Denklem 4.2 ile gösterilir [23].

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.2)$$

Burada;

t : iki durum arasında veya ilk durumun ortaya çıkması için gereken süre,

e : euler sayısı,

λ : hata veya arıza oranıdır.

Bir parametrelili üstel dağılımın $R(t)$ ile gösterilen güvenlik fonksiyonu Denklem 4.3 ile ifade edilmektedir (Şekil 4.3.) [23].

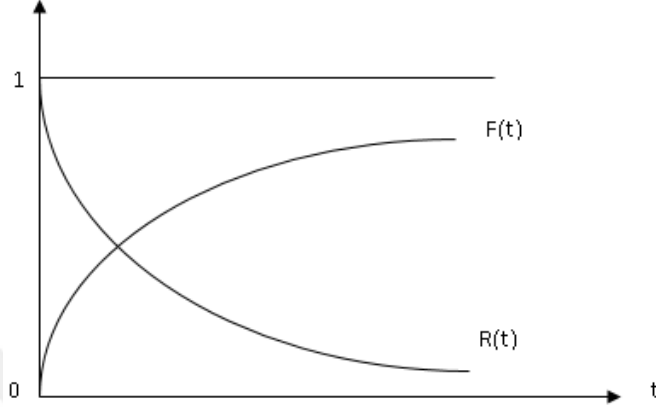
$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.3)$$

Burada;

t : iki durum arasında veya ilk durumun ortaya çıkması için gereken süre

e : euler sayısı,

λ : hata ve arıza oranıdır.



Şekil 4.3. Bir parametrelili üstel dağılımın $R(t)$ güvenilirlik ve $F(t)$ dağılım [22]

Bir parametrelili üstel dağılımın $h(t)$ ile gösterilen risk fonksiyonu Denklem 4.4 ile ifade edilmektedir [23].

$$h(t) = \lambda \quad (4.4)$$

Burada;

t : iki durum arasında veya ilk durumun ortaya çıkması için gereken süre,

λ : arıza veya hata oranıdır.

Sürekli tipteki t rastgele değişkeni bir parametrelili üstel dağılıma sahip ise ortalaması Denklem 4.5 ile hesaplanır. Yani arızalar arasındaki ortalama süreyi ifade eder [23].

$$E(t) = \frac{1}{\lambda} \quad (4.5)$$

Burada;

λ : arıza veya hata oranıdır.

Sürekli tipteki t rastgele değişkeni, bir parametrelili üstel dağılıma sahip ise varyansı Denklem 4.6 ile ifade edilmektedir [23].

$$Var(t) = \frac{1}{\lambda^2} \quad (4.6)$$

Burada;

λ : arıza veya hata oranıdır.

4.3.2. Normal dağılım

Normal dağılım ilk olarak 1733'te Moivre tarafından p başarı olasılığı değişmemek koşulu ile binom dağılımının limit şekli olarak elde edilmiştir. 1774'te Laplace hipergeometrik dağılımını limit şekli olarak elde ettikten sonra 19. yüzyılın ilk yıllarında Gauss 'un katkılarıyla da normal dağılım istatistikte yerini almıştır [24].

Normal dağılım, yıpranmaya karşı hata veren cihazların yıpranmaya bağlı olarak oraya çıkan hata/arıza dağılımından güvenilirliği tahmin etmek veya değerlendirmek için kullanılır [25]. Normal dağılım kullanımının en önemli nedenlerinden biri de bazı varsayımların gerçekleşmesi halinde kesikli ve sürekli birçok şans değişkeninin dağılımının normal dağılıma yaklaşım göstermesidir.

Sürekli bir X rastgele değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu, Denklem 4.7 biçiminde olduğunda, X rastgele değişkenine normal dağılıma sahiptir denir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (4.7)$$

Burada;

$\mu \in \mathbb{R}$ (real sayılar) ve $\sigma^2 \in (0, \infty)$; dağılımının parametreleri,

μ ve σ : parametreleri sırasıyla normal dağılımın konum ve yayılım parametreleridir [22].

Normal dağılımın özellikleri;

- Çan eğrisi şeklindedir,
- Normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonunun yani $f(x)$ in altında kalan alan 1 dir ve Denklem 4.8 ile ifade edilmektedir.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 \quad (4.8)$$

Eğri, dikey eksene göre simetriktir. Puanların yarısı, eksenin sağ, diğer yarısı da sol taraftadır ve Denklem 4.9 ile ifade edilmektedir.

$$\int_{-\infty}^{\mu} f(x)dx = \int_{\mu}^{+\infty} f(x)dx = \frac{1}{2} \quad (4.9)$$

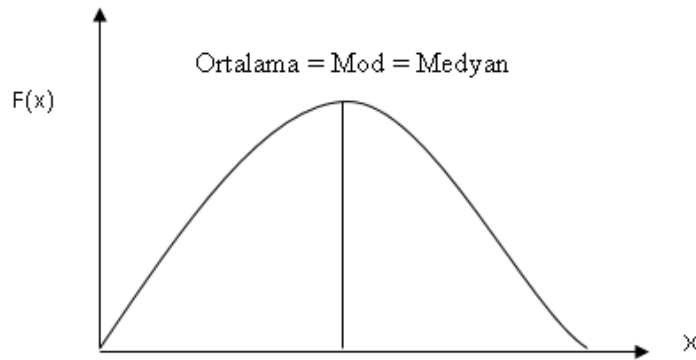
Burada;

μ : konum parametresi,

x : rastgele değişkendir.

Standart normal dağılımın ortalaması 0 ve standart sapması 1'dir. Ortalamanın sol tarafındaki (altında) birimler negatif, sağ tarafındaki (üstünde) birimler pozitifdir.

Mod, ortanca ve ortalama birbirine eşittir. Şekil 4.4.'te simetrik dağılım genişliği gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Simetrik dağılım genişliği

$\mu=0$ ve $\sigma=1$ olan normal dağılıma standart normal dağılım denir. Standart normal dağılıma sahip rastgele değişken genellikle Z harfi ile gösterilir. Rastgele değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 4.10 ile gösterilmiştir [22].

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}, \quad -\infty < z < +\infty \quad (4.10)$$

Burada;

z: sabit rastgele değişkendir.

$X \sim N(\mu, \sigma^2)$ normal dağılımı sahip rastgele değişken olmak üzere, $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$ rastgele değişkeni standart normal dağılıma sahip bir rastgele değişken olur ve bu durumda fonksiyon Denklem 4.11 ile gösterilmektedir.

$$P(X \leq x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) = \Phi(z) = P(Z \leq z) \quad (4.11)$$

Burada;

μ : konum parametresi,

σ : yayılım parametresi,

x ve z: sabit rastgele değişkendir.

Standart normal dağılım için dağılım fonksiyonundan bulunan olasılıkları veren tablolar düzenlenmiştir. Bu tablolar kullanılarak belli bir z değerine karşılık gelen olasılık bulunabildiği gibi, belli bir olasılığa denk gelen z değeri de bulunabilir [27].

4.3.3. Weibull dağılım teorisi

Kuvvet fonksiyonundan elde edilen bu dağılım, rastgele hata/arıza, erken ölüm, yıpranma ve serbest hata periyodu gibi hata/arıza niteliklerinin çeşitliliğini modellemek için kullanılır. Ayrıca Weibull dağılımı, güvenilirlik merkezli bakım aktivitelerinde, maliyet etkisini ve bakım periyotlarını hesaplamak için kullanılır. İki

parametrelili Weibull dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu (*pdf*) Denklem 4.12 ile ifade edilmektedir.

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4.12)$$

Burada,

α : karakteristik ömür,

β : ölçek parametresidir [25].

İki parametrelili Weibull dağılımının birçok avantajları;

- Basit bir fonksiyonla açıklanabilir ve kolay uygulanabilir,
- Basit hesaplama yöntemleri ve grafikleri mevcut olduğundan kullanımı kolaydır,
- Weibull ihtimal eğrisini eğimi esas alındığında, hata ile ilgili fiziksel bazda ipuçları verir [28].

Eğer (*pdf*) denklemi entegre edilirse kümülatif yoğunluk fonksiyonu (*cdf*) olan denklem elde edilir. Weibull kümülatif yoğunluk fonksiyonu, zamanın belli bir t değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığı Denklem 4.13 ile ifade edilmektedir [23].

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4.13)$$

Burada;

α : karakteristik ömür,

β : ölçek parametresidir.

Weibull tehlike fonksiyonu Denklem 4.14 ile gösterilmiştir [22].

$$h(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (4.14)$$

Burada;

α : karakteristik ömür,

β : ölçek parametresidir.

Weibull dağılımının $R(t)$ ile gösterilen güvenilirlik fonksiyonu Denklem 4.15 ile gösterilmiştir [22].

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4.15)$$

Burada;

α : karakteristik ömür,

β : ölçek parametresidir.

Sürekli tipteki t rastgele değişkeni, iki parameteli Weibull değişkenine sahip ise ortalaması ve varyansı Denklem 4.16 ile hesaplanır [23].

$$E(t) = \alpha \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$VAR(t) = \alpha^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (4.16)$$

Burada;

α : karakteristik ömür,

β : ölçek parametresidir.

Γ ; gama fonksiyonudur ve Denklem 4.17 ile ifade edilmektedir [25].

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-\alpha} \alpha^{x-1} dx \quad (4.17)$$

4.3.4. Lognormal dağılım

Olasılıkta ve istatistikte lognormal dağılım, logaritması normal dağılan rastgele değişkenlerin olasılık dağılımıdır. Lognormal dağılımın uygulanabilmesi için ilgilenilen rastgele değişkeni pozitif olması gerekir.

Lognormal dağılım; küçük hataların çarpımlarından kaynaklanan işlemler için ortaya çıkan bir modeldir. Merkezi limit teoremi kullanılarak “n” bağımsız pozitif değerler alan rastgele değişkenin çarpımına ait dağılımın lognormal dağılıma yaklaştığı gösterilebilir [22].

Lognormal dağılımı ekonomiden kimyaya her alandaki değişik uygulamalarda, gözlenen değer, önceki değer rastgele oranı olduğu işlemlerde kullanılır. Ayrıca yaşam testlerinde ve kırılma işlemi sonucu elde edilen taneciklerin hacim dağılımını göstermek için kullanılır [29].

Sürekli tipteki t rastgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 4.18 ile ifade edilmektedir.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} e^{-\frac{[\ln t - \mu]^2}{2\sigma^2}} \quad (4.18)$$

Burada;

t : rastgele değişkenine,

μ ve σ parametrelili lognormal dağılıma sahiptir denir. μ ve σ dağılımı konum ve şekil parametreleridir.

Lognormal dağılımın dağılım fonksiyonu Denklem 4.19 veya Denklem 4.20 ile gösterilmektedir [22].

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{y} e^{-\frac{[\ln y - \mu]^2}{2\sigma^2}} dy \quad (4.19)$$

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right) \quad (4.20)$$

Burada;

t : sürekli tipteki rastgele değişken,

μ : konum parametresi,

σ : şekil parametresidir.

Sürekli tipteki t rastgele değişkeni, lognormal dağılıma sahip ise beklenen ortalaması ve varyansı, Denklem 4.21 ve Denklem 4.22 ile gösterilmiştir.

$$E(t) = e^{\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)} \quad (4.21)$$

$$VAR(t) = e^{(2\mu + \sigma^2)}(e^{\sigma^2} - 1) \quad (4.22)$$

Burada;

t : sürekli tipteki rastgele değişken,

μ : konum parametresi,

σ : şekil parametresidir.

4.3.5. Poisson dağılımı

Poisson dağılımının güvenilirlik hesaplarında kullanılan iki temel uygulaması vardır. İlk uygulaması belirtilen bir zaman aralığında gerçekleşmesi beklenen hataların, başarısızlık gibi olayların sayısını bulmak için kullanılır. İkinci bir uygulaması ise gerçekleşme olasılığı oldukça düşük olaylarda, binom dağılımı yerine Poisson dağılımı kullanılır. Poisson dağılımından bilimsel araştırma, planlama ve yer bilimlerinde bu tür dağılımlara sık sık rastlanır. Poisson dağılımının en önemli üstünlüğü olasılık sıklık dağılım ve dağılım fonksiyonlarının basit olmasıdır. Poisson rastgele değişkeni X için olasılık fonksiyonu Denklem 4.23 ile gösterilmiştir.

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (4.23)$$

Burada;

X : beklenen olasılıktır,

λ : gerçekleşen olasılıktır.

Beklenen değer Denklem 4.24 ile ifade edilmektedir.

$$E(X) = M'(0) \rightarrow M'(t) = \mu \exp(t) \exp[(\exp(t) - 1)\mu] \rightarrow M'(0) = \mu \quad (4.24)$$

Burada;

μ : verilen sabit aralıkta ortaya çıkma sayısının beklenen değeridir ve Denklem 4.25 ile ifade edilmektedir.

$$\mu = \lambda t \quad (4.25)$$

4.3.6. Seri bağlı sistemler

Bu dizilişte bileşenler birbirlerine ardı ardına sıralanır. Herhangi bir bileşenin başarısızlığı, sistemin başarısızlığına sebep olur. R_A ve R_B sırasıyla A ve B bileşenlerinin başarı olasılığı ve F_A ve F_B sırasıyla A ve B bileşenlerinin başarısızlık olasılığı olsun. A bileşenin başarısız olması durumu A_F , B bileşenin başarısız olması durumu B_F ile gösterilsin. Sistemin hata oranı Denklem 4.26 ile ifade edilmektedir. Sistemin başarı oranı Denklem 4.27 ile ifade edilmektedir [22].

$$F_{sistem} = F_A + F_B - F_A F_B = 1 - (1 - F_A)(1 - F_B) \quad (4.26)$$

$$R_{sistem} = R_A \cdot R_B \quad (4.27)$$

Burada;

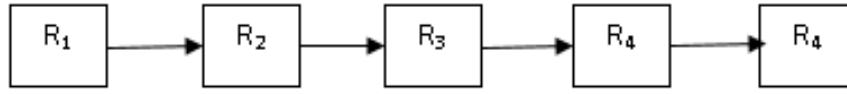
R_A ve R_B : sistemin güvenilirlik olasılığı,

F_A ve F_B : sistemin hata olasılığını,

A_F, A : sisteminin başarısız olmasını,

B_F, B : sisteminin başarısız olmasını ifade eder.

Seri bağılı sistem Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Seri sistem [25].

Seri bağılı sistemlerde sistem, bütün bileşenin çalışması durumunda çalışır. Herbir elemanın güvenilirliği diğerlerinden bağımsız olduğu düşünölsün. Bir bileşenin başarısızlığı durumunda sistem başarısız olur. “n” elemanlı sistemin güvenilirliği Denklem 4.28 ile, güvenilmezliği Denklem 4.29 ile ifade edilmektedir [22].

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (4.28)$$

$$F_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \quad (4.29)$$

Burada;

n : sistemin eleman sayısı,

R_i : sistemin i.elemanın güvenilirliği,

F_i : sistemin i.elemanın başarısızlığıdır.

4.3.7. Paralel bağılı sistemler

Tüm bileşenlerin birbirlerine paralel yerleştirildiğı ve sistemin arızalanmasının ancak tüm bileşenlerin arızalanması halinde mümkün olduğı düzenlemedir. Sistemin başarısızlığı A ve B bileşenlerinin başarısızlığı ile gerçekleşir ve Denklem 4.30 ile ifade edilmektedir..

$$F_{sistem} = F_A F_B \quad (4.30)$$

Burada;

F_A : A sisteminin başarısızlığı,

F_B : B sisteminin başarısızlığıdır.

A ve B çalışıyorsa, sistem çalışır ve Denklem 4.31 ile ifade edilmektedir.

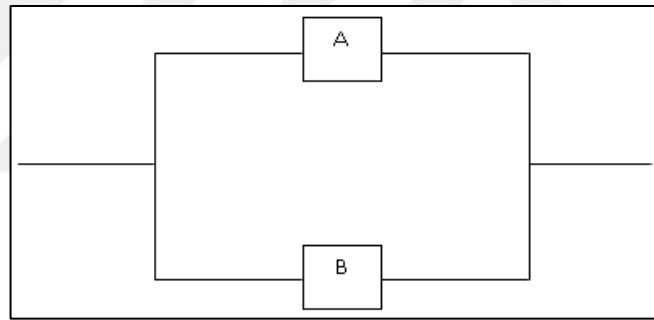
$$R_{sistem} = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B) = R_A + R_B - R_A R_B \quad (4.31)$$

Burada;

R_A : A sisteminin başarısızlığı,

R_B : B sisteminin başarısızlığıdır.

Paralel bağlı sistemler Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Paralel sistem [25].

Paralel bağlı sistemlerde sistemin çalışmasını devam ettirebilmesi için sadece bir elemanın işlevi bile yeterlidir. Kalan diğer elemanlar sistemin güvenilirliğini artırır. Paralel bir sistemde eleman sayısını arttırmak, tüm sistemin güvenilirliğini artırır. “ n ” elemandan oluşan paralel bir sistemin güvenilmezliği ve güvenilirliği sırasıyla, Denklem 4.32 ve Denklem 4.33 eşitliği ile hesaplanır [22].

$$F_s = \prod_{i=1}^n F_i \quad (4.32)$$

$$R_{si} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (4.33)$$

Burada;

n : paralel sistemi oluşturan eleman sayısı,

F_i : sistemin i . elemanın güvensizliği,

R_i : sistemin i . elemanın başarısıdır.

4.3.8. Karışık bağlı sistemler

Paralel ve seri olarak karışık bağlı sistemler “ m ” tane seri bağlı eleman ve “ n ” tane paralel alt sistemden oluşmaktadır. “ J ”. alt sistemin güvenilirliği Denklem 4.34 ile ifade edilir.

$$R_j = R_{j1} R_{j2} R_{j3} R_{j4} \dots R_{jm} = \prod_{i=1}^m R_{ji} \quad (4.34)$$

Burada;

R_{ji} : j . alt sistemin i . elemanının güvenilirliğini göstermektedir.

Güvenilmezlik ise, Denklem 4.35 ve Denklem 4.36 ile gösterilmektedir.

$$F_j = 1 - \prod_{i=1}^m R_{ji} \quad (4.35)$$

$$F_{sistem} = \prod_{j=1}^n \left[1 - \prod_{i=1}^m R_{ji} \right] \quad (4.36)$$

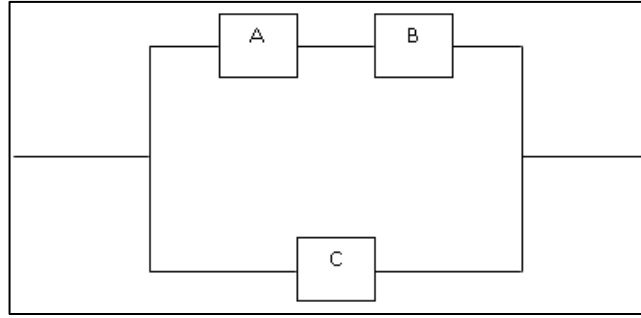
Burada;

R_{ji} : j . alt sistemin i . elemanının güvenilirliği,

m : seri bağlı eleman sayısı,

n : paralel bağlı eleman sayısıdır.

Karışık bağlı sistem Şekil 4.7.’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Karışık bağlı sistem [25].

4.4. Risk Analiz Yöntemleri

Bazı metotlar risk analiz terimleriyle ilişkilidir. Bu metotları kullanmanın farklı yolları vardır. Tablo 4.6.'da analiz edilmek için dizayn edilmiş metotlar, türlerine bağlı gruplara ayrılmıştır. Burada risk analizlerinde kullanılan metotların birkaçı tanımlanmıştır. Burada belirtilmeyen birçok çeşitli analiz yöntemleri vardır.

Tablo 4.6. Risk analizlerinde kullanılan metotlar

Metot	Açıklama
Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis-FTA)	Belirli bir olayın nedenlerinin analizi
Olay Ağacı Analizi (Event tree Analysis-ETA)	Belirli bir olayın sonuç alternatifleri analizi
Hata türü etkileri analizi (Failure modes and effects analysis – FMEA)	Teknik bileşenlerin hata analizi

4.4.1. Hata türü etkileri analizi (failure mode and effects analysis)

Hata türü ve etki analizi (FMEA) disiplini, ABD ordusunda geliştirilmiştir. Hata türü, etkileri ve riskinin analizi üzerine prosedürler olarak adlandırılan askeri prosedür MIL-P-1629, 9 Kasım 1949 tarihinde başlatılmıştır. Sistem ve donatım hatalarının etkilerinin belirlenmesi için güvenilir bir değerlendirme tekniği olarak kullanılmıştır.

Şubat 1993'te Otomotiv Endüstrisi Faaliyet Grubu (AIAG) ve Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu (ASQC) endüstri çapında Hata Türü ve Etki Analizi standardı oluşturmuştur. Bu standart HTEA yapısı QS 9000 standardının geliştirilmesinde

işbirliği yapan Chrysler, Ford ve General Motors şirketleri tarafından kabul edilmiştir ve desteklenmektedir.

Hata türleri ve etki analizi (FMEA) komponentleri belki de tüm sistem performansını etkileyen bütün potansiyel hata türlerini ve etkilerini değerlendiren, emniyet ile güvenilirlik değerlendiren tekniktir. Ayrıca arıza önleme ve hata türlerinin etkisini azaltan bir yöntemdir. FMEA sistem tasarımında ve üretiminde veya sürecinde olabilecek tüm potansiyel hata türlerini tanımlayan, açıklayan, önceliklendiren ve kontrol eden bir tekniktir [30].

FMEA'nın diğer tanımı ise; tasarım, proses, sistem ve hizmet ile ilgili bilinen ve/veya olası hataları, yanlışları ve problemleri müşteriye ulaşmadan belirlemeyi, tanımlamayı ve ortadan kaldırmayı amaçlayan mühendislik tekniğidir. Müşteriler kullandıkları ürünün hizmet süresinin uzun ve aynı zamanda sorunsuz bir proses olmasını istemektedirler. Hata türü ve etki analizi, riskleri tahmin eden ve hataları önlemeye yarayan güçlü bir analiz tekniğidir. Bu tanıma yardımcı olacak şekilde hatayı şu şekilde tanımlayabiliriz; insanların, makinelerin, malzemelerin, yöntemlerin ve benzeri ürün veya hizmet faktörlerinin istenen performans ve özellikleri sağlayamamasından dolayı çıktılarda meydana gelen istenmeyen değişimlere hata denilmektedir. Ürünler karmaşık hale geldikçe, geleneksel tasarım yöntemleriyle düşük hata oranlarını elde edebilmek güçleşmektedir. Hata türü ve etki analizi çalışmasında belirlenen bütün hatalar için olasılık, şiddet ve saptanabilirlik tahmini yapılmaktadır.

Hata türü ve etki analizi, ürünlerin ve proseslerin geliştirilmesinde öncelikli olarak hata riskinin ortadan kaldırılmasına odaklanan ve bu amaçla yapılan faaliyetleri belgelendiren bir tekniktir. Bu analiz önleyici faaliyetlerle ilgilenmektedir [31].

FMEA'nın uygulanış yerine ve şekline göre bazı tipleri mevcuttur. Yeni veya var olan bir ürün veya hizmet geliştirme amacı olan FMEA sırasıyla sistem, tasarım, proses ve servis adımlarından oluşmaktadır.

4.4.2. Hata ağacı analizi

Hata ağacı analizi kavramı (FTA), 1962 yılında Bell Telefon Laboratuvarlarında, Minuteman kıtalararası balistik füze hedefleme kontrol sisteminin güvenlik değerlendirmesini gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Hata ağacı metodolojisi, sistem hatalarını ve sistem bileşenlerinin hatalarındaki sakıncalı olaylar arasındaki bağlantıyı gösteren mantıksal diyagramlardır. Bu metod, tündengelimli mantığa dayanan bir tekniktir. Sakıncalı olay, daha önceden tanımlanmış olay ile hataların nedensel ilişkileridir. FTA bir işletmede yapılan işler ile ilgili kritik hataların veya ana (majör) hataların, sebeplerinin ve potansiyel karşıt önlemlerinin şematik gösterimidir.

Ayrıca düzenleyici hareketleri veya problem azaltıcı hareketleri tanımlar. FTA'nın amacı hataların gidiş yollarını, fiziksel ve insan kaynaklı hata olaylarına sebep olacak yolları tanımlamaktır. FTA belirli bir hata olayı üzerine odaklanan analizci bir tekniktir. Daha sonra muhtemel alt olayları mantıksal bir diyagramla şematize eder. Grafik olarak insan ya da malzeme kaynaklı hasarların muhtemel kombinasyonlarını oluşturur. İhtimallerini ortaya çıkarabileceği önceden tahmin edilebilen istenmeyen hata olayını (zirve olay) grafik olarak gösterir. FTA çok geniş kapsamlı olarak güvenlik ve risk analizinde kullanılır. FTA kalitatif bir teknik olarak bir hatayı alt bileşenlerine ayırarak onu irdelediği için kullanışlıdır. Bu şekilde sistemi oluşturan her bir parçanın modifiye edilmesi, çıkarılması ya da elde edilmesine olanak sağlar.

Özellikle hiçbir işletim geçmişi olmayan yeni teknik proseslerin kullanımında çok yararlı olur. FTA'dan elde edilen değerler bir dizi mantık diyagramları olarak bazı kombinasyonların muhtemel hatalara nasıl yol açabileceğini gösterir. Elde edilen değerler kantitatifdir. Elde edilen hasar verileri oranlanabilirse yada tahminler hasar olayları için mevcutsa sonuçlar kalitatif hale getirilebilir. Bir hata ağacı bütün muhtemel bileşkeleri, hasar türlerini yada hata olaylarını içeremez. Genellikle en üst olaya göre düzenlenir ve zamanla kısıtlanır.

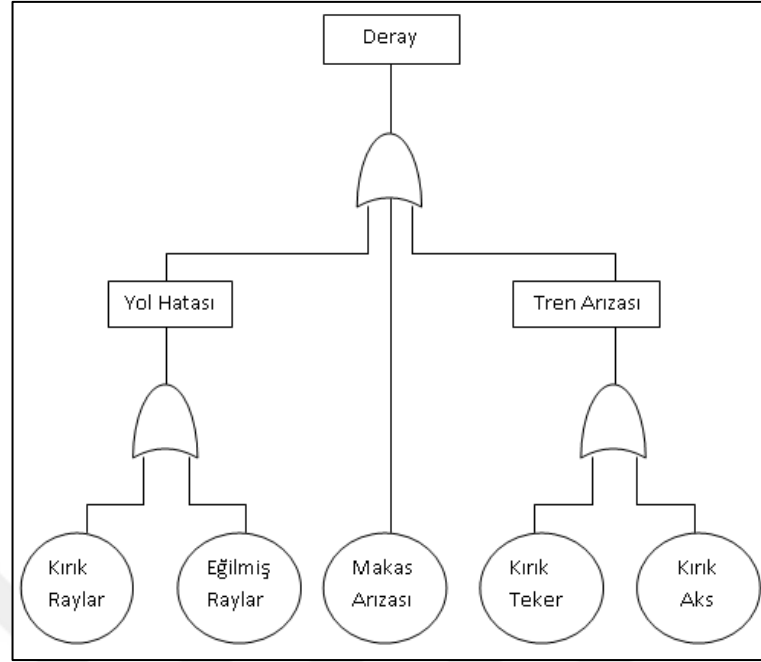
FTA her düzeyde tehlike oluşturan hataların analizini yapar ve bir mantık diyagramı aracılığı ile en büyük olayı (kayıbı) yaratan hataların ve problemlerin olası tüm kombinasyonlarını gösterir. Ayrıca hatanın belirlenmesinde söz konusu aşamalara yol göstererek karmaşık ve karşılıklı ilişkiler sonucu ortaya çıkan olumsuzluğun belirlenmesini ve bu olumsuzluğun oluşma olasılığını değerlendirmeyi amaçlar. FTA'da oluşması istenmeyen olayın kökündeki sebebe kadar inilerek istenmeyen diğer olası hatalar ve onların sebepleri ortaya çıkarılır. Tüm bu hataları ve sebeplerini görüntülemeye tekniğin kendine özel mantık sembollerinden yararlanılarak hatanın soy ağacı çıkarılır [20].

Hata ağacı analizi üç temel adımda uygulanır, ilk adımda sistemin analizi yapılır, ikinci adımda, hata ağacı oluşturulur ve son olarak üçüncü adımda ise hata ağacının değerlendirilmesi yapılır.

4.4.2.1. Hata ağacının yapısı ve semboller

Hata ağacı yapısı tehlikeli bir olay ile başlar ve amaç bu olayın nedenlerini modellemektir. Tehlikeli olayı zirve olay olarak adlandırabiliriz. Çeşitli mantık kapıları vasıtasıyla bu baş olay orta seviyede farklı arızalara bağlanır. Hata ağacının altında esas olaya neden olan olasılıklar atanabilir.

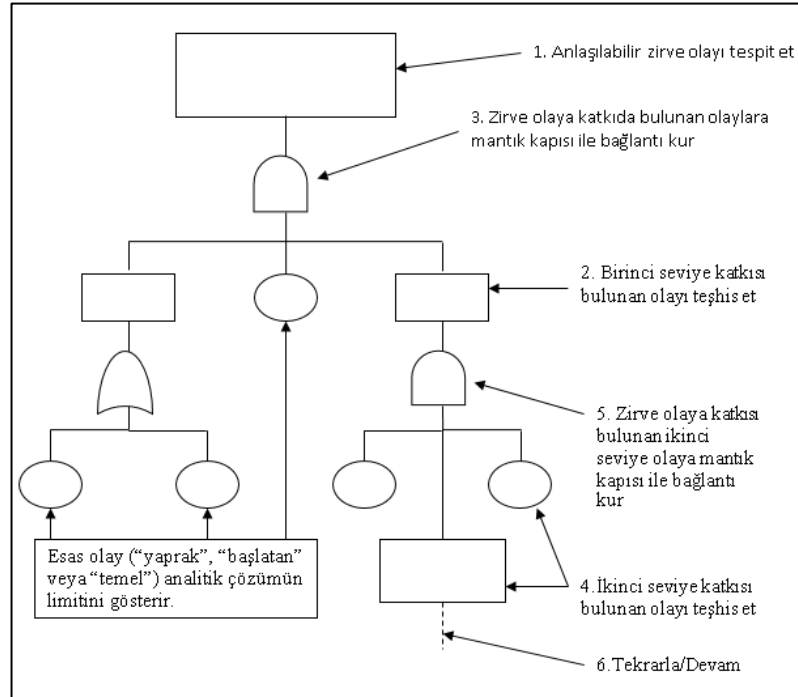
Şekil 4.8.'de bir trenin deray olması üzerine oluşturulmuş bir FTA analiz örneğini göstermektedir. Bu örnekte deray olayı, iki adet ara olay ve beş adet temel olay veya kapısı ile bağlanmasından oluşmaktadır. Ara olaylar, en üst olayın temel sebeplerini göstermektedir. Temel olaylar ise ara ve ana olaya sebebiyet veren sorunların nedenlerini göstermektedir [30].



Şekil 4.8. Tren derayına örnek bir hata ağacı modeli

4.4.2.2. Hata ağacı oluşturma ve aşamaları

Hata ağacı oluşturma aşamaları Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.

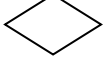


Şekil 4.9. Hata ağacı oluşturma aşamaları

Ağaçlar nispeten geniş olabilir ve bazı unsurlar ağacın çeşitli yerlerinde tekrarlayabilir. Bu yüzden ağaçları küçük birimlere ayırmak ve iç ve dış kapılar yoluyla bağlamak mümkündür. Tablo 4.7.’de yaygın olarak kullanılan semboller gösterilmiştir [21].

Bir hata ağacı tasarlariken, bir grup sembol kullanılmıştır. Grup bir miktar değişken içerir ve burada sadece sınırlı sayıda sembol ele alınmıştır. Hata ağacındaki semboller, kapılar ve olaylar olmak üzere iki türdür. En önemlileri tabloda (Tablo 4.7.) gösterilmiştir. İlk üç sembol kimi türdeki “olaylar” ile ilgilidir. “Olaylar” kaba anlamdaki olaylar olabilir. Örneğin; bir şey olur, fakat aynı zamanda hatalı bir durum ile ilgilidir (bir parçanın arızalanması nedeniyle oluşan hatalar gibi). Bu nedenle, onların “hata olayları” olarak tanımlanması daha doğru olabilir. Koşullara bağlı sembol normal şartların veya olayların aynı zamanda sistemi etkileyebileceğini göstermek için kullanılmıştır. Bazen, engelleme olarak adlandırılan özel kapı ile birlikte kullanılır. Transfer sembolü ağacı birkaç küçük parçaya bölmek için kullanılır. “ve” ve “veya” kapıları çeşitli olaylar arasında mantıksal bağlantılar sağlamak için kullanılır.

Tablo 4.7. Hata ağacı analizinde kullanılan semboller [32]

Sembol	İşaret edilen	İşlev
	Temel olay	Temel olay veya hata
	Gelişmemiş olay	Gelişmemiş durum
	Olay	Daha temel olaylardan oluşan olay
	Durumsal olay	Normal şekilde oluşabilecek olay
	Ve kapısı	C çıktı olayı eğer bütün girdi olayları (A ve B) aynı anda oluşuyorsa oluşur.
	Veya kapısı	C çıktı olayı eğer herhangi bir girdi olayı oluşursa meydana gelir.
	Transfer sembolü	Ağacın başka bir yerde daha ileri noktaya geliştiğini gösterir.

Analiz edilen sistemi tanımlamak gereklidir. Hem içten ve hem dıştan sınırlamalar gereklidir. Bir radyatör birkaç olası kısıtlamalarla ısıtma sisteminin bir parçasıdır. Evin ısıtma sistemi için veya şehrin elektrik şebekesi için belirli radyatörün analizi sınırlandırılabilir. Sınırlandırma seçimi sistemin hangi fonksiyonunu analiz etme isteğimize dayanır. Eğer evdeki bir oda çok soğuksa, odadaki radyatörün analizi yeterli olabilir. Diğer durumlarda, sistemde sınır daha yukarı çekilmelidir.

Bundan başka iç limitlerin olması gereklidir. Yolcu trenlerinin raydan çıkmalarının analizinde, trenin raydan çıkması için yeterli nedenler vardır. Bunlardan biri yol hatası olabilir. Makas hataları veya kırık ray buna örnek olarak gösterilebilir. Sistem analizi için yol hatalarının modellenmesi yeterli olabilir veya daha detaylı analizlerde raydan çıkmanın nedeni olarak makas hataları da dahil edilir. Hataların seviyesini sınırlandırmak gereklidir. Çünkü sistemde olası tüm detaylara girmek her zaman mümkün değildir. Makasın pozisyonunu değiştirmek için makinede bir hata olduğunu varsayarsak makinenin ana parçalarını mı analiz etmeliyiz yoksa parçadaki materyali mi analiz etmeliyiz?

Bir sistem analiz edilirken, sınırları öncelikle tanımlanmalıdır. Bu yapıldığında, bir hata modu seçilebilir. Bu hata modu hata ağacı üst olaydır. Görev, üst olaya sebep olan acil ve gerekli olayları, arıza modlarını ve başarısızlık mekanizmalarını bulmaktır. Daha sonra bunlar iç sınıra ulaşana kadar sırasıyla analiz edilir. Bu işlem için beş kural vardır.

- Olay kutularına açıklamaları başarısızlık olarak yazılmalıdır.
- Olaya bir bileşen sebep oluyorsa, sistemin durumu olarak değil, bileşenin bir durumu olarak sınıflandır.
- Eğer bir bileşenin normal işleyişi olayların belli bir dizisinin şartlarını, kurallarını belirtiyorsa, o bileşen normal çalışıyor varsayılır.
- Her seviyeyi bitir. Tüm kapıların sonraki seviyeye devam etmeden önce tamamlanması gerekmektedir.

- Bir kapı başka bir kapıya doğrudan bağlı olmamalıdır. Bir kapıdaki bütün girdiler hatayı düzgünce tanımlamalıdır [21].

Hata ağacının inşaatı ayrıntılı analiz gerektirir ve geniş kapsamda varsayıma gerek duyulabilir. Bunlar, örneğin, çalışılan sistemin sınırlarına ve geçerli olacağı varsayılan operasyon durumlarına uygulanabilir. Aynı zamanda ne tür hatalar oluşabileceği ve analizden çıkarılması gerekenler hakkında varsayımlar yapılabilir [32].

4.4.3. Olay ağacı analizi

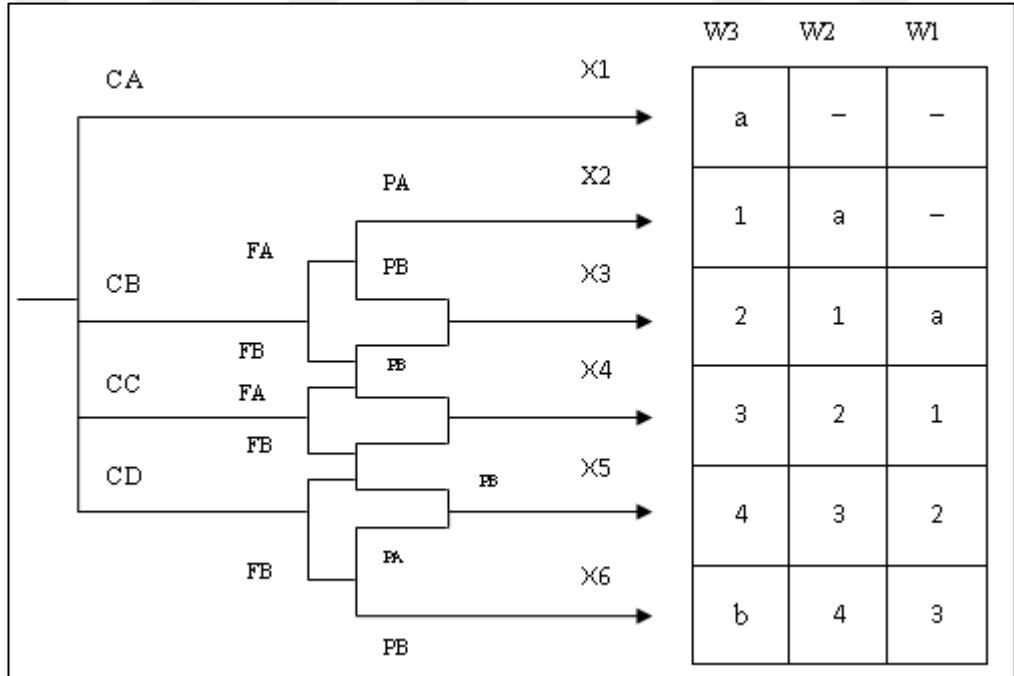
Olay ağacı analizi bir kazanın olası sonuçlarının yapılandırılmış açıklamasını sağlayan bir tümevarım yöntemidir. Olası senaryoları tanımlamaktaki amaç, başlangıçta seçilmiş olan olayın meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçları takip edebilmek ve olası sonuçların ihtimallerini hesaplaya bilmektedir. Olay ağacı kronolojik olaylar zincirini gösteren grafik sembollerinden bir dizi oluşturur. Ağaç farklı güvenlik sistemlerinin başarılı olup olmadığına bağlı olarak başarılı/başarısız diye kollara ayrılır [21]. Diyagramın sol tarafı başlangıç olay ile başlar, sağ taraf işletmedeki hasar durumu ile bağlanır, en üst iste sistemi tanımlar. Eğer sistem başarılı ise yol yukarı, başarısız ise aşağı doğru gider [20].

Olay ağacı her zaman soldan sağa bir zaman çizelgesi takip eder ve ağacın dallara ayrıldığı yerde düğüm noktaları içerir. Her düğüm noktasında olasılık dallara ayrılır. N bileşenli sistem için “ 2^n ” durum söz konusudur. Bu durumların her biri belirlendikten sonra sistemin başarılı olduğu durumların olasılıkları hesaplanır, bu olasılıkların toplamı sistemin güvenilirliğini verir. Bileşen sayısı çok olduğunda olay ağacı yöntemini kullanmak zordur. Bu nedenle, bu yöntem güvenilirlik hesabında az kullanılır, daha çok karar analizinde kullanılmaktadır [33].

4.5. Emniyet Bütünlüğü Seviyesi (Safety Integrity Level)

Sistemin güvenilirliğini sağlamak için emniyet analiz döngüsü, fark etme ve işlem gibi üç ayrı aşama altında tasarlanan sistemi değerlendirir. Her aşama planlanan sistem için başarısızlık risklerini azaltmak amacıyla oluşturulmuştur. Tasarlanmış sistem analiz aşaması boyunca izlenir; potansiyel tehlike ve risk analizi bu aşamada yapılır. Emniyetle ilgili sistemin çalışma modu, olası tehlike nedenleri, oluşum sıklığı ve sonuçları tarafından belirlenir. Eğer talep oranı yılda birden daha fazla ise veya kanıt testi aralığının iki katından daha fazla ise, emniyetle ilgili sistemler yüksek modda çalışır. Demiryolu kilitleme sistemleri buna örnek olarak gösterilebilir.

Emniyet bütünlüğü seviyesinin kararı için kullanılan birkaç teknik vardır. Bunlardan birtanesi IEC 61508 de olan risk grafiği metodudur (Şekil 4.10.). Bu nitel yöntem inceleme altındaki ekipmanla ilişkili risk faktörlerinin bilgisinden emniyet bütünlüğü seviyesinin belirlenmesini sağlar [34].



Şekil 4.10. Risk grafiği metodu

Dördüncü seviye emniyet bütünlüğünün en yükseğidir ve birinci seviye en düşüğüdür. Ayrıca a sembolü ve b sembolü özel güvenlik ekipmanının gerekli olmadığını ifade eder. C, F, P ve W risk parametrelerinin bilinmesi koşuluyla, sistem için gerekli SIL ifade edilir. Metoddaki C parametresi hataya sebep olabilecek sonuçların büyüklüğünü gösterirken, F parametresi riske maruz kalınan süreyi ve risk oluşma sıklığını gösterir. P parametresi tehlikeli risklerin engellenme olasılığını belirtir. W parametresi arzu edilmeyen tehlikeli olayların meydana gelme olasılığını belirtir. Daha fazlası, her parametre kendi içinde alt kategoriye sahiptir. Örneğin, CA, küçük yaralanmaların açılımını, CB, birden fazla insanın ciddi yaralanması ya da bir kişinin ölümünü ifade eder, CC, birkaç kişinin ölümünü gösterir ve CD, çok kişinin ölümünü gösterir. Benzer şekilde, FA, nadiren sıklıkla oluşma ihtimalini gösterirken, FB, devamlı-sürekli oluşma ihtimalini belirtir. W1 çok az ihtimalli, W2 az ihtimalli, W3 daha çok ihtimalli tehlikeli olayların olasılığını gösterir.

Analiz aşamasında seçilen donanıma göre güvenlik hesapları yapılarak karşılaştırma yapılır ve emniyet bütünlüğü seviyesinin başarılı olup olmadığı kontrol edilir. Eğer emniyet bütünlüğü seviyesi başarısız olursa, analiz aşaması tekrar bir kere daha yapılır. Ölçümleri ve değişiklikleri yaparak emniyet bütünlüğü seviyesi istenen seviyeye ulaştırılır. Sisteme ilişkin son testler operasyonel aşamada yapılır ve ilgili belgeler hazırlanır. Bakım ve onarım prosedürleri oluşturulur [34].

4.5.1. Fonksiyonel güvenlik parametreleri

Güvenlikle ilgili sistemler için bazı güvenlik parametreleri ortaya atılmıştır. Sistemlerin donanım tarafları bu güvenlik parametreleri üzerinden sınıflandırılmıştır. Bu parametrelerden ilgili olanlara aşağıda değinilmiştir.

Hata Oranı: t anında birimin çalışır olduğu kabulü altında, birime ait hata oranı $(t, t + \delta t)$ aralığındaki hata olasılığına eşittir ve λ olarak ifade edilir. Ayrıca hata güvenli hata ve tehlikeli hata diye ikiye ayrılır. Emniyet ile ilgili çalışmalarda hata oranının sistemin kullanım süresi içinde sabit olduğu kabul edilir ve Denklem 4.37 ile ifade edilmektedir.

$$\lambda = \lambda_S + \lambda_D \quad (4.37)$$

Burada;

λ_S : güvenli hata,

λ_D : tehlikeli hatadır.

Ayrıca tehlikeli hata teşhis edilebilir tehlikeli hata ve teşhis edilemeyen tehlikeli hata olarak ikiye ayrılır ve Denklem 4.38 ile ifade edilir.

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (4.38)$$

Burada;

λ_{DD} : teşhis edilebilir tehlikeli hata,

λ_{DU} : teşhis edilemeyen tehlikeli hatadır.

Talep anında hataya düşme olasılığı (PFD): Emniyetle ilgili sistemin çalışması gerektiği anda hata yapma olasılığını ifade eder. Bu değer ne kadar küçük ise sistem o kadar emniyetlidir. PFD değerini hesaplamak için sadece tehlikeli hatalar göz önüne alınır.

Ortalama hataya düşme süresi (MTTF): Bir sistemin ya da bir birimin ilk kez hataya düşmesine kadar geçen istatistiksel ortalama çalışma süresidir. Hatada emniyetli sistemlerde ürünler genellikle MTTF değerlerine göre karşılaştırılırlar.

Ortalama onarım süresi (MTTR): Bir sistem ya da birimin hatasının meydana gelmesi ile bu hatanın düzeltilmesi arasında geçen ortalama süredir. IEC 61508 standardına göre MTTR değeri 8 saat olarak belirlenmiştir.

Güvenli hata kesri (SFF): SFF, sistemin tehlikeli bir hata ile sonuçlanmayan hatanın toplam hataya oranıdır. SFF, güvenlik fonksiyonunu tehlikeye atmayacak güvenli hataların etkisinin hesaplanmasında kullanılır. SFF Denklem 4.39 ile ifade edilmektedir [35].

$$SFF = \frac{\sum \lambda_S + \sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_S + \sum \lambda_D} = 1 - \frac{\lambda_{DU}}{\lambda} \quad (4.39)$$

Burada;

λ_S : güvenli hata,

λ_D : tehlikeli hata,

λ_{DD} : teşhis edilebilir tehlikeli hata,

λ_{DU} : teşhis edilemeyen tehlikeli hatadır.

Talep anındaki hata olasılığı Tablo 4.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Talep anındaki hata olasılığı (functional safety)

Emniyet Bütünlüğü Seviyesi (SIL)	Ortalama Başarısızlık Olasılığı	Risk Azaltma
4	10^{-4} ve 10^{-5} arası	10,000 ve 100,000 kat arası
3	10^{-3} ve 10^{-4} arası	1000 ve 10,000 kat arası
2	10^{-2} ve 10^{-3} arası	100 ve 1000 kat arası
1	10^{-1} ve 10^{-2} arası	10 ve 100 kat arası

SIL seviyelerine göre tehlikeli hataların sıklığı Tablo 4.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. SIL seviyelerine göre tehlike hataların sıklığı

Emniyet Bütünlüğü Seviyesi Safety Integrity Level (SIL)	Tehlikeli hataların sıklığı Frequency of dangerous failures (fonksiyon/saat)
4	$10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$
3	$10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$
2	$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$
1	$10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$

4.5.2. SIL değerine karar verme

Belirli işlemler için SIL notunu belirlemede bilinen üç teknik vardır. Bunlar; basitleştirilmiş hesap, hata ağacı analizi ve markov analizidir.

Bu tekniklerin her biri kullanılabilir SIL değeri sağlayacaktır. Bu tekniklerin her biri için ilk adım, her bir işlem adımı için hataya düşme olasılığına karar vermektir. Hata ağacı analizi metodunda bir sonraki adım hata ağacı diyagramı oluşturmaktır. Bu diyagram tehlikeli bir olay ile ilgili çeşitli işlem bileşenlerinin bir listesidir. Bileşenler ağaca Boolean mantığıyla bağlanır. Bu yapıldıktan sonra, mantıksal ilişkiye dayanarak her gidiş yolunun hataya düşme olasılığı kararlaştırılır.



BÖLÜM 5. DEMİRYOLLARINDA YOL EMNİYETİ

Demiryollarında yol emniyetiyle ilgili EN 16704 numaralı AB standardı, ray üzerinde veya yakınında çalışan personeli yaklaşan tren veya raylı araçlardan korumak için kullanılan hat uyarı sistemlerine ait (TWS) gerekliliklerinin tanımlanmasıyla ilgilidir. “Demiryolu uygulamaları, demiryolu hattı, demiryolu hattı boyunca yapılan çalışmalarda emniyet tedbirleri” ana başlığındaki EN 16704 standardı dört bölümden oluşmaktadır [8 ve 9].

EN 16704-1: 2016: Sabit ve mobil çalışma alanlarının korunması için demiryolu riskleri ve ortak ilkelerdir.

EN 16704-3: 2016: Demiryolu hattı üzerinde veya yakınındaki çalışmalarda personel için yeterliliklerdir.

EN 16704-2-1: 2016: Ortak çözümler ve teknolojiler, Hat Uyarı Sistemleri (TWS) için teknik gerekliliklerdir.

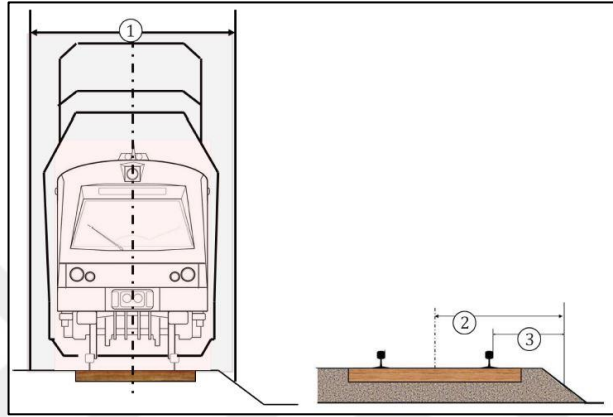
EN 16704-2-2: 2016: Ortak çözümler ve teknolojiler ile demiryolu bariyerleri için gerekliliklerdir.

5.1. Tehlike Bölgesi

EN 16704’e göre bir insanın, malzemenin veya kullanılan araç gereçlerin tren tarafından çarpılabileceği veya trenin oluşturacağı rüzgar nedeniyle ölümcül kazalara sebebiyet verecek alan tehlike bölgesi olarak tanımlanır. Tehlike bölgesi, çalışma yapılan rayı ve hat ekseninden veya rayın dışından ölçülen mesafeyi içerir. Bu

mesafeler uluslararası kurallara göre belirlenir ve hattın gabari, profil ve çalışma hızına dayanır [8].

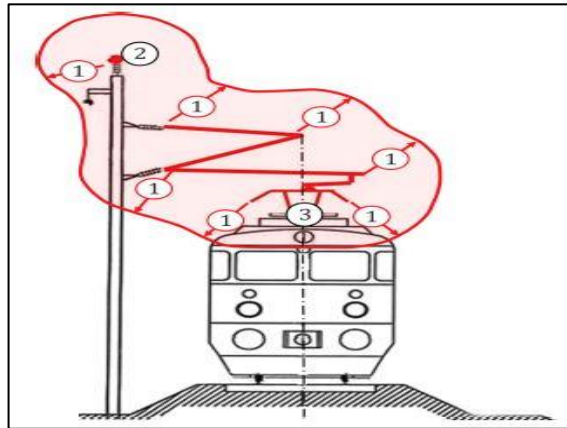
Şekil 5.1.'de tehlikeli bölgenin tanımı yapılmıştır. Buna göre; 1: Tehlikeli alanı, 2: Hat ekseninden tehlike bölgesinin ölçülmesini, 3: Ray dış tarafından tehlike bölgesinin ölçülmesini ifade etmektedir.



Şekil 5.1. Tehlikeli bölgenin tanımı [8]

5.2. Emniyet Mesafesi

Kişi, alet veya ekipmanların tehlike arz etmeden elektrikli havai hatlarında bir ekipmana en yakın çalışma mesafesidir [8]. Şekil 5.2.'de havai hattının çıplak parçaları için güvenli mesafelerin gösterimi yapılmıştır. Buna göre; 1: Emniyet mesafesini, 2: Şebeke hattını, 3: Pantografi göstermektedir.



Şekil 5.2. Havai hattının çıplak parçaları için güvenli mesafelerin gösterimi [8]

5.3. Risk Değerleme Prensipleri

Demiryollarında risk ve emniyet tedbiri için uygulanan risk değerlendirmelerinin genel kuralları belirtilmiştir.

EN 50126-1: 1999 risk değerlendirme metodolojilerine göre demiryolu çalışanları için (Demiryolu riskleri 1, 2, 3, 5) risk sınıflandırmaları;

- Tehlike şiddet derecesi: “kritik” veya “felaket”,
- Tehlikeli olayın oluşma sıklığı: “muhtemel” veya “sık” olarak ifade edilmektedir.

Yukarıdaki sıklık dereceleri EN 50126’ ya göre tolere edilemez. EN 50126-1’e göre işletme altındaki yollar için (Demiryolu riski 4) risk sınıflandırması;

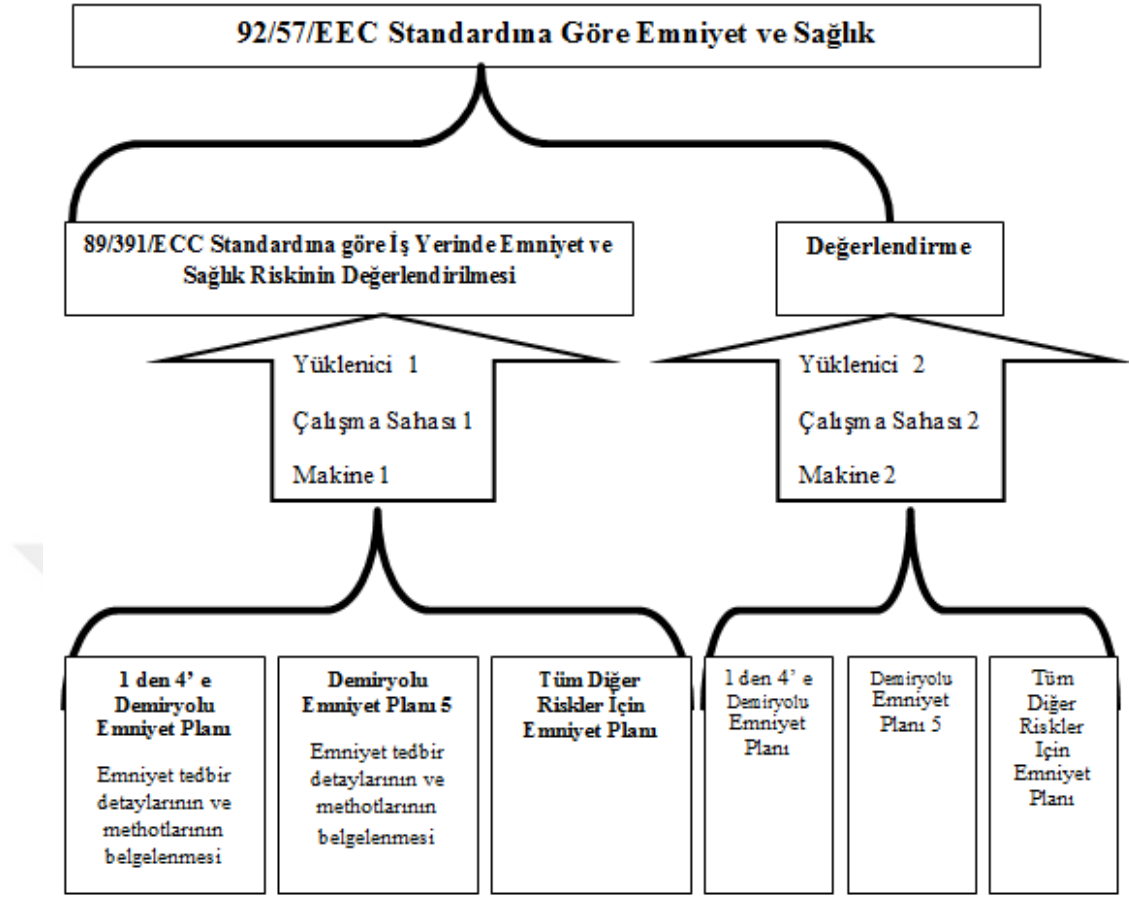
- Tehlike şiddet derecesi: “felaket”
- Tehlikeli olayın oluşma sıklığı: “arasıra”, “muhtemel”, “sık sık” olarak ifade edilir.

Yukarıdaki sıklık dereceleri EN 50126’ ya göre tolere edilemez [8].

Tablo 5.1.’de EN 50126-1: 1999’a göre demir yolu çalışanları için risk sınıflandırılması gösterilmektedir. Şekil 5.1.’de 89/391/ECC ve 92/57ECC direktifine göre demiryolu risklerinin emniyet planı gösterilmektedir.

Tablo 5.1. EN 50126-1:1999’a göre demiryolu çalışanları için risk sınıflandırması

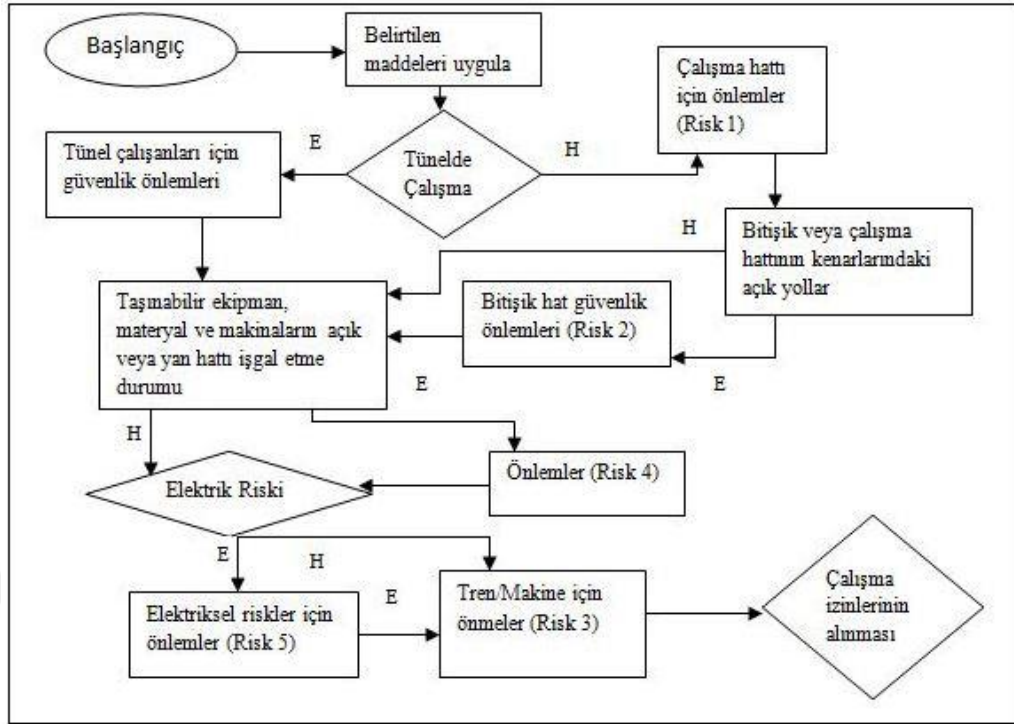
Risk sınıflandırması	Açıklama
Demiryolu risk-1	Çalışma hattında trenin çalışana çarpması veya vakum etsiyle yaralaması
Demiryolu risk-2	Bitişik hatta trenin çalışana çarpması veya vakum etsiyle yaralaması
Demiryolu risk-3	Bloklu hat üzerinde raylı taşıtın veya makinenin çalışana çarpması
Demiryolu risk-4	Bitişik hat üzerinde trenin makine, malzeme ve ekipmanlara çarpması
Demiryolu risk-5	Çalışanın elektrik çarpmasından etkilenmesi



Şekil 5.3. 89/391/ECC ve 92/57ECC direktifine göre demiryolu risklerinin emniyet planı [8]

5.4. Demiryollarında Beş Önemli Riskin Tanımı ve Emniyet Tedbirleri

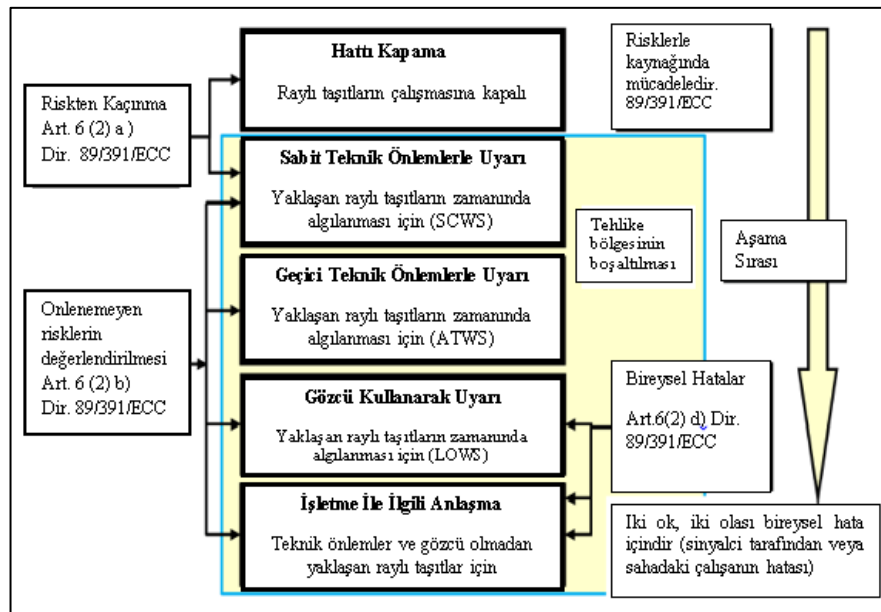
Aşağıdaki çizelge beş demiryolu riskinin yönetileceği güvenlik önlemlerinin hiyerarşisini ve güvenlik önlemlerine karar vermek için kullanılan parametreleri belirtir (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. İşçilerin güvenlik önlemlerini almak için akış çizelgesi

5.5. Çalışma Hattında Trenin Çalışana Çarpması veya Vakum Etkisiyle Yaralanması (Risk 1)

Çalışma hattı için emniyet tedbiri şeması Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



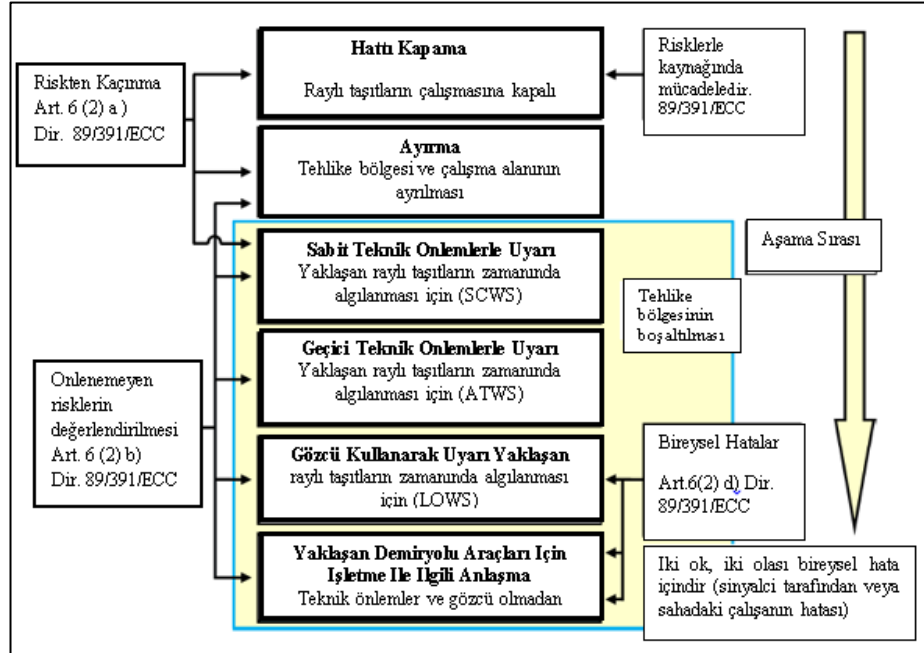
Şekil 5.5. Çalışma hattı için emniyet tedbiri

5.6. Bitişik Hat Üzerinde Trenin Çalışana Çarpması veya Vakum Etkisiyle Yaralaması (Risk 2)

Aşağıdaki üç durum gerçekleştiğinde Risk 2 meydana gelmiş olur.

- Çalışmanın işletme altında bulunan hat yanında veya üzerinde yapılacak olması,
- Çalışmanın komşu hattın tehlike bölgesi içerisinde kalacak şekilde planlanmadığı durum,
- Çalışan kişinin komşu hattın tehlike bölgesinde bulunmasının düşünülmediği durum.

İşletme altındaki demiryolu hattının yakınında veya üzerindeki çalışanlar, taşınabilir ekipmanlar veya makineler istemsiz şekilde komşu hattın tehlike alanına girebilirler. Bu koşullar göz önünde bulundurularak güvenlik önlemleri alınmalıdır. Şekil 5.6.'da bitişik hat için emniyet tedbiri şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Bitişik hat için emniyet tedbiri

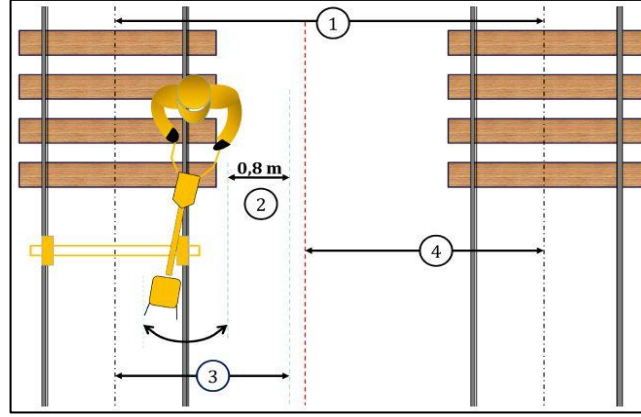
İşin yapısına, demiryolu hattına ve elle yönlendirme yapılan makinenin türüne göre gerekli çalışma alanına karar verilmelidir. Bu alan ek olarak makinenin kenarından komşu hatta doğru min. 80 cm çalışma boşluğu içermelidir. Eğer bu boşluk komşu hattın tehlike bölgesini işgal ediyorsa çarpışmaya karşı güvenlik önlemleri alınmalıdır.

Tablo 5.2.'de parametrelere göre hattın kapatılmasını mecbur kılan kriterler belirtilmiştir.

Tablo 5.2. Parametrelere göre hattın kapatılmasını mecbur kılan kriterler

Parametre	Hattın Kapatılmasını Mecbur Kılan Kriterler
Trenlerin rötat yapması	Trenlerin rötatı kabul edilebilir bir durumsa ve iki tren arasında etkili bir şekilde çalışma yapılabilirse, işaretçinin izniyle çalışma hattı kapatılacaktır.
Çalışma olan hatta trenleri işletebilme yeterliliği	Çalışma yapabilmek için hat kapatılmalıdır. Örneğin; ray kesme.
Güvenli bir alanın bulunabilirliği	- İşçiler için güvenli bölgenin mevcut olmaması - Güvenli bölgenin işçiler için tanımlanan kaçış süresi içinde ulaşılabilir olmaması (Örneğin: Güvenli bölge olmadan köprü üzerinde çalışmak)
Taşıyabilir ekipmanların türü	- Taşıyabilir ekipmanın ağırlığının 25 kg dan fazla olması, - Taşıyabilir ekipmanın bir kişi tarafından hattan çıkarılamaması
Gürültü seviyesi	Uyarı sinyallerinin çevredeki ses seviyesinin +3 dB daha fazlasına ayarlanamamasının imkansız olması
Trenlerin hızı	Trenlerinin hızının çalışma yapılabilmesi için gerekli hız sınırlarını aştığı durum
Çalışma alanının uzunluğu	Bir kişinin işçilerin hareketlerini kontrol edemeyebileceği durum

Şekil 5.7.'de elle yönlendirilen makineler için ilave çalışma boşluğu ve gerekli çalışma alanı gösterilmiştir. Bu şekilde; 1: Hat mesafesini, 2: Ek çalışma boşluğunu, 3: Gerekli çalışma alanını, 4: Komşu hattın tehlike alanını göstermektedir.



Şekil 5.7. Elle yönlendirilen makineler için ilave çalışma boşluğu ve gerekli çalışma alanı

5.6.1. Ayırma

Hattı kapamak mümkün değilse aşağıdaki tehlike bölgesi ile çalışma alanını ayırma sıralaması kullanılmalıdır.

- Çalışma katarı,
- Bariyer + uyarı (sadece özel durumlarda),
- Bariyer.

Tablo 5.3.'te bariyer kullanım kriterleri gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Bariyer kullanım kriterleri

Parametre	Kriter
Çalışma hattı ve komşu hat arasındaki mesafe	Teknik fizibilite (yeterli mesafe) Çalışma hattındaki makineler ile (yol yenileme, balast eleme, buraj makinesi) komşu hat arasında makine operatörleri için yeterli çalışma alanı olacaktır.
İşin Türü	Risk 1'e göre ek güvenlik önlemleri alınır, komşu hat üzerinde kısa süreli kalmaya izin verilir. Buna nedenle komşu hat üzerinde kısa süreli kalımlarda bariyer kullanımı göz ardı edilmemelidir. Hattı trafiğe kapatmayıp bariyerlerle önlem alabilmek için çalışma boyunca komşu hat üzerindeki trafik hızı düşürülmelidir.
Komşu hat üzerindeki trafik	Bariyer kullanımı için gerekirse aşırı yüklü demiryolu araçları hat dışında bırakılmalıdır. Komşu hattaki trafik hızı ve aşırı yüklü demiryolu araçları bariyer kullanımını engelleyecek kriterler değildir. Eğer bariyer teknik yönden ve risk değerlendirme açısından mümkünse, hız düşürülmeli ve yük treni hat dışında bırakılmalıdır.

İş korunaklı bir çalışma katarıyla (örneğin mobil bakım onarım araçları gibi) gerçekleştiriliyorsa komşu hat için ek güvenlik önlemlerine gerek yoktur. Çünkü katarın komşu hattın tehlike bölgesine girmesi imkansızdır. Eğer çalışma, tehlike bölgesi ve çalışma alanının sınırını ayıran bir bariyerin korunmasında yapılırsa, risk analizleri komşu hattın tehlike bölgesine girilmesinin imkansız olduğunu göstermesi koşuluyla, komşu hat için ilave güvenlik önlemleri gerekli değildir.

5.7. Bloklı Hat Üzerinde Raylı Taşıtın veya Makinenin Çalışana Çarpması (Risk 3)

5.7.1. Önlemler

Çalışma alanındaki frenleme mesafesinin trenin veya makinenin çalışan bir kişinin, dur işaretinin veya bir setin önünde durabilecek mesafede olması gerekir. Yürürlükteki ulusal kural ve yönetmeliklerin sıkı bir şekilde uygulanmasıyla, hat inşaatı ve bakım makinelerinin istem dışı hareketlerinden kaçınılmalıdır.

5.7.2. Çalışma bölgesindeki süreçler

Çalışma sahası;

- Başından ve sonundan olmak üzere uygun bir mesafeden sinyaller ile belirtilmelidir.
- İşin ilerleyişi ve farklı aşamalara göre demiryolu riskleri için güvenlik planında tanımlanmalıdır.
- Yetkili bir kişinin sürekli denetimi altında olmalıdır.
- Gece karanlıkta aydınlatılmalıdır.

Makine veya demiryolu aracının sürücüsü;

- İşe başlamadan önce işaret düdüğünü kullanmalı,
- Görüş mesafesindeki belirlenen çalışma alanında aracını kullanmalı,

- Belirlenen çalışma alanında aracını yürüme hızında kullanmalı,
- Hattın hemen önündeki alan dahil olmak üzere, hareket yönünde ve alan üzerinde yeterli bir görüşe sahip olmalıdır. Doğrudan veya dolaylı bir görünüm olabilir.

Bu riskin etkin bir şekilde yönetilmesi için aşağıdaki hususlar esastır;

- İş makinesi veya tren sürücüsü kişileri, uyarıları ve nesneleri gözetmeye özen göstermelidir,
- Hat üzerindeki tüm personel uyarıları duymak, tepki vermek ve talimatları takip etmelidir.

5.8. Bitişik Hat Üzerinde Trenin Makine, Malzeme ve Ekipmanlara Çarpması (Risk 4)

Bu madde, komşu hattaki çalışmanın güvenliği ile ilgilidir. Komşu hattaki işçinin güvenliği söz konusu olduğunda, Risk 2’de belirtilen tedbirler de alınacaktır. İşin, makinelerin veya malzemenin komşu hattın tehlike bölgesi için engel teşkil eden olası durumları aşağıda açıklanmıştır.

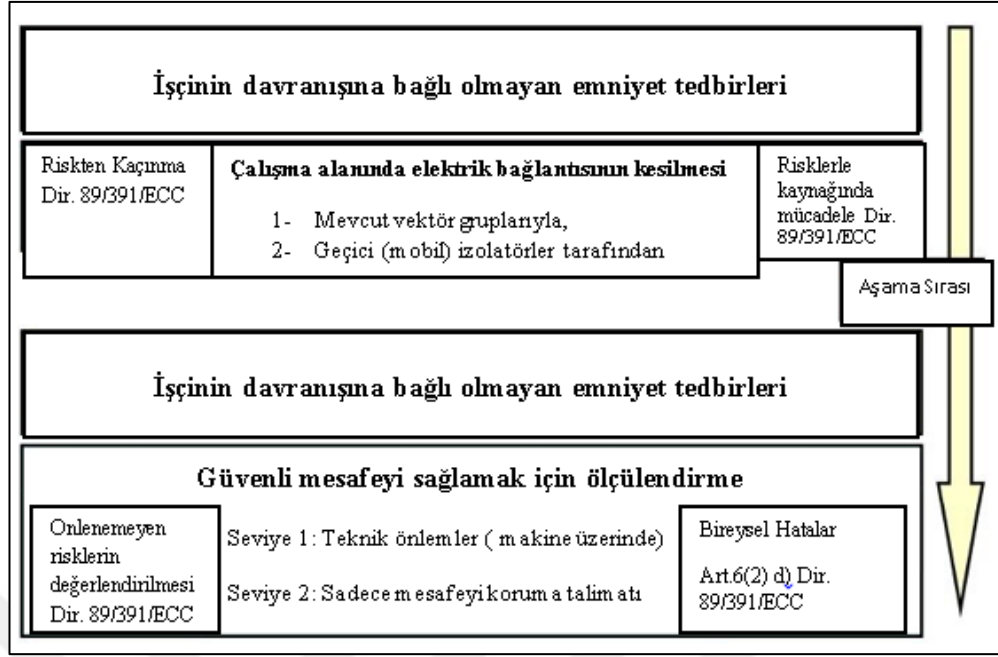
- a. İstenen çalışmanın komşu hattın trafiğe açık kısmında yapılması planlanmaktadır. Eğer elle veya bir makine yardımı ile taşınabilir olmayan ekipman veya malzeme, komşu hattın trafiğe açık kısmını engelleyecekse (örn. Ekskavatör veya vincin dönerek çalışması gereken durum veya malzemenin komşu hat boyunca taşınması gereken durumlarda): komşu hat bloke edilir.
- b. Komşu hattın trafiğe açık kısmında istenmeyen hareketlerin sonuçlarını yönetmek veya önlemek için aşağıdaki durumlar ifade edilir:

- Komşu hattın trafiğe açık kısmında önlenemeyen istem dışı hareketlerle ilgili olarak, bir risk analizine göre komşu hattın bloke edilip edilmeyeceğine karar verilecektir.
- Makine sürücüsünün bir olaya yol açabilecek istenmeyen davranışları veya hataları dikkate alınacaktır. Makinelerin istem dışı hareketi, faaliyetlerin yürütülmesine ilişkin olarak mümkün olan ancak gerekli olmayan hareket anlamına gelir (Avrupa direktifi 89/391/ECC: bireysel hataların dikkate alınması gerekmektedir).
- İşin uygulanması sırasındaki olası senaryolar, sahanın planlanması sırasında tespit edilmelidir, böylece planlama sırasında gerekli önlemlerin üzerine düşünülecektir.
- İş sahasının planlanması sırasında güvenlik önlemleri göz önünde bulundurulacaktır.

5.9. Elektrik Çarpmasından Etkilenen Personel (Risk 5)

Sabit elektrikli ekipmanların yakınında çalışmaların yapılması durumunda, risk değerlendirmesi yapılacaktır. Bu değerlendirme, işçilerin güvenliğini sağlamak için iş faaliyetinin nasıl yürütüleceğini belirler. Risk 5 maddesindeki değerlendirmeler sabit elektrikli ekipmanlarla çalışmanın risklerini değerlendirmez sadece onların yanında veya yakınında çalışmanın risklerini ele alır.

Elektrikli ekipmanların yakınında yapılacak işler için risk değerlendirmesi, araç ve makinelerin kullanımı, yükler ve insan hatası olasılığını içeren iş türünü dikkate almalıdır. Çalışma alanındaki elektrik devresinin kesilmesi, güvenli mesafeyi koruyacak önlemlere göre daha öncelikli olacaktır. Elektrik riski için emniyet şeması Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Elektrik riski için emniyet

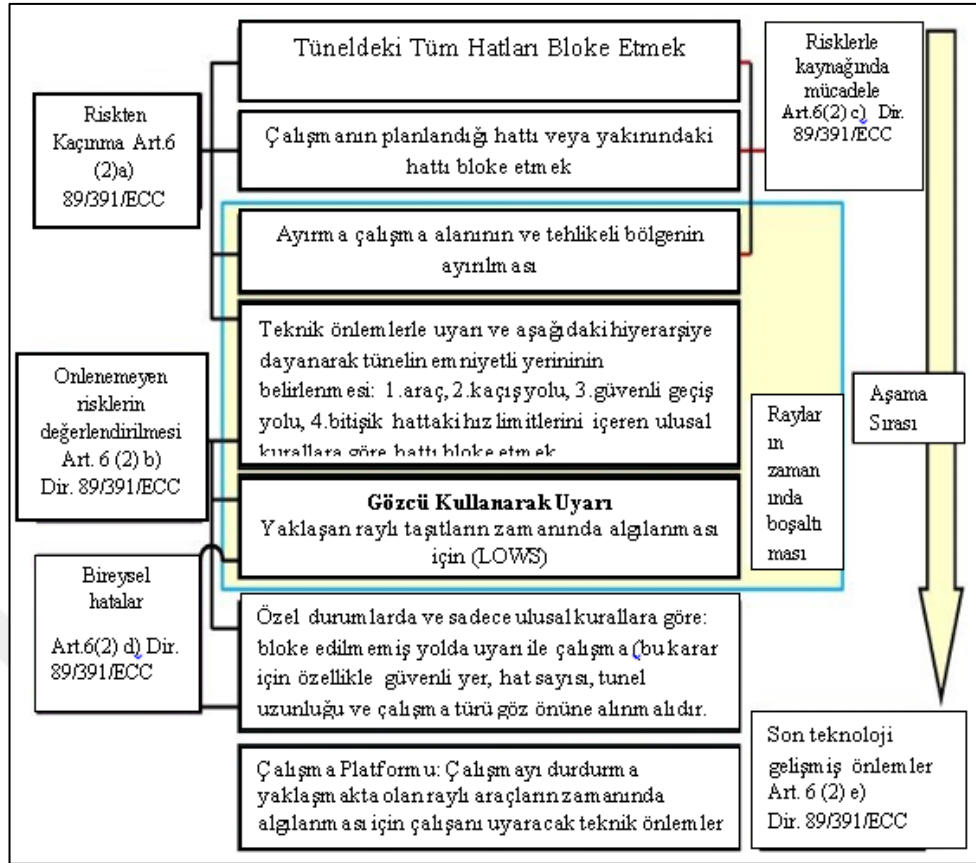
Eğer çalışma sırasında, istenmeyen davranışlarla bile, bölgeye girme olasılığı varsa;

- Alt bölümlerdeki gücün kesilme olasılığı dikkate alınmalıdır.
- Alt bölümlerde gücün kesilmesi mümkün değilse, geçici mobil izolatörlerin montajı dikkate alınmalıdır.

Sabit elektrikli ekipmanın trafik işlemleri nedeniyle aktif kalması gerekiyorsa, bu belgelenmelidir ve güvenli mesafeyi koruyacak teknik önlemler alınmalıdır.

5.10. Tünellerde Çalışmak

Tünellerde, tünelin tüm enine kesiti tehlikeli alan olarak kabul edilir. Şekil 5.9.'da tünellerde çalışma için emniyet şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Tünellerde çalışma için emniyet

Tünellerdeki çalışma için güvenlik önlemleri aşağıdaki aşama sırasını takip etmelidir.

- Tüneldeki tüm hatları bloke etmek,
- Sadece çalışma hattını bloke etmek,
 - Çalışma hattının bitişik hattan duvar veya çalışma vagonu ile ayrılması. Eğer çalışma vagonu kullanılırsa ve vagonun dışında çalışan personel yoksa veya çalışma alanı bitişik hattan yeterince izole edilmişse, uyarı zorunlu değildir.
 - Çalışma hattını bitişik hattan bariyer ile ayırma,
 - Bitişik hat için ATWS veya SCWS uyarı sistemleri,
 - Bitişik hat için gözcü ile uyarı sistemleri,
- Çalışma hattı / bitişik hatta sadece ATWS/SCWS veya gözcü ile uyarı.

Trafiğe açık çalışma ve bitişik hattaki uyarı sadece ulusal kurallara göre izin verilir. Çalışma hattı ve yanı sıra bitişik hat için verilen uyarıdan sonra çalışma hattı yaklaşan trenlere veya tehliye karşı boşaltılmalıdır.

Risk değerlendirmesinde tüneller için özel durumlar göz önüne alınır. Bunlar; kaçış yollarının olası yokluğu, hız, tünelin kesiti, ihtiyaç haline kaçış yollarına ve araca ulaşma zamanı, gözcülerinde dahil olduğu tüm personel için güvenli yerlerdir.

Tablo 5.4.'te trafiğe kapatılmamış hatta çalışma için ülkesel hız limitleri gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Trafiğe kapatılmamış hatta çalışma için ülkesel hız limitleri

Ülkeler	Trafiğe Açık Hatta Çalışmak İçin İzin Verilen Hız Limitleri
Fransa	Klasik hat: Açık hatta çalışmak için 220 km/sa (gözcü veya ATWS) Yüksek hızlı hatlar: Eğer hız her iki hatta da 170 km/sa düşürülürse açık hatta çalışmaya izin verilir. (Gözcü veya ATWS) Eğer hatta kalıcı bir ATWS mevcutsa hız 300 km/sa
Belçika	Klasik hat: Açık hatta çalışmak için 160 km/sa (gözcü veya ATWS) Yüksek hızlı hatlar: Eğer hız 160 km/sa in üzerindeyse çalışma yapılan hat kapatılmalıdır. (Gözcü veya ATWS)
Avusturya	160 km/sa (gözcü veya ATWS tarafında uyarı)
Portekiz	160 km/sa
Hollanda	140 km/sa
Almanya	200 km/sa
İsviçre	160 km/sa
Türkiye	50 km/sa

Tablo 5.5.'te bitişik hatlardaki ülkelere göre hız limitleri gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Bitişik hatlardaki ülkelere göre hız limitleri

Ülkeler	Bitişik hattaki hız limitleri (çalışma hattı kapalı)
Fransa	Klasik hatlar: 220 km/sa (uyarı sistemiyle birlikte) Yüksek hızlı hatlar: 300 km/sa (uyarı sistemiyle birlikte)
Belçika	Yapılacak olan çalışmaya bağlıdır. (Örneğin makine kullanımı) Gündüz: 60 km/sa Gece: 40k m/sa
Avusturya	Bitişik hattın tehlikeli bölge içinde olma olasılığına göredir. Çalışma hattı ile bitişik hattın arasındaki mesafeye bağlıdır.
Hollanda	140 km/sa
Almanya	120 km/sa. Çalışma hattındaki iş kesintiye uğratılmazsa veya bitişik hat için uyarı sinyali verilmemişse
İsviçre	160 km/sa (eğer tehlike bölgesinin yakında çalışan bir personel yoksa) 80 km /sa (makine ve işçilerle büyük bir çalışma sahasıysa)
Türkiye	160 km/sa

Tablo 5.6.'da tünellerde trafiğe açık hatlarda çalışmak için ülkesel hız limitleri gösterilmektedir.

Tablo 5.6. Tünellerde trafiğe açık hatlarda çalışmak için ülkesel hız limitleri

Ülkeler	Açık hatlarda çalışmak için hız limitleri
Fransa	Klasik hat: 160 km/sa Yüksek hızlı hat: 170 km/sa
Belçika	160 km/sa 60 km/sa veya 40 km/sa -Yapılacak olan çalışmaya bağlıdır. (Örneğin makine kullanımı)
Avusturya	Çalışma hattı her zaman kapatılır
Portekiz	160 km/sa
Hollanda	Çalışma hattı her zaman kapatılır
Almanya	Çalışma hattı her zaman kapatılır
İsviçre	Çalışma hattı her zaman kapatılır
İngiltere	Çalışma hattı her zaman kapatılır
Türkiye	50 km/sa

Tablo 5.7.'de tünel içerisinde çalışma esnasında komşu hatlardaki ülkesel hız limitleri gösterilmektedir.

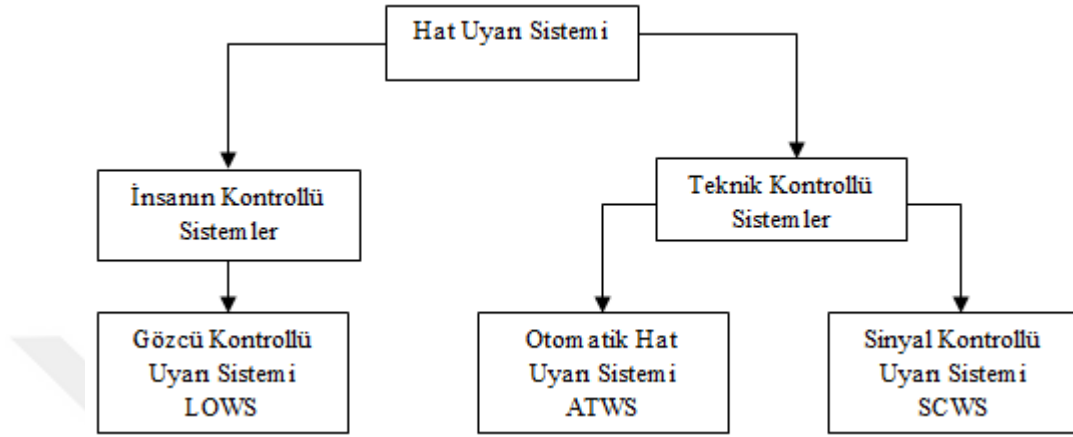
Tablo 5.7. Tünel içerisinde çalışma esnasında komşu hatlardaki ülkesel hız limitleri

Ülkeler	Tünel içerisinde çalışma için izin verilen bitişik hatlardaki hız limitleri
Fransa	170 km/sa
Belçika	160 km/sa 60 km/sa veya 40 km/sa -Yapılacak olan çalışmaya bağlıdır. (Örneğin makine kullanımı)
Avusturya	ATWS ve SCWS uyarı sistemleri kullanılır. (Tünellerde gözcü uyarı sistemine izin verilmez) 160 km/sa; kaçış yollarının veya çalışma vagonun kullanılması durumunda 40 km/sa; güvenli serbest geçiş yerleştirilmesi durumunda Max. hız 100 km/sa, hat eksenine ile tünel yanal yüzeyi arasındaki mesafe en az 7 metre ise.
Portekiz	160 km/sa
Almanya	160 km/sa; çalışma durur ve kaçış yoluna veya araca gidilir. 120 km/sa; çalışma durdurulmaz 120 km/sa; tünellerin kaçış yolunun olmadığı veya zamanında kaçış yoluna ulaşamayacağı durumlarda
Hollanda	Bitişik hat her zaman trafiğe kapalıdır.
İsviçre	80 km/sa; eğer çalışma durmazsa
Türkiye	80 km/sa

5.11. Hat Uyarı Sistemleri

EN 16704 standardı hat uyarı sistemlerini (TWS) aşağıdaki gibi üçe ayırmaktadır (Şekil 5.10.).

- Gözcü kontrollü hat uyarı sistemi (LOWS),
- Otomatik hat uyarı sistemi (ATWS),
- Sinyal kontrollü hat uyarı sistemi (SCWS) [9].

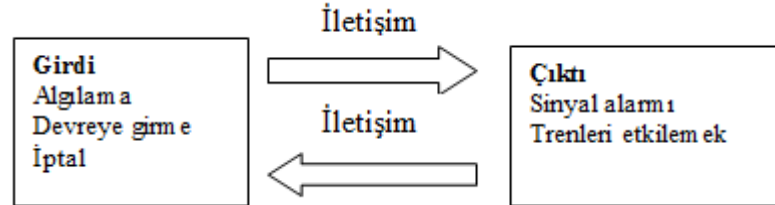


Şekil 5.10. Hat uyarı sistemi

Demiryollarında yol emniyetinde kullanılacak cihazların yüksek düzeyde bir emniyet sağlaması için tren algılama noktası ile uyarının gerçekleştiği bölgedeki cihazlar arasında sürekli bir bilgi akışının sağlanması gerekmektedir. EN 16704 numaralı standartta hat uyarı sisteminin bütünleşik emniyet düzeyinin (SIL) en az üç ve kabul edilebilir, hata sıklık oranının (THR) ise minimum 1.14×10^{-8} fonksiyon/sa olması gerektiği belirtilmektedir. Bütünleşik emniyet düzeyi (SIL) bir ürünün ya da sistemin çalışması ya da kullanımı sırasında güvenilirliği ile ilgili bir olasılık değeridir. SIL hesaplamaları ürünü ya da sistemi oluşturan bileşenlerin seri veya paralel bağlı olma durumlarına göre her bir bileşen için ayrı ayrı hesaplanır ve sistemin toplam SIL değeri elde edilir [9].

Radyo blok merkezi: Radyo blok merkezi (RBM), Avrupa tren kontrol sisteminin alt sistemidir. RBM, yol kenarındaki dış sistemlerden alınan bilgilere dayanarak trenlere gönderilmek üzere mesajların ayrıştırıldığı bilgisayar tabanlı bir sistemdir. Bu iletilerin temel amacı, RBM sorumluluğu altında demiryolu altyapı alanında trenlerin güvenli hareketlerini sağlamaktır [9].

Sistem tanımı: Tren uyarı sistemi, hat üzerinde veya yakınındaki insanları yaklaşan trene veya raylı araca karşı uyarmak zorundadır. Tren uyarı sisteminin işlevsel bileşenleri vardır. Tren kontrol sisteminin tanımı ve işlem adımlarının ilişkisi Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.

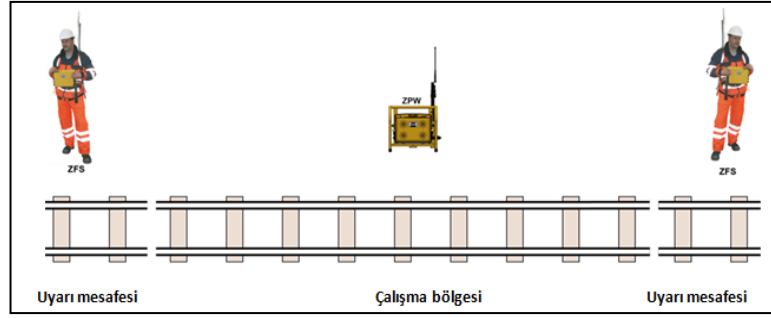


Şekil 5.11. Tren kontrol sisteminin tanımı ve işlem adımlarının ilişkisi

- Tren uyarı sistemi EN 50126-1, EN 50128 ve EN 50129'a göre geliştirilir,
- Tren uyarı sistemi bileşenleri arasındaki iletişim kablolu veya kablosuz yapılabilir,
- Tren algılama ve iptali teknik veya insan müdahalesi ile yapılabilir. Tekniksel tren algılama her iki yön içinde mümkün olmalıdır,
- Güvenlikle ilgili operasyon ayarları yetkisiz operasyonlara karşı korunmalıdır [9].

5.11.1. Gözcü kontrollü hat uyarı sistemi (LOWS)

Gözcü kontrollü hat uyarı sistemlerinde (LOWS) tren geliyor bilgisi bir gözcü tarafından çalışma alanına iletilir. Tren algılamanın işlevsel kısmı yaklaşan trenin insan tarafından algılanmasıdır. Yaklaşan trenin bilgisi gözcü kontrol ünitelerine insan eylemine gerek olmadan teknik yönden iletilmelidir. Gözcü kontrol ünitesinin işlevsel kısmı teknik yönden iletilen bilgiler doğrultusunda bir uyarı bilgisine dayanarak tren uyarı sistem sinyalleri oluşturmalıdır [9]. Şekil 5.12.'de gözcü kontrollü hat uyarı sistemlerinin şeması gösterilmektedir.



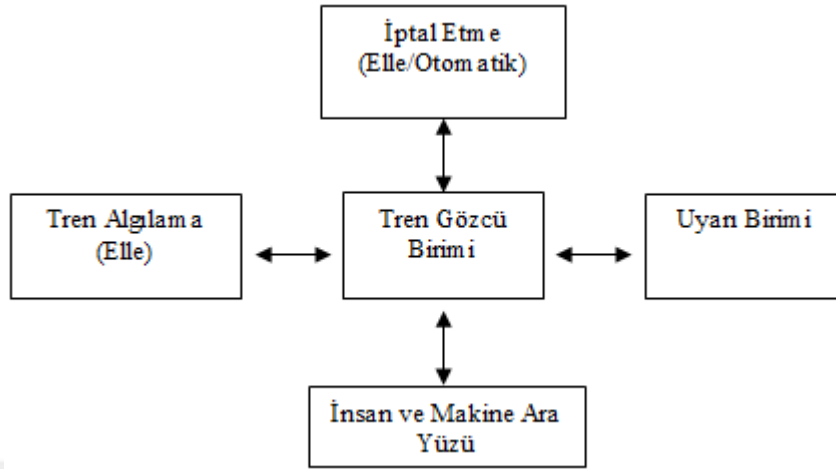
Şekil 5.12. Gözcü kontrollü hat uyarı sistemleri (LOWS)

Tren uyarı sistemlerinin iptali teknik veya insan müdahalesi ile yapılmalıdır. İptal bilgisi teknik veya insan müdahalesiyle gözcü kontrol ünitesine iletmelidir. Çalışma sahasının özel gerekliliklerinden dolayı duyuru süresini ayarlamak mümkün olmalıdır. Tren uyarı sisteminin sinyali, gözcü uyarı sisteminin kontrol ünitesinden insan müdahalesi ile aktif edilmesi mümkün olmalıdır [9].

Gözcü kontrollü uyarı sistemleri uygulanacaksa kolay ulaşılabilir bir güvenli alan bulunmalıdır. Gözcü tarafından uyarı verildiğinde işçiler araç-gereçlerini ve kendilerini güvenli alana derhal geçirmeleri gereklidir. Çalışma süresince bir koruma memuru olmalıdır. Koruma memurunun öncelikli görevi çalışanları ve çalışma alanını güvenli tutmaktır. Koruma memuru diğer çalışmaların, koruma görevlerine engel olmayacağından emin olmalıdır. Ayrıca koruma memuru güvenli alanın yerini çalışanlara söylemeli ve uyarı için gerekli gözcü sayısına karar vermelidir.

Koruma memuru, gözcünün konumundan ve görüş şartlarının gözcüye, yaklaşan trenin görülebilmesi için minimum iki saniyelik süre sağladığından ve gözcünün çalışanların kendilerini ve araç-gereçlerini güvenli alana, trenin çalışma alanına yaklaşmasına on saniye kala öncesinden geçirmiş olmaları için gereken uyarıyı zamanında vereceğinden emin olmalıdır. Yeterli uyarı zamanını vermek için, ek bir gözcü kullanılabilir ve işçilerin güvenli alana erişimleri için gerekli hesaplanmış zamana ek beş saniye eklenmelidir. Eğer minimum uyarı zaman hesapları tatmin etmiyorsa gözcü kullanılmamalıdır. Ayrıca gözcülerin aynı yerde 60 dakikadan fazla çalışmadığından emin olunmalıdır [36].

Şekil 5.13.'te gözcü kontrol biriminin işlevsel kısımları gösterilmektedir.



Şekil 5.13. Gözcü kontrol biriminin işlevsel kısımları [9]

5.11.2. Otomatik hat uyarı sistemi (ATWS)

Otomatik hat uyarı sisteminde (ATWS) çalışma bölgesine tren geliyor bilgisi raylara bağlanan dedektörlerle verilir. Benzer şekilde bilginin iletilmesini sağlayan ve uyarı yapan cihazların mutlak suretle EN 50126, EN 50128 ve EN 50129 numaralı standartlara uygun olarak üretilmiş olması gerekmektedir [9].

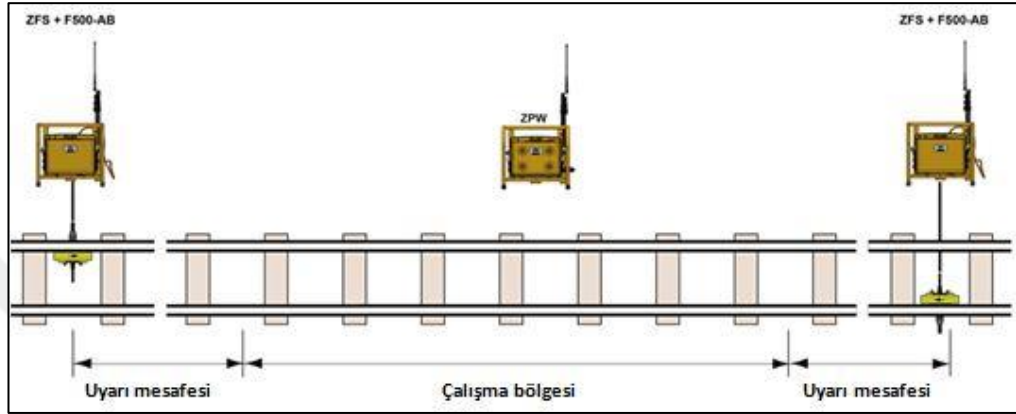
ATWS, geçen trenlerin tekerleklerini otomatik olarak algılamak için raylara yerleştirilen ve pedal olarak adlandırılan cihazları kullanır. Pedallar sahada çalışan işçilere gerekli uyarı zamanını sağlamak için uygun mesafelere konumlandırılır. Buna ek olarak pedallar tren çalışma sahasını terk ettiğinde uyarıları otomatik olarak iptal etmek için de kullanılır. Kırmızı alanda yapılan çalışmalarda bayrak ve düdükler hala en çok kullanılanlardır fakat gözcüler kötü hava koşullarında ve köşe noktalarda iyi göremezler. Ancak, otomatik ray uyarı sistemi her koşulda aynı çalışır ve insan hatasını ortadan kaldırır.

Çalışma sahasında ATWS'nin faydaları şunlardır;

- Trenlerin algılanmasında ve uyarılarında gözcü sisteminden daha güvenlidir,

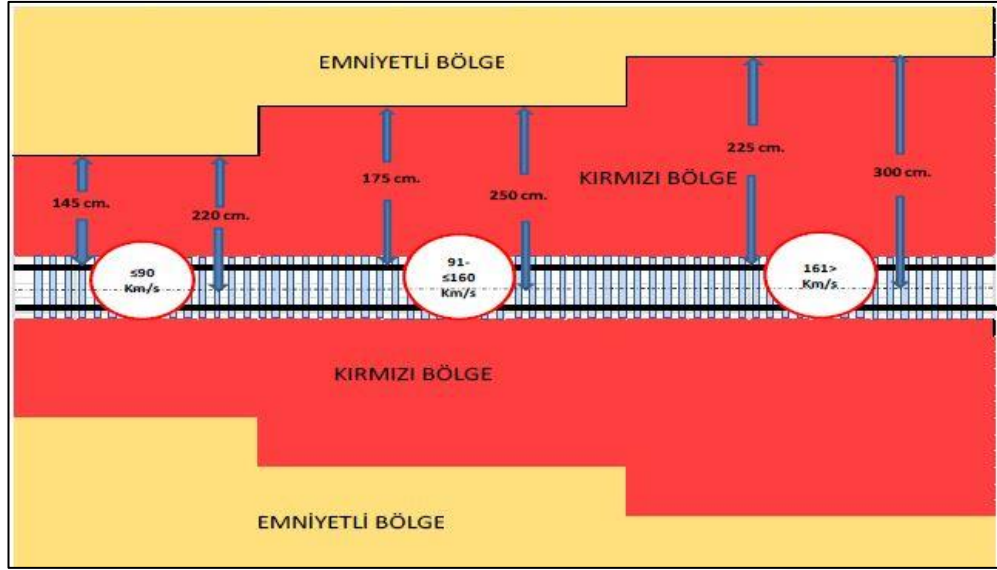
- Daha iyi yol kullanımı ve sahadaki çalışmaların verimliliğini artırır,
- Daha az koruma personeline ihtiyaç duyulur,
- Trafiğe açık hatta veya yakınında çalışmayı kolaylaştırır [37].

Şekil 5.14.'te otomatik hat uyarı sistemleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Otomatik hat uyarı sistemleri (ATWS)

Demiryolu altyapısına hareket etmekte olan araçlar ile demiryolu altyapısının yapım, bakım ve onarımında görev alan çalışanların, bakım araçlarının ve yapılan işin niteliğinden kaynaklanan etkilerin emniyetli bir seviyede tutulduğu alanların sınırları emniyetli bölge sınırı olarak tanımlanır. Bu çalışma sahası kırmızı ve sarı alanlara bölünmüştür. Kırmızı alan korumasız alandır yani trenin her an geçebileceği alandır. Sarı alan ise hattın kenarındaki güvenli alan olarak tanımlanır. Tren hareketinin olmadığı yerdir. Sarı alan, kırmızı alanda çalışan işçilere trenin yaklaşması durumunda işçilerin durması gereken güvenli alanı sağlar [13]. Şekil 5.15.'te demiryolunda tehlikeli ve emniyetli bölgeler gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Tehlikeli ve emniyetli bölge [13]

Kırmızı bölgedeki güvenli çalışma sınırı farklı ulusların yönetmeliklerine göre, tren hızına ve hattın özelliğine göre değişir. Bu sınırlar İngiltere’de 2 metre (rayın iç tarafına doğru), Almanya’da 1,9 metre (hattın ortasına doğru) ve Belçika’da 1,5 metre (rayın iç tarafına doğru)’dir. Güvenli alana ve gerekli mesafelere geçmek için tren yaklaşırken alarm sinyalleri gönderilir. Kırmızı alanda çalışan işçiler için alarm zamanları da ülkeden ülkeye farklıdır. İngiltere’de 10 saniye, Almanya’da 35 saniye ve Belçika’da 15 saniyedir.

BÖLÜM 6. DEMİRYOLUNDA BAKIM VE YENİLEMELER

İşletmeye açılan bir demiryolunda belli bir süre geçtikten sonra konforu ve işletme güvenliğini etkileyen bazı sorunlar meydana gelir. Balastlı yapı üzerine kurulan raylı sistemlerin hız ve yolcu taşıma kapasitesinin neden olduğu yol deformasyonları zaman zaman hat geometrisinin bozulmasına da neden olmaktadır. Konforun ve güvenliğin belli bir seviyede tutulmasını sağlamak için bakım yapılması gerekir. Demiryolu hattının kalitesi bakım yapılamaz vakte gelmeden önce teknik imkanları ve ekonomik kapasiteyi hesaba katarak yapılmalıdır.

Demiryolu inşaatında kullanılan teknoloji güvenilir olmalıdır. Balast çökmeleri, kirli balast, altyapının drenaj problemleri, uygun olmayan bölgesel zemin katmanları devamlı olarak kontrol edilmeli, yerleri bilinmeli ve gelişmeleri gözlenmelidir. Bu tip problemler yayılarak diğer bölgeleri de etkiler. Bu gibi durumlarda, ağır bakım makineleri ile balast temizlenir veya bölgedeki buraj tutmayan bölgede altyapı iyileştirmesine gidilir.

Yolun kalitesini en üst seviyede tutmak, güvenli ve konforlu bir sürüş sağlamak için düzenli ve planlı periyodik bakımlar yapılmalıdır. Bakımlardan en iyi faydayı sağlamak için sürekli olarak yolun altyapı ve üstyapıları hakkında veri toplamak gerekmektedir. Yol hattındaki ve yol malzemesindeki bozulmalar muayene ve ölçümlerle takip edilmelidir. Zemin Penetrasyon Radarı (Ground Penetrating Radar) muayene yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde makine ile zemin ve balast tabakası sürekli olarak kontrol edilir. Zemin Penetrasyon Radarı yöntemi ile balast takviyesi gereken veya balastın elemesi gereken yerlerin saptanması hızlı ve kolay bir şekilde olmaktadır [39].

6.1. Bakım Nedir

Avrupa Standardı EN 13306'ya göre bakım; bir nesneyi ömrü boyunca muhafaza etmek veya gerekli işlevi gerçekleştirecek duruma getirmek, yenilemek için tüm teknik, idari ve yönetsel eylemlerin kombinasyonudur. Bakım, değişik sektörlerde ve bütün çalışma ortamlarında farklı görevler için kullanılan genel bir terimdir. Bu faaliyetler şunlardır: Muayene, Test, Ölçüm, Değiştirme, Ayarlama, Onarım, Bakım, Arıza tespiti, Parça değiştirme, Servis, Yağlama, Temizlik.

Genellikle bakım için, tamamen sökme, yedek parçaları değiştirme, yağlama, bir mili onarma gibi teknik görevler olarak düşünme eğilimi vardır. Uygulamada bakım çok daha geniş yelpazede ek görevler içerir. Bunlar;

- Uygun araçların seçimi,
 - Alanları hazırlama, (diğer personelin tahliyesi, trafik kontrolü ve uyarı ve işaretler koyma)
 - Makine veya alanları durdurma için hazırlama,
 - Yedek parçaları taşıma, (elle veya endüstriyel araçlar ile)
 - Gerekli güvenlik önlemlerini hazırlamadır (Ör: kişisel koruyucu donanım)
- [40].

6.2. Yol Bakım ve Tamiri İşlem Basamakları

Yol ve bakım tamirinde çalışma mahalline gidilip o kesimdeki arızalar tespit edilmeli ve belirtilen arızalardan hangileri mevcutsa aynı işi tekrar yapmamak için sıralamaya göre bakım ve tamirat yapılmalıdır. Genel olarak yol bakım ve tamir işleri aşağıdaki sıraya göre yapılmalıdır;

- Kontrol ve yapılacak işlerin tespiti,
- Ot temizliği,
- Balastın elenmesi ve tamamlanması,
- Travers ekleri ve aralık tanziminin kontrol ve bakımı,

- Ekartman kontrol ve bakımı,
- Küçük malzemenin tamamlanması ve sıkılması,
- Yolun mihverine getirilmesi (dresaj),
- Yolun kotuna getirilmesi (rölövaj),
- Travers altlarındaki balastın sıkıştırılması (buraj),
- Banket, şev ve hendeklerin tanzimi (reglaj).

6.2.1. Ot temizliği

Ot temizliğinin amacı balastın ve diğer yol malzemesinin niteliğini ve ömrünü korumaktır. Otlı yol kesimlerinde düşük ve dresajlar iyi görülemez.

6.2.2. Balast temizleme

Balast elemesinin amacı, travers mesnetlerini teşkil eden kalıplar arasındaki balastın sızdırma ve geçirme kabiliyetini yükseltmektir.

Balastın içine toprak, çamur ve organik artıklar girdiğinde balast kirlenir. İstenilen geçirimsizlik işini göremez, yolun esnekliği kalmaz, kışın platform donar ayrıca traversler kırılır, yol bozulur, metal malzeme oksidasyona uğrar [41].

Balast yatağının temel görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tekerlek yüklerinin eşit şekilde dağılımı,
- Aks yükünün neden olduğu dinamik yükleri azaltma,
- Yanal deplasmanlara karşı direnç.

Kirlenmiş balastlarda, balast yatağının yük dağılımı fonksiyonu ve zeminin drenajı onarılmalıdır. Bunun için genel kurallar;

- Balastın % 30'dan fazlası 22 mm boyutundan az ise balast temizlenmesi uygun olur.

- Balastta % 40'dan fazla bir kirlilik var ise balast temizlenmesi kesinlikle gereklidir [42].

Balast temizleme çalışmasına başlamadan önce yapılması gereken işler;

- Kullanımı yitirilmiş çürük, kırık traversler değiştirilir,
- Raylar arasındaki mesafenin ayarı yapılmalıdır,
- Ekseni bozulmuş traversler düzeltilmelidir,
- Kullanım ömrünü yitirmiş, aşınmış raylar yenilenmelidir,
- Ray ile traversin bağlantı noktaları ve cebire bulonları kontrol edilmelidir,
- Sinyal ve enerji kablolarının zarar görmemesi için tedbir alınmalıdır.

Minimum 25 cm derinlikteki balastı kaldırmak için balast eleme makinesi kullanılır. Eğer balast tabakası kalınlığı 25 cm'den az ise makinenin bıçakları platformun oyulmasına neden olur. Kaldırma ünitesi olan makineler çeneleri ile hattı kaldırarak eleme yapar, kaldırma ünitesi olmayanlar içinde yeterli yüksekliği sağlayacak kadar balast eklenerek hat yükseltilir. Makinenin önünde sık sık sondaj yapılarak balast derinliği ölçülür. Dişlere bağlı bant sistemi ile kazılan balast yukarı kaldırılır ve titreşimli eleklerden geçirilir. Temiz ve iri olan daneler hatta geri gönderilir. Eleme sonunda ortaya ayrışan kirli malzeme taşıyıcı bant ile makinenin arkasındaki vagonlara yüklenir [39].

Yolun yatay ve uzunlamasına sağlamlık ve kararlılığını sağlamak için, özellikle kaynaklı sürekli ray kullanıldığında, traversler arasındaki balastın traverslerin üst kısımlarına kadar doldurulması ve travers uçlarında da iyi bir “omuz” yapması önemlidir. Bu şartları sürdürmek için düzenli olarak denetim yapmak ve balastı traversin altına sıkıştırmak gereklidir [38].

Balast eleme makinesinden önce hatta regülatör makinesi girer, kenarlardaki balastı hattın içine doğru toplar çünkü balast eleme makinesi hattın sağ ve solundan 40-50 cm dışına kadar olan balastları toplayıp eler. Daha sonra buraj makinesi hatta girerek traverslerin altını doldurur. Balast takviyesinin arkasından tekrar regülatör makinesi

girer. Bu sefer makine düzgün bir şekilde dökülmeyen balastı yayarak düzgün dağılımını sağlar. Ayrıca hat içindeki balast yığınlarının buraj makinesinin dresaj ölçüm ipine sürmesini ve yanlış ölçüm vermesini önlemiş olur. Balast eleme ve takviye çalışmalarından sonra buraj, tokmaktama veya stabilizatör ve süpürgeli regülatörden oluşan bir geometrik bakım çalışması yapılır.

6.3. Buraj

Raylı sistemler, yolcu taşıma ve hız kapasitesin neden olduğu yol deformasyonları zaman zaman hattın bozulmasına neden olmaktadır. Balastlı demiryolları zemin açısından buna müsait durumdadır.

Bu tür deformasyonlar ilk önce gözlemlerle elde edilmektedir. Yolun haftalık olarak makinist bölgesinde yapılan kontrollerinde yatay ve düşey titreşimlerin araç üzerindeki etkisi gözlenerek bozuk bölgeler belirlenir. Buraj makinesi ray nivolu ve bilgisayar destekli olduğu için deformasyonların tespitinde önemli rol oynar. Hem yatay hem de düşey öteleme değerleri kilometre bazında buraj makinesine verilerek hat üzerindeki deformasyonların düzeltilmesi sağlanmaktadır [43].

Buraja başlamadan önce bağlantı malzemeleri kontrol edilmeli, gevşek olanlar sıkılmalı, kırık olan veya hasar görmüş olan traversler değiştirilmeli, eksenleri bozuk olanlar düzeltilmeli, toprağa gömülü olan kablo ve borular için güvenlik önlemleri alınmalıdır.

6.3.1. El ile buraj yapımı

Buraj yapılırken rayın iki yanından 40-50 cm boyda traversin yanları açılır. Derinlik travers alt seviyesinden en çok 5 cm olmalıdır. Travers altı balastları kazmanın sivri ucuyla gevşetilir. Kazmanın tokmaklı tarafı ile belirtilen kesim doldurup sıkıca çakılır. Daha sonra dengeli şekilde rayın içine ve dışına rastlayan kesimler çakılır. Travers orta kesimindeki 45-50 cm'lik kesim balastla doldurulup biraz sıkıştırılır.

Beton traverslerin alt kesimindeki tırnakların kırılmaması için buraj kazmasının tokmaklı tarafı kullanılmamalı sadece sivri ucuyla çapa yapılmalıdır. Travers altına çok iri kama gibi taşlar çakılmamalıdır. Çünkü bu iri taşlar traverslerin kırılmalarına sebep olur.

İdeal bir burajın bir traverste karşılıklı ikişer kişi olmak üzere dört kişi ile yapılması söylenir ise de iş kazasına sebebiyet vermesi ve çalışma alanının çok dar olması gibi sebeplerle iyi netice vermez. Burajı her rayda bir kişi olmak üzere bir traverste iki kişi buraj yapmalıdır. Balast nemli olursa buraj daha iyi tutar [41].

6.3.2. Makine ile buraj yapımı

Buraj makinesi hattı belirlenen bir yüksekliğe kadar kaldırarak travers altına balast doldurmak suretiyle hattı düzeltir. Buraja ek olarak yapılan bir çalışmada süflajdır. Süflaj, mıcırın traverslerin altına bir üfleç vasıtasıyla yerleştirilmesidir. Süflaj çalışmasında traverslerin altındaki boşluk tespit edilir, travers kaldırılır ve traverslerin kenarından tüp yerleştirilerek boşluğa üflenir. Sonra tüp çekilerek travers yerine indirilir. Şekil 6.1.'de buraj makinesi gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Buraj makinesi çalışırken [39]

Burajın arkasında tokmaklama makinesi veya stabilizatör makinesi yolun stabilitesinin büyük ölçüde tekrar kazanmasını sağlar ve hız sınırlaması konulmadan işletme seferlerinin yeniden yapılmasını sağlar. Buraj çalışması balast yatağının yatay direncini yarı yarıya azaltmaktadır. Hat bakımlarından sonra seyahat hızlarının azaltılması gerekir. Azaltılması mümkün olmayan yerlerde stabilizatör makinesi hatta girer ve yatağın iyi bir kalitede olması durumunda kaybedilen yatay direncin yarısını tekrar sağlar. En son olarak, süpürgeli bir regülatör makinesi hem balast banketini düzenler hem de süpürgesi ile bağlantı malzemeleri üzerindeki balastı temizler. Bağlantı malzemeleri üzerinde bulunan balast, tren titreşimleri ile bağlantı malzemesinin aşınmasına neden olur [39].

6.4. Ray Değiştirme

Eğer raylar el ile değiştirilecekse teker teker yapılır veya tam mekanize yenileme araçlarıyla da rayın bir kısmını ya da tüm parça elemanlarını yenilemek mümkündür. El ile ray değişimi aşağıdaki temellerden oluşur;

- Yeni rayları taşıyan trenin gelişi ve boşaltmanın yapılışı (normalde akşamları yapılır),
- Klipslerin gevşetilmesi,
- Eski rayların kesilmesi ve taşınması,
- Yeni rayların yerleştirilmesi,
- Rayların kaynaklarının yapılması,
- Kaynak doğrultma ve hidrolik germe ekipmanları ile rayların uzatılması, (Raylar 25 °C sıcaklığa tekabül eden bir uzunluğa erişir. 25 °C nötr olarak kabul edilir),
- Raylar traverslere kilitlenir,
- Eski rayların kesilip parçalanması (Bu işlem eski rayların taşınması için yapılır ve gün içinde yapılabilir. Eski raylar, traversler, kilitler yeni rayları getiren özel taşıma trenleriyle gece de yapılabilir).

6.5. Ray Yağlama

Demiryolunun yağlanmasıdaki amaç, özellikle düşük yarıçaplı eğrinin yüzeyinde aşınmanın azaltılmasıdır. Aynı zamanda yağlanmanın yapılması lokomotif yakıt tüketimini ve gürültü seviyesini düşürür (Rams analysis). Yağlama akışkana bağlı olarak ray mantarının üst köşesinden ray kafa yüzeyine akarak tekerleklerin kaymasına neden olur.

Ray mantarının üst kısmına gelecek olan yağ veya kayganlaştırıcı frenleme ve hızlanmada sorun çıkarır, patinaja neden olabilir. Bu konu trenlerin otomatik makinistle sürüldüğünde veya vagon kapılarının peronun belirli bir kısmıyla hizalanması gerektiğinde çok önemlidir. Böyle bir uygulama da sadece bodenlerin yağlanmış olmasına dikkat edilmelidir [38].

6.6. Ray Taşlama

Rayların yuvarlanma yüzeyinin kalitesi demiryolu güvenliğini doğrudan etkiler. Yuvarlanma yüzeyindeki geometrik düzensizlikler dinamik yükün artmasına neden olur. Bu düzensizlikler rayın üretiminde veya tekerlekle temasında oluşan ondülasyonlardır. Dinamik yükler rayla birlikte, ray bağlantı malzemelerini, traversleri ve balast yatağını da etkilemekte ve hat stabilitesini bozmaktadır.

Ondülasyondaki en büyük yoğunluk açık yolda hiç fren yapmadan gidilen raylarda görülmektedir [43]. Çünkü yolun dönemeçsiz düz kısmında tekerler üzerindeki bodenler raylara temas etmezken, ray ve tekerlek arasındaki temas alanı son derece küçüktür. Teorik olarak tek noktada basınç olur ve temas basıncı sonsuz olur. Alanı sıfır olmayan bir temas alanı ortaya çıkar ve temas eden her iki yüzeyde de bir şekil değiştirme meydana gelir. Çok ağır yüklerde bile bu alan 100 mm^2 civarındadır. Bu durumda temas basınçları çeliğin akma dayanımından yüksek değerlere çıkabilir. Bu da temas alanının şekil değiştirip akmasına ve zamanla düzensizliklerin, değişik aşınma şekillerinin ortaya çıkmasına neden olur [38].

Yapılan araştırmalarda ondölasyonun nedenleri arasında ray pürüzlölölölölöl ve altyapının önemi ortaya çıkmıştır. Ondölasyonun daha çok bataklık, kum, kil, gibi yumuşak zeminlerde olduğu görölümüştür çünkü yumuşak zeminlerdeki raylar daha çok uyarılmaya maruz kalmaktadırlar.

Ondölasyonlar ray gerilimlerinin artmasına, taşıtların yorulmasına, klipslerin ve pedlerin aşınmasına, balast ve altyapının daha kısa zamanda bozulmasına neden olur. Ondölasyon beton traversli ve kötü durumdaki bir üstyapının hizmet ömrünü % 30 azaltmaktadır. Taşlama, yol geometrisinin bakım aralığını % 30 - % 50 oranında arttırır.

Yeni rayların döşenmesinden sonra kaynak çıkıntılarının, korozyonun temizlenmesi için ve balast çarpmasından kaynaklanan kusurları yok etmek için koruyucu taşlama yapılmalıdır. Fransa TGV ve Alman NBS hatları gibi yüksek hızlı hatlarda poz çalışmasından sonra hat işletmeye açılmadan önce koruyucu taşlama yapılır. İngiliz demiryoluna göre koruyucu taşlama ondölasyon oluşumunu beş yıl geciktirmiştir [43].

6.7. Ray Kaynağının Yapılması

Rayların kaynaksız eklendiği yollarda en çok aşınma ray bağlantılarının olduğu yerlerde veya ray üzerindeki bağlantı deliklerinde oluşmaktadır. Rayların yenilenmesinin temel nedeni bu aşınmalardır. Ray ek yerlerinin araçlarda aşınmayı arttırması raylı sistemlerde sürekli kaynaklı rayların kullanılmasının nedenlerinden biridir.

Makas ve geçiş yerlerinin tamirinde metal ark kaynağı ve elektro dolgu kaynağı kullanılmış olsa da, rayları ucuca kaynatıp sürekli ray elde etme işlemi atölyelerde flaş (yakma) alın kaynağı yöntemiyle yapılır. İngiltere’de 1950’lerden sonra flaş alın kaynağı yöntemi geliştirilmiştir. 60 ayaklık standart raylar kaynatılarak 90 metrelik uzun raylar elde edilmiştir. Bu raylar sıkı bağlantı oluşturacak şekilde yüksek dayanımlı cıvatarla belli bir torka kadar sıkılarak tutturulmuşlardır.

İngiltere’de atölyede flaş alın kaynağı ile eklenmiş uzunluğu 240 metreyi bulabilen düztabanlı raylar kullanılmaktadır.

Flaş alın kaynağında birleştirilecek raylar aralarında belli bir mesafe olacak şekilde konulur. Alçak gerilimle bu raylar elektrik enerjisi verilerek bırakılan aralıkta ark oluşması sağlanır. Bu sırada eklenecek raylar temas ettirilir, daha sonra kaynak düzleştirilip ray mantarı taşlanır.

Uzun kaynatılmış raylar kullanılacakları yere ulaştırıldığında sürekli kaynaklı ray elde etmek için termit veya alümino-termit kaynağı kullanılarak tekrar eklenir. Bazı hafif raylı sistemler kısa rayları yerinde birleştirmek amacıyla, flaş alın kaynağı kullanmadan, termit kaynağı kullanılmaktadır. Bu yöntem özel atölye gerektirmez ve daha ekonomiktir, ancak pratikte ağır dingil yükü taşınan raylı sistemlerde önerilmez. Termit kaynakları tamamen yeterli olmakla birlikte, açık havada yapıldığından fabrika ortamında yapılan flaş alın kaynağına göre daha düşük kalitede olmaktadır. Son yıllarda İngiltere’de kaynakta kırılan raylarla ilgili yapılan araştırmalar alın kaynağı ile yapılan eklerin daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Kaynatılacak olan raylar yola aralarında 22-26 mm boşluk olacak şekilde selelerinden tabana tutturulup hizalanır. Rayın ek yerinin dışına ateşe dayanıklı bir kalıp oturtulur. Kalıbın üzerinde bulunan termit ateşlenir ve rayların kimyasına ve malzeme özelliklerine uygun bir dolgu maddesiyle kaynağı oluşturur. Kaynak soğuduktan sonra çatlaklar alınır ve ray mantarı taşlanır [38].

Eğer kaynak düzgün atılamazsa uzama sırasında “flambaj” dediğimiz, rayın kaynak yerlerinden eksenden kaçması durumu gerçekleşir. Rayın kaynaklanmasının bir sürü avantajı vardır. Öncelikle bağlantı noktaları eski sistemde bir miktar tolerans boşluğu ile birlikte “cebire” adı verilen çelik desteklerle iki taraftan cıvatalar aracılığı ile beslenir. Ancak bu boşluklardan tren tekerinin geçişi sırasında hem ses çıkar, hem sarsıntı meydana gelir. Konforu bozan bu durum, ray mantarlarının eğilmesine, tekerleklerin deforme olmasına ve hatta çok soğuk havalarda vagon tekerleğinin kırılmasına kadar sonuçlar doğurabilir [44].

Sıcak havalarda uzun kaynaklı ray veya sürekli kaynaklı ray iyice sabitlendiğinden uzayıp kısalamaz. Bu durumda da ray, uzunluğunu koruması için ters yönde sıkıştırma ve çekme gerilmelerine maruz kalır. Sıcak günlerde oluşacak bu büyüklükte bir sıkıştırma kuvveti yolda bükülmeye neden olabilir. Güvenlik için bu kuvvetlerin oluşması engellenmelidir.

Bu sorunları azaltmak için kaynaklı rayların yerleştirilmeleri sırasında yapay olarak gerdirilir ve o gerilme ile yere sabitlenir. İdeal olan rayın yerleştirildiği bölgedeki en yüksek ve düşük sıcaklık ortalamasındaki uzunluğa getirmektir. İngiltere’de bu sıcaklık genellikle 27°C kabul edilir. Rayın yapay olarak uzatılması daha yaygın şekliyle gergi ile gerilerek yapılır [38].

6.7.1. Alüminotermite ray kaynağı yapımı öncesi ve yapım esnasında yolda yapılacak işler

Alüminotermite ray kaynağı yapımı öncesi ve yapım esnasında yolda yapılacak işler;

- Yol kotuna getirilir ve ekartman kontrolü yapılır,
- Yolun burajı ile bakımı yapılır, oturması ve dengesini bulması sağlanır,
- Contalı yollarda 40 derecenin üzerinde kaynak yapılmamalıdır,
- Kaynaktan önce mutlaka rayların gerilimi alınmalıdır,
- Bırakılacak genişleme aralıklarının köprüler, hemzemin geçitler üzerine ve mümkünse tünellerin içine getirilmemesine dikkat edilir,
- Kaynaklanacak raylarda düşey aşınmalardan dolayı seviye farkı bulunmamalıdır. Ezilmiş contalarda ray uçları deliklere kadar kesilmeli veya dolgu kaynağı ile ıslah edildikten sonra ek kaynağı yapılmalıdır,
- Mümkünse deliksiz ray kullanılmalıdır. Delikli ray kullanılması halinde delik kenarından ray ucuna minimum mesafe 100 mm olmalıdır,
- Raylar asla oksijenle kesilmemelidir. Mecburi durumlarda kesildiğinde ray ucunda kalan çapaklar taşlama yapılarak cürufklar temizlenmelidir [45].

Şekil 6.2.'de kaynağa hazır conta, Şekil 6.3.'te termitin reaksiyona girdiği pota gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Kaynağa hazır conta [45]



Şekil 6.3. Termitin reaksiyona girdiği pota [54]

6.7.2. Kaynakların kontrolü

Kaynak yüzeyi temizlendikten sonra kaynaklı bölge göz kontrolünden geçirilir. Gözle doğrudan görülemeyen cebire yatakları taban altındaki çıkıntılar ayna kullanılarak kontrol edilir. Gerektiğinde tahribatsız muayene metodu ile kaynak kontrolü yapılmalıdır.

Göz kontrolünden sonra sıra geometrik kontrole gelir. Bir metrelik masterla ray mantarının üst ve yan yüzeylerinde bulunan kaynak bölgesi ortalananarak kontrol

edilir. Mantarın üst kısmının orta yerindeki düşüklük 0,15 mm'yi geçmemelidir. Yan yüzeylerde yapılan ölçümde toplam 1 mm'yi geçmemelidir. Yuvarlanma yüzeyinde oluşacak herhangi bir çukurluk normal yollarda 1/500, yüksek hız yapılan yollarda 1/1000'den küçük olacak şekilde düzeltilir.

6.7.3. Rayda optimum sıcaklık ve gerilim hesaplaması

Uzun kaynaklı ray yapımı için ortalama ve optimum ray sıcaklıklarının tespiti önemlidir. Mıknatıslı bir termometre güneş görmeyen ray gövdesinde bir noktaya tutturulur. Her ray için en az üç termometre kullanılmalıdır. Bunlar germe noktası yakınlarına, serbest rayın orta noktasına ve ankraj uzunluğu yakınlarına yerleştirilmelidir. İlk değerin okunması için 10 dakika beklenmelidir. Şekil 6.4.'te mıknatıslı termometre gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Mıknatıslı termometre

Ortalama sıcaklık o bölgedeki iklim şartları göz önüne alınarak en yüksek ve en düşük ray sıcaklıkları aşağıdaki formülle bulunur. Burada sözü edilen sıcaklık raydan alınan ısılardır. Bu ısı, günlük ve meteorolojik hava ısısından farklıdır ve Denklem 6.1 ile ifade edilmektedir.

$$T_{ort} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (6.1)$$

Burada;

T_{ort} : ortalama sıcaklık değeri,

T_{max} : maximum sıcaklık değeri,

T_{min} : minimum sıcaklık değeridir.

Çalışma sırasında olması gereken sıcaklık ortalamanın 5°C üzerindeki sıcaklıktır. $\pm 3^{\circ}\text{C}$ toleransı vardır. İlave edilen $+5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık yol kaçmalarına engel olmak için emniyet payı olarak ilave edilir.

Gerilme için gereken uzama miktarı her ray için hesaplanmalıdır. Tüm uzama, germe noktası üzerinde işaretlenmelidir. Rayda gerekli toplam uzama, hesaplanmış olan uzamadan fazla olduğunda kaynak açıklığı işaretlenir ve fazla olan ray kesilir.

Kaynak yapılacak contanın her iki tarafından 10 metrelik bölümde mastarlama işinin kolay yapılabilmesi için ray travers bağlantıları sıkılmaz. Kaynak biter bitmez kalıp alınmadan ve kaynak fazlalığını sıyırmadan önce ilave bir gerilme uygulanmalıdır. Bağlantılar germe noktasından ankraj noktasına doğru sıkılır. Ankraj uzunluğuna serbest rayın beşte biri kadar mesafe kaldığında, bağlantı sıkma işlemi gerilme dengelenmesine izin vermek için durdurulur. Gergi cihazı kullanılmadığında bağlantıların sıkılması serbest uca doğru olmalıdır.

6.7.4. Gerilim hesaplamaları

Germe veya ısınma sebebiyle raylarda uzamalar veya kısalmalar meydana gelir. Optimum sıcaklık aralığının üst limitinde gerilimsiz şartın sağlanması amacıyla yapılacak hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$E = L \times T \times A$ (Bu formülde kısaltma yaparak 10^{-5} çelik uzama değerini kaldırmak için aşağıdaki formülde görüldüğü gibi L boyunu m cinsinden yazıp çıkan değeri 100'e böleriz ve Denklem 6.2 ile ifade edilmektedir).

$$E = \frac{L \times T \times A}{100} \quad (6.2)$$

Burada;

E : mm olarak uzama miktarı,

L : Serbest ray boyu (mm olarak),

T : Optimum sıcaklık aralığı üst limiti ile ölçülen ray ısısı arasındaki fark,

A : Çelik uzama kat sayısı $1,15 \times 10^{-5}$ 'dır.

Örneğin; Adapazarı'nda bir germe işlemin yapılacağını varsayalım. Adapazarı için optimum sıcaklık 28-34°C'dir. Gerilme yapılması esnasında raydaki sıcaklık 9°C ise; $T = 34 - 9 = 25$ derece fark çıkar, $L = 400$ metrelik iki rayın gerilimi alınıyorsa $200 + 200 = 400$ m, her iki rayda serbest bırakılan kesimlerin uzunluğudur. $A = 1,15$ Kaynak için bırakılması gereken pay 24 mm 'dir.

$$E = \frac{400 \times 25 \times 1.15}{100} = 115 \text{ mm} + 24 \text{ mm} = 139 \text{ mm}$$

Bulunan bu değer iki ray arasında olması gereken mesafedir. Eğer bulunan mesafeden daha az bir aralık varsa, bu mesafe sağlanacak şekilde ray başları kesilir. Gerdirme makinesi ile raylar arasında 24 mm kalana kadar raylar her iki tarafından gerdirilir.

Yukarıda hesaplanan 115 mm'lik uzamanın yarısı, yaklaşık 52 mm'lik kesimi bir rayda, diğer yarısı diğer rayda uzama olmalıdır. Bu uzama miktarının boşta kalan ray kesiminin de eşit olarak yapıp yapılmadığı kontrol edilmelidir. Bu kontrolde boşta kalan 200 m'lik kesim dörde bölünür. Bu noktalar işaretlenir. $52/4 = 13$ mm'lik uzama sırası ile izlenmelidir.

49'luk bir rayın 1 derece ısıtılmasında 1,6 tonluk kuvvet oluşturur. 49'luk rayın kesit alanı; $F = 63 \text{ cm}^2$ dir. Buna göre $25^\circ\text{C} \times 1,6 \text{ t} = 40$ tonluk gerdirme cihazının çekeceği kuvvettir.

6.8. Demiryollarında Bakım Yenileme Çalışmalarında Emniyet

Demiryolu hattı üzerinde veya kenarında yapılacak tüm çalışmalarda trenlere, çalışmanın yapılacağı kilometreler verilerek “çalışan ekibe dikkat, sık sık sinyal veriniz” yazıları ile makinistler uyarılmalı ve makinistler çalışma alanına yaklaştıklarında sık sık düdük çalmalıdır.

Çalışma alanında, her iki yönden çalışanların trenlere karşı korunmasını sağlamak üzere uyarı ve ikaz işaretleri kullanılmalıdır. İşaretler çalışma alanının her iki tarafına aşağıda yazan hız ve mesafeler göre konulmalıdır.

- Maksimum hızın 120 km/sa.te kadar olduğu yerlerde 1000 metre,
- Maksimum hızın 121-160 km/sa. olduğu yerlerde 2000 metre,
- Maksimum hızın 161-200 km/sa. olduğu yerlerde 3000 metre,
- Maksimum hızın 201 km/sa.den fazla olduğu hatlar ile YHT hatlarında ise 4000 metre uzaklığa dikilecektir. Bu levhalardan 500 metre sonra tekrarlamak amacıyla bir adet daha dikilecektir.

Çalışanlar, uzaktan fark edilebilen reflektif yelek veya kaban giymeli, yüklenici çalışanlarının çalışma alanı dışında sahada gezmelerine, direklerle ve tünellere tırmanmalarına, elektrik tesisatına dokunmalarına, demiryolu araçlarının altında veya üstünden geçmelerine ve kendilerinin dışındaki kimselerin çalışma alanına girmesine izin verilmemesi gerekmektedir.

Makinesiz çalışma yapılan konvansiyonel hatlarda trenlerin geçişinden on dakika kadar öncesine kadar çalışma izni verilebilir, çalışma izni boyunca trenlerin buradan geçmesine izin verilmez. Makine ile çalışma yapılan hatlarda istasyonlardan veya TSİ sistemi olan yerlerden çalışma alanına doğru trenlerin hareketine izin verilmez.

Çift kollu konvansiyonel hatlarda çalışanları korumak için ve yan yoldan geçecek trenlerin emniyeti için iki yolun arasına bariyer koyulmalıdır. Bariyer, çalışır

durumdaki hatta en az 1,5 m mesafede olmalıdır. Trenlerin çalışma alanlarından geçerken hızları max. 50 km/sa olmalıdır.

İngiltere’de, çalışma alanına yaklaşan trenin hızı 160 km/sa’dan az ise 1,25 m, trenin hızı 160 km/sa den fazla ise 2 m mesafe güvenli alan sayılır. Çalışma alanında güvenlik sisteminin bir parçası olarak bariyer kullanılacaksa bu bariyere yaslanılmamalı veya herhangi araç gereç dayandırılmamalıdır [46].

Trenlerin seyrine engel olmamak için araç gereç ve diğer malzeme yollar üzerine ve gabari içine bırakılmamalıdır. Yakın rayın iç kenarından itibaren 80-125 cm. uzaklığa konulacak eşya ve malzemenin yüksekliği rayın üst seviyesinden 20 cm’yi geçmemelidir. Raya bakan yüzü dik ve düzgün sıralanmış olan, yontma taş, sandık, çuval, travers ve benzeri eşya ile yakın rayın iç kenarı arasında en az 125 cm. uzaklık bırakılmalıdır. Eğim teşkil eden toprak, balast, kömür ve benzeri malzemeler için, yakın rayın iç kenarı ile dökülen malzemenin eğim tabanı arasında en az 50 cm. uzaklık bulunmalıdır.

İngiltere’de araç ve gereçler, geçecek trenin araç gereçlere çarpmayacağından veya trenin hava sirkülasyonundan etkilenmeyeceğinden emin olunmadığında hatta 2 m den daha yakına konulamazlar.

İş trenlerinin hızı, o bölgede işleyen yavaş yük trenlerinin hızını geçemez. Demiryolu makinelerinin hızı, üzerinde yazılı olan, yazılı değilse o bölgede işleyen yavaş yük trenlerinin hızını geçemez.

Yolun ve tesislerin bakımı, onarımı ve poz çalışmalarında iki istasyon arasındaki demiryolu, yetkili tarafından trafiğe kapatılmadığında makineler birbirine bağlı olarak ve korunma saati yazılarak gönderilir. Yol trafiğe kapatıldığında birbirlerine bağlı olmadan gönderilir. Bu durumda, zaman iznine ve korunma saatine gerek yoktur.

İş treni itilerek götürülüyorsa, tren şefi baştaki birinci vagonda yer alır. Yanında gündüz bir kırmızı bayrak, gece veya tüneller içinde kırmızı ışık gösteren bir fener bulundurulmalıdır.

İş treni ve demiryolu makineleri bünyesinde yeterli sayıda kapalı vagon varsa işçiler bu vagonların içinde yolculuk yapar. Yeterli sayıda veya hiç kapalı vagon yoksa yetkili refakat memurunun sorumluluğu altında işçilerin açık vagonlarda, demiryolu makinelerinde veya yük üzerinde oturarak seyahatlerine izin verilir. Ancak, ayakta durmaları, açık vagonların kenarları üzerine oturmaları ve ayaklarını kapalı ve açık vagonlardan dışarı sarkıtmaları yasaktır.

Demiryolu makineleri işin bitiminde istasyonlarda bekleme ve gecekemeleri sırasında birbirlerine bağlanmalı ve el frenleri sıkılmalıdır. Her makinenin altına durdurma takozu konulmalı, varsa sabit kal kapatılarak koruma altına alınmalıdır.

Yol araçları yol bakım çalışmasını yapan işçilerin olduğu yerlerden en fazla 10 km/sa hızla geçmelidir.

6.8.1. İşaretlere uyma zorunluluğu

Demiryolu bakım ve onarım hizmetlerinde çalışan bütün demiryolu görevlileri kullanılan bütün işaretlerin anlamını bilmek, buna uymak ve uygulanmasını sağlamak durumundadır. İşaretler, verilen görevli tarafından görülene, duyulana veya anlaşılana kadar verilmeye devam edilir. Duyan veya anlayan görevli de işareti aynen tekrar ederek anladığını belirtir.

6.8.2. Durmanın bildirilmesi

Çift kollu konvansiyonel hatlarda, bakım onarım sırasında çalışır durumdaki hatta herhangi tren trafik emniyetini tehlikeye düşürecek bir engel veya arıza oluşursa durma işareti verilmesi gerekir. Durma işareti, yolun meyiline göre, yolun meyili %

5'e kadar 750 metre, % 5'den % 10'a kadar 850 metre, % 10'dan fazla ise 1.050 metre önce verilir.

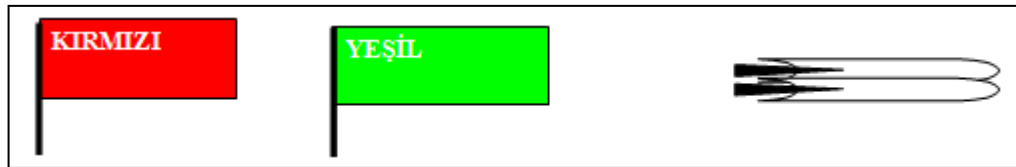
6.8.3. Yol bakım onarım görevlerinde bulunması zorunlu işaretler

Yol bakım ve onarım görevlilerinde bulunması gereken zorunlu işaretler;

- Kılıfı içinde iki yeşil, iki kırmızı bayrak,
- Dört adet üç renkli el feneri (gün ışığı, kırmızı, yeşil),
- Bir kutu kestane fişegi (Altı adet),
- İki adet bir yüzü ortası yeşil kenarı beyaz, diğer yüzü ortası beyaz kenarı yeşil, iki adet bir yüzü ortası kırmızı kenarı beyaz, diğer yüzü ortası beyaz kenarı yeşil yuvarlak levha,
- İki adet çalışan takıma dikkat levhası,
- Bir adet ağız düdüğü.

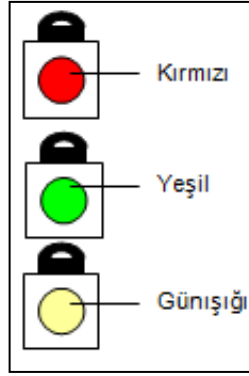
Kırmızı bayrak: Derhal durmayı emreder. Sadece gündüz kullanılır.

Yeşil bayrak: Makaslardan izin verilen hızla, diğer yerlerden 25 km/sa hızla, süper ekspres, mavi tren, ekspres, ray otobüsü ve motorlu trenlerin 40 km/sa hızla seyir edeceğini bildirir. Kılıfı içinde bayrak yolun geçişe serbest olduğunu bildirir. Sadece gündüz kullanılır. Şekil 6.5.'te işaret bayrakları gösterilmektedir.



Şekil 6.5. İşaret bayrağı

El feneri: Kırmızı, yeşil ve gün ışığı gösteren üç renkli el feneri geceleri gaz lambası veya pille aydınlatılarak kullanılır. Şekil 6.6.'da el işaret fenerlerinin çeşitleri gösterilmektedir.



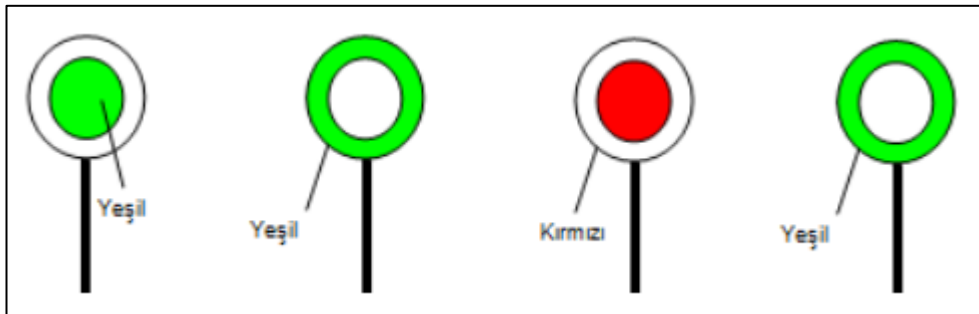
Şekil 6.6. El işaret feneri

Kırmızı ışık: Derhal durmayı emreder.

Yeşil ışık: Makaslardan izin verilen hızla, diğer yerlerden 25 km/s, süper ekspres, mavi tren, ekspres, ray otobüsü ve motorlu trenlerin 40 km/s hızla seyir edeceğini bildirir.

Gün ışığı: Yolun serbest olduğunu belirtir.

İşaret levhaları: Ortası yeşil kenarı beyaz yüzünün görülmesi, hızın 25 km/s'ye, süper ekspres, mavi tren, ekspres, ray otobüsü ve motorlu trenlerde 40 km/s'ye indirilmesini ve dikkatin artırılmasını bildirir. Ortası kırmızı kenarı beyaz yüzünün görülmesi, derhal durmayı emreder. Ortası beyaz kenarı yeşil yüzünün görülmesi; yolun serbest olduğunu ve normal hızla seyir edileceğini bildirir. Şekil 6.7.'de işaret levhalarının çeşitleri gösterilmektedir.



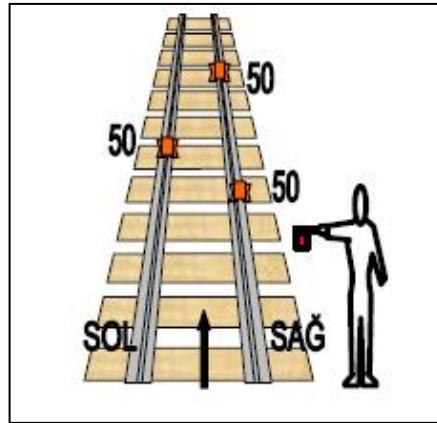
Şekil 6.7. İşaret levhaları

Çalışan takıma dikkat levhası: Bir yüzünde, beyaz zemin üzerine siyah renkte çalışan bir işçi resmi, diğer yüzü beyaz olan, kenarlarının uzunluğu 40 cm. olan eşkenar üçgen bir levhadır (Şekil 6.8.). Bu levha, demiryolu kenarında bakım ve temizlik yapıldığı durumlarda yol takım işçilerinin çalıştığı yerden her iki yöne de 300-500 metre uzaklığa konur. İşaretin işçi resmi bulunan yüzünün görülmesi işçileri uyarmak amacıyla sık sık düdük çalınması ve dikkatli olunmasını emreder.



Şekil 6.8. Çalışan takıma dikkat levhası

Kestane fişeği: Kestane fişekleri durma ve uyarma işareti olarak kullanılır ve işaretlerden önce konulur. İlgili personele durma veya uyarı işaretine yaklaşıldığını bildirir. Şekil 6.9.'da kestane fişeginin yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Kestane fişeği yerleşimi

Bir durma işaretinden önce ray üzerinde elli metre ara ile trenin gidiş yönüne göre birincisi sağa, ikincisi sola ve üçüncüsü tekrar sağa olmak üzere üç kestane fişeği konulur, bunların patlaması derhal durmayı bildirir. Kestane fişekleri bir durma

işareti ile birlikte konulmuş ise, ikinci bir talimat veya işaret alınmadıkça hareket edilemez. Üç kestane fişegi patladığı halde hiç bir işaret yoksa durulur, her an durabilecek şekilde ve düdük çalarak bir işaret bildirisine veya ilk istasyona kadar ilerlenir.

6.9. Bakım Çalışmalarında Kazaların Sebepleri

Bilimsel kaza araştırmacıları, kaza etkenlerini sistem ve insan olmak üzere iki boyutta değerlendirmektedir. Kazaların % 68,4'ü insan hatasından, % 27,7'si sistemden ve % 3,9'unun ise olağan doğaüstü olaylardan kaynaklandığını açıklamaktadır.

İnsanı hata yapmaya yatkın hale getiren başlıca faktörler;

- Mesleki bilgi ve deneyim yetersizliği,
- Yönetimsel uygulamalara bağlı mesleki motivasyon yetersizliği,
- Fiziki ve kamusal çevre koşulları,
- Bireysel yetenek ve kişilik özellikleridir.

İnsan hatalarının asıl nedenlerinin dağılımı ise;

- Önemsememe % 37,8,
- Yorgunluk % 16,
- Bilgisizlik % 6,4,
- Dikkatsizlik % 20,1,
- Yanılma % 13,2,
- Diğer % 6,5 şeklinde açıklanabilir.

İnsanı hata yapmaya yatkın hale getiren etkenlerden bir diğeri mesleki motivasyon yetersizliğidir. Ücret, terfi, başarıyı takdir, iş güvencesi, sosyal olanaklar, yapılmaya değer bir iş olduğuna inanma ve likayattır. Davranış bilimcilerine göre bu ihtiyaçların yeterince karşılanmamasından dolayı kişi üretimini sınırlandırır. Bu da

ihmal ve önemsememe dediğimiz eksik ve yetersiz iş davranışlarının ortaya çıkmasına neden olur. Faal personelin böyle ruhsal yapı içinde bulunması, ulaşım güvenliğinde bir kaza riski faktörünü içinde barındırır [47].

Avrupa Risk Gözlemevi'nin istatistik raporuna göre bakım çalışanları, gürültü, titreşim, UV ışını, çevre koşulları ve kimyasallara daha çok maruz kalmaktadır. Yunanistan'da yapılan bir araştırmaya göre bakım çalışanları tarafından rapor edilen kaza nedenleri şunlardır (kazalar ve ramak kala);

Dolaysız nedenler (Çalışan işçilere bağlı);

- Arızalı donanım,
- Makine veya ekipmanın beklenmeyen hareketi,
- Temizlik eksikliği,
- Güvenlik kuralları ihlali,
- Şakalaşmak,
- Kişisel koruyucu donanım kullanmama,
- İzin olmadan çalışmadır.

Doğrudan ilişkili nedenler (Denetleyici personele bağlı);

- Acelecilik,
- Yorgunluk,
- Dikkat ve odaklanma eksikliği,
- Tehlikeye alışkanlık,
- Yetersiz iş özellikleridir.

Yönetimden kaynaklanan sebepler;

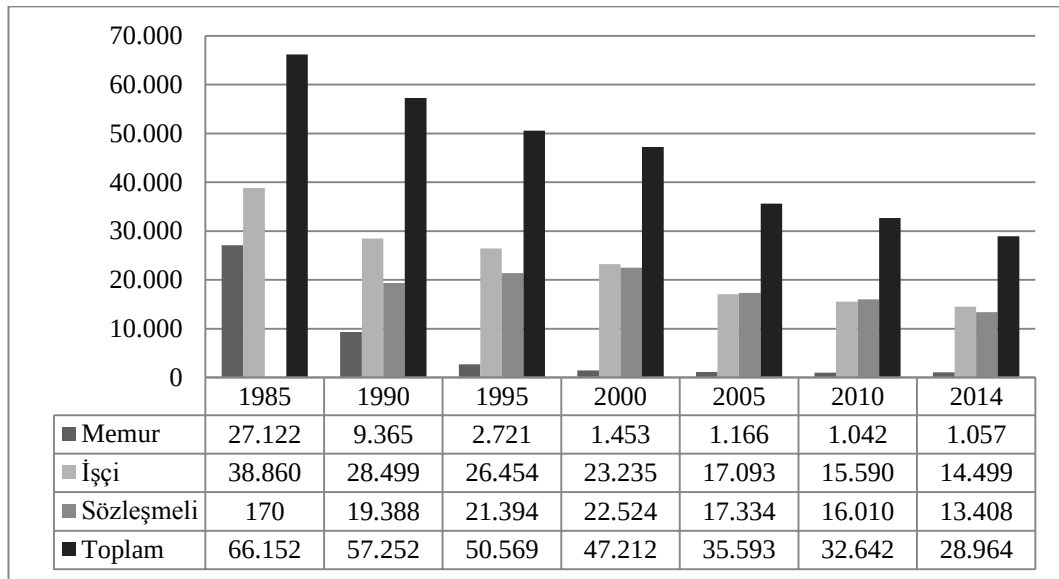
- Güvenli bir çalışma sisteminin eksikliği,
- Etkili iletişim eksikliği,
- Etkin uygulama eksikliği olarak listelenebilir.

Araştırmalar, güvenli bir çalışma sisteminin tam olarak uygulanmasının, bu sistemin eğitim, kısa toplantılar, broşürler ve kampanyalar aracılığıyla çalışanlara aktarılması ve yatkın gözetim ile desteklenmesinin olası tüm kazaları engellediğini ortaya koymuştur [40].

Demiryolu kazalarının % 68,4'ünün insan hatalarından kaynaklandığını yukarıda belirtilmiştir. Bu konuda 1989'den günümüze TCDD'de iş gücünden bahsedecek olursak; ülkemizde 1980 yılında demiryollarında yeniden yapılanmaya yönelik çalışmalar başlatıldı. İlk olarak 1987 yılında Gazi Üniversitesi'nde reorganizasyon projesi hazırlandı. Bu çalışma personel istihdamının artırılması ihtiyacını ortaya koyduğundan hayata geçirilemedi. Daha sonra Dünya Bankası desteğiyle yeniden yapılanma projeleri hazırlandı. 1995 yılında Booz-Hamilton firması daha sonra ise 2005 yılında Kanadalı CANAC firması tarafından TCDD'nin yeniden yapılanma projesi hazırlandı. Uygulamaya konulan Dünya Bankası destekli iki projenin en belirgin özelliği personel sayısının azaltılmasıydı. CANAC raporunda bu hedef; "TCDD'yi Avrupa demiryollarıyla aynı seviyeye getirmek için 12.000 kadar personel düşürülmesini ilk hedef olarak belirleyin" ifadesi yer almaktadır.

Tablo 6.1.'de de görüldüğü üzere, oransal olarak demiryolu çalışan sayısı 1985'ten 2013'e kadar % 55 oranında azalmıştır.

Tablo 6.1. TCDD 1985-2013 yılları arası personel sayısı



En fazla azalma 2000-2005 yılları arasında 47.212'den 35.593'e düşerek gerçekleşmiştir. Ülkemizdeki demiryolu hatlarının ve araç sayısının her geçen gün arttığını göz önünde bulundurursak yaşanan bu sürekli azalışın anlamı iki kişinin işini bir kişi yapması yani iş yükünün yüzde yüz artışı demektir.

Tablo 6.2.'de 2008 yılına ait uluslararası demiryolu istatistikleri verilmiştir. TCDD personel mevcudunu, diğer ülkeler ile karşılaştırdığımızda, 1 km. demiryoluna düşen personel sayısı; Belçika'da on, Almanya'da beş, Avusturya'da sekiz, Fransa'da beş iken ülkemizde üçtür. TCDD İşletmesi'nin faal personel açığının kısa sürede giderilmesi zorunlu görülmektedir. Öte yandan, ihtiyaç duyulan teknisyen ve diğer kalifiye personelin karşılanması amacıyla yüksekokul ve üniversite bünyelerinde demiryolu ulaştırması bölümünün açılması büyük ihtiyaç haline gelmiştir.

Tablo 6.2. 2008 yılı uluslararası demiryolu istatistikleri UIC

ÜLKE	Personel Sayısı	Ana Hat Uzunluğu (km)		
		Elektrikli	Elektriksiz	Toplam
Türkiye	27.606	6.771	1928	8.699
İngiltere	97.476	10.900	5318	16.218
Yunanistan	6.776	2.288	264	2.552
Almanya	170.644	14.211	19645	33.856
İtalya	89.883	4.934	11927	16.861
İspanya	32.440	6.271	8770	15.041
Belçika	36.810	558	2955	3.513
Fransa	162.029	14.500	14401	29.901
Avusturya	43.486	2.245	3510	5.755
Finlandiya	10.109	2.852	3067	5.919
Macaristan	32.433	4.980	2628	7.608
Bulgaristan	33.513	1.317	2827	4.144
Romanya	65.367	6.803	3974	10.777
Japonya	129.402	7.813	12223	20.036
Amerika	183.642	---	---	226.155

6.10. Güvenli Bakımın Temel Kuralları

Bakımın belirli özellikleri, sektör ve görevlere göre değişir. Fakat değişmeyen özellikleri de vardır. Bunlar;

- İş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin bakım yönetimine entegrasyonu,

- Risk değerlendirmesine dayalı yapılandırılmış bir yaklaşım,
- Belirlenmiş görev ve sorumluluklar,
- Güvenli çalışma sistemleri,
- Yeterli eğitim ve yetkinlik,
- Risk değerlendirme ve bakım yönetimi sürecinde çalışanların katılımının sağlanması,
- Etkili iletişim olarak sıralanabilir.

Güvenli bakımın beş temel kuralı vardır. Bunlar;

- Planlama,
- Çalışma alanını güvenli hale getirme,
- Uygun ekipman kullanma,
- Planlandığı gibi çalışma,
- Son kontroldür [40].

6.10.1. Bakım planlaması

Bakım, doğru planlama ile başlamalıdır. Bir risk değerlendirmesi yapılmalı ve çalışanlar bu sürece dahil edilmelidir. Yapılacak olan planlar temel kuralların uygulamaya geçirilmesi için yeterli olmalıdır. Her şey tek plan dahilinde toplanabilir, fakat şart değildir. Farklı zamanlardaki farklı planlar için ayrı ayrı plan yapılabilir. Yalnız uygulamaya geçmeden önce her faaliyet için planlama yapılmalıdır. Yapılacak olan plan riske göre ayarlanmalıdır. Risk ile ilgili yeni bilgiler geldikçe plan revize edilmelidir [48].

Çalışanlara danışmanlık etme ve onları bilgilendirme, planlama aşamasında büyük önem taşımaktadır. Bakım görevini yürüten çalışanlar sadece ön risk değerlendirmesinin sonuçları hakkında bilgilendirilmelerinin yanında aynı zamanda onların da bu sürece dahil edilmesi gerekir. Çalışma yeri ile yakınlıkları nedeniyle tehlikeleri tanımlamak ve bunlara karşı en etkili yolları belirlemek için en iyi

konumdadırlar. Planlama sürecinde çalışanların katılımı hem bakım işinin emniyetini hem de kalitesini artırır [40].

Mühendislik faaliyetlerinde bir emniyet kültürü olmalıdır. Emniyet sadece kişiye değil, işin ne şekilde ve hangi araçlarla yapıldığıyla ilgilidir. Bu yüzden yönetim kadrosundaki insanlar güncel olan iyi uygulamalardan haberdar olmalı, çalışanların bunları benimsemesi sağlanmalıdır.

Emniyet planlamasındaki hedef işin emniyetli olarak ve etkili bir şekilde yerine getirilmesini sağlamak için yapılması gerekenler belirlenmeli ve bunlar bilmesi gereken kişilere aktarılmalıdır. İyi bir planın yedi tane bileşeni vardır;

- Ne; işin neleri içerdiğini tanımlar.
- Nasıl; kullanılacak yöntemleri belirtir.
- Nerede; işin nerede yapılacağını belirtir.
- Ne zaman; genel süreyi ve kısımların yürütüleceği zamanları belirtir.
- Kim; işi yapan ve kontrol eden kişileri belirtir.
- Neyle; kullanılacak kaynakları belirtir (alet, malzeme, tedarikçi gibi).
- Niçin; işin gerekçesini belirtir.

Emniyet planının iki ara işlevi vardır. Bunlar;

- Risklerin kabul edilebilir bir seviyeye nasıl indirilebileceğine dair ayrıntılı bir program sunar.
- Bunların yapılmış olduğunun gösterilmesi için bir yöntem sağlar [48].

6.10.2. Çalışma alanını güvenli hale getirme

Çalışma alanı, bariyer ve işaretler kullanılarak, refakat memuru bulunmadan yetkisiz kişilerin çalışma alanına girişleri engellenerek güvenli hale getirilmelidir. Çalışma bölgesinin ayrıca çalışma alanına giriş-çıkışlarda çalışanlar için güvenli güzergâh ve yolların sağlanması ile temiz ve güvenli tutulması gerekir.

6.10.3. Planlı çalışma

Güvenli çalışma prosedürleri, çalışanlar ve denetçiler tarafından doğru şekilde uygulanmalıdır. Bakım işi takip edilmelidir. Böylece bir yandan da kararlaştırılan iş yeri kuralları ve güvenlik sistemi yakından takip edilmiş olur. Güvenlik prosedürlerinin takip edilmesinde aceleci olunmamalıdır. Zaman baskısı da olsa en iyi şekilde takip edilmelidir. Kısa yoldan yapılan çalışma kazalara, yaralanmalara ve maddi hasara neden olabilmektedir [40].

6.11. İSG Tüzüğünde Demiryolları ile İlgili Maddeler

Madde 461: İşyerlerindeki demiryolları şebeke ve tesislerinin inşa, tertip, tanzim, yükleme, boşaltma, işletme, bakım ve onarım işleri T.C. Devlet Demiryolları mevzuatına göre yapılacaktır.

Madde 462: İşyerlerindeki tren personeli ve görevlilerinden başkaları, hareket halinde olan vagon ve lokomotifler üzerinde bulunmayacaklardır.

Madde 463: İşyerlerindeki demiryollarının, binalara yakın olarak geçmeleri zorunlu olan hallerde, bu binalara demiryolunun bulunduğu taraftan kapı açılmayacak ve buralarda işçiler durmayacak, eşya ve malzeme bırakılmayacak ve bunları yasaklayan uyarı levhaları bulundurulacaktır.

Madde 464: İşyerlerinde, demiryolları seviyesinde bütün geçitler kapatılacak ve bunların yerine, yayalar ve araçların geçmesine özgü üst veya alt geçitler yapılacaktır. Bunların sağlanamadığı hallerde, geçitlerde gerekli güvenlik tedbirleri alınacaktır.

Madde 465: Akaryakıtla çalışan lokomotiflerin yakıt depolarının doldurulmasına yarayan ağızlar, doldurma dışında kapalı tutulacak ve doldurma sırasında motorlar durdurulacaktır.

Madde 466: Elektrikli lokomotif makinistleri, kumanda kol veya kollarını çıkarıp almadan veya bunları kilitlemeden yerlerini terk etmeyeceklerdir.

Madde 467: İşyerindeki lokomotiflerin makinistleri, lokomotifler harekete geçmeden önce veya yol geçitlerine yaklaşırken veya binalara girerken veya diğer tehlikeli yerlerde sesli ve ışıklı uyarıları yapacaklardır.

Madde 468: İşyerlerinde, lokomotife bağlı olmadan bir vagona veya bir katarı yer değiştirildiğinde, o vagon veya katarı, el freni ile kontrol altında tutmak için, bir işçi görevlendirilecektir. Yeri değiştirilecek vagonlar hareket ettirilmeden önce, vagonlar arasında veya altında veya ray üzerinde hiç bir işçinin kalmadığı kontrol edilecektir.

6.12. Öneri

Bakım onarım işini alan yüklenici firmalar, sorumlu iş güvenliği uzmanları veya TCDD denetmenleri tarafından risk değerlendirmesi sonuçları ve bakım işine başlamadan önce gerekli kişisel koruyucu donanımlar hakkında bilgilendirilmelidir. Çalışma TCDD denetmenleri tarafından tüm gerekli güvenlik önlemlerinin tamamlandığına emin olana kadar çalışmalar başlatılmamalıdır. Yüklenici firmanın sağlık, güvenlik kültürü ve standartları hakkında ilgili bilgilere sahip olması istenmelidir. Bunun yanı sıra TCDD yüklenici firmaların güvenilirliğini ve İSG standartlarına uyumluluğunu sağlamak için yüklenici firmanın yönetim şekillerini denetlemelidir. Ayrıca teknolojik gelişme hangi seviyeye ulaşırsa ulaşsın demiryolu kazalarında insan faktörü ön plandadır. Bu nedenle, çalışanların iş doyumuna ulaştıracak motivasyonu dolgun ücretlerle sağlanabilir (Örneğin; THY çalışanları). Sağlıklı çalışma şartlarını sağlamaya öncelik verilmelidir. Güvenli çalışma sisteminin tam olarak uygulanmasının, bu sistemin eğitim, kısa toplantılar, broşürler aracılığıyla çalışanlara aktarılması ve yatkın gözetim ile desteklenmesi olası tüm kazaları engellemektedir. Dolayısıyla TCDD güvenlik seminerlerinde “güvenlik kültürü ve doğru çalışma uygulamaları” hakkında bilgi paylaşımı yapılmalıdır.

BÖLÜM 7. DEMİRYOLU BAKIM ÇALIŞMALARINDA GÜVENİLİRLİK VE RİSK ANALİZLERİ: TCDD İÇİN UYGULAMALAR

7.1. TCDD Hatlarında Muayene, Bakım ve Yenileme Çalışmalarının Analizi

Demiryollarında gerçekleştirilen bakım ve yenileme (BY) faaliyetlerinin güvenilirlik ve emniyet analizleri ile ilgili uygulamalı çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, TCDD’de gerçekleştirilen BY faaliyetlerinin bir listesi oluşturulmuş, her bir BY faaliyetinin çalışma, hazırlık, uyarı durumunda hattı boşaltma gibi süreleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada dikkate alınan ve TCDD’de gerçekleştirilen BY faaliyetleri ve açıklamaları aşağıdaki Tablo 7.1.’de verilmiştir.

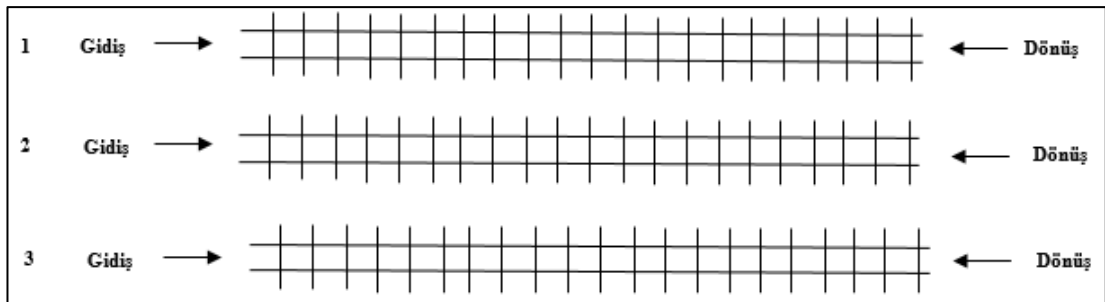
Tablo 7.1. BY faaliyetleri ve faaliyetlerin açıklaması [49]

No	BY Adı	Açıklama
1	Rijit bağlantı sistemi: Tirfonların (Bulon) kontrolü ve sıkılması	Rayları traverslere bağlayan, bağlantı malzemelerinin bir bileşeni olan gevşek tirfonların (Bulon) bir anahtar yardımıyla sıkılması işlemidir.
2	Travers bulonlarının kontrolü ve sıkılması	Travers bulonlarının iki ağızlı bulon anahtarı veya dik kovanlı bulon anahtarı kullanılarak sıkılması işlemidir.
3	Demiryolu hattının görsel incelenmesi	Demiryolu hattını oluşturan bileşenlerin (Ray, travers, bağlantı malzemesi, balast tabakası ve diğer bileşenler) görsel incelenmesi yapılır.
4	HM tipi elastik bağlantıların bakımı	Periyodik olarak her yıl sondaj sureti ile kontrol edilmesi işlemidir.
7	Contaların bakımı	Contalar demiryollarının en nazik noktaları olması nedeniyle bakım ve tamirleri özenle yapılmalıdır.
8	Cebireli contaların kontrol ve bakımı	Somunların, bulonlara yağsızlıktan dolayı yapışık olup olmadığı kontrol edildikten sonra bulonların sökülüp bakımının yapılması işlemidir.
9	İmbisat (genleşme) paylarının ayarlanması	Raylar ısı değişikliği sonucu uzayıp kısaldığından, ray uçları arasında imbisat (genleşme) aralıkları bırakılması işlemidir.
10	Contalardaki gönye kaçıklarının düzeltilmesi	Ray salyası sonucunda contalarda iki ray dizisi ve ray uçları arasında meydana gelen gönye kaçıklığının düzeltilmesi işlemidir.
11	Rayların kaydırılması	Genleşme payının düzeltilmesi veya gönye kaçıklığının giderilmesi için rayların ileri veya geri yönde kaydırılması işlemidir.

Tablo 7.1. (Devamı)

No	BY Adı	Açıklama
12	Ray uçlarındaki ezilmelerin tamiri	Ray uçlarında meydana gelen ezilmelerin keski ile kırılarak veya taşlanmak suretiyle giderilmesi işlemidir.
13	Ekartman (yol açıklığının) kontrolü ve düzeltilmesi	Yolun pozu sırasında uygulanmış teorik yol açıklığı göz önünde bulundurularak yol açıklığı (ekartman) ölçülür ve cetvelde yazılı limitler aşıldığında yol açıklığı düzeltilmelidir.
14	Travers eksenlerinin düzeltilmesi	Poz sırasında, traversler çerçevedeki poz planına göre, eksenlerinde konumuş olmasına rağmen küçük malzemelerin laçkalaşması ve şöminman tesiri ile yerlerinden kayması sonucu bozulan travers eksenlerinin düzeltilmesi işlemidir.
18	Rayların bakımı	Tekerleklerle düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlanabilmesi için rayların kesit şekillerinin ve diğer özelliklerinin korunması gerekmektedir.
19	Raylara koruyucu taşlama yapılması	Demiryolu ilk döşendiğinde hat işletmeye açılmadan önce, ray yuvarlanma yüzeylerinin (mantar kısmı) taşlanması işlemidir.
20	Ondülasyonların ve yuvarlanma yüzeyindeki diğer bozuklukların taşlanması	Oluşan ondulasyonların ray taşlama makinesi ile taşlanarak düzeltilmesi işlemidir.
21	Rayların ultrasonik muayenesi	Ultrasonik kayıt cihazları ile dahili bir kusur tespit edildiğinde, rayın ilgili noktasına otomatik olarak boya püskürtten bir markör ile teçhiz edilmiş özel araçlar ile gerçekleştirilmesidir.
22	Rayların yanıl aşınmaya karşı yağlanması	Aşınmanın bulunduğu hat bölümlerinde, ray-tekerlek ilişkisini düzeltmek için ray mantarı tekerlek temas yüzeyleri el ile veya yerel ray yağlama aparatları ile yağlanır.
23	Rayların değiştirilmesi (tebdili)	Yeni konulacak raylar değiştirilecek rayların yanına dizilir ve ray boyları tebeşir ile işaretlenerek işleme başlanmasıdır.
24	Yoldaki geometrik bozuklukların tamiri (Buraj)	Kotuna ve eksenine getirilmiş yolda travers altlarına balastın doldurulması ve sıkıştırılması işlemidir.

Bu çalışmada bir örnek uygulama olarak TCDD'yi temsil eden hat kesimleri ve bu hatlarda gerçekleşen tren trafiği dikkate alınmıştır. Dikkate alınan hatlar Şekil 7.1.'de gösterilmiştir. Bu hatlarda gerçekleşen tren trafiği ve hiç tren gelmeme olasılık hesapları (Poisson dağılımı kullanılarak yapılmıştır) Tablo 7.2.'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Temsili TCDD hatları

Tablo 7.2. Güvenilirlik analizleri (saat)

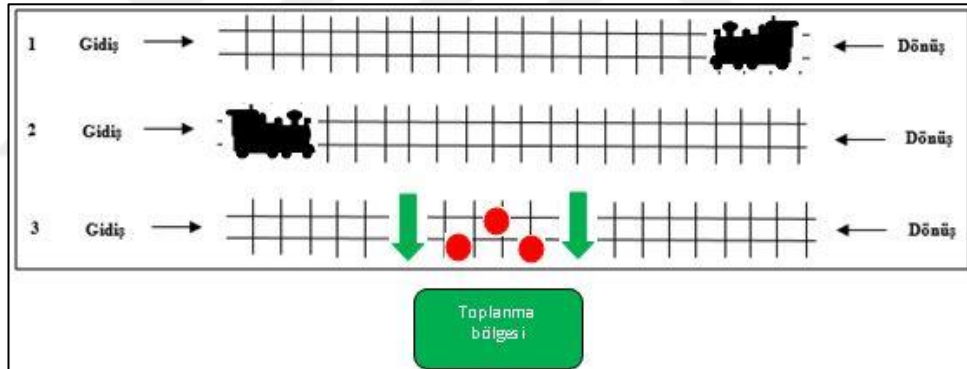
İşletme süresi (sa)	Tren (Gün/Sayı) Gidiş	Tren (Gün/Sayı) Dönüş	Tren (Gün/Sayı) Toplam	Görülebiyecek Tren sayısı (Saat)	λ	P(x) ri %
19	40	40	80	0	4.211	1.48

7.1.1. Rijit bağlantı sistemi: tirfonların (bulon) kontrolü ve sıkılması

Rijit bağlantı sisteme sahip demiryolu hatlarında tirfonların (bulon) kontrolü ve sıkılması ile ilgili çalışmalarda hat üzerinde geçirilen süreler aşağıdaki Tablo 7.3.'te, çalışanların temsili konumu ve toplanma bölgesi Şekil 7.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Tirfonların (bulon) kontrolü ve sıkılması çalışması ve süreler

Hazırlık süresi (dk) (t_h)	Çalışma süresi (dk) (t_c)	Hattı boşaltma süresi (dk) (t_b)	Toplam (dk) (t_{top})
20	30	2	52



Şekil 7.2. Çalışanların temsili konumu ve toplanma bölgesi

Tirfunöz makinesi ve çalışanlar Şekil 7.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Tirfunöz makinesi ve çalışanlar [53]

2 ve 3 nolu hat üzerinde çalışan trenlerin 19 saatlik işletme süresinde gidiş ve dönüş yönünde toplam sefer sayısının 50 olduğu bilinmektedir ve 1 nolu hat üzerinde çalışan trenlerin çalışanlar için risk oluşturmadığını düşünerek rijit bağlantı sisteme sahip demiryolu hatlarında tirfonların (Bulon) kontrolü ve sıkılması sırasında çalışan personelin emniyeti ile ilgili güvenilirlik analiz sonuçları Tablo 7.4.'te verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, hiç bir tedbir alınmaması durumunda emniyet açısından çalışanların güvenilirlik düzeyinin % 10,22 olduğu görülmektedir.

Tablo 7.4. Tirfonların (bulon) kontrolü ve sıkılması çalışması güvenilirlik analizleri

İşletme Süresi (dk)	İşin süresi (dk)	Tren (dk/Sayı) Gidiş	Tren (dk/Sayı) Dönüş	Tren (dk/Sayı) Toplam	Görülebilecek Tren sayısı	λ	P(x) %
1140	52	1.140	1.140	2.281	0	2.281	10,22

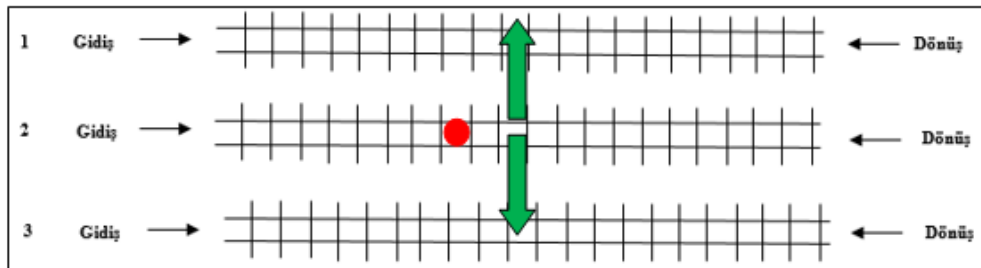
7.1.2. Demiryolu hattının görsel incelenmesi

5.000 metre uzunluğundaki demiryolu hattını oluşturan bileşenlerin (Ray, travers, bağlantı malzemesi, balast tabakası ve diğer bileşenler) görsel olarak incelenmesi ile ilgili yapılacak olan çalışma için hat üzerinde geçirilen süreler aşağıdaki Tablo 7.5.'te verilmiştir.

Tablo 7.5. Demiryolu hattının görsel incelenme çalışması ve süreler

Çalışma süresi (dk) (t_c)	Hattı boşaltma süresi (dk) (t_b)	Toplam (dk) (t_{top})
75	2	77

Şekil 7.4.'te hat denetleyicisinin temsili gösterimi, Şekil 7.5.'te hat üzerinde görsel inceleme yapan personel gösterilmektedir.



Şekil 7.4. Hat denetleyicisinin temsili gösterimi



Şekil 7.5. Hat üzerinde görsel inceleme yapan personel [51]

2 nolu hat üzerine işletmeye açık demiryolu hattı üzerinde görsel inceleme yapmak için çıkan çalışan personelin emniyeti ile ilgili güvenilirlik analiz sonuçları Tablo 7.6.'da verilmiştir. 1 ve 3 nolu hat üzerindeki trafiğin personeli etkilemeyeceği düşünülmüş ve 2 nolu hattın işletme altındaki gidiş ve dönüş trafik sayısının yapılan hesaplamalarda, hiç bir tedbir alınmaması durumunda emniyet açısından çalışanların güvenilirlik düzeyinin % 18,48 olduğu görülmektedir.

Tablo 7.6. Demiryolu hattının görsel incelenmesi sırasındaki güvenilirlik analizleri

İşletme Süresi (dk)	İşin süresi (dk)	Tren (dk/Sayı) Gidiş	Tren (dk/Sayı) Dönüş	Tren (dk/Sayı) Toplam	Görülebiyecek Tren sayısı	λ	P(x) %
1140	77	0,811	0,878	1,689	0	1,689	18,48

7.1.3. Hat geometrisi kontrolü

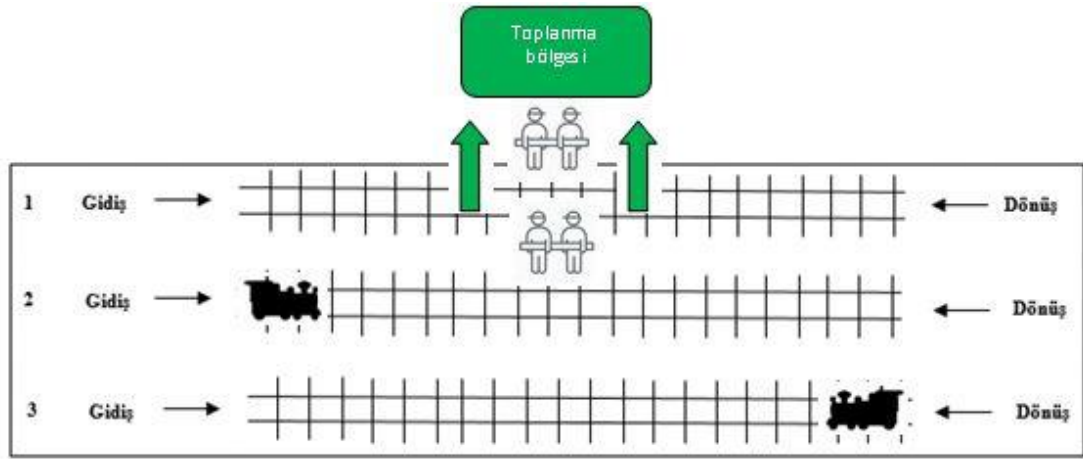
Hattın gözle kontrolünden sonra bir kesiminde geometrisinin bozuk olduğu tespit edilmiştir ve hat geometri kontrolüne karar verilmiştir. 2000 metreye tekabül eden bir uzunlukta geometri kontrolünde; ray aşınmaları, ekartman, yatay nivelman, düşey nivelman, dever gibi geometrik değerlere bakılacaktır. Hat geometrisi ölçüm cihazına el bilgisayarı bağlanarak hattın tüm geometrik değerleri kayıt altına alınır. 1 nolu hat üzerinde yapılacak bir saatlik çalışma için gerekli izinler alınmıştır ve hattın işletmesinde gecikmelere sebep vermemek için trafiğe kapatılmaması

kararlaştırılmıştır. Geometri kontrolü ile ilgili çalışmalarda hat uzerinde geçirilen süreler aşağıdaki Tablo 7.7.'de verilmiştir.

Tablo 7.7. Hat geometrsinin ölçümünün yapılması ve süreler

Hazırlık süresi (dk)	alışma süresi (dk)	Hattı boşaltma süresi (dk)	Toplam (dk)
(t_h)	(t_c)	(t_b)	(t_{top})
15	60	7	82

şekil 7.6.'da hat geometrisi için çalışanların konumu ve kaçış yönü, şekil 7.7.'de hat geometrisi ölçüm cihazı ve el bilgisayarı gösterilmektedir.



şekil 7.6. Hat geometrisi için çalışanların konumu ve kaçış yönü



şekil 7.7. Hat geometrisi ölçüm cihazı ve el bilgisayarı [50]

Demiryolu hatlarının geometrisinin ölçümü sırasında çalışan personelin emniyeti ile ilgili güvenilirlik analiz sonuçları Tablo 7.8.'de verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, hiç bir tedbir alınmaması durumunda emniyet açısından çalışanların güvenilirlik düzeyinin % 2,74 olduğu görülmektedir. Çalışan personelin, çalışma esnasında bir trenle karşılaşma ihtimali % 97,26 gibi çok yüksek bir orandır.

Tablo 7.8. Hat geometrisinin ölçümü esnasında güvenilirlik analizleri

İşletme Süresi (dk)	İşin süresi (dk)	Tren (dk/Sayı) Gidiş	Tren (dk/Sayı) Dönüş	Tren (dk/Sayı) Toplam	Görülebiyecek Tren sayısı	λ	P(x) %
1140	82	1,798	1,798	3,596	0	3,596	2,74

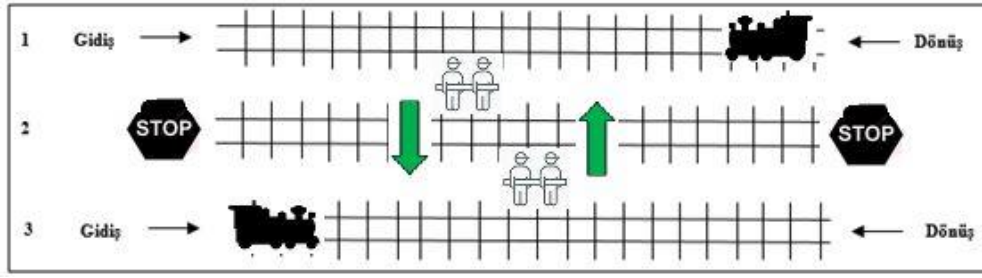
7.1.4. Raylara koruyucu taşlama yapılması

Demiryolundaki hat geometrisi kontrol incelemelerinden sonra bölgedeki rayların mantar iç yüzeylerinde trafik yönüne doğru 45° açılı boyları 2mm ile 16 mm arasında kılçak çatlaklar olduğu gözlenmiştir. Bu durum bölgede vibrasyonu ve gürültü miktarının artmasına sebep olmaktadır. Taşlama operasyonu sonrası mantarın ekartman köşesinde biriken metal sıyrılacak ve yuvarlanma yüzeyi eski konumuna getirilecektir. Ray taşlama için iki operatör ve dört işçi ile saatte 200 metre ray taşlanabilmektedir. 500 metre uzunluğunda tek hat üzerinde ray taşlama ile ilgili çalışmalarda hat üzerinde geçirilen süreler aşağıdaki Tablo 7.9.'da verilmiştir. 1 ve 3 nolu hat işletme trafiğine açık olup 2 nolu hat işletme trafiğine kapatılmıştır.

Tablo 7.9. Ray taşlamanın yapılması ve süreler

Hazırlık süresi (dk) (t_h)	Çalışma süresi (dk) (t_c)	Hattı boşaltma süresi (dk) (t_b)	Toplam (dk) (t_{top})
15	150	3	170

Şekil 7.8.'de ray taşlama için çalışan işçiler ve kaçış yönleri, Şekil 7.9.'da ray taşlama makinesi gösterilmektedir.



Şekil 7.8. Ray taşlama için çalışan işçiler ve kaçış yolları



Şekil 7.9. Ray taşlama makinesi [52]

Demiryolu hatlarında raylara koruyucu taşlama yapılması sırasında çalışan personelin emniyeti ile ilgili güvenilirlik analiz sonuçları Tablo 7.10.'da verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, hiç bir tedbir alınmaması durumunda emniyet açısından çalışanların güvenilirlik düzeyinin % 0,03 olduğu görülmektedir.

Tablo 7.10. Ray taşlama çalışması güvenilirlik analizleri

İşletme Süresi (dk)	İşin süresi (dk)	Tren (dk/Sayı) Gidiş	Tren (dk/Sayı) Dönüş	Tren (dk/Sayı) Toplam	Görülebilecek Tren sayısı	λ	P(x) %
1140	170	4,026	4,026	8,053	0	8,053	0,03

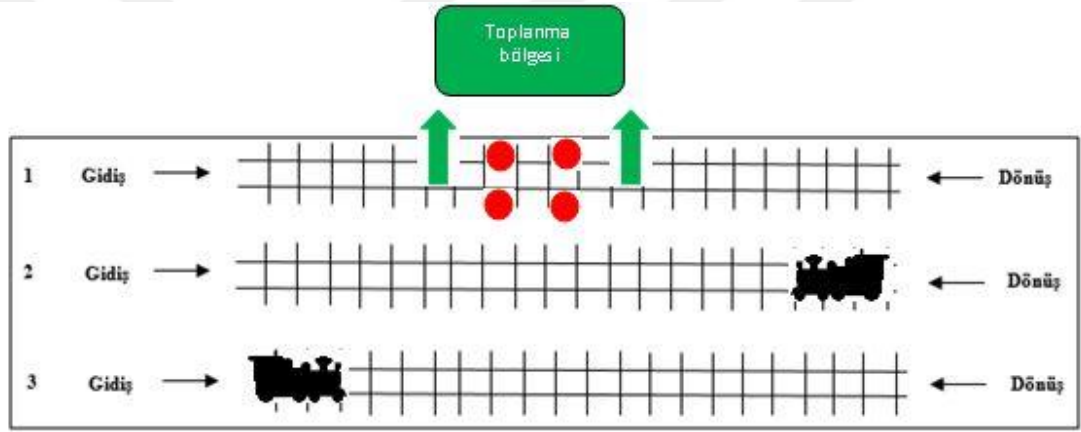
7.1.5. Demiryolu hattının kotuna getirilme işlemi (Rölevaj)

Hat geometri kontrolü sonrasında araçlardan gelen yüklerin etkisi ile ve altyapıdan kaynaklanan olumsuzluklardan dolayı hattın balasta gömüldüğü ve proje kotunu

kaybettiği görülmüştür. Kaldırma işlemi krikolar vasıtası ile aynı anda yapılacaktır. Hattın altları doldurulacaktır. Kaldırılan hattın burajı, buraj çapası ve kazması kullanılarak işçi marifetiyle yapılacaktır. Demiryolu hattının kotuna getirilmesi ile ilgili çalışmalarda hat üzerinde geçirilen süreler aşağıdaki Tablo 7.11.'de verilmiştir. Rölevaj için çalışanlar ve kaçış yönleri Şekil 7.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 7.11. Demiryolu hattının kotuna getirilmesi

Hazırlık süresi (dk)	Çalışma süresi (dk)	Hattı boşaltma süresi (dk)	Toplam (dk)
(t_h)	(t_c)	(t_b)	(t_{top})
10	180	2	192



Şekil 7.10. Rölevaj için çalışanlar ve kaçış yönleri

Demiryolu hatlarının kotuna getirilmesi sırasında çalışan personelin emniyeti ile ilgili güvenilirlik analiz sonuçları Tablo 7.12.'de verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, hiç bir tedbir alınmaması durumunda emniyet açısından çalışanların güvenilirlik düzeyinin % 0,01 olduğu görülmektedir.

Tablo 7.12. Ray taşıma çalışması güvenilirlik analizleri

İşletme Süresi (dk)	İşin süresi (dk)	Tren (dk/Sayı) Gidiş	Tren (dk/Sayı) Dönüş	Tren (dk/Sayı) Toplam	Görülebilecek Tren sayısı	λ	P(x) %
1140	192	4,547	4,547	9,095	0	9,095	0,01

7.2. Bakım Yenileme Çalışmalarında Emniyet Tedbirlerinin Alınması

TCDD’de işletme altındaki demiryolu hatlarında yapılan bakım ve yenileme çalışmalarında çalışanların uyarılmasında emniyet amaçlı olarak genellikle telsiz, telefon, kestane fişegi, borazan (düdük) gibi uyarı sistemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada telefon kullanılarak uyarının yapılması durumu dikkate alınmıştır.

Tablo 7.13.’te telefon ve telsiz kullanılması durumunda önlemin fonksiyonunu yerine getirememesi olasılığı hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Tablo 7.13. Telefonun ve telsizin çalışma olasılıklarını etkileyen faktörler

Önem	Çekmeme (%)	Duyulmama (%)	Bozulma (%)	Şarjının Bitmesi (%)	Diğer Sebepler (%)	O _t (%)	R _t (%)
Telefon	20	5	2	6	1	30,7	69,3

Tablo 7.13.’te görüldüğü gibi telefon ve telsizin güvenilirlik oranı % 69 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde hatta faaliyet gösteren personelin uyarılmasında gözcülere düdük ya da borazan verilmesi durumunda çalışan personelin sesi duymama olasılığının en kötü koşullarda % 40 olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda düdük ya da borazanın güvenilirliği % 60 hesaplanır. Düdük ya da borazanın çeşitli sebeplerle fonksiyonunu yerine getirememesi durumları (Bozulması, gözcü personelin dalgın olması vb.) dikkate alınırsa güvenilirlik değerleri % 60’ın altına düşecektir.

Bu çalışmada sadece telefon ve telsiz kullanılması durumunda TCDD hatlarında yapılan her bir BY çalışmasının güvenilirliği hesaplanmış ve Tablo 7.14’te gösterilmiştir.

Tablo 7.14. Sadece telefonun kullanılması durumunda güvenlik oranları

No	BY	r _i (%)	Telef. ve Tels. (R _t) (%)	R _i (%)
1	Tirfon	10,22	69,30	72,45
2	Görsel İnceleme	18,48	69,30	74,98
3	Hat Geometrisi	2,74	69,30	70,15
4	Koruyucu Taşlama	0,03	69,30	69,32
5	Rölevaj	0,01	69,30	69,31

İşletme altında bulunan demiryolu hatlarının emniyetinin sağlanmasında teknik ve teknolojik cihazlar yani Otomatik Hat Uyarı Sistemi (ATWS) kullanılması durumunda ATWS sisteminin hata yapma olasılığı minimum 1/1.000.000'dir. Bu durumda sistemin güvenirliliği % 99.9999 olarak hesaplanır. Tablo 7.15.'te, TCDD yüksek hızlı demiryolları hatlarında ATWS sistemi kullanılarak işletme altında bulunan demiryollarında yapılan çalışmaların emniyet altına alınması durumunda hattın emniyet açısından güvenirliliği hesaplanmıştır.

Tablo 7.15. Güvenlik sistemi olarak ATWS nin kullanılması durumunda güvenirlilik

No	BY	r _i (%)	ATWS (%)	R _i (%)
1	Tirfon	10,22	99.9999	99.9999102
2	Görsel İnceleme	18,48	99.9999	99.9999184
3	Hat Geometrisi	2,74	99.9999	99.9999027
4	Koruyucu Taşlama	0,03	99.9999	99.9999003
5	Rölevaj	0,01	99.9999	99.9999001

BÖLÜM 8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında EN 50126 RAMS ve EN 16704 standartları kullanılarak işletme altında bulunan demiryollarında bakım, onarım sırasında ray üzerinde veya yakınında çalışan kişilerin veya inşaat ekipmanlarının meydana getirebileceği maddi hasarı büyük veya ölümcül kazalara yönelik emniyetin sağlanması için RAMS analizlerinin kapsamlı bir incelemesi yapılmış ve TCDD hatlarında örnek uygulamalar yapılmıştır. TCDD hatlarına yapılan her bir bakım çalışmasının emniyet açısından güvenilirliği ortaya konmuştur.

TCDD demiryolu hatlarında işletme altında gerçekleştirilecek bakım, yenileme ve teftiş gibi faaliyetlerde hat üzerinde çalışan personelin ve işletmenin emniyeti için yapılan güvenilirlik ve risk analizlerinde TCDD'yi temsil eden hat kesimleri ve bu hatlarda gerçekleşen tren trafiği dikkate alınmıştır ve farklı bakım yenileme faaliyetleri için senaryolar geliştirilerek risk analizleri yapılmıştır ve çalışanların yapmış oldukları bakım onarım sırasında maruz kalacakları risk değerleri hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde insan esaslı emniyet tedbirlerinin güvenilirliğinin çok düşük olduğu tespit edilmiştir. EN 16704'e uygun olarak otomatik hat uyarı sistemlerinin kullanılması durumunda ise emniyet tedbirlerinin çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışanlara yaklaşan trenlerin haberini vermek için emniyet önlemi olarak telefon ve telsiz kullanılmış ve güvenilirliğin ancak % 70 seviyesine çıkarılabileceği görülmüştür. Otomatik hat uyarı sistemleri (ATWS) kullanılmasında ise güvenilirliğin % 100 dolaylarına çıkarılabileceği görülmektedir. Risk analizlerinde, risk skor değerinin ATWS dışındaki durum ve önlemlerde birin üzerinde olduğu ve acil eylem planlarının hazırlanması gerektiği görülmektedir.

Türkiye'deki demiryolu yatırımları dikkate alındığında yakın bir gelecekte tren işletmesinde önemli bir artışın yaşanacağı görülmektedir. Demiryolu ulaşımına olan

talebin artmasıyla işletmenin kapatılması hatta kesintiye uğraması mümkün olamayacaktır. Aksi durumda demiryollarına olan talep gerileyecek, yapılan yüksek maliyetli altyapı yatırımları atıl kalacaktır. Mevcut durumda bulunan emirlerle demiryolu emniyetinin sağlanmak istenmesi durumunda ise çalışanların ve işletmenin emniyeti büyük bir risk altında kalacaktır. Daha verimli ve emniyetli bir demiryolu işletmesi için demiryollarında yol emniyeti EN 16704 numaralı standarda uygun olarak sağlanmalıdır. Ayrıca işletme altında bulunan demiryollarında veya yanında bulunan hatlarda ihale edilen inşaat işleri için yüklenicilerin EN 16704 standardına uygun emniyet tedbirleri alması sağlanmalıdır. Halihazırda ulusal demiryolu emniyet mevzuatı ve 6331 sayılı kanun teknik gelişmelere uyum sağlanarak emniyetin sağlanması gerektiğini belirtmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] European Commission. Council Directive 91/440/EEC of 29 July 1991 on the development of the Community's railways. Official Journal L, 25–28, 23-24.08.1991.
- [2] European Commission. Council Directive 95/18/EC of 19 June 1995 on the licensing of railway undertakings. Official Journal L, 143, 70-74, 27.06.1999.
- [3] European Commission. Council Directive 2001/14/EC of 26 February 2001 on the allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification. Official Journal, 75, 29–46, 15.03.2001.
- [4] European Commission. Council Directive 2004/49/EC of 29 April 2004 on safety on the Community's railways and amending, Official Journal, 164, 44-113, 30.04.2004.
- [5] EN 50126. Railway Applications—Specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 2001.
- [6] EN 50128. Railway applications. Communications, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems, 2001.
- [7] EN 50129. Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling, 2003.
- [8] EN 16704-1. Railway applications. Track. Safety protection on the track during work. Railway risks and common principles for protection of fixed and mobile work sites, 2016.
- [9] EN 16704-2-1. Railway applications. Track. Safety protection on the track during work. Common solutions and technologies. Technical requirements for Track Warning Systems (TWS), 2016.
- [10] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD). TCDD Emniyet Yönetim Sistemi El Kitabı, TCDD Yayınları, Ankara, 2017.

- [11] T.C. Demiryolu Emniyet Yönetmeliği, 29537 sayılı Resmi Gazete, T.C. Resmi Gazete, Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 19.11.2015.
- [12] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD). TCDD 2701 Sayılı Emir. TCDD Yayınları, Ankara, 2017.
- [13] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD). TCDD 551 Sayılı Emir. TCDD Yayınları, Ankara, 2017.
- [14] 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 28339 sayılı Resmi Gazete, T.C. Resmi Gazete, Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 30.06.2012.
- [15] Simões, Gonçalo Medeiros Pais. RAMS analysis of railway track infrastructure. Diss. Master thesis, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2008.
- [16] Gündoğdu, F., Dal. E., Demiryolu Projelerinde RAMS Yönetimi ve Lcc (Life Cycle Cost) Kavramı. Transit Dördüncü Ulaşım Sempozyumu ve Dergisi, 2011.
- [17] Üçkardeşler, İ., Risk analizi ve havacılık sektöründe kaza risklerinin değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [18] Näsman, Per. Risk analysis: a tool in decision-making. Diss. KTH, 2005.
- [19] Koçak, D., Demiryolu Çalışmalarında İş Sağlığı ve Güvenli Vagon Bakım Onarım Atölyesi Risk Değerlendirmesi Örneği. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2014.
- [20] Özkılıç, Ö., "İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri." TİSK Yayınları, Ankara, 2005.
- [21] Bäckman, J., Railway safety-risks and economics. Department of Infrastructure and Planning, Doctoral Thesis, , ISBN 91-7323-019-7, 2002.
- [22] Türkan, H., A., Güvenilirlik analizinde kullanılan istatistiksel dağılım modelleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [23] Forbes, Catherine, et al. Statistical distributions – 4th edition. John Wiley & Sons, ISBN:9780470390634, New Jersey, 2011.
- [24] www.gultekincagil.com/istatistik2-3.ppt, Erişim Tarihi: 05.08.2015.

- [25] Güler, H., Güvenirlik Analizleri, ZET Group Sunum Notları, Sakarya, 2015.
- [26] Güler, H., Demiryollarında Emniyet, İMO Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Sayı 496, 04.2017.
- [27] Çelebi, H., Mühendisler için istatistik yöntemler ve uygulamalar ders notları, Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin, 2007.
- [28] Sakin, R., Kumru N., Er, M., Ay, İ., Alüminyum Alaşımları ve kompozitler için yorulma-ömür verilerinin istatistiksel analizi, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 2010.
- [29] Hahn, Gerald J., and Samuel S. Shapiro, Statistical models in engineering. No. TA340 H3, 1967.
- [30] Yakın, İ., Demiryolu sinyalizasyonunda güvenilirlik emre amadelik sürdürülebilirlik ve emniyet (RAMS) yönetimi ve FMEA - FTA analizi uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [31] Yılmaz, S., B., Hata türü ve etki analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 2, Sayı:4, 2000.
- [32] Harms-Ringdahl, Lars. Safety analysis: principles and practice in occupational safety. CRC Press, 2001.
- [33] Bayazıt, M., E., Oğuz, B., Y., Mühendisler için istatistik. Birsen Yayınevi, 2005.
- [34] Kaymakçı, Ö., T., Ustoğlu İ., ve Divriklioğlu E., "Reliability assessment of fire safety systems in railway industry: a case study." Journal of the Chinese Institute of Engineers, 286-296, 2015.
- [35] Koyun, A., ve Kaymakçı, Ö., T., "Bir Tramvay Hattının Güvenilirlik Analizi" Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30.04.2015.
- [36] <https://railsafe.org.au/work-on-track>, nwt310, Erişim Tarihi: 10.05.2015.
- [37] www.schwizer-electronic.co.uk, Erişim Tarihi: 28.11.2015.
- [38] Bonnett, C., F., Practical railway engineering. Imperial College Press, 2005.

- [39] Ortaç, H., T., Kentiçi raylı sistem hatlarında üstyapı bakımı ve maliyetleri: Aksaray - havalimanı hattı örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Bilim Dalı, 2011.
- [40] Uyanık, M., "Bakım-onarım işlerinde iş sağlığı ve güvenliği." T.C. çalışma ve sosyal güvenlik yakanlığı, iş teftiş kurulu başkanlığı, İş müfettiş yardımcılığı etüdü, İstanbul, 2013.
- [41] Milli Eğitim Bakanlığı, El ile yol tamiratına hazırlık, Raylı Sistemler Teknolojisi, Ankara, 2013.
- [42] Esveld, C., "Modern Railway Track, 2nd Editon." Delft university of Technology, 2001.
- [43] Tarhan, R., and B. Akpınar, Şehir içi raylı sistemlerde deformasyon ölçmeleri, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, 2005.
- [44] www.muhsendisonline.net, Erişim Tarihi: 06.05.2015.
- [45] Milli Eğitim Bakanlığı, Alimünotermi kaynağı, Raylı Sistemler Teknolojisi, Ankara, 2013.
- [46] Rail Safety and Standards Board, Rool Book GE/RT/8000, London, 2011.
- [47] www.transport.com.tr, Erişim Tarihi: 15.05.2015.
- [48] Rail Safety and Standards Board, Engineering Safety Management, The Yellow Book, Volume 2, Issue 4, London, 2012.
- [49] Günoral, Ş., Balastlı Üst Yapılarda Yol Bakım ve Tamiratu, Karabük Üniversitesi Yayınları, 2018.
- [50] Demirdağ, M., Kentiçi raylı sistemlerde hat bakım ve maliyeti. İstanul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [51] www.onedio.com, Erişim Tarihi: 28.04.2019.
- [52] www.mec-railway.com, Erişim Tarihi: 28.04.2019.
- [53] www.youtube.com/watch?v=fuhflclwgrm, Erişim Tarihi: 28.04.2019.
- [54] www.muhsendisalemi.com, Erişim Tarihi: 28.04.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Cahit Kaya, 12.08.1989'da Düzce'de doğdu. İlkokul eğitimini Düzce'de tamamladı, ortaokul eğitimini Sakarya'da tamamladı ve lise eğitimini Düzce'de tamamladı. 2007 yılında Düzce Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2013 yılında Amerika'da Sunny University of Albany'de bir yıl dil eğitimi aldı. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılında ZET Group tarafından organize edilen, TCDD'de Marmaray tesislerinde bir pilot çalışma olarak gerçekleştirilen Zöllner Otomatik Hat Uyarı Sistemleri (ATWS) konusunda sertifikalı eğitim programına katıldı. 2016 yılında Superlit Boru Sanayi A.Ş.'de Saha Mühendisi olarak çalışmaya başladı akabinde Yüksek Lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam etti. 2018 yılında aynı firmada İş Geliştirme ve Satış Mühendisi olarak halen çalışmaya devam etmektedir.