İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMATİK YARIM BARİYERLİ HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİNİN KONTROLÜ VE RİSK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuz KIRBIYIK

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Lisansüstü Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMATİK YARIM BARİYERLİ HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİNİN KONTROLÜ VE RİSK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuz KIRBIYIK
(504121123)

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Lisansüstü Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Turan Söylemez

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121123 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Oğuz KIRBIYIK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "OTOMATİK YARIM BARİYERLİ HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİNİN KONTROLÜ VE RİSK MODELİNİN OLUŞTURULMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Mehmet Turan SÖYLEMEZ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Salman KURTULAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 22 Kasım 2016
Savunma Tarihi : 19 Aralık 2016

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı, Türkiye'nin en iyi üniversitelerin biri olan İstanbul Teknik Üniversite bünyesinde yapmış olmaktan dolayı gurur ve onur duyuyorum. Tez çalışmam esnasında yoğun programının yanında bana zaman ayıran, bana yol gösteren, bilimsel olarak konuya ve herhangi bir bilimsel çalışmalara nasıl bakmam gerektiğini bana öğreten saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mehmet Turan Söylemez'e teşekkürlerini bir borç bilirim. Yaşamımda, hayatta bu noktalara kadar gelmemde, bana maddi ve manevi desteklerini hiçbir şekilde esirgemeyen annem ve babama borçlarını ödeyemecek olsam bile bu süreçte benden desteklerini esirgemedikleri için şükranlarımı sunuyorum.

Kasım 2016

Oğuz Kırbıyık
Kontrol Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİ **5**
2.1 Giriş 5
2.2 Hemzemin Geçit Sisteminin Temel Öğeleri 5
2.2.1 Sistem çekirdeği 6
2.2.2 Konum algılayıcılar 6
2.2.3 Uyarı sinyalleri 7
2.2.3.1 Genel 7
2.2.3.2 Bariyerli hemzemin geçitler 8
2.2.3.3 Yarım bariyerli hemzemin geçitler 8
2.2.3.4 Trenlerin yaklaşmasını uyaran sinyal sistemli hemzemin geçitler 9
2.2.3.5 Bariyersiz, yarım bariyersiz veya trenin yaklaştığına dair uyarı yapan sinyalleri olmayan hemzemin geçitler 10
2.2.3.6 Çeşitli düzenlemeler 10
2.2.4 Güç kaynağı 12
2.2.5 Hatboyu sinyalleri 12
2.2.6 Manuel kontrol 13
2.2.7 Anklaşman sistemi arayüzü 13
2.2.8 Otomatik tren koruma (ATP) sistemi arayüzü 13
2.2.9 Sistem kontrolü 14
2.3 Bir Hemzemin Geçit Sistemi Tarafından Uygulanan Koşullar 14
2.3.1 İkaz süresi 14
2.3.2 Bariyer kapanma süreleri 15
2.3.3 Hata yönetimi 15
2.3.4 Ek özellikler 16
2.3.5 Yanlış yön 17
3. RİSK ANALİZİ **19**
3.1 Giriş 19
3.2 Risk Değerlendirilmesi 20
3.3 Raylı Ulaşım Sistemlerinde RAMS Tanımı 22
3.3.1 RAMS kavramı 22
3.3.2 Raylı ulaşım sisteminde RAMS kavramı 23
3.3.3 Demiryolunda RAMS bileşenleri 23
3.3.4 Demiryolunda RAMS yönetimini etkileyen faktörler 24

3.4 Raylı Ulaşım Sistemlerinde RAMS Yönetimi 25
3.4.1 Genel 25
3.4.2 Sistem yaşam döngüsü 27
3.4.3 "V" model 28
3.5 Risk Analizi Teknikleri ve Metodları 29
3.5.1 Hızlı sıralama analizi (rapid ranking analysis) 29
3.5.2 Farzetme analiz yapısı (structured what-if analysis) 31
3.5.3 Tehlike ve işlerliği çalışmaları (hazard and operability studies[HAZOP]) 31
3.5.4 Durum geçiş diyagramları 32
3.5.5 Mesaj dizisi diyagramları 33
3.5.6 Hata modu ve etkileri analizi (failure mode and effects analysis [FMEA]) 34
3.5.6.1 Hata modu 35
3.5.6.2 Bileşenler 35
3.5.6.3 Hata etkileri 35
3.5.6.4 Hatanın şiddeti 35
3.5.6.5 Hatanın sıklığı 35
3.5.6.6 Hatanın risk seviyesi 35
3.5.6.7 Hata telafisi 36
3.5.7 Olay ağacı analizi (event tree analysis [ETA]) 36
3.5.8 Hata ağacı analizi (fault tree analysis [FTA]) 37
3.5.9 Güvenlik bütünlük seviyesi (safety integrity level [SIL]) 39
3.5.9.1 Genel 39
3.5.9.2 Emniyet isterleri 39
3.5.9.3 Emniyet bütünlüğü 40
3.5.9.4 Emniyet bütünlük isterlerinin paylaştırılması 41
3.5.9.5 Tehlike kontrolü 41
3.5.9.6 Ortak nedenli arıza 43
3.5.9.7 SIL ile emniyet hedefleri arasındaki ilişki 45
4. OTOMATİK YARIM BARİYERLİ HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİ UYGULAMASI 47
4.1 Giriş 47
4.2 Hemzemin Geçit Sistemi 48
4.3 Otomatik Yarım Bariyerleri Hemzemin Geçit Sistemi Tanımı ve Uygulama Durumları 50
4.3.1 Giriş 50
4.3.2 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin risk indeksinin belirlenmesi 51
4.3.3 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin sistem gereksimlerinin belirlenmesi 67
4.3.3.1 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin fonksiyonel isterlerinin belirlenmesi 67
4.3.3.2 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin yazılım isterlerinin belirlenmesi 70
4.3.4 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin sistem tasarımı 74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 77
5.1 Çalışmanın Uygulama Alanları 79
5.2 İleri Çalışmalar 79

KAYNAKLAR 81
ÖZGEÇMİŞ 85

KISALTMALAR

ATP : Otomatik Tren Koruma
CCF : Ortak Nedenli Arıza
CELENEC : Avrupa Elektrik Standartları Komitesi
EN : Avrupa Standardı
ETA : Olay Ağacı Analizi
ETCS : Avrupa Tren Kontrol Merkezi
FMEA : Hata Türü Etki Analizi
FMECA : Hata Türü Etki Kritik Analizi
FR : Potansiyel Tehlike İçin Hata Oranı
FRACAS : Başarısızlık Raporlama ve Düzeltici Faaliyet Sistemi
FTA : Hata Ağacı Analizi
HAZOP : Tehlike ve İşlerliği Çalışmaları
HGS : Hemzemin Geçit Sistemi
PFMEA : Süreç Hata Modu ve Etkileri Analizi Yöntemi
PLC : Programlanabilir Lojik Kontrolör
RAMS : Güvenilirlilik Emre Amadelik Sürdürülebilirlik ve Emniyet
SDR : Emniyet Durumundaki Oran
SIL : Güvenlik Bütünlük Seviyesi
THR : Tolere Edilebilir Hata Oranları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Tehlikeli olaylarının meydana gelme sıklığı. **20**
Çizelge 3.2 : Tehlike şiddet seviyeleri. **20**
Çizelge 3.3 : Sıklık – sonuç matrisi (frequency – consequence matrix). **21**
Çizelge 3.4 : Niteliksel risk kategorileri. **21**
Çizelge 3.5 : Risk hesabının ve kabulunun tipik örneği. **22**
Çizelge 3.6 : Tehlike derecelendirme matrisi örneği. **31**
Çizelge 3.7 : Hata modu ve etkileri analizi çalışma kağıdı örneği. **35**
Çizelge 3.8 : Hata ağacı analizinde kullanılan lojik kapılar. **38**
Çizelge 3.9 : SIL tablosu. **45**
Çizelge 4.1 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi FMEA analizi. **52**
Çizelge 4.2 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi hata oranları. **54**
Çizelge 4.3 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi indirgenmiş FMEA analizi. **58**
Çizelge 4.4 : İndirgenmiş hata oranları. **60**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hemzemin geçit tehlike uyarı işaretleri (UIC 760, 2007). **7**
Şekil 2.2 : Trenlerin yaklaşması durumunu uyaran trafik işaretçileri (UIC 760, 2007). **9**
Şekil 2.3 : "DUR" trafik işaretçileri (UIC 760, 2007). **10**
Şekil 2.4 : Tamamlayıcı trafik işaretçileri (UIC 760, 2007). **11**
Şekil 2.5 : Uyarıcı trafik işaretçileri (UIC 760, 2007). **11**
Şekil 3.1 : Demiryolunda RAMS bileşenleri arasındaki ilişki. **24**
Şekil 3.2 : Demiryolu RAMS yönetimine ilişkin sebep – sonuç örnek diyagramı. .. **25**
Şekil 3.3 : Demiryolunda RAMS yönetimini etkileyen faktörler. **26**
Şekil 3.4 : Sistem yaşam döngüsü (BS EN 50126-1, 1999). **27**
Şekil 3.5 : Doğrulama (verification) ve geçerleme (validation). **29**
Şekil 3.6 : 'V' model. **30**
Şekil 3.7 : Durum geçiş diyagramı örneği. **33**
Şekil 3.8 : Mesaj dizisi diyagramı örneği. **33**
Şekil 3.9 : Örnek olay ağacı yapısı (Url-4). **37**
Şekil 3.10 : Hata ağacı analizi örneği (BS EN 50126-2, 1999). **38**
Şekil 3.11 : Emniyet isterleri. **40**
Şekil 3.12 : Global sürece genel bakış. **42**
Şekil 3.13 : Tehlike kontrolü süreci örneği. **43**
Şekil 3.14 : Fiziksel bağımsızlık süreci ve hatanın yorumlanması (BS EN 50129, 1999) **44**
Şekil 3.15 : Ortak nedenli arıza örneği (BS EN 50129, 1999). **44**
Şekil 4.1 : Yarım bariyerli hemzemin geçit. **48**
Şekil 4.2 : Yarım bariyerli hemzemin geçit bölgesi dur işareti ile çan ile uyarı sistemi. **49**
Şekil 4.3 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi FTA analizi. **55**
Şekil 4.4 : İndirgenmiş FTA analizi. **61**
Şekil 4.5 : Zigzag durumu için ayrıntılı FTA analizi. **63**
Şekil 4.6 : Otomatik Yarım Bariyerli Hemzemin Geçit Akış Diyagramı. **65**
Şekil 4.7 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit deaktivasyon kullanım senaryosu. **70**
Şekil 4.8 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit aktivasyon kullanım senaryosu. **71**
Şekil 4.9 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit arıza durumu kullanım senaryosu. **72**
Şekil 4.10 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit demiryolu sinyal bildirimi durumu kullanım senaryosu. **73**
Şekil 4.11 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit tasarımı. **75**

OTOMATİK YARIM BARİYERLİ HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİNİN KONTROLÜ VE RİSK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

ÖZET

Gelişmiş toplumlarda raylı ulaşım sistemleri önemli bir ulaşım alternatifi şeklinde kullanılmaktadır. Günümüzde raylı ulaşım sistemi araçları gerek yolcu taşımacılığında gerekse lojistik taşımacılığında önemli bir noktada bulunmaktadır. Diğer alternatif ulaşım araçlarına kıyasla daha güvenilir ve daha hızlı ulaşım imkanı sağlamaktadır.

Demiryolu sistemlerinin gelişmesi ile beraber demiryolu sistemlerinde güvenlik önlemleri özel olarak önem kazanmıştır. Daha az maddi kayıp ve can kaybı işletmecilik açısından önemli olmaktadır. Demiryolu sistemleri bünyesinde bulunan hemzemin geçit sistemleri de bu güvenlik sistemlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Özellikle hemzemin geçit bölgesi karayolu ile demiryolunun kesişim noktasında olması sebebiyle can ve mal kaybının yüksek olduğu bir yerdir. Bu bölgede bulunan sistemlerin güvenlik önlemleri demiryolu sistemleri açısından özel önem taşımaktadır. Alınması gereken tedbirler ve hatada güvenli sistemlerin inşa edilmesi önemli bir yer oluşturmaktadır. Özellikle hemzemin geçit bölgesinde bulunan sistemlerin emniyet ve risk analizlerinin yapılması insan kaynaklı hataları minimuma indirecek hatta hiç olmamasını sağlayacaktır.

Hemzemin geçit sistemleri özellikle ülkemizde bulunan demiryolu sisteminin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Tez çalışmasında hemzemin geçit sistemleri genel olarak tanımlanmıştır. Çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Donanımsal ekipmanları hakkında tanımlamalar yapılmıştır. Karayolunda ve demiryolunda bulunması gereken işaret ve işaretçilerin önemi anlatılmıştır. Hemzemin geçit bölgesinde yapılması gereken risk analizinin nasıl yapılması gerektiği anlatılmıştır. RAMS yönteminin tanımı ve uygulaması örnekler verilerek anlatılmıştır. Risk analizinde kullanılması gereken teknikler ve metodlar üzerinde durulmuştur.

Bu tez çalışmasında, otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin risk analizi yapılmıştır. Hemzemin geçit sisteminde risk indeksi belirlenmiştir. Risk analizi, FMEA ve FTA analizi yöntemleri kullanılarak hemzemin geçit sistemi için olası hata senaryoları tanımlanmış ve hata oranları belirlenmiştir. Özellikle yarım bariyerli hemzemin geçit sistemlerinde bulunan zigzag durumun engellenebilmesi için ne gibi tedbirlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. ‘V’ modeli kullanılarak sistem yaşam döngüsünde bulunan her bir adım kontrol edilmiş ve hemzemin geçit sistemindeki hata oranları minimuma indirilmiştir. Hemzemin geçit bölgesinde SIL güvenlik sistemi analizi yapılmıştır. Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için olması gereken sistem isterleri belirlenmiş ve otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi tasarımı yapılmıştır.

AUTOMATIC CONTROL OF HALF BARRIER LEVEL CROSSING SYSTEMS AND TO SET THE RISK MODEL

SUMMARY

In the developed countries, rail transport system are used as an alternative to major transportation. Today rail transit system vehicles are at a critical position in passenger and logistic transportation. These vehicles are more secure and more comfortable than other alternatives and also they provide faster transportation.

Today rail transport system is very important. Rail transit system is used for passengers and cargo. The train provides less financial requirement and it carries more material other transport vehicles.

Rail transport system is a system used to control railway traffic safely to prevent trains from colliding. Trains are uniquely susceptible to collision since they frequently operate at speeds that do not enable them to stop quickly or within the driver's sighting distance. Railway signalling system process is traditionally carried out in a signall box. These are placed at various intervals along the route of a railway, controlling specified sections of track. With the development of technology, railway signalling system has made such operational doctrine superfluous, with the centralization of signalling operations to regional control rooms.

Level crossing is an intersection where a railway line crosses a road or path at he same level. Trains have a much larger mass relative to their braking capability, and thus a far longer braking distance than road vehicle. They do not stop at level crossings but rely on vehicles and pedestrians to clear the tracks in advance. Possible accidents of trains include derailment, a collision with another train or collision with automobiles, other vehicles or pedestrians at level crossing.

There are different types of level crossings. One of which are full barrier crossing. The barriers are normally kept raised. When a train approaches, a warning will sound and the lights will show amber and then flash red. Some barriers are automatic, while others are operated by railway staff. Second one are automatic half barrier crossing. When a train approaches, a warning will sound and the lights will show amber and then flash red. Then the barriers will close across the entrance to the crossing, leaving the exit clear. The other one are gated crossing operated by railway staff. The crossing is operated by railway staff in the signal box next to it. When train is coming, they close the gates across the road. Fourth are automatic open crossing with lights. The lights and warning sound are set off automatically by an approaching train. The train will cross when driver can see that crossing is clear. It has received an indication that the crossing equipment is working normally. The last one are open crossing. Open crossings are only situated where there is enough time for you to see if a train is coming and cross safely.

Level crossing system has a very important in rail transportation. The rail transport system has a lot of level crossing in Turkey. Level crossing system is the intersection of road and railway. Therefore, there are many accidents. Especially, safety has gained more importance in rail transport system. That's why, railway system engineers focus on the safety analysis.

Rail transport systems begin to use automatic control system. Relay interlocking system was abandoned and replaced by more reliable software products. Faults in the rail transport system can be easily detected because of railway signalling system.

By the development of railway systems, safety precautions have gained importance significantly. Less financial damage and less loss of life have become more significant in railway businessment. Level crossing systems included in railway transportation are an important part of these safety systems. Especially level crossing area is a location that occurs too much loss of life and property. Safety precautions for this area are more significant for railway systems. Precautions and building fail-safe systems occupy an important place. Especially making safety and risk analysis of systems in level crossing area, reduces human-driven faults even it provides zero error.

With the development of railway technology, safety has gained more importance. Athough there are many studies so far safety and risk analysis in railway systems, level crossing systems are not studies safety and risk analysis.

Especially in our country, level crossing systems are significant components in railway systems. In thesis study, level crossing systems are defined in general and given informations about types of the system. Hardware equipments of them are defined. Importance of roadway and railway signs and signals are described. It is also mentioned how risk analysis on level crossing area shall be done. Description and implementation of RAMS method are shown with examples. Techniques and methods for risk analysis is explained as well.

RAMS management is determining to combine reliability, availability, sustainability, and safety with system engineering proccess. It provides to ensure to implement designated railway timetable. Rail transport systems are designated railway timetable well-timed, reliably and cost efficiently. This stiation has an important creating advantages. RAMS management is a very crucial subject in railway transport system.

It was used many standard for RAMS management. It was created based on BS IEC 61508 standarts. Its content has reprentative standards for safety management of electric/electronic related system.

RAMS management standard haver been developed by CENELEC. It is clear that the reliablitiy of a railway signalization system is directly related to interlocking system. Therefore, safety standards are based on BS IEC 61508 standards. Besides, safety standards called BS EN50126, BS EN50128 and BS EN 50129. They are created by CENELEC to define general safety requirements for the railway interlocking systems. BS EN50126 included RAMS management basic principles and applications. It was published in 1999. BS EN 50128 was published in 2008. It has a RAMS management standard for software used in operating, signalling, and communication of railway signalling system. BS EN 50129 was published in 2003. It has a RAMS management standard on railway signalization system hardwares.

RAMS is a railway signalling system's long term operation. It is established engineering concepts, methods, tool and techniques. It has the lifecycle of the railway system. The RAMS of railway system is influenced in three ways. These are system conditions, operating conditions and maintenance conditions. RAMS requirements are based on the concept of taking precautions to minimize the possibility errors during the lifecycle phases. Precautions are influenced in two ways. These are prevention and protection. All RAMS parameters used should be agreed between the Railway Authority and the Railway Industry.

The concept of risk is the probability of occurence of an event or combination of events leading to a hazard and the consequence of the hazard. Safety integrity can be viewed as a combination of quantifiable elements and non-quantifiable elements. They have hardware, software, specification and documents. Safety integrity level (SIL) is defined by IEC 61508 standard.

The system lifecycle is a sequence of phases. These are tasks and the total life of a system. The lifecycle provides a structure for planning, managing, controlling and monitoring. The lifecycle representations are widesprad within industry like nuclear plants and railway systems. There include the 'V' model. The 'V' representation is effective in showing verification and validation tasks within the lifecycle. The objective of verification is the deliverables of each phase meet in all respects the requirements of that phase. The objective of verification is the system under consideration, at any step of its development and after its installition, meets its requirements in all respects.

RAMS managements have the different stages of hazard analysis. There are rapid ranking analysis, structured what if analysis, hazard and operational analysis (HAZOP), failure mode effects analysis (FMEA), event tree analysis (ETA) and fault tree analysis (FTA). Rapid ranking is focussed on the most significant hazards. Structured what if analysis is easy to understand, flexible and easy to be unstructured. Hazard and operational analysis (HAZOP) is a structured method for identification risks invented in the chemistry industry. Failure mode effects analysis (FMEA) may be a large system or a single physical component. It includes processes, functions, software, hardware and human errors. Event tree analysis (ETA) analyses the occurence of an event. It is used to analyse the consequences of failure events. Fault tree analysis (FTA) is the interaction of system, subsystem and component failures. It described in IEC 61025.

In this thesis study, it is made risk analysis for automatic half-barriered level crossing system. Risk index in level crossing system is specified. Possible failure scenarios for level crossing system and failure rates are defined by using FMEA and FTA risk analysis methods. Especially, precautions for blocking zigzag position at automatic half-barriered level crossing system are specified . Each step in system life cycle is controlled by using 'V' model and failure rates on level crossing system are reduced as minimum. SIL safety system analysis is done on level crossing area. System requirements for automatic half-barriered level crossing system is specified and lastly automatic half-barriered level crossing system is designed.

1. GİRİŞ

Günümüzde, karayolu ve havayolu taşımacılığının yanında demiryolu taşımacılığı da önemli bir yere sahiptir. Demiryolu taşımacılığı sanayi devriminden bu yana medeniyetlerin gelişim aşamasında en önemli yere sahip olmuştur. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde rahat ve huzurlu ulaşım araçlarının başında demiryolu taşımacılığı gelmektedir. Bunun yanısıra sanayi kolunda da demiryolu taşımacılığı önemli bir noktadır. Daha fazla malzeme tedariği daha az maliyet gibi konularda demiryolu taşımacılığı önemli yer tutmaktadır.

Demiryolu taşımacılığında özellikle konvansiyonel hatlarda hemzemin geçit sistemleri çok özel ve önemli yer tutmaktadır. Ülkemizde özellikle demiryolu hattı bulunan bir çok yerleşim yerlerinde hemzemin geçit sistemi etkin olarak kullanılmaktadır. Hemzemin geçit kullanımı ile birlikte hem yerleşim yerlerine rahat bir ulaşım imkanı sağlanmış olmakta hem de demiryolu hattının güvenliği kontrollü bir şekilde yönetilmektedir.

Raylı ulaşım sistemlerinde bir çok endüstriyel ortamda olduğu gibi artık insan kontrolünden çıkıp otomatik kontrollü sistemlere geçilmektedir. Röleli anklaşman sisteminden günümüzde sinyalizasyon projeleri ile daha sistematik, daha güvenilir yazılımsal ürünlere geçilmiştir. Böylelikle sistemde oluşan herhangi bir arıza durumunda arıza tespiti kolaylıkla sağlanmakta ve hatalar en aza indirilmektedir. Bu durum gibi hemzemin geçit sistemlerinde de artık insan kontrollü sistemlerden çıkılıp otomatik kontrollü sistemlere geçilmeye başlanmaktadır. Özellikle işletmecilik açısından kullanılan şehir içi ulaşımların daha rahat olması açısından bekçili bir hemzemin geçit sistemi oluşmaktadır. Bu durum hem iş gücü kaybını hem de maliyet kaybını doğurmaktadır. Oysa ki güvenli ve efektif bir hemzemin geçit sistemi yapıldığında hem işletmecilik açısında hem de insan gücü açısından daha verimli bir sistem ortaya çıkacaktır.

Tez çalışmasında otomatik hemzemin geçit sistemi üzerinde durulmuştur. Otomatik hemzemin geçit sistemi için yapılması gereken emniyet kritik sistem analizinin nasıl

olması gerektiği tanımlanmıştır. ‘V’ model yapısına göre bir sistemin nasıl incelenmesi gerektiği tanımlanmış ve uygulama aşaması olarak otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi ele alınmıştır. Yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için özel önem taşıyan zigzag durumu üzerinde durulmuş ve bu durum üzerinde nasıl önlem alınması gerektiği belirtilmiştir. En son aşama da otomatik yarım bariyerli bir hemzemin geçit sisteminin alınan güvenlik tedbirlerine göre tasarımı yapılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümü tez çalışmasına ilişkin genel bilgileri içermektedir. Tez çalışmasınında izlenen adımlar özet olarak bahsedilmeye çalışılmıştır.

Bölüm 2’de hemzemin geçit sistemleri üzerinde durulmuştur. Hemzemin geçit sisteminin temel öğeleri tanımlanmış hemzemin geçit sistemlerinin çeşitleri belirtilmiştir. Hemzemin geçit sistemine ilişkin donanımsal ekipmanlar ve bu ekipmanların kullanım şekilleri belirtilmiştir. Hemzemin geçit sisteminde bulunan ve tanımında karayolu ve demiryolu kesişim noktası olan hemzemin geçit bölgesi için işaret ve işaretçilerin tanımlamaları yapılmıştır. Bu bölümde herhangi bir hemzemin geçit için hemzemin geçitin nasıl kontrol edilmesi üzerinde durulmuştur. Sistematik bir yaklaşım sunulmuştur. Otomatik bir hemzemin geçit sistemi için olması gereken kuralların aşamaları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’te risk analizi üzerinde yoğun literatür taraması yapılarak detaylı bir şekilde durulmuştur. RAMS kavramı üzerinde durulmuştur ve raylı ulaşım sistemleri üzerinde RAMS yapısının nasıl uygulanması gerektiği tanımlanmıştır. RAMS yapısı altında herhangi bir sistemin yaşam döngüsü anlatılmıştır. ‘V’ model yapısı üzerinde durulmuştur. Risk analizi değerlendirme teknikleri ve metodları üzerinde durulmuş tanımlamalar yapılmıştır. Hızlı sıralama analizi, farzetme analiz yapısı, HAZOP, durum geçiş diyagramları, mesaj dizisi diyagramları, FMEA yapısı, ETA yapısı, FTA yapısı ve SIL yapısı üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştur. Detaylandırmak için örneklerle zenginleştirilmiştir.

Bölüm 4’te otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi uygulaması üzerinde durulmuştur. Yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi yapısı ele alınmıştır. Otomatik hemzemin geçit sistemine ilişkin risk indeksi belirlenmiştir. Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için FMEA ve FTA analizi yapılmıştır. Sisteme ilişkin SIL seviyesi hesaplanmıştır. İlk tasarlanan hemzemin geçit sistemi risk indeksi yapısında

SIL 0 seviyesinde iken zigzag durumu açısından yapılandırma sonucunda FMEA analizi güncelleştirilmiştir. Zigzag yapısının iyileştirilmesinden sonra sistemin SIL 2 seviyesinde çıktığı görülmüştür. Bu durum otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin yeni bir yaklaşım modelidir. Buradaki amaç hemzemin geçit sisteminin güvenlik seviyesinin nasıl arttırılacağını göstermektir. 'V' modeli baz alınarak her bir emniyet sistemi geçişlerinde doğrulama ve geçerleme adımları göz önüne alınmıştır. Doğrulama ve geçerleme adımlarının standartlarda tanımlı şekilde yapılması için sistemi tasarlayan kişi dışında başka birisi tarafından yapılması gerekmektedir. Ancak, bu tez çalışmasında böyle bir durum oluşmadığından dolayı bu başlık üzerinde teorik olarak durulmuştur. Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için sistem gereksinimleri belirlenmiştir. Bu gereksinimlerin alt başlığı olarak fonksiyonel isterler ve kullanım senaryosu (use case) yapısı kullanılarak yazılım isterleri oluşturulmuştur. Son aşamada da otomatik hemzemin geçit sisteminin hatada güvenli bir şekilde tasarımı yapılmıştır. Burada yapılan tasarım için herhangi bir algoritma aşaması sunulmamıştır. Önceden sunumu yapılmış makale ve bildiriler neticesinde böyle bir durumun gereksinimi göz ardı edilmiştir. Ancak, otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit için yeni bir yaklaşım geliştirilerek akış diyagramı oluşturulmuştur. Burada otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için nasıl bir sistemden bahsedildiği ayrıntılı olarak belirtilmiş ve sistemin tanımı açık bir şekilde ifade edilmiştir.

Son bölüm olan bölüm 5'te tez çalışmasının sonuçları, amaç ve görevlerin nasıl başarıldığı anlatılmaktadır. İleriye yönelik çalışmalara ilişkin tavsiyeler ve yönlendirmelerde son bölümde bahsedilmektedir.

2. HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİ

2.1 Giriş

Demiryolu sistemlerinde hemzemin geçit karayolu ile demiryolunun kesiştiği trafik noktasından oluşmaktadır. Bu sistemin hem karayolu taşıtlarının hem de demiryolu araçlarının etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve olası kazaların engellenebilmesi için demiryolu sistemi açısından tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Hemzemin geçit ilk kullanılmaya başlandığı dönemlerde, bayrak görevlisi eğer kırmızı bayrağı kaldırırsa karayolu araç trafiği durmakta ve tren için yol güvenli anlamı taşımaktaydı. Daha sonraki dönemlerde elle kontrol edilebilen veya elektrik sistemleri ile kontrol edilebilen kapanabilir kapı şeklinde hemzemin geçit sistemi oluşturuldu (Url-1).

Hemzemin geçit sistemleri dünyada farklı tipte yapıda kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak bariyerli ve kapılı geçitler, açık geçitler ve sadece yayaların geçtiği geçitler verilebilir (Url-3).

2.2 Hemzemin Geçit Sisteminin Temel Öğeleri

Hemzemin geçit sisteminin otomatik olarak kontrol edilmesi için sahip olması gereken temel unsurlar şu şekilde sıralanabilir:

- Sistem çekirdeği
- Konum algılayıcılar
- Uyarı sinyalleri (ışıklar, bariyerler)
- Güç kaynağı
- Hat boyu sinyalleri

- Manuel kontrol
- Anklaşman arayüzü
- Otomatik tren koruma (ATP) arayüzü
- Teşhis

Temel unsurların her birinin her bir hemzemin geçitte kullanılması zorunlu değildir. Tasarım yapılan hemzemin geçit türüne göre bu temel unsurlar farklılık gösterebilir (UIC 761, 2004).

2.2.1 Sistem çekirdeği

Sistem çekirdeği, hemzemin geçit sisteminin güvenlikle olan işlevlerini yerine getirilmesini garanti altına alan temel bölümdür. Raylı ulaşım sistemlerinde kullanılan elektronik ve/veya röleli sinyalizasyon sistemine entegre edilerek kullanılabilir. Sistem çekirdeği ile hemzemin geçit bölgesi donanımsal ve yazılımsal olarak raylı ulaşım sistemine ilişkin güvenlik bölgesine dahil edilmiş olmaktadır (UIC 761, 2004).

2.2.2 Konum algılayıcılar

Demiryolu sistemine eklenen konum algılaycılar şu şekilde şıralanabilir:

- Kesintisiz tren takibi için ray devresi veya aks sayıcı
- Kısa ray devresi veya araç bobini
- Tekerlek algılayıcı
- Baliz

Trenin hemzemin geçit bölgesine girmesinin tespit edilmesinde kullanılan cihazların konumları hemzemin geçidin bulunduğu koşullara (geçidin uzunluğuna, bariyerlerin kullanımı), hemzemin geçit kontrol sistemi tipine ve hattın hızına bağlıdır. Hemzemin geçit bölgesinde dikkat edilmesi gereken temel unsur trenin en kötü koşullarda hemzemin geçit bölgesinden çıkması olarak düşünülebilir. Bunun için de konum algılayıcısı tespit edilirken trenin hemzemin geçit bölgesini terk ettiği

durumdaki en yavaş hareketi göz önüne alınarak trenin hemzemin geçit bölgesini terk etmesi beklenir ve hemzemin geçidin bariyerin açılması ile hemzemin geçit bölgesinin karayolu trafiğine açıldığı an trafik akışı sağlanmış olur (UIC 761, 2004).

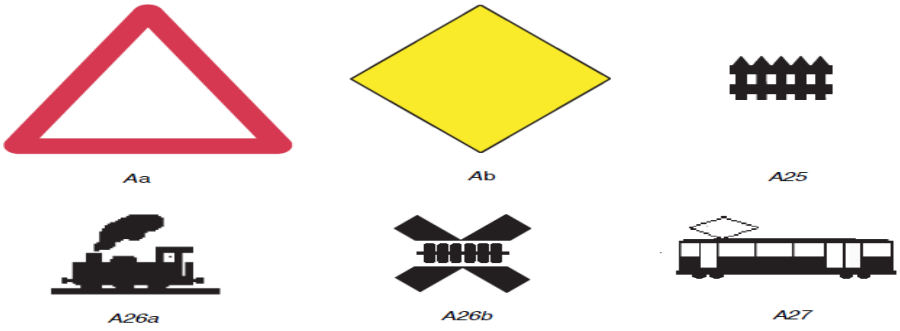
Trenin hemzemin geçit bölgesinden ayrılmasının tespit edilebilmesinde kullanılan cihazlar hemzemin geçit bölgesinde veya hemzemin geçide yakın bir konuma yerleştirilmelidir (UIC 761, 2004).

Trenden gönderilen bir komut hemzemin geçit sisteminin kontrolünde kullanılabilmektedir. Bu sistemin kullanılması durumunda demiryolu sisteminin güvenlik seviyesinin durumuna göre değişmektedir. Eğer demiryolu işletmecisi bu durumun inisiyatifini makinistin kontrolüne bırakmak istemezse kontrolü ray devresine veya aks sayıcısına bırakabilir. Ray devresi veya aks sayısıcı trenin ray devresinde olmadığını algıladığında hemzemin geçidin bariyerleri otomatik olarak açılacaktır ve hemzemin geçit bölgesi karayolu trafiğne açık hale gelecektir. Burada unutulmaması gereken bir diğer nokta da tren makinistinin treni kullandığında yaşamını yitirmesi durumudur. Bu durumda tasarlanan sistemde güvenlik açığı oluşmaması için tüm tedbirlerin düşünülüp o şekide güvenlik önlemi alınması gerekmektedir (UIC 761, 2004).

2.2.3 Uyarı sinyalleri

2.2.3.1 Genel

Her bir hemzemin geçit üzerinde A25, A26 ve A27 olan Aa veya Ab tehlike uyarı işaretlerinden birini içermelidir. Bu durum Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Hemzemin geçit bölgesinde kullanılan trafik işaret ve işaretçileri karayolu araç trafiğinin az olduğu bölgelerde kullanılmayabilir (UIC 760, 2007).



Şekil 2.1 : Hemzemin geçit tehlike uyarı işaretleri (UIC 760, 2007).

2.2.3.2 Bariyerli hemzemin geçitler

Bariyer kolu kırmızı ve beyaz, kırmızı ve sarı, siyah ve sarı, sarı ve siyah renkte olmalıdır. Ancak, bariyer kolunun ortasında büyük bir kırmızı daire olacak şekilde sadece beyaza veya sarıya boyalı da olabilirler (UIC 760, 2007).

Bariyerin daha iyi görülebilmesi için bariyerlerde yansıtıcı madde veya cihazlar kullanılabilir. Gerekirse geceleri bariyerler aydınlatılabir (UIC 760, 2007).

Bariyerlerin kapalı konumdayken mümkün oldukça yere yakın kullanımı önerilir. Karayolu taşıtları bariyere çarptığı zaman bariyerin taşıta karşı büyük bir direnç göstermemelidir (UIC 760, 2007).

Bariyerli hemzemin geçitlerde bariyer kapandığı zaman trenin yaklaştığı durumu belirten yanar söner kırmızı ışık veya değişimli olarak yanan kırmızı ışıklar olmalıdır.

- Yanar söner kırmızı ışıklar, üç renkli kırmızı, sarı ve yeşil sinyalle değiştirilebilir.
- Işık sinyali ses sinyaliyle değiştirilebilir.
- Karayolu trafiğinin oldukça az olduğu yerlerde sadece ses sinyali kullanılabilir.

Sinyaller karayolunun köşesine trafik akışına uygun yönde konulmalıdır. Sinyallerin görünürlüğüne veya trafik yoğunluğuna göre gerekli görüldüğü durumlarda trafik akış yönünün karşı köşesine de konulabilir. Ancak, karayolu açısından uygun bir durum oluşmuşsa sinyaller yolun ortasına veya üst bölgesine de konulabilir (UIC 760, 2007).

2.2.3.3 Yarım bariyerli hemzemin geçitler

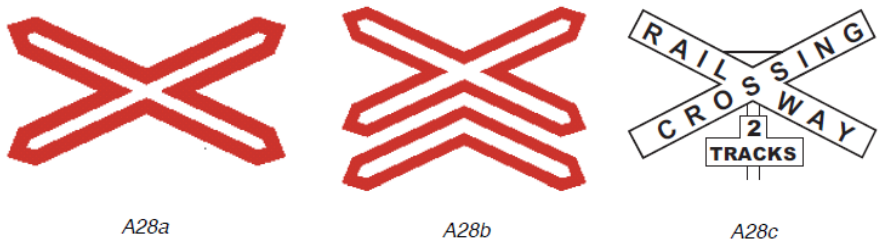
Tam bariyerli hemzemin geçitler için geçerli olan trafik kuralları yarım bariyerli hemzemin geçitler için de geçerlidir.

Yarım bariyerli hemzemin geçitin bulunduğu bölgede hemzemin geçit bölgesine yaklaşan karayolu taşıtlarının karşı yönden gelen araçlar için ayrılmış şeride yetkisiz

girmelerine veya trafiğin aktığı yönde ilerleyen araçların yetkisiz şerit değiştirmelerini engellemek amacıyla yolun üzerine uyarı işaretleri konulmalıdır.

2.2.3.4 Trenlerin yaklaşmasını uyaran sinyal sistemli hemzemin geçitler

Demiryolu hattının yakınına trenlerin yaklaştığını uyaran sinyallerle aynı desteği sağlayan Şekil 2.2'deki gibi A28 işaretlerinden birisi konulmalıdır (UIC 760, 2007).



Şekil 2.2 : Trenlerin yaklaşması durumunu uyaran trafik işaretçileri (UIC 760, 2007).

Trenler yaklaştığında:

- Yanar söner tek bir ışık veya
- Aynı yükseklikte ve aynı yöne bakan, değişimli olarak yanan iki kırmızı ışık şeklinde sinyallenmelidir.

Eğer diğer üç renkli sinyaller hemzemin geçide yakın yola kurulduysa, yanar söner kırmızı ışıklar, üçlü bildirim veren kırmızı, sarı ve yeşil sinyalle veya yeşil bildirim vermeyen sinyalle desteklenebilir veya değiştirilebilir.

Hiç bir tren gelmiyorsa yavaş bir şekilde yanıp sönen mat beyaz sinyal kullanılabilir.

Sinyaller, ışık sinyaliyle desteklenebilir.

Trafiğin az olduğu bölgelerde sadece ışık sinyali kullanılır.

Sinyaller karayolunun köşesine trafik akışına uygun yönde konulmalıdır. Sinyallerin görünürlüğüne veya trafik yoğunluğuna göre gerekli görüldüğü durumlarda trafik akış yönünün karşı köşesine de konulabilir. Ancak, karayolu açısından uygun bir durum oluşmuşsa sinyaller yolun ortasına veya üst bölgesine de konulabilir.

2.2.3.5 Bariyersiz, yarım bariyersiz veya trenin yaklaştığına dair uyarı yapan sinyalleri olmayan hemzemin geçitler

Bariyersiz, yarım bariyersiz veya trenin yaklaştığına dair uyarı yapan sinyalleri olmayan hemzemin geçitler Şekil 2.2'deki gibi A28 işaretlerinden birisi konulmalıdır.

Bu kategorideki bir hemzemin geçit B2 "DUR" işaretlerinden birini kullanabilir. Bu durumda A28 işaretlerinden biri Şekil 2.3'deki B2 sinyalleri ile aynı desteğe konumlandırılır (UIC 760, 2007).



Şekil 2.3 : "DUR" trafik işaretçileri (UIC 760, 2007).

2.2.3.6 Çeşitli düzenlemeler

Şimdiye kadar bahsedilen trafik işaretleri ve sinyaller patika yollardaki hemzemin geçitler için de kullanılabilir.

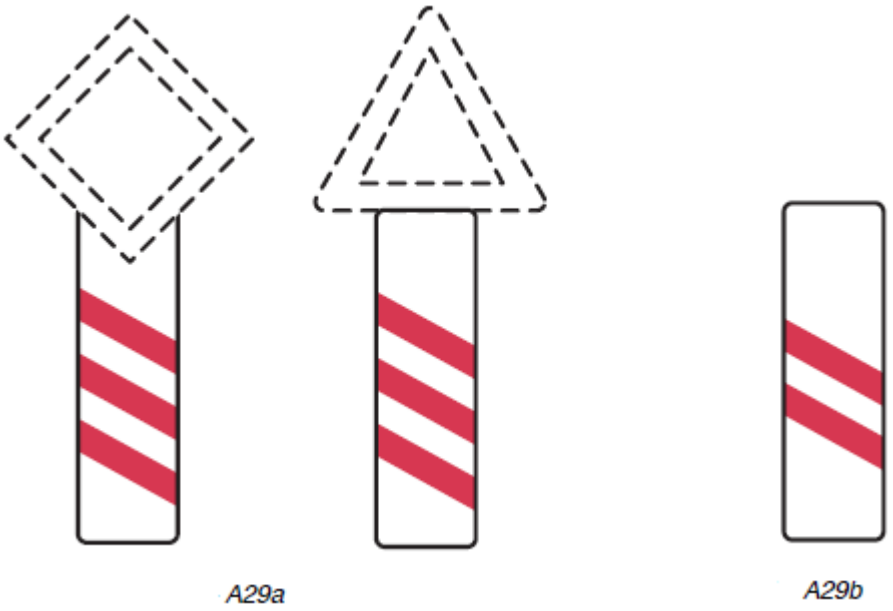
Genellikle, hemzemin geçit kategorisi değiştirildiğinde, yürürlükteki koruma metodları hakkında karayolu taşıt kullanıcısının aklında herhangi bir karmaşıklık olmaması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

Yol işaretleri yeniden düzenlenmelidir. Ya da bariyerli, yarım bariyerli veya renk bildirimli sinyallerin kullanımda olmadığı belirtilmelidir.

Bu adımlar bekçili hemzemin geçitlerde de sağlanmalıdır.

Karayolu araç trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde hemzemin geçit bölgesinde bulunan uyarıcı işaretlerde yansıtıcı madde veya cihazlar kullanılabilir ya da gerekirse gece aydınlatması sağlanabilir.

Şekil 2.1'de gösterilen A25 ve A26 tehlike uyarıcı sembolleri taşıyan tehlike uyarıcı işaretler Şekil 2.4'te gösterilen A29a, A29b ve A29c tamamlayıcı işaretler vasıtasıyla birleştirilebilir (UIC 760, 2007).



Şekil 2.4 : Tamamlayıcı trafik işaretçileri (UIC 760, 2007).

Trafik uyarı işaretleri inşa alanlarındaki özel durumlar ile motorlu taşıtların nadir olduğu yollarda kullanılmayabilir.

A28 trafik uyarı işareti demiryolu trafiğinin çok yavaş ilerlediği yerlerde ve karayolu trafiğinde gerekli el işaretleri yapan demiryolu çalışanı tarafından düzenlendiği hemzemin geçitlerde ve karayolu trafiğinin az olduğu yollarda kullanımı zorunlu değildir.

Karayolu trafiğinde gerekli el işaretleri yapan demiryolu çalışanı tarafından düzenlenen yerlerde hemzemin geçitin olduğunu belirtmek için tehlike uyarı işareti olarak Şekil 2.1'de belirtilen A25, A26 veya A27 yerine Şekil 2.5'te belirtilen A32 sembolü taşımalıdır (UIC 760, 2007).



Şekil 2.5 : Uyarıcı trafik işaretçileri (UIC 760, 2007).

2.2.4 Güç kaynağı

Güç kaynağı hemzemin geçitlerin her bir ekipmanının güç gereksinimlerini karşılamalıdır. Güç kaynağı sistemin güvenliği amacıyla yedekli bir şekilde sistemde kurulabilmelidir. Herhangi bir hemzemin geçit sisteminde güç sağlanabilecek gereksinimler aşağıdaki olasılıklara göre sıralanabilir:

1. Tek bir alternatif güç kaynağı kullanılabilir.
2. İki tane bağımsız olarak çalışan güç kaynağından, ana güç kaynağı açıldığında veya kapandığında diğer yedek güç kaynağı devreye girer veya devreden çıkar:
    a. Akümülatörü (yedek güç kaynağı) şarj eden alternative güç kaynağı (ana güç kaynağı)
    b. İki bağımsız alternatif güç kaynağı
3. Güneş paneli, akümülatör veya bataryadan oluşan bağımsız güç kaynağı

Ana güç kaynağının devreden çıkıp yedek güç kaynağının devreye girmesi hemzemin geçit sistemini etkilememelidir (UIC 761, 2004).

2.2.5 Hatboyu sinyalleri

Hatboyu sinyalleri trenin ilerleyeceği güzergahın durumunu belirtmek için kullanılır. Hatboyu sinyalleri; hemzemin geçit sinyali, ana sinyal veya başka teknik cihaz şeklinde olabilir.

İstenen bazı hemzemin geçit şartları yerine getirilmemiş olsa bile tren hareketinin devam etmesine (ana sinyal veya teknik cihaz tarafından) izin verilebilir. Bu durumda ekstra teknik veya yönetimsel operasyon uygulanabilir. Tren hareketine izin verilmeden önce karayolu taşıt sürücüsünün hemzemin geçit şartlarının sağlanmamış olduğunu bilmesi gerekir. Karayolu taşıt sürücüsü trafik işaretlerine uyarak hemzemin geçit bölgesine girmemeli ve hemzemin geçit bölgesinde ilerlemekte olan trenin hareketinin tamamlanmasını beklemelidir. Hemzemin geçit bölgesi kontrolü demiryolu personeli tarafından güvenliğinin sağlandığı tam olarak algılandığında karayolu taşıtının geçişine izin verilmelidir (UIC 761, 2004).

2.2.6 Manuel kontrol

Hemzemin geçit sistemlerinde manuel kontrol yapılabilmelidir. Manuel kontrol merkezi tarafından hemzemin geçit durumu görülebilmelidir. En azından hemzemin geçiti manuel olarak kapatma imkanı yaratılmalıdır. Hemzemin geçitin manuel olarak acil açılabilme imkanının olması tavsiye edilir. Eğer otomatik olarak control edilen hemzemin geçitler herhangi bir şekilde arıza yaptığında karayolu trafik akışının sağlanması için hemzemin geçit bariyerlerinin açık tutulup karayolu trafiğinin açık olması sağlanır. Örneğin hemzemin geçit bariyer kolu elektriksel olarak bir arıza yaptığında güç kaynakları hemzemin geçit kollarına herhangi bir elektriksel iletim yapamayacaktır. Bunun önlenebilmesi için demiryolu personelinin hemzemin geçit bölgesinde bulunan hemzemin geçit bariyer kolunu manuel bir şekilde açması beklenir (UIC 761, 2004).

2.2.7 Anklaşman sistemi arayüzü

Hemzemin geçit sistemi ile anklaşman sistemi (hat bloklarını da içeren) arasında bir arayüz oluşturulmalıdır. Bu arayüz sayesinde hemzemin geçit sistemi durumlarını gözetlemek ve/veya hemzemin geçit sistemini kontrol etmek mümkün olmalıdır.

Trenin ön kısmı hemzemin geçide varmadan hemzemin geçit güvenli bir şekilde kapanmış olması ve karayolu trafiğinin olmaması gerekir.

Anklaşman veya hat blok sistemi hemzemin geçit bölgesine bir durdurma sinyali yerleştirildiğinde, tren durması durumunda ikaz süresindeki tehlikeli bir artışı önlemek için otomatik hemzemin geçit ile sinyalizasyon sistemi arasında arayüzü kullanabilir (UIC 761, 2004).

2.2.8 Otomatik tren koruma (ATP) sistemi arayüzü

Hemzemin geçit sistemi ATP sistemine bir arayüz sağlamalıdır. En azından hatada güvenli hemzemin geçit durumu bilgisini ATP sistemine sağlamalıdır. Ayrıca, ATP sisteminden hemzemin geçit sistemini kontrol etmek, hemzemin geçit sistemi ve ATP sisteminde bu opsiyonun sağlanması durumunda mümkündür. Tren yaklaşırken hemzemin geçit durumu, ATP hız profili tarafından belirlenmelidir. Hemzemin geçit sisteminde ATP kullanılmasındaki amaç olması muhtemel kazaları en aza indirmektedir. Hemzemin geçit bölgesinde kullanılacak olan ATP sistemi ile

hemzemin geçidin tehlike bölgesine gelmeden trenin durması sağlanacak böylelikle hemzemin geçidin tehlike bölgesinde bulunan herhangi bir cisme çarpma durumunun önüne geçilerek kaza oluşumunun önüne geçilecektir (UIC 761, 2004).

2.2.9 Sistem kontrolü

Hemzemin geçit sistemi, hemzemin geçit bileşenlerinin davranışı hakkında sistem kontrolü verilerini sağlamalıdır. Hemzemin geçit sistem fonksiyonları ve güvenlikle ilgili kısımları üzerinde herhangi bir şekilde hemzemin geçit sistemini etkileyecek olumsuz etkisi olmamalıdır.

Sistem kontrolü verileri sürekli olarak sağlanabilir ve/veya daha sonra analiz etmek üzere kayıt edilebilir. Her bir hemzemin geçit ekipmanı için sistem kontrolü verileri net ve anlaşılır bir şekilde zaman bilgisiyle birlikte tutulmalıdır. Bu durumun oluşması için hemzemin geçit bölgesi verilerinin tutulması için yazılımsal olarak bilgi havuzu oluşturulabilir ve geriye dönük bilgiler kayıt altına alınmış olur. Böylelikle hemzemin geçit sistemi için oluşabilecek olan hataların önüne geçilerek hemzemin geçit sisteminin optimizasyonu yapılabilir.

Kaza olduğu durumda personel davranışlarını analiz etmek ve hemzemin geçit sistemi hata tespiti veya tahmini olasılığını arttırmak ve geliştirmek için sistem kontrolü hazırlanır (UIC 761, 2004).

2.3 Bir Hemzemin Geçit Sistemi Tarafından Uygulanan Koşullar

2.3.1 İkaz süresi

İkaz süresi, hemzemin geçit uyarı sinyalleri üzerindeki uyarı görüntülerinin oluşması anı ile trenin hemzemin geçite varması zamanı arasındaki kalan süredir.

Minimum ikaz süresi belli sayıda yerel faktörlere bağlı olarak değişir, özellikle hemzemin geçiti kullanan karayolu trafiğinin özelliklerine, geçit üzerindeki mesafeye ve demiryolu sistemi üzerinde ilerleyen trenin hızına bağlıdır.

Maksimum ikaz süresi, uyarı sinyalleri çalışırken karşıya geçmek isteyen karayolu taşıt sürücülerinin artış riskini önlemek için hesaplanmalıdır.

Maksimum ikaz süresi minimum ikaz süresinden çok uzun olduğunda trenin hızı ne olursa olsun ikaz sürelerinin sabit kalmasını sağlayan cihazlar göz önünde bulundurulmalıdır (UIC 761, 2004).

2.3.2 Bariyer kapanma süreleri

İkaz görüntüsünün belirmesi ile tam bariyerlerin kapatılmaya başlatılması arasındaki süre, karayolu trafiğinin karakteristiğiyle ilişkili olarak kararlaştırılır. Bu süre, en yavaş ve en hızlı karayolu aracının, bir bisikletlinin veya bir yayanın hemzemin geçiti güvenli bir şekilde terketmesini sağlayacak şekilde hesaplanmalıdır.

Yarım bariyer kullanılması durumunda en yavaş ve en hızlı karayolu aracının, bir bisikletlinin veya bir yayanın bariyerler kapatılmaya başlamadan önce güvenli bir şekilde geçebilmesini sağlayacak şekilde bu süre hesaplanmalıdır.

Tam bariyere benzer kutup çiftlerinin kullanımı durumunda, ilk çiftin kapatılmaya başlaması ile ikinci çiftin kapatılmaya başlaması arasındaki süre sabitlenmelidir.

Kapatma süresi (kutup hareketlerinin süresi) 6 saniyeden daha az olmamalıdır (UIC 761, 2004).

2.3.3 Hata yönetimi

Hemzemin geçit sistemi hataları iki kategoride ele alır: güvenli kritik ve güvenli olmayan kritik.

Hemzemin geçit sistemi için güvenli kritik seviyesi hemzemin geçidin hata oranları ile hesaplanan herhangi bir ekipmanının zarar görmesi durumunda, hemzemin geçit sisteminin tasarımını yapan mühendisler tarafından doğrudan sisteme müdahale edilmesi anlamını taşımaktadır.

Hemzemin geçit sistemi için güvenli olmayan kritik seviye ise hemzemin geçit bölgesinin hatada güvenli bir sistemin devre dışı kalmamış olmasıdır. Örneğin hemzemin geçit bariyer kolunun kırılması durumu demiryolu personeli bu durumu kendi içinde halledebilecek ve herhangi bir mühendisin hemzemin geçit sistemine müdahalesi söz konusu olmayacaktır.

Hemzemin geçit sisteminin çalışma ve/veya hata durumu hakkında kontrol noktasını bilgilendirilmesi sağlanmalıdır. Bu tespit yöntemi yazılımsal altyapısı oluşturularak hemzemin geçit control noktasına anlık olarak iletilebilir. Böylelikle hemzemin geçit bölgesindeki herhangi bir hata durumunda arızaya ivedi bir şekilde müdahale edilebilir (UIC 761, 2004).

2.3.4 Ek özellikler

Hemzemin geçit sistemi isterleri hazırlandıktan sonra bu isterlere uygun olduğu düşünüldüğü durumlarda aşağıdaki düzenlemeler yapılabilir:

1. Bir tren hemzemin geçit bölgesine girdikten sonra aynı raya o treni takip eden başka tren girerse veya çift hatlı bölgede bulunan hemzemin geçit bölgesinde diğer raya geçerse çift raylı hatlarda bariyerlerin açılmasını engelleyecek cihazlar tercih edilmelidir. Hemzemin geçidin açılması için minimum süre aralığı tanımlanmalıdır.

2. Bariyerler kapandığı zaman kapandığını belirten son konum hakkında kontrol noktası bilgilendirilmelidir. Son konuma gelme süre aralığı onaylanmalıdır.

3. Bariyerlerin kırık bilgisi kontrol merkezine iletilmelidir.

4. Herhangi bir algılayıcı tarafından birbirini takip eden trenlerin sayımı yapılmalıdır. Herhangi bir tren geldiği anda hemzemin geçit kapatılmalıdır.

5. Manevra hareketleri yapıldığında hemzemin geçit bariyeri kapalı kalmalıdır.

6. Trafik sinyal sistemini ile hemzemin geçit sistemi arasına yapılacak bir arayüz, hemzemin geçit civarındaki trafik sinyallerini kontrol ederek hemzemin geçit ile trafik sinyal sistemi arasındaki etkileşimi sağlar. Bu sayede sürücü hareketleri sadece hemzemin geçit ikaz sinyalleri tarafından kontrol edilmez, ayrıca trafik sinyalleri ile de kontrol sağlanmış olur. Yukarıda bahsedilen etkileşim ile şunların da önüne geçilir:

    - Hemzemin geçit kapandığında araçlar tarafından geçitte beklenmedik meşguliyet oluşması

- Trafik sinyal sistemindeki durdurma sinyaliyle bariyerler açıldıktan sonra hemzemin geçitte beklenmedik meşguliyet oluşması

Trafik ışıklarıyla olan arayüz uygulaması, güvenlikle ilgili hemzemin geçit fonksiyonları üzerinde herhangi bir negatif etki yaratmaz.

7. Engel tespit cihazları kullanılmalıdır. Hemzemin geçit bölgesinde herhangi bir araç, bisiklet veya yaya kaldığında bu bölgeye yaklaşmakta olan trene veya sinyalciye bir uyarı mesajı gitmelidir (UIC 761, 2004).

2.3.5 Yanlış yön

İki yönlü ray üzerinde yanlış istikamette giderken, hattın ve hemzemin geçitin önemine bağlı olarak, her iki raydan da gidiş istikametinde tren gidiyormuş gibi hemzemin geçit otomatik sinyallerinin çalışmasını sağlayan cihaz kullanılmalıdır.

Trenin gideceği yön tren seferinin gerçekleştiği doğrultuda olmazsa, aşağıdaki seçenekler göz önüne alınabilir (UIC 761, 2004):

- Hemzemin geçitin otomatik olarak korunmasını sağlayan cihaz kullanılmalı
- Hemzemin geçit sisteminin manuel olarak kontrol edilmesi sağlanmalı

3. RİSK ANALİZİ

3.1 Giriş

Hemzemin geçit sistemlerinde, hemzemin geçitin olası felaket senaryolarına göre risk analizi yapılmalıdır. Risk analizi yapıldığında gerek insan, gerekse çevre faktörleri en ince ayrıntısına kadar incelenmeli ve bu durum risk analiz durumuna göre raporlanmalıdır. Risk; bir olayın meydana gelme olasılığı ile o olayın olası sonuçlarının bir kombinasyonudur (BS EN 50126-1, 1999). Risk analizi sistem yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında uygulanır ve raporlanır. Risk analizi raporu oluşturulurken aşağıda verilen her bir yöntemi içermelidir. Risk analizi yapısında bu yöntemler risk değerlendirmesi yapılırken doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (BS EN 50126-1, 1999).

- Analiz metodolojisi
- Metodolojinin varsayımları, sınırları ve gerekçeleri
- Tehlike tanımları sonuçları
- Risk tahmini sonuçları ve bunların güven seviyeleri
- Veri, verilerin kaynakları ve verilerin güven seviyeleri

Çizelge 3.1 nitel olarak, olası risk faktörlerinin kategorilerini veya bir tehlikenin oluşum sıklığı ile her bir kategoriyi demiryolu sistemleri için sağlar (BS EN 50126-1, 1999).

Sonuç analizi olası risk faktörlerinin olası sonuçlarını tahmin etmek için kullanılır (BS EN 50126-1, 1999). Çizelge 3.2 tipik tehlike şiddet seviyelerini açıklar. Burada tüm raylı sistemler için her şiddet düzeyi ile ilişkili sonuçlar mevcuttur (BS EN 50126-1, 1999).

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 birbiri ile ilişkili olarak tanımlanan iki çizelgedir. Buradaki iki çizelge birbirini tamamlayan çizelge olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.1 : Tehlikeli olaylarının meydana gelme sıklığı.

Kategori	Tanım
Sık (Frequent)	Sık sık oluşma durumu vardır. Tehlike sürekli yaşanacaktır.
Muhtemel (Probable)	Bir kaç kez ortaya çıkar. Tehlike sık sık meydana gelmesi beklenebilir.
Nadiren (Occasional)	Bir kaç kez meydana gelebilir. Tehlikenin bir kaç kez ortaya çıkması beklenebilir.
Uzak (Remote)	Sistem döngüsünde bazen oluşma olasılığı. Tehlikenin meydana çıkması beklenebilir.
Olanakdışı (Improbable)	Olasılığı düşük ama olabilir. Tehlikenin istisnai olarak meydana gelebileceği kabul edilebilir.
İnanılmaz (Incredible)	Meydana gelmesi mümkün değil. Tehlikenin oluşmayacağı kabul edilir.

Tehlike şiddet seviyeleri, tehlike olaylarının meydana gelme sıklığı ile doğrudan ilişkilidir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 ile birlikte demiryolu sistemlerinde emniyet kritik analizi yapıldığı zaman diliminde sonuçları daha verimli bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlanmış olacaktır.

Çizelge 3.2 : Tehlike şiddet seviyeleri.

Şiddet Seviyesi	Kişilere veya Çevreye Etkisi	Servis Etkisi
Felaket (Catastrophic)	Ölüm ve / veya birden fazla ağır yaralanmalar ve / veya çevreye büyük hasar.	Büyük bir sistemin kaybı.
Kritik (Critical)	Tek ölüm ve / veya ciddi yaralanma ve / veya çevreye önemli ölçüde zarar.	Ciddi bir sistem kaybı.
Düşük (Marginal)	Küçük yaralanma ve / veya çevreye ciddi bir tehdit.	Küçük bir sistem kaybı.
Önemsiz (Insignificant)	Muhtemel küçük yaralanmalar.	

3.2 Risk Değerlendirilmesi

Bu alt sınıflama, risk analizlerinin, risk kategorilerinin, risk faktörlerinden oluşan etki değerlerinin azaltılması veya risk faktörlerinin tamamen ortadan kalkması ve risk kabulleri sonuçlarının hesaplanması için "Sıklık - Sonuç" matrisi Çizelge 3.3'te oluşturulmuştur (BS EN 50126-1, 1999).

Tehlikeli bir olayın ortaya çıkma durumu herhangi bir olayın süre bazlı meydana gelme sıklığı ile doğru orantılıdır. Tehlikeli bir olay oluştuktan sonra meydana gelen kaza sonucu ortaya çıkan şiddet seviyesi tehlike sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Risk seviyesinin tanımı yapılırken de tehlikeli bir olayın meydana gelme sıklığı ile

tehlikeli bir olaydan sonra oluşacak şiddet düzeyinin kesişim kümesi olarak tanımlanabilmektedir (BS EN 50126-1, 1999).

Çizelge 3.3 : Sıklık – sonuç matrisi (frequency – consequence matrix).

Tehlikeli bir olayın meydana gelme sıklığı	Risk Seviyeleri			
Sık				
Muhtemel				
Nadiren				
Uzak				
Olanakdışı				
İnanılmaz				
	Önemsiz	Düşük	Kritik	Felaket
	Tehlike Sonucu Şiddet Düzeyleri			

Risk ve etkilerinin niteliksel kategorilerinin her bir risk etkisi ile etkileşimi Çizelge 3.4' te tanımlanmıştır. Demiryolu sistemleri risk faktörlerini gözönünde bulundurduğunda bu tanımları kullanmalı ve risk seviyesini bu tabloya göre azaltmalıdır (BS EN 50126-1, 1999).

Çizelge 3.4 : Niteliksel risk kategorileri.

Risk Kategorisi	Her bir kategoriye uygulanacak etkiler
Kabul edilemez (Intolerable)	Kaldırılmalıdır.
İstenmeyen (Undesirable)	Sadece demiryolu yönetimi veya güvenlik yönetimi tarafından kabul edildiğinde risk seviyesi azaltılmalıdır.
Kabul edilebilir (Tolerable)	Yeterli kontrol sağlandığında ve demiryolu yönetimi tarafından uygun görüldüğünde kabul edilebilir.
İhmal edilebilir (Negligible)	Demiryolu yönetimi tarafından uygun görülse de görülmese de kabul edilebilir.

Risk kabulu için risk hesaplama ve risk değerlerinin düşürüldüğü örnek tablo Çizelge 3.5'te görülmektedir. Çizelge 3.5 ile demiryolu sistemleri özelinde hemzemin geçit sistemlerine ilişkin durumların risk hesabında ifade edilen niteliksel ifadeleri açık bir şekilde ifade edilmiştir. Buradaki çizelge ile birlikte kazaların sıklık seviyesine göre kaza şiddetlerinin niceliksel ifadesi nitelik olarak belirtilmiştir. Belirtilen nitelik ifadeye göre muhtemelen kaza durumu belirlenmiş olmaktadır. Böylelikle hemzemin geçit bölgesinde alınması gereken önlemler en üst seviyeye çıkartılmaktadır ve olası kaza senaryosuna göre tedbirler alınabilmektedir.

Çizelge 3.5 : Risk hesabının ve kabulunun tipik örneği.

Tehlikeli bir olayın meydana gelme sıklığı	Risk Seviyeleri			
Sık	Durum 3	Durum 4	Durum 4	Durum 4
Muhtemel	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 4
Nadiren	Durum 2	Durum 3	Durum 3	Durum 4
Uzak	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 3
Olanakdışı	Durum 1	Durum 1	Durum 2	Durum 2
İnanılmaz	Durum 1	Durum 1	Durum 1	Durum 1
	Önemsiz	Düşük	Kritik	Felaket
	Tehlike Sonucu Şiddet Düzeyleri			

Çizelge 3.5'te verilen risk hesabının ve kabulunun tipik örneğinde bahsedilen durumlar aşağıda ifade edilmektedir.

- *Durum 1*: İhmal edilebilir.
- *Durum 2*: Kabul edilebilir.
- *Durum 3*: İstenmeyen.
- *Durum 4*: Kabul edilemez.

3.3 Raylı Ulaşım Sistemlerinde RAMS Tanımı

3.3.1 RAMS kavramı

RAMS kavramı; güvenilirlik (reliability), emre amadelik (availability), sürdürülebilirlik (maintainability) ve emniyet (safety) kelimelerinin baş harlerinin birleşmesiyle oluşan bir kavramdır. Demiryollarında RAMS demiryolu yönetimindeki servis kalitesine genel olarak katkı sağlayan bir sistem ürünüdür (BS EN 50126-1, 1999). Genel olarak bir demiryolu sistemi tasarımı yapıldığında, bu sisteme ilişkin güvenlik ölçütleri RAMS kavramı altında oluşturulur ve bu oluşan sistem parametrelerine göre uygun donanımsal ve yazılımsal tasarım yapılabilmektedir.

Demiryolu sistemlerinde RAMS kavramı incelenirken; demiryolu sistemlerinde uygulanan RAMS yöntemi ile demiryolu sistemine etki eden servis kalitesi arasındaki bağın doğruluğu ve bu doğruluğa göre sistemin minimum hata ile çalışıyor olması göz önüne alınmaktadır (BS EN 50126-1, 1999).

Demiryolu sistemlerinde RAMS kavramı oluşturulurken; RAMS bileşenleri, RAMS kriterlerinin başarıya ulaşması için bu kriterleri etkileyen faktörler, risk ve güvenlik durumları göz önüne alınır (BS EN 50126-1, 1999).

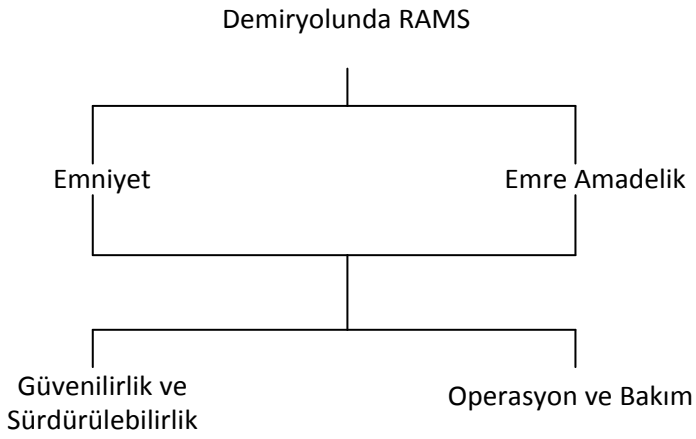
3.3.2 Raylı ulaşım sisteminde RAMS kavramı

RAMS bir sistemin karakteristiğinin uzun bir periyot boyunca ele alan bir kavramdır. Sistemin başarıya ulaşabilmesi için mühendislik konseptleri, metodları, araçları ve teknikleri sistem dögüsü içinde kurulması gerekmektedir. Bir sistemde RAMS tanımı yapılırken sistemin derecesini gösteren niteliksel ve niceliksel terimler tanımlamalıdır. Tanımlanan terimler için kullanılacak fonksiyonlar sistemde emre amadelik (availability) ve emniyet (safety) kriterlerinin her birini sağlayacak şekilde olmalıdır (BS EN 50126-1, 1999).

Demiryolu sistemlerinin amacı demiryolu trafik güvenlik seviyesinin belirli bir zamanda başarıya ulaşmasının sağlanmasıdır. RAMS tanımında sistemin hedefinin başarıya ulaşması garanti edilmelidir. RAMS tanımı ile oluşturulan herhangi bir demiryolu bileşeni veya demiryolu sistemi açık bir şekilde güvenilirliği temin edilmelidir. Emniyette kritik sistemlerde analiz yapılırken bu tanım önemli bir yer kaplamaktadır. Eğer burada oluşturulan bir sistem hatası hatada güvenli system olarak tasarlanan herhangi bir demiryolu sisteminde ciddi kazalara neden olabilir. Oluşan kazalar neticesinde de sisteme olan güven azalacaktır (BS EN 50126-1, 1999).

3.3.3 Demiryolunda RAMS bileşenleri

Emniyet ve emre amadelik herhangi bir zayıflık durumunda ya da kötü bir yönetim olduğunda birbirlerinin gereksinimlerini kötü etkileyebilecek kadar birbirine bağlı sistemlerdir. RAMS bileşenleri arasındaki ilişki Şekil 3.1'de görülmektedir (BS EN 50126-1, 1999). Güvenilirlik tanımı yapıldığında ilgili demiryolu veya herhangi bir güvenlik gereksinimi olan sistemin olası tüm sistem hata modlarının belirlenmesi olarak detaylandırılabilir. Burada her bir hata durumunun meydana gelme olasılığı belirlenir. Her bir fonksiyonel ürünün hata oranı hesaplanır. Sistemin fonksiyonel olarak hata etkileri hesaplanmış olur (BS EN 50126-1, 1999).



Şekil 3.1 : Demiryolunda RAMS bileşenleri arasındaki ilişki.

Sürdürülebilirliğin olması için bakım planının, hataların yerinin, tanımının, teşhisinin ve hatalı sistemin onarımının zamanında yapılması gerekmektedir (BS EN 50126-1, 1999).

Sistem hayat döngüsü boyunca, tüm olası operasyonel modlar ve gerekli bakımlar ile insan kaynaklı sorunlar operasyon ve bakım başlığı altında toplanabilir (BS EN 50126-1, 1999).

3.3.4 Demiryolunda RAMS yönetimini etkileyen faktörler

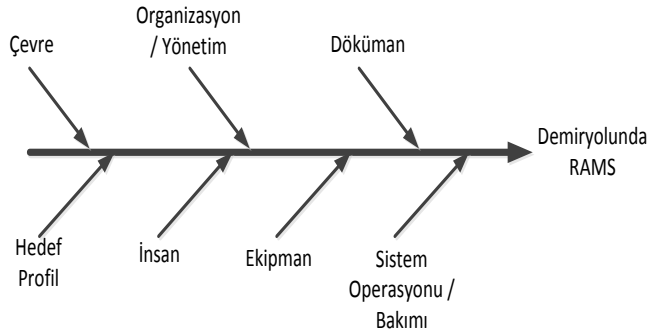
RAMS yönetimini etkileyen faktörleri üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar sistem durumları, operasyon durumları ve bakım durumlarıdır. Ayrıntılı olarak bu faktörler Şekil 3.3'te gösterilmektedir. RAMS yönetimini ektileyen faktörler belirlenirken öncelikle sistemin ihtiyaçları belirlenmelidir. Bu ihtiyaçların etkileri değerlendirilmeli ve etkilerin nedenleri sistemin hayat döngüsü boyunca sistemi optimize edecek şekilde kontrol edilmelidir (BS EN 50126-1, 1999).

Demiryolu sistemelerinde genel olarak insan temelli sistemlerdir. Hem sistemin kurulması hem de yolcuların güvenliği birçok yönden insan etkisini ortaya koymaktadır. Demiryolu sisteminde hata analizi yapıldığında, sistemi kuran kişilerin o anki durumları, psikolojik ve sosyolojik durumları demiryolu sistemini etkileyebilir ve hata olasığı hesabını değiştirebilir. Yolcular tarafından kötü kullanılan bir demiryolu sistemi, hata hesabı yapıldığında güvenlik seviyesini değiştirebilir. Tüm bunlar göz önüne alındığında RAMS yönetemi değişik sonuçlar doğurabilmektedir.

Hemzemin geçit sistemi düşünüldüğünde herhangi bir karayolu aracı kullanan bir kişi hemzemin geçit bölgesindeki kurallara uymadığı takdirde olası bir kazaya sebebiyet verebilir. Bu durumda hem kendi canı ve malını tehlikeye atar hem de demiryolunda bulunan bileşenler ile trende bulunan kişiler için tehlike oluşturabilir. Burada yapılması gereken insan kaynaklı faktörleri minimize etmek, mümkünse bu hata oranını sıfıra çekmektir.

Olası etkilerin her bir değerlendirilmesi diğer faktörleri etkileyip etkilemediği de demiryolu sisteminde hata hesabı yapılırken göz önüne alınmalıdır.

RAMS yönetimini etkileyen faktörlerin türetilmiş hali Şekil 3.2'deki diyagram şeklinde ifade edilebilir. Burada tavsiye edilen bu faktörleri sebep-sonuç ilişkisi içinde ele almaktır (BS EN 50126-1, 1999).

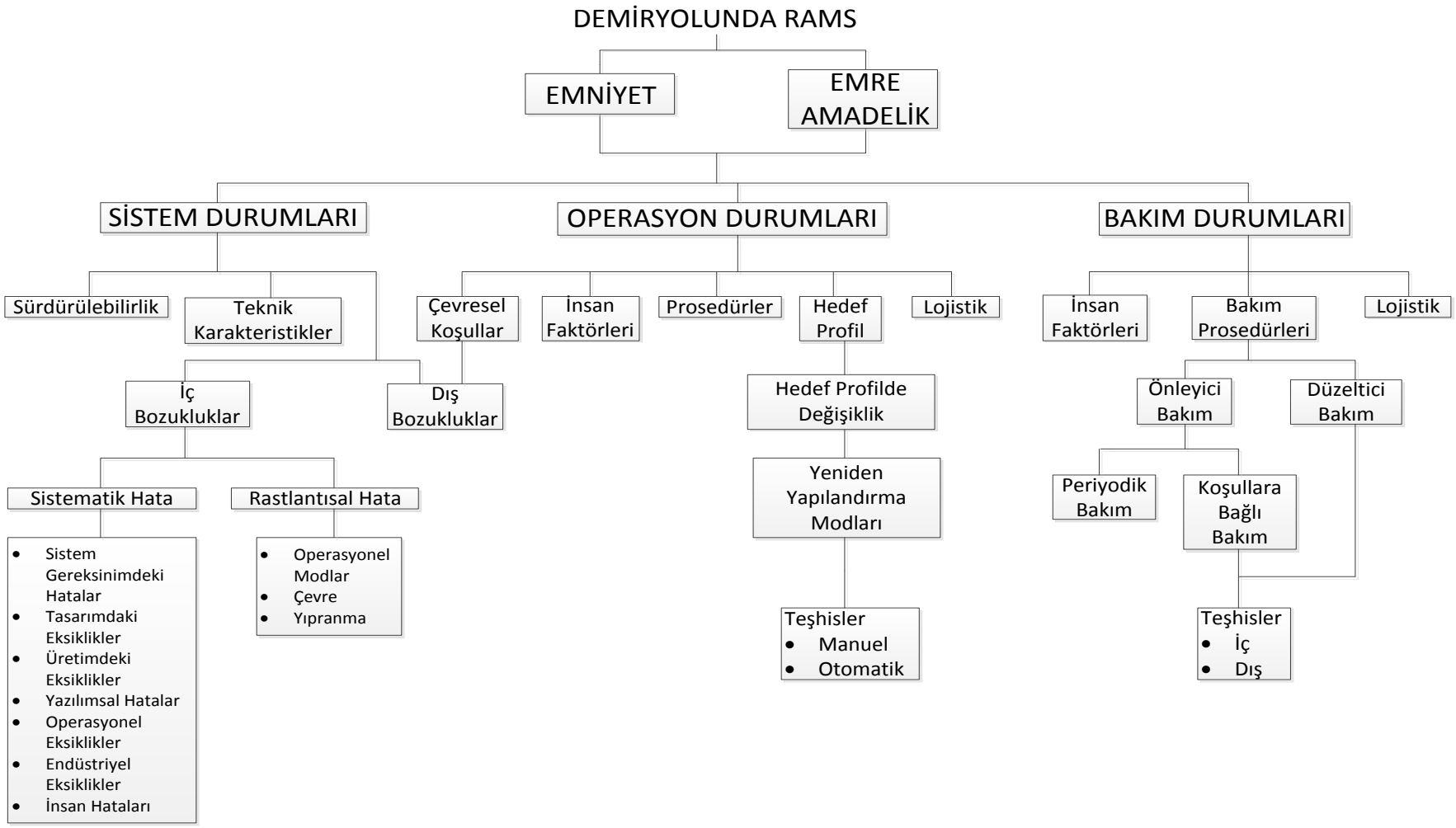


Şekil 3.2 : Demiryolu RAMS yönetimine ilişkin sebep – sonuç örnek diyagramı.

3.4 Raylı Ulaşım Sistemlerinde RAMS Yönetimi

3.4.1 Genel

Raylı ulaşım sistemleri tasarımı yapılırken Avrupa Standartları tanımına göre bir yönetim süreci sistem yaşam döngüsü içinde olmalıdır. Bu yaşam döngüsü demiryolu uygulamalarında belirtilen RAMS faktörlerinin kontrolünü sağlayacak şekilde tasarım yapılmalıdır. RAMS faktörleri tasarımında öncelikle RAMS gereksinimleri tanımlanmalı, RAMS kriterlerini tehdit eden faktörler kontrol edilmeli ve değerlendirilmeli, RAMS görevlerinin uygulamasının ve planlamasının yapılması, RAMS gereksinimlerine ilişkin uygun başarının sağlanması ve sistem yaşam döngüsü boyunca sistem uyumunun izlenebilmesi gereklidir. Demiryolunda RAMS yönetimini etkileyen faktörler Şekil 3.3'deki gibi ifade edilebilir (BS EN 50126-1, 1999).



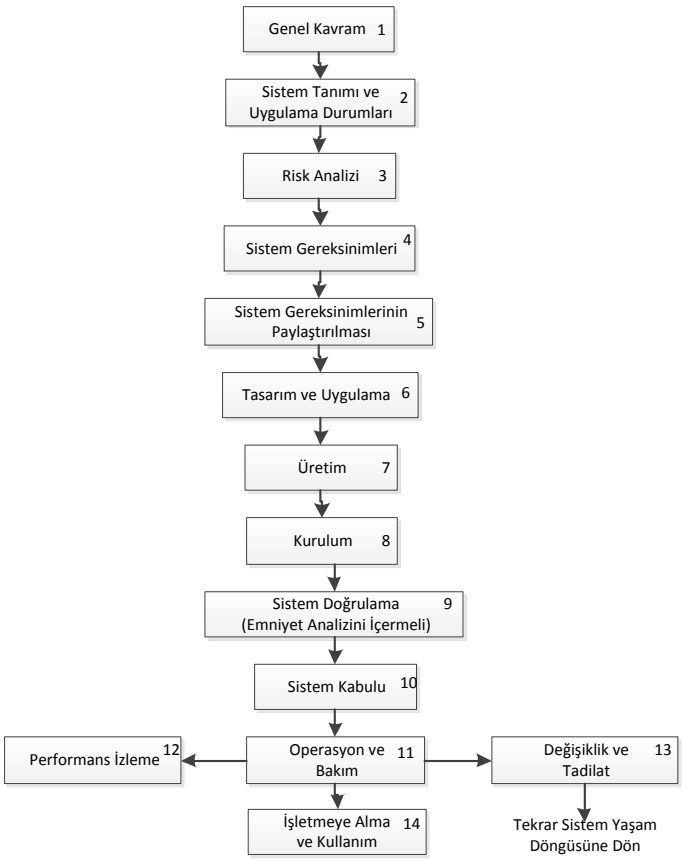
Şekil 3.3 : Demiryolunda RAMS yönetimini etkileyen faktörler.

Demiryolu sistemlerinde RAMS Avrupa Standartlarını referans alsa da tüm demiryolu sistemlerinin çoğu bakış açılarından birine göre de tasarım yapılabilir. Buradaki amaç tüm demiryolu sistemine ilişkin RAMS yönetimini sistematik bir şekilde süreç içerisinde görebilmek ve her bir sistem elemanını gözleyebilmeyi sağlamaktır (BS EN 50126-1, 1999).

3.4.2 Sistem yaşam döngüsü

Sistem yaşam döngüsü, herhangi bir sistemin oluşması için o sisteme ilişkin ilerleme fazlarları, her bir içeriğin görevlerini, bir sistem içindeki toplam yaşam döngüsünü içeren bir tasarım aşamasıdır. Sistem yaşam döngüsü, sistemin planlanması, yönetimi, kontrolü ve bir sistemin tüm yönleri ile izlenmesini sağlayan yapıdır. Bu yapı oluşturulurken RAMS yapısına göre tasarım yapılır (BS EN 50126-1, 1999).

Raylı ulaşım sistemlerine ilişkin sistem yaşam döngüsü Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Burada bir sisteme ilişkin genel proje ekipmanlarına ilişkin görevler, RAMS yapısına göre oluşturulmuştur.



Şekil 3.4 : Sistem yaşam döngüsü (BS EN 50126-1, 1999).

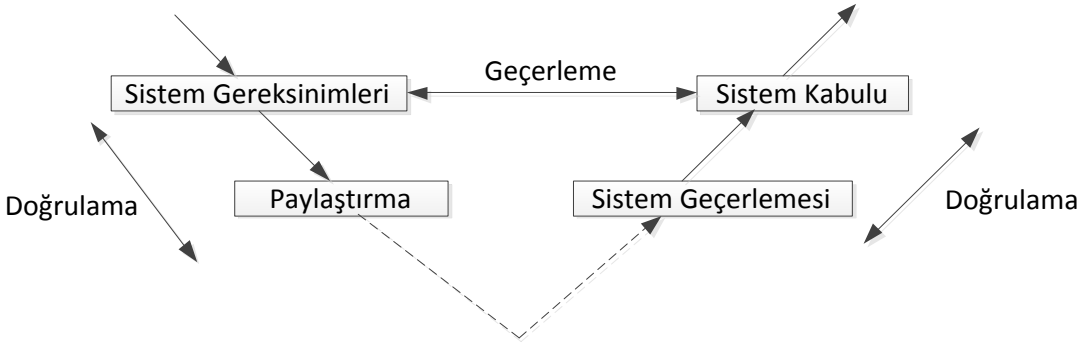
3.4.3 “V” model

Endüstri alanında yaygın olarak kullanılan sistem yaşam döngüsü “V” model olarak adlandırılmaktadır (BS EN 50126-1, 1999). “V” model Şekil 3.6’da açık bir şekilde gösterilmiştir. “V” model ile bir sistem için olması gereken tüm adımlar açıkca ifade edilmektedir. Burada emniyet kritik bir sistem için genel kavramların belirlenmesinden sonraki tüm adımlar detaylı bir şekilde ifade edilmektedir. Sistem tanımları ve uygulama adımları belirlendikten sonra sistem için gerekli olan risk analizi yapılabilmektedir. Risk analizi adımında sistemin hangi risk analizi uygulanarak yapılacağı tercih edilir. Buradaki kriter sistemin hangi tehlikeler için hata veya hatalar listesi oluşturulup ona göre analiz yönteminin seçilmesi planlanır. Risk analizi başarılı bir şekilde yapıldıktan sonra sistem gereksinimleri belirlenir. Donanımsal ve yazılımsal ürünler için uygun risk kriterine göre tercih yapılır. Bunun sonucunda tüm sistemin güvenlikli bir şekilde oluşması amaçlanır. Sonraki adımlarda bu adımların sonuçlarına göre belirlenir. Tasarlanan sistem için uygun bir yöntem ile işletmeye alma ve kurulum aşamasına geçilir.

“V” modelin sol tarafı sistemin genel kavramından sistemin üretim kısmına kadar olan yer genel olarak emniyet kritik bir sistem tarafından geliştirilecek kısım olarak adlandırılır. Burada sistem komponentlerinin üretimi ve sürecin sonlandığı şekil ifade edilmeye çalışılır. “V” modelin sağ kısmı sistemin üretim kısmından sistemin işletmeye alma ve kullanım kısmına kadar olan yer ise montaj, kurulum, kazanç gibi tüm sistemi ifade eden şekliyle ifade edilir.

“V” model oluşturulduğunda sistem için doğrulama ve geçerleme adımları önemli yer oynamaktadır. Doğrulama ve geçerleme adımları Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Doğrulama ve geçerleme adımları “V” modelin yaşam göngüsünün bir parçası olarak kabul edilir. Doğrulamanın (verification) amacı ilgili faz ile ilgili tüm gereksinimlerin her bir faz ile ilişkisini incelemektir. Geçerlemenin amacı (validation) amacı sistem göz önüne alındığında, sistem kurulduktan sonra, sistem gelişmesinin her bir adımında sistemin tüm açılardan gereksinimlerinin ilişkisini sağlamaktır. BS EN 50126-1-1999 standardına göre doğrulamanın görevleri sistemin her bir yaşam döngüsü fazını içerecek şekilde belirlenmelidir. Doğrulama ve geçerleme adımlarının yapılabilmesi için hatada güvenli sistemi tasarlayan kişi tarafından değil sistem tasarımı yapmamış kişi tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durumda sisteme ilişkin güvenlik açığı gibi durumlar farklı bir

kişi tarafından gözlemlenmiş olmakta ve sisteme ilişkin hatalar ortaya konulabilmektedir.



Şekil 3.5 : Doğrulama (verification) ve geçerleme (validation).

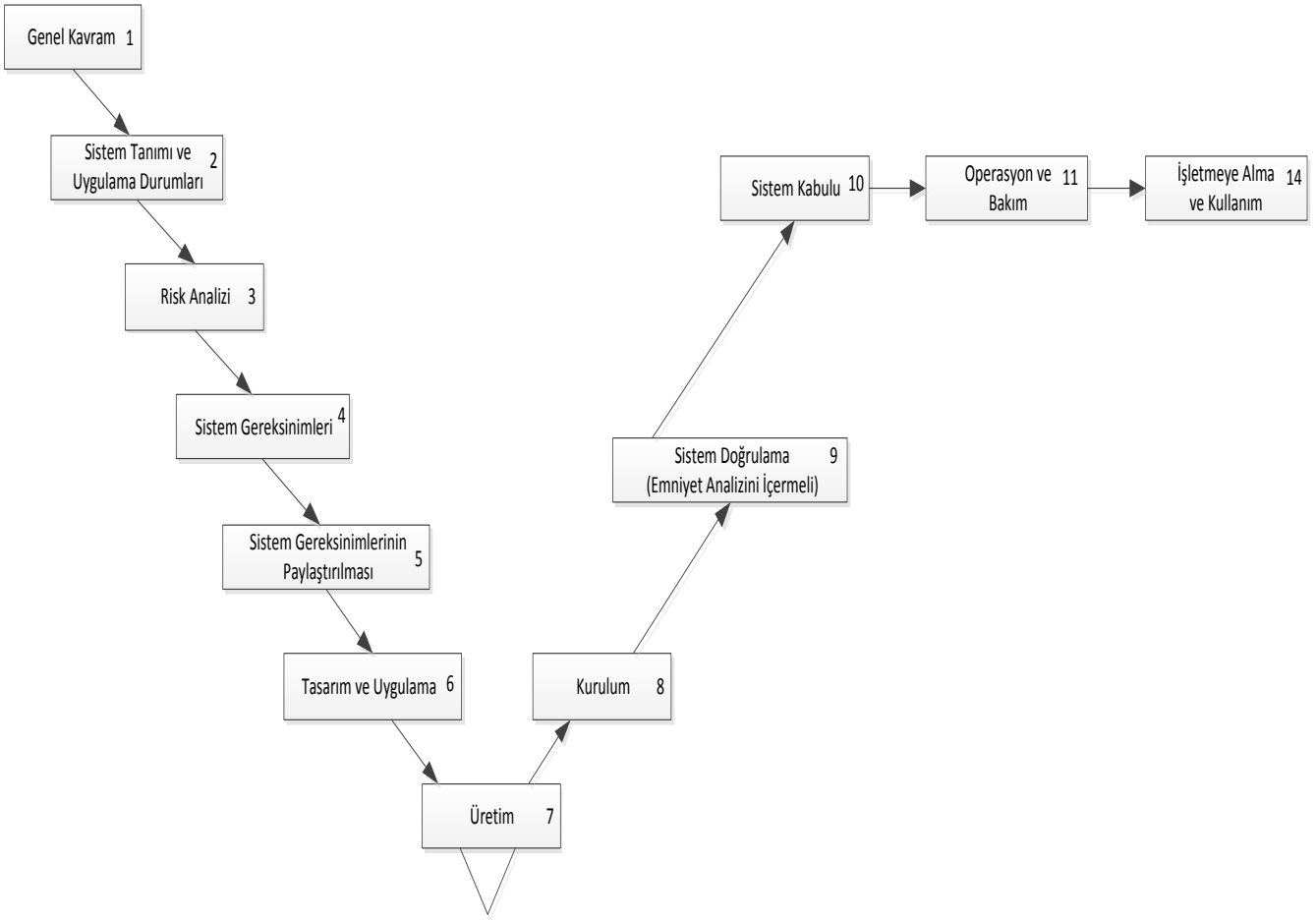
3.5 Risk Analizi Teknikleri ve Metodları

Risk analizi yapmak için birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden pratik ve kullanışlı olan bir kaçı tanımlanacaktır. Risk analizi yöntemleri seçilirken yöntemlerin sistem tanımı, tehlike durumu ve tehlike hata oranı (THR) göz önüne alınarak uygun yöntemin tercih edilmesi gerekmektedir. Her bir yöntemin uygulama durumuna göre farklı tercih sebepleri oluşmaktadır. Risk analiz yöntemleri Avrupa Standartları baz alınarak tanımlanmakta ve tasarım amacı bu standart göz önüne alınarak oluşturulmaktadır.

3.5.1 Hızlı sıralama analizi (rapid ranking analysis)

Hızlı sıralama analizi risk önem sırasına göre oluşturulan, tehlikelerin belirlenmesini sağlayan bir tekniktir. Bu yöntem risk değerlendirilmesinde en önemli tehlikelere odaklanır. Çizelge 3.6'da örnek tehlike durumları ve bunların puanlaması verilmiştir. Tablodaki en yüksek puan, tehlikenin giderilmesi için en önemli risk olarak değerlendirilebilir (BS EN 50126-2, 1999).

Hızlı sıralama analizi tekniği oluşturulurken emniyet kritik sistem için oluşturulan tehlike durumlarının tanımlaması yapılmalıdır. Tehlike durumunun hangi sıklıkta oluştuğu kayıt altına alınmalıdır. Hızlı sıralama analizi tekniği kullanılırken, kullanımı kolay olmalı, risklere odaklanmalı, riskler tanımlanmalı ve döküman olarak oluşturulmalı, yapısal olmalıdır.



Şekil 3.6 : 'V' model.

Çizelge 3.6 : Tehlike derecelendirme matrisi örneği.

	Potansiyel Zararın Şiddeti				
Sıklık	Çoklu Ölümcül Hata	Tekli Ölümcül Hata	Çoklu Büyük Yaralanmalar	Büyük Yaralanma	Küçük Yaralanma
	5	4	3	2	1
5=Ayda Bir Gün	10	9	8	7	6
4=Yılda Bir Ay	9	8	7	6	5
3= 10 Yılda Bir Kez	8	7	6	5	4
2= 100 Yılda 10 Kez	7	6	5	4	3
1= 100 Yılda Çok Az	6	5	4	3	2

Hızlı sıralama analizi yöntemi tablosundan tanımlanabilmesi için sisteme ilişkin risk hesabı yapılmalı ve risk seviyesi belirlenmelidir. Tüm bu değerlerin niteliksek ve niceliksel tanımlamaları oluşturulduğunda hızlı sıralama analizi için tehlike derecelendirme matrisi oluşturulmuş olmaktadır.

Hızlı sıralama analizindeki risk durumları göz önüne alınırken yüksek emniyet seviyesi gerektiren nükleer enerji santralleri veya demiryolu sistemleri gibi büyük sistemlerde uygulamak kolay değildir (BS EN 50126-2, 1999).

3.5.2 Farzetme analiz yapısı (structured what-if analysis)

Farzetme analiz yapısı emniyet kritik sistemlerin risk analizinin şekillenmesinde olası hata senaryolarının tahminini ve hataların önsezi durumunu oluşturur. Bu analiz yapısı tercihen analiz kısmında oluşan bir önceki uyumsuz durumların giderilmesinde kullanılmaktadır. Buradaki herhangi bir tehlike davranışı durumu tanımlanır. Analiz; normal durumlardaki olaylarının ve sapmaların analizini, risklere karşı önleyici yaklaşımların yapılması, olası önlemlerin alınması şeklinde prensiplere sahip olmalıdır. Analiz; anlaması kolay olmalı, esnek ve yapılandırılmamış olmalıdır (BS EN 50126-2, 1999).

3.5.3 Tehlike ve işlerliği çalışmaları (hazard and operability studies[HAZOP])

HAZOP çalışması kimya endüstrisindeki risk tanımlamasının yapılabilmesi için oluşturulmuş bir yapıdır. Kimyasal süreçlerde ortaya çıkabilecek muhtemel risklerin

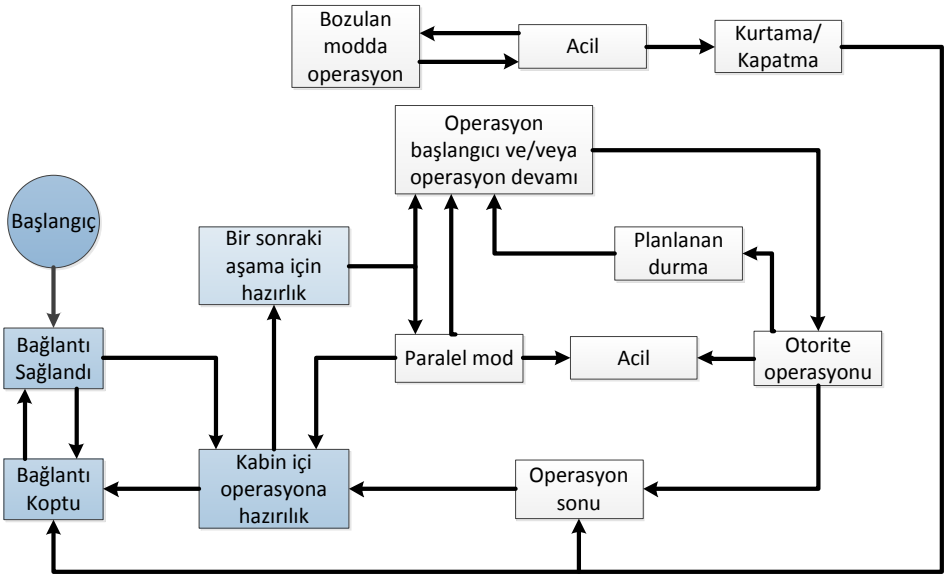
ve süreç içindeki değişikliklerin ortaya çıkabileceği süreçler ve riskler belirlenir. HAZOP çalışması oluşturulurken aşağıdaki adımlar takip edilir:

- Maksat: Beklenen fonksiyonel davranış
- Ayrışmalar: İstenilen fonksiyonel davranışlarından olası hatalarınbaşlanması
- Sebepler: Her bir hatanın meydana geldiği sebepler belirtilmeli
- Sonuçlar: Hataların sonucu
- Tehlike: Sonuçlar, muhtemel zararların sebebi, yaralanma veya kayıp
- Ölçümler: Muhtemel tehlikeleri azaltmak (BS EN 50126-2, 1999)

HAZOP sürecinin yönetilebilmesi için bilgi girişlerinin iyi olması, sistemin ve sürecin dökümasyonunun iyi yapılmasına ihtiyaç vardır. Hazırlanması halinde, bu durum risklerin bulunmasında etkili olmaktadır. Ancak, HAZOP yöntemi sıkıcı olabilirve çok zaman alabilir. Ayrıca, HAZOP yöntemi niteliksel bir yöntemdir.

3.5.4 Durum geçiş diyagramları

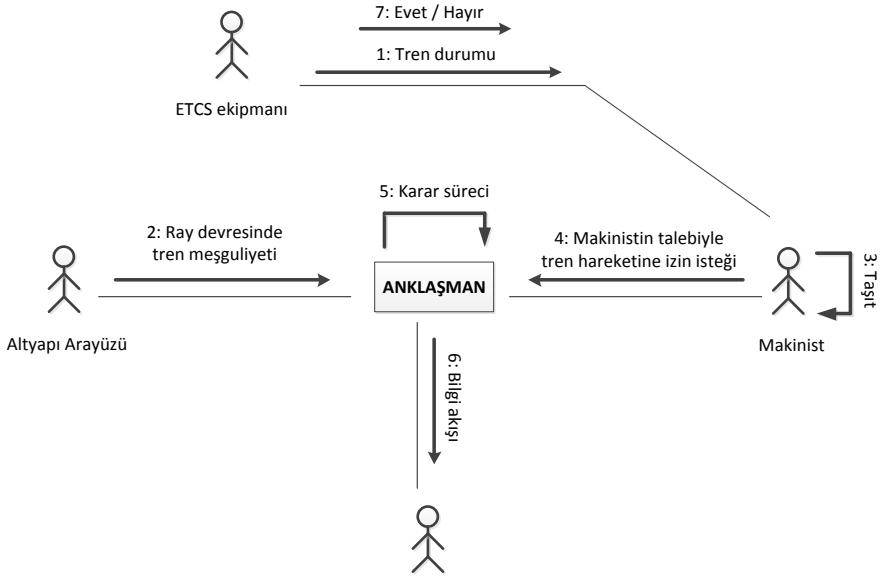
Diyagram şeklinde durum diyagramlarını görselleştirme sistem karakteristik durumlarına veya durumların çalışma şartlarına bakılarak hızlı bir şekilde sistemi algılamayı sağlar. Sistemler arasındaki durumlar analiz edildiğinde olayların nasıl ortaya çıktığını, birbirleriyle olan ilişkilerine dair bilgi edinilmesini sağlar. Durum geçiş diyagramları, bir sistem durumundan diğer sistem durumu arasındaki bağlamı, tamamlanmayan bağlamı veya uzak olan bağlamı ifade eder. Grafiksel gösterimde sistemdeki uzak durum ile yakın durum arasındaki tüm ilişki bağlantısı hesaba katılarak sistemin algılanmasını sağlar (BS EN 50126-2, 1999). Bir durum geçiş diyagramı örneği Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Durum geçiş diyagramı örneği.

3.5.5 Mesaj dizisi diyagramları

Bir mesaj dizisi diyagramı olay ağacı analizindeki bir yolu ele alır. Bir olay bulunduğunda ve herhangi bir hata analizi yapıldıktan sonra belirlenen parçaların durumunu belirten, durumu mesaj olarak ifade eden durumlardır. Diyagramlar haberleşmelerde ve bilgi alışveriş kanallarında kronolojik bir sıra ile belirtilir. Bunun yanında süreç aşamasında veya sistem parçalarında bulunan hataları aksiyonlarını, reaksiyonlarını ve oluşan cevapları belirtir (BS EN 50126-2, 1999). Örnek bir mesaj dizisi örneği Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Mesaj dizisi diyagramı örneği.

3.5.6 Hata modu ve etkileri analizi (failure mode and effects analysis [FMEA])

Hata modu ve etkileri analizi sistem analizi yapmak için sistematik bir yöntemdir. Bu analiz yönteminde potansiyel tehlike durumları, bunların sonuçları ve etkilerinin sistem üzerindeki performansları tanımlanır. Hata modu ve etkileri analizinin başarıya ulaşması için sistemin geliştirilme aşamasında sistemde belirtilen hatanın azaltılması veya hatanın tamamen yok edilmesi en etkili yöntemdir. Analiz başlangıcında, hatanın etkileri analiz edildiğinde hatanın etkisini gösteren blok diyagramları ve hatanın etkileri açık bir şekilde ifade edilmelidir. Hata modu ve etkileri analizinde tasarım yapılırken FMEA tablosu güncellenerek yeni FMEA tablosu oluşturulur. Sistem için en etkili ve kullanışlı FMEA tablosu kullanılır.

Hata modu ve etkileri analizi yöntemi sistemin uzmanı olan bir ekip tarafından yürütülmelidir. Bu ekip hataların farklı türlerini tanımlamalı ve bu hataların sonuçlarını ön görüp hesaplamalıdır.

Hata modu ve etkileri analizi yöntemi diğer birçok çalışma sahasında uygulanabilir. Örneğin süreç hata modu ve etkileri analizi yöntemi (Process Failure Mode and Effects Analysis [PFMEA]), hata modu ve etkileri analizi yönteminin endüstriyel alandaki bir üretim sürecinin ismidir. Karmaşık mühendislik tasarımlarında genellikle tasarım uzmanlığının birçok alanla katılımı gerekmektedir. Örneğin bir projede makine mühendisi, elektrik mühendisi, sistem mühendisi, yazılım mühendisi ve bakım destek birimi ortak bir şekilde çalışıp bu süreci yürütebilmektedir.

Hata modu ve etkileri analizi sistemdeki hata modlarının ve bu hata modlarının etkilerinin listelenmesini sağlar. Endüstride ve üretim tasarımında yaygın olarak kullanılan tekniktir. Hata modu ve etkileri analizi her bir uygulamada farklı bir çalışma sayfası tasarımına sahiptir. Hata modu ve etkileri analizi tablosu uygulama tipiyle beraber değiştirilebilir (EN 60812, 2006).

Hata modu ve etkileri analizi çıktıları dört başlık altında tanımlanabilir.

1) Hataların tanımlanması. Buradaki hatalar sistemdeki etkileri, sistem tarafından istenmeyen hatalar olmalıdır.
2) Müşterinin ihtiyaçlarının belirlenmesi.
3) Sistemin güvenilirliğini arttırmak.
4) Sistemin sürdürülebilirliğini geliştirmek.

Hata modu ve etkileri analizi çalışma kağıdı örneği Çizelge 3.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 : Hata modu ve etkileri analizi çalışma kağıdı örneği.

No	Hata	Etkiler	Bileşenler	Şiddet	Sıklık	Risk Seviyesi	İndirgeme Yöntemi	Şiddet	Sıklık	Risk Seviyesi
				İndirgeme Olmadan Risk Değerlendirmesi				İndirgenmiş Risk Değerlendirmesi		
1										
2										
3										

3.5.6.1 Hata modu

Hata modu ve etkileri analizi çalışma kağıdında hata sutunu bulunmaktadır. Bu sutunda ekip üyeleri tarafından olası tüm hata tipleri tanımlanmalıdır.

3.5.6.2 Bileşenler

Hata modu ve etkileri analizi çalışma kağıdında bileşenler sutunu bulunmaktadır. Bu sutunda hata modu ile ilişkili olan ekipman listesini içermelidir.

3.5.6.3 Hata etkileri

Hata sonuçları etki sutununda listelenir. Buradaki etkiler sistem operasyonu, sistem fonksiyonu veya sistem durumları olabilir.

3.5.6.4 Hatanın şiddeti

Hata modu ve etkileri analizi çalışma kağıdında her bir hata için sonuçların şiddet seviyeleri hata şiddeti sutununda tanımlanır.

3.5.6.5 Hatanın sıklığı

Hata modu ve etkileri analizi çalışma kağıdında her bir hata için sonuçların sıklık seviyeleri hata sıklığı sutununda tanımlanır.

3.5.6.6 Hatanın risk seviyesi

Risk seviyesi her bir hatanın şiddet ve sıklık değerlerinden üretilir.

3.5.6.7 Hata telafisi

Risk azaltma önlemleri sutununda, bazı önlemler hatanın risk seviyesini düşürmek için her nir hatada tanımlanabilir (EN 60812, 2006).

3.5.7 Olay ağacı analizi (event tree analysis [ETA])

Olay ağacı analizi genellikle hata olaylarının sonuçlarının analizinde kullanılır. Özellikle risk analizi aşamasında kullanılmaktadır. Olay ağacı analizi bir olay olduğunda ve olaylar birbirini tetiklediğinde onların olası sonuçlarının tahmininde ve kaza sonuçlarının analizinde kullanılır. Böylece olay sıklığı ve muhtemel kaza sonucu oranını hesaplanabilmektedir (BS EN 50126-2, 1999).

Olay ağacı analizi oluşturulurken beş ana başlığa göre sistem analizi tasarımı yapılabilir.

1) Öncelikle ana olay tanımlanır.
2) Kontrol aşamaları tanımlanır. Bunlar ana olayın üstesinden gelebilecek aşamalar olmalıdır. Örneğin otomatik emniyet sistemi, sistemdeki alarmlar gibi aşamalar olabilir.
3) Olay ağacı yapısı oluşturulur. Yapıda ağacın başlangıç kısmı ana olay ve emniyet fonksiyonlarının aşamaları ile birbiriyle olan ilişkileri arasındaki bağlantı olacak şekilde oluşturulur.
4) Tüm kaza dizisi ağaç yapısında kurulur.
5) Ele alınması gereken kritik hatalar tanımlanır.

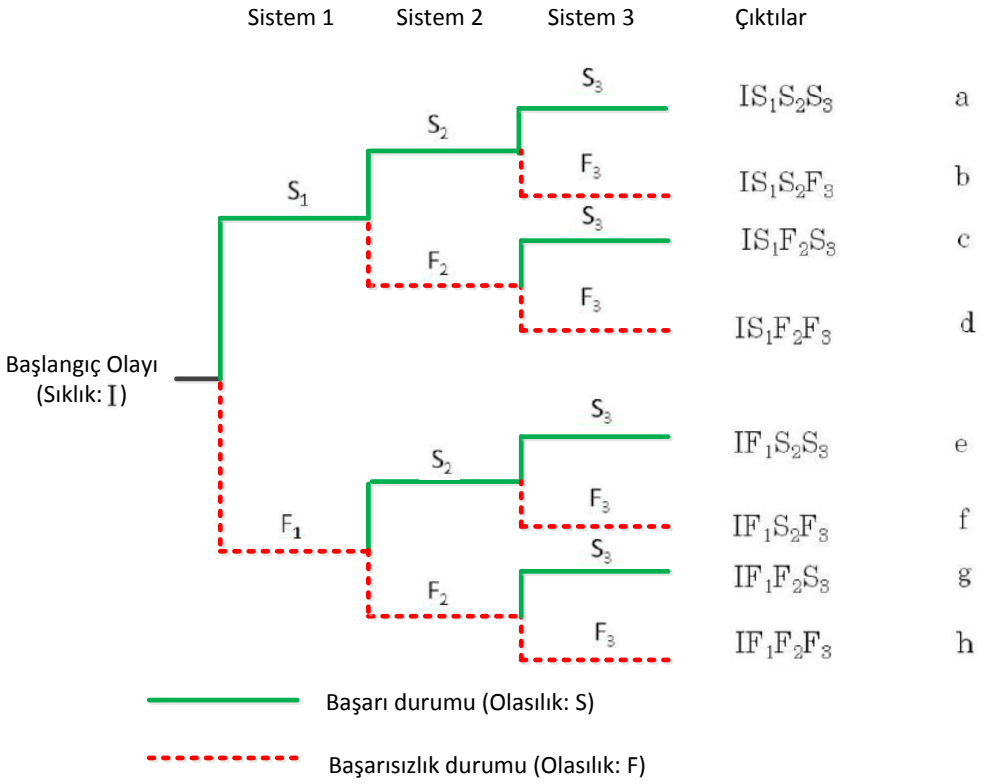
Olay ağacı analizi oluşturulurken grafiksel yapı lojik kapılar ile oluşturulur. Burada iki seçenek olarak tanımlanabilir. Bunlar başarılı / başarısız, evet / hayır, on/off şeklindeki tanımlamalardır. Olay ağacı analizinin sol tarafındaki kısım başlangıç olayını gösterirken, sağ tarafındaki kısım ilerleme aşamalarını göstermekte ve sistemin dallanma aşamalarını göstermektedir. Her bir dallanma noktası bir düğüm olarak adlandırılır. Basit olay ağacı yapısı sistem seviyesini ve sistemin detaylanmasını gösterir. Olay ağacı analizi, grafiksel olarak Şekil 3.9'da örneklendirilmiştir (Url-4).

Olay ağacı analizi oluşturulduktan sonra ağaç yapısında çıktıların olasılıksal olarak hesabının yapılması gerekmektedir. Şekil 3.11'deki çıktılara bakıldığında a'dan h'ye

kadar olan senaryodaki başarılı senaryo göz önüne alındığında tüm olasılık hesabı I x S_1 x S_2 x S_3 şeklinde bulunur.

Başarılı / Başarısız olasılık çiftindeki her bir olasılıksal dallanmadaki toplamı 1 olmalıdır. Örneğin $S_1 + F_1 = 1$ gibi.

Tüm olası senaryoda bulunan çıktıların sıklığı toplamı, başlangıçta tanımlanana başlangıç olayının sıklığına eşit olmalıdır. Örnek gösterim Şekil 3.10'da gösterilmiştir (Url-4).



Şekil 3.9 : Örnek olay ağacı yapısı (Url-4).

3.5.8 Hata ağacı analizi (fault tree analysis [FTA])

Hata ağacı analizi sistemin etkileşimini gösteren yaygın bir yöntemdir. Hata ağacı analizi niteliksel olarak her bir sistem ve rastgele oluşan hatalar için kullanılabilir. Hata ağacı analizi hatayı niceliksel olarak hesaba katar ve ortaya çıkan veya indirgenen yeni hata olaylarının niceliksel değerlerini bulmak amacıyla analizini yapar. Yapılan niteliksel ve niceliksel tanımlamalar FMEA analizinde belirtilerek sistematik bir şekilde hata analizi yapılmış olur (BS EN 50126-2, 1999).

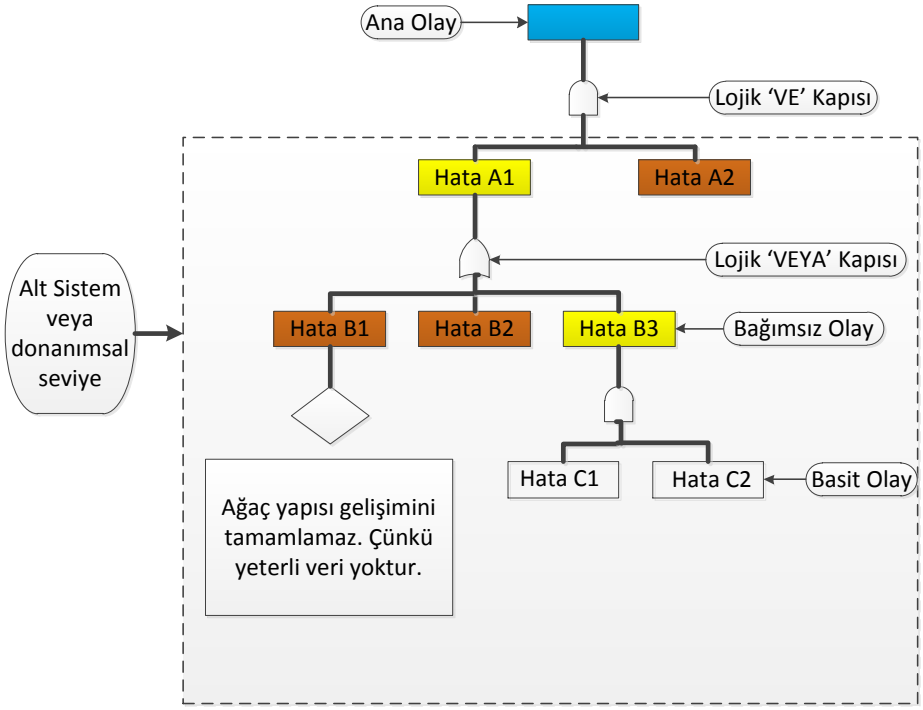
Hata ağacı analizi, alt sistemde bulunan hataların, bileşenlerin ve diğer koşulların birbiri ile olan lojik ilişkisi sonucu oluşan bir yöntemdir. Lojik ifadeler, hata ağacı

analizinde grafiksel olarak gösterildiğinde lojik kapılar ile ifade edilir (BS EN 50126-2, 1999). Hata ağacı analizinde kullanılan lojik kapılar Çizelge 3.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8 : Hata ağacı analizinde kullanılan lojik kapılar.

Sembol Gösterimi	Sembol İsmi
	Ana olay veya ara olay
	Temel olay
	Tanımlanmamış olay
	VE kapısı
	VEYA kapısı

Hata ağacı analizine ilişkin grafiksel olarak örneği Şekil 3.10'da detaylı olarak gösterilmektedir (BS EN 50126-2, 1999).



Şekil 3.10 : Hata ağacı analizi örneği (BS EN 50126-2, 1999).

Sistem tanımlanırken en üst kısma en genel tehlike durumu yazılmalıdır. Tüm olası tehlike durumları hata olarak aşağıya doğru dallandırılmalıdır. Alt sistemler birbiri ile olan ilişkileri lojik kapılar ile desteklenmelidir.

3.5.9 Güvenlik bütünlük seviyesi (safety integrity level [SIL])

3.5.9.1 Genel

Güvenlik bütünlük seviyesi demiryolu sistemleri için önemli bir güvenlik adımını oluşturur. SIL seviyesi hesabına göre fonksiyonel birimlerin hata yapma ihtimalleri detaylı bir şekilde hesaplanabilir. Tek tek birimlerden alınan hesaplar ile tüm sistem için gerekli olan hesaplar aynı çatı altında toplanarak sistemin güvenlik bütünlük seviyesi bulunur. Bulunan SIL seviyesine göre de işletmeci kuruluşun sistemin ne zaman hata yapabileceği ihtimali sonuç olarak çıkacaktır.

Güvenlik bütünlük seviyesi Avrupa fonksiyonel emniyet standardı IEC 61508 standardını temel alır. IEC 61508 standardı 4 tane SIL seviyesi tanımlamıştır. SIL 1 en düşük seviye, SIL 4 ise en yüksek güvenlik seviyesi olarak belirtilmiştir. SIL 0 ise hiçbir güvenlik gereksinimini gerektirmiyor anlamına gelmektedir.

Demiryolu ulaşım sistemlerinde her bir demiryolu ekipmanı için tolere edilebilir tehlike oranları (the tolerable hazard rates (THR)) emniyet analiz hedeflerinde belirlenmiştir. Sistemin güvenlik seviyesine göre ekipman tercih edilip, tüm sistem SIL seviyesine göre belirlenen güvenlik seviyesinde tutulmaktadır.

3.5.9.2 Emniyet isterleri

Sistem istereleri iki parça halinde tanımlanabilir:

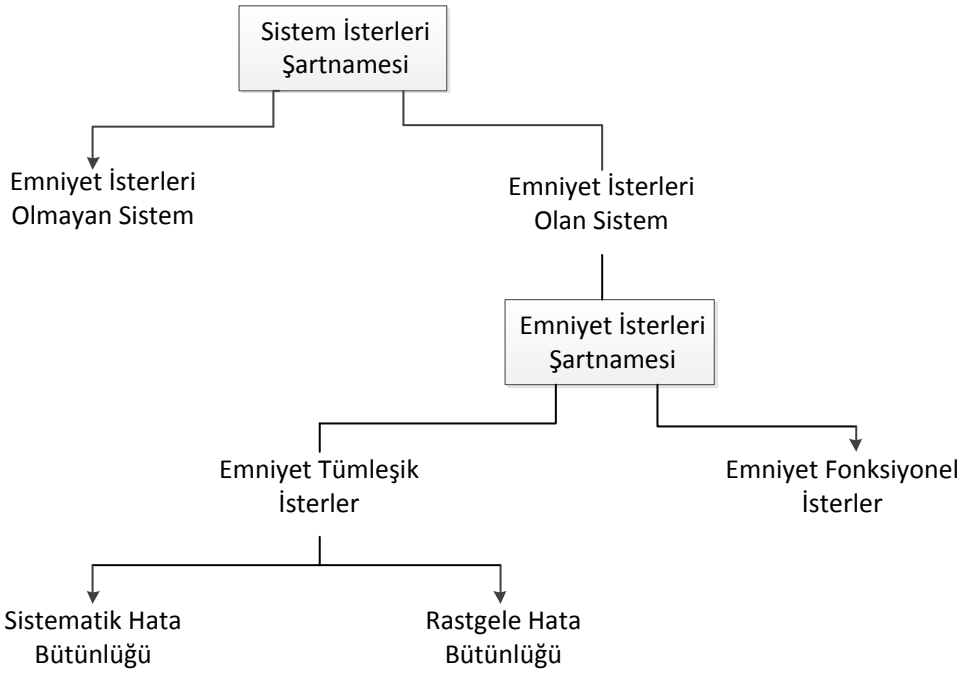
- Emniyet ile ilişkili olmayan isterler
- Emniyet ile ilişkili olan isterler

Emniyet ile ilişkili olan sistemler genelde emniyet gereksinimi olarak adlandırılır. Emniyet gereksinimleri de kendi içinde ikiye ayrılır:

    - Emniyet fonksiyonel isterler
    - Emniyet tümleşik isterler

Emniyet fonksiyonel isterleri sistem, alt sistem veya ekipmanların uygulandığı asıl emniyet ile ilişkili fonksiyonlardır.

Emniyet tümleşik isterleri her bir fonksiyonun emniyet tümleşik seviyesinin belirlenmesi için tanımlanan isterlerdir (BS EN 50129, 1999). Emniyet isterleri Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 : Emniyet isterleri.

3.5.9.3 Emniyet bütünlüğü

Emniyet bütünlüğü, emniyet ile ilişkili sistemlerin fonksiyonel isterlerinin istenen düzeyde olması ile ilişki bir yapıdır. SIL seviyesi yüksek olan sistemlerde emniyet bütünlüğü yüksek, SIL seviyesi düşük olan sistemlerde emniyet bütünlüğü düşük olarak kabul edilir.

Emniyet bütünlüğü Şekil 3.11'de de belirtildiği gibi sistematik hata bütünlüğü ve rastegele hata bütünlüğü adı altında iki kısmı içerir.

Sistematik hata bütünlüğü emniyet bütünlüğünün ölçülemeyen kısmı olarak tanımlanabilir. Ayrıca yazılımsal veya donanımsal tehlikeli sistematik hatalarla da ilişkili bir parametredir. Sistematik hatalar insan hatalarınından kaynaklanır. İnsan hataları sonucu da sistemin yaşam döngüsü içindeki çeşitli bölümler etkilenebilmektedir. Bunların içinde tanımlama, tasarım, üretim, kurulum, operasyon, bakım ve modifikasyon gibi hatalar sayılabilir (BS EN 50129, 1999).

Rastgele hata bütünlüğü rastgele hataların tehlike boyutu ile ilişkili emniyet bütünlük tanımının bir parçasıdır. Burada oluşan hatalar özellikle donanımsal hatalardan

kaynaklanmaktadır (BS EN 50129, 1999). Rastgele hata bütünlüğünün niceliksel olarak değerlendirilmesi olasılık hesaplanması yöntemleri kullanılarak belirtilir. Bunlar donanımsal komponentlerin hata oranları, hata modları ve donanım hatalarının rastgele meydana gelme durumlarını temel alarak bulunur (BS EN 50129, 1999).

3.5.9.4 Emniyet bütünlük isterlerinin paylaştırılması

Demiryolu sinyal sistemi ekipmaları için emniyet bütünlük isterlerinin belirlenmesi, sinyal sisteminin tasarımı ve çevresel etkilerinin sistem üzerindeki etkisi düşünülerek hesaplanır (BS EN 50129, 1999).

Bu yaklaşımın kalbi çevresel etkiler ile sinyal sisteminin arayüzlerinin çok iyi tanımlanması ile belirlenir. Bu arayüz bakış açısının emniyet noktası bir tehlike listesi tarafından belirlenir ve sistemin tolere edilebilir tehlike noktasını oluşturur. Bu yaklaşımın amacı üretici ve demiryolu yönetimi arasındaki sınırsız ortaklık anlamına gelmez. Ancak onlar açık bir şekilde kendi sorumluluk alanlarının farkında olurlar (BS EN 50129, 1999). Bu paylaşım yapısındaki süreçler aşağıdaki gibi tarif edilebilir:

- Aşağıdan yukarıya olan analizde tehlikelerin muhtemel sonuçlarının tanımlamaları ve ilişkili riskleri nedeni;
- Yukarıdan aşağıya olan analizde de tehlikelerin nedenleri tanımlanır.

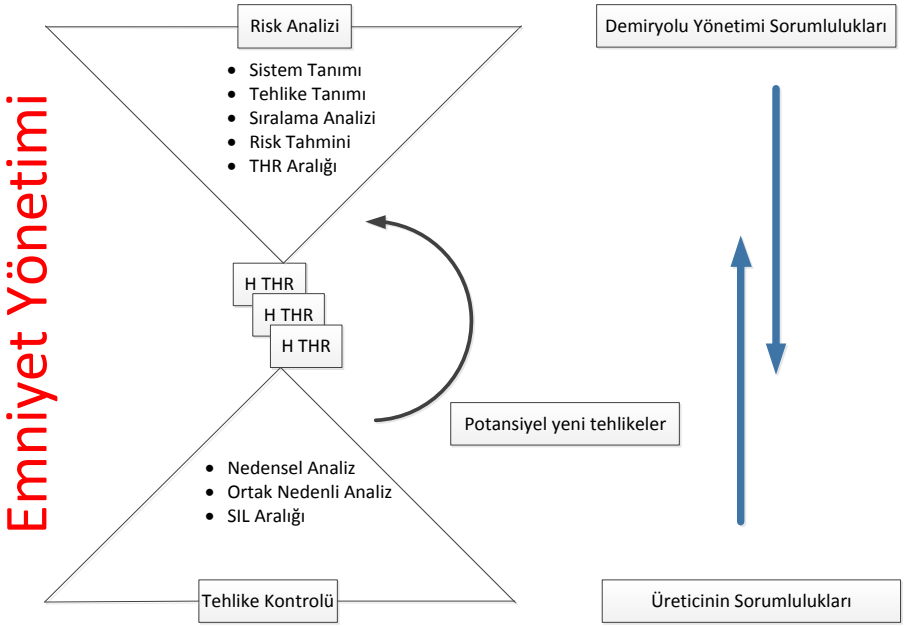
Global süreç, risk analizi ve tehlike kontrolünden oluşur. Şekil 3.12'de görülmektedir. Risk analizi tolere edilebilir tehlike kontrollerinin tehlike kontrolüne olan giriş değeri ile oluşur (BS EN 50129, 1999).

Sistematik ve rastgele hata bütünlüğü için THR önemli bir hedef ölçüm aşamasıdır. Rastgele hata bütünlüğü için muhtemel niceliksel değerler için kabul edilebilir değerler olacaktır. Niteliksel ölçümler ve hükümler içinde sistematik hata bütünlüğü tanımı için gerekli ve yeterli olacaktır (BS EN 50129, 1999).

3.5.9.5 Tehlike kontrolü

Tehlike kontrolü gerekli olan THR hesabının uygulanmasını yönetimini kapsayan bir güvenlik fonksiyonlar kümesidir (BS EN 50129, 1999). Eğer THR hesabı yapılamazsa, ya tedarikçi firma sistem önerisini demiryolu kurumuna sağlayacak ya

da demiryolu yönetimi bu yöntemi kendi belirleyecektir (BS EN 50129, 1999). Belirlenen sistem önerisine göre tedarikçi ilgili isterlerin oluşumu için demiryolu yönetimi ile birlikte çalışacaktır (BS EN 50129, 1999).

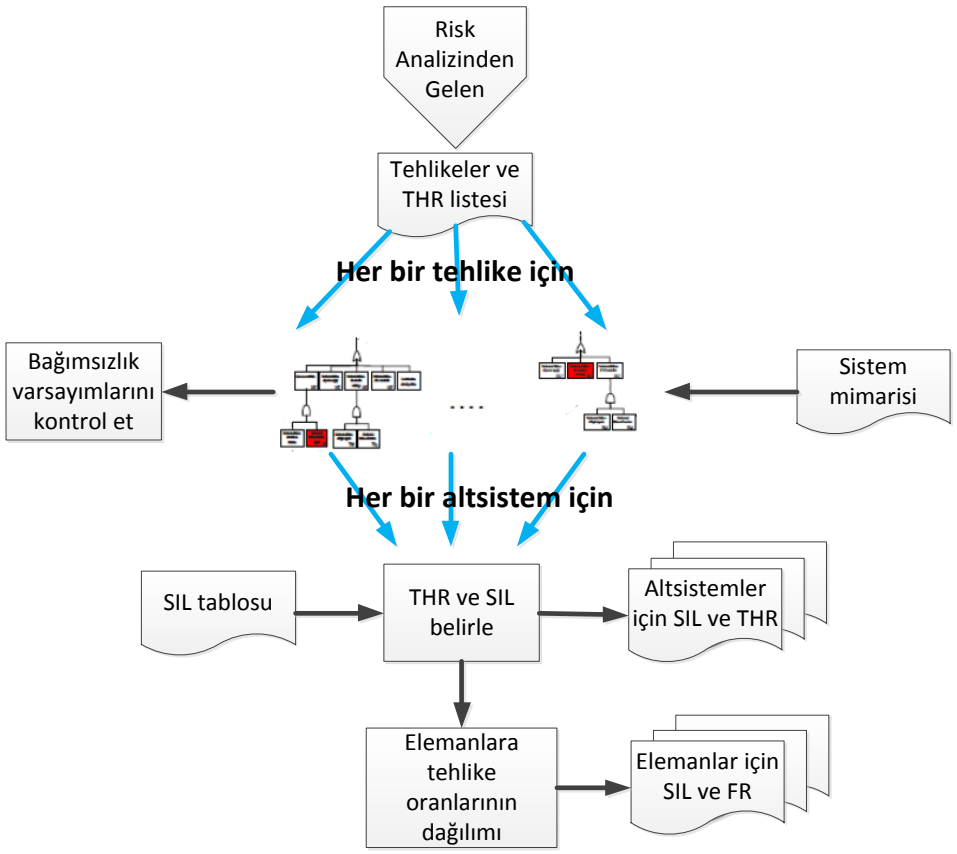


Şekil 3.12 : Global sürece genel bakış.

Tehlike kontrolü, nedensel analizin gerçekleştirilmesinden oluşur. Oluşum faaliyetleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Belirlenmemiş bir THR durumunda, tehlikelerin tanımlanması için sistem varsayımları ve sistem fonksiyonları belirlenir.
- Belirlenmiş bir THR durumunda, güvenlik gereksinimlerini karşılamak için sistem mimarisi tanımlanır ve sistem fonksiyonları mimari ile tahsis edilir.
- Alt sistemler için emniyet bütünlük isterleri tanımlanır.
- Güvenlik isterleri özellikleri tanımlanır.
- Sistem ve alt sistem tasarımında ortaya çıkan yeni potansiyel tehlikeleri, tasarımda ve doğrulama süreçlerinde belirlemek gerekmektedir. Bu durumda ya yeni potansiyel tehlikeler mevcut sistemin kapsamına alınır ya da sistem ve alt sistem dışında yeni potansiyel tehlikeler ekstra işlevsellik veya potansiyel tehlikeleri hafifletmeye gerektiren yöntem belirlenir. Tanımlanan potansiyel tehlikeler sonucu risk analizini yeniden yapılandırmak için yeni potansiyel tehlikeler risk analizinin onarımı noktasında kullanılır (BS EN 50129, 1999).

Tehlike kontrolü süreci Şekil 3.13'de ayrıntılı olarak gözükmektedir.



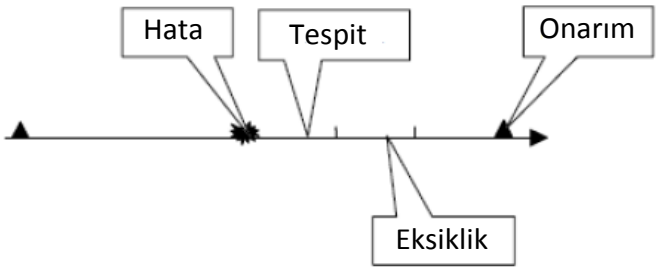
Şekil 3.13 : Tehlike kontrolü süreci örneği.

3.5.9.6 Ortak nedenli arıza

Özellikle bakımın bağımsız bir şekilde kullanıldığında (VE kapıları ile) uygulanır. Fiziksel, fonksiyonel ve süreç olarak bu durum sağlanmalıdır. Bağımsızlık alt sistemlerin veya sistem fonksiyonlarının arasında vardır. Bağımsızlık tamamen gösterilemiyorsa o zaman ortak nedenli arıza ayrıntıların uygun bir düzeyde modellenmesi beklenir. Ayrıca emniyetle ilişkili uygulama kuralları acilen VE kapısı ile uygulanmalı ve kontrol edilmelidir.

Fiziksel bağımsızlık ile VE kapılarından rastgele etkilerle birlikte hata ağacı hesabı yapmak mutlak bir gerekliliktir. Böylece her durumda ortak nedenli arıza analizi için gerekli olan bağımsızlık gerçekleşmiş olur (BS EN 50129, 1999). Fiziksel bağımsızlık düşünülürken onarılacak parçalar ve onarım oranı belirlenmelidir. VE kapıları ile farklı onarım oranları açıkca ifade edilmelidir. Bunun için hata tespit edilmeli ve hatayı oluşturan eksiklikler tanımlanmalıdır. Parçanın onarımı ve tekrar sisteme entegrasyonu da göz önüne alınmalıdır. Emniyet hesabı yapıldığında genelde

hesapta yapılırken onarım ve geri yükleme süresi göz ardı edilir. Fiziksel bağımsızlık süreci Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



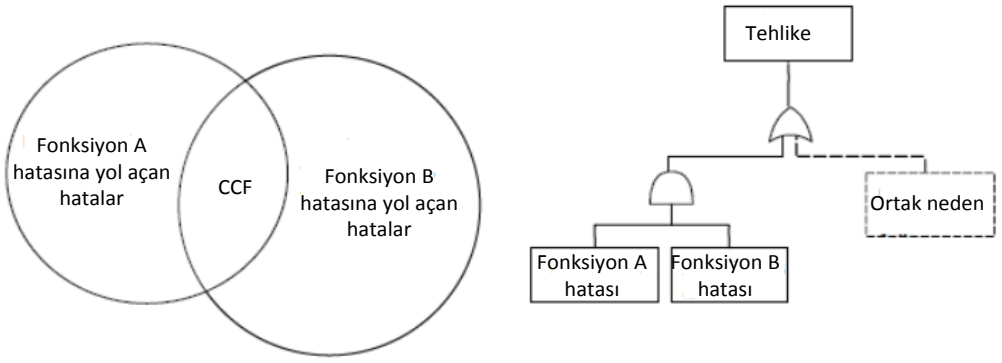
Şekil 3.14 : Fiziksel bağımsızlık süreci ve hatanın yorumlanması (BS EN 50129, 1999).

Birbirinden bağımsız iki tane parçanın VE kapısı ile basit formülü, tolere edilebilir tehlike oranı denklem 3.1'de görülmektedir.

$$THR_S \approx \frac{FR_A}{SDR_A} x \frac{FR_B}{SDR_B} x(SDR_A + SDR_B) \quad SDR_S \approx (SDR_A + SDR_B) \tag{3.1}$$

Burada THR, tolere edilebilir tehlike oranı; FR, potansiyel tehlike için hata oranı; SDR, emniyet durumundaki oran olarak ifade edilebilir (BS EN 50129, 1999).

Şekil 3.15'de ortak nedenli arızaya bir örnek gösterilmektedir. Bu örnekte A ve B iki sistem fonksiyonları olsun. FTA analizi ile sistem kurulduğunda A fonksiyonundaki hata ile B fonksiyonundaki hata birbirinden bağımsız iki hata oranı ile değerlendirilir. Bunların ortak hataları var ise bu ortak hata ortak nedenli arıza olmaktadır (BS EN 50129, 1999).



Şekil 3.15 : Ortak nedenli arıza örneği (BS EN 50129, 1999).

3.5.9.7 SIL ile emniyet hedefleri arasındaki ilişki

Sistemdeki emniyet kriterleri belirlenirken tolere edilebilir hatalar veya rastgele oluşan hataların her ikisindende oluşturulacak sistemin korunması gerekmektedir. Bu kriterler oluşturulurken oluşturulan sistemde varsayımlar hesaba katılır. Varsayımsal hesaplamalar neticesinde sistem için emniyet kriterleri belirlenir. Belirlenen kriterler ile sistem için optimum çözüm yolu bulunması amaçlanır. Optimum çözüm yoluna götürecek hesap şekli de sistemin SIL seviyesini belirlemek ve SIL hesap yöntemini kullanmaktır. SIL hesabı niceliksel hesap ile niteliksel hesabın sisteme entegrasyonu anlamı taşımaktadır. Fakat oluşan entegrasyonda sistematik hataları ölçmek mümkün değildir (BS EN 50129, 1999).

SIL tablosu, emniyet ile ilişkili fonksiyonlar için THR hesabı yapılarak gereken SIL seviyesini belirler. SIL tablosu Çizelge 3.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.9 : SIL tablosu.

Tolere Edilebilir Tehlike Oranı (THR) Her Saat ve Her Fonksiyon İçin	Güvenlik Bütünlük Seviyesi (SIL)
$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$	1

4. OTOMATİK YARIM BARİYERLİ HEMZEMİN GEÇİT SİSTEMİ UYGULAMASI

4.1 Giriş

Raylı ulaşım sistemlerinde bulunan hemzemin geçit modelleri otomatik kontrollü olabildiği gibi çeşitli alanlarda insan kontrollü hemzemin geçitlere de sahiptir. Otomatik hemzemin geçit modelleri olarak farklı örnekler bulunmasına karşın yaygın olarak yarım bariyerli ve tam bariyerli hemzemin geçit sistemleri mevcuttur. Ortam şartları, nufus yoğunluğu, demiryolu topolojisi gibi bir çok etken hemzemin geçitin tipini belirlemek için önemli bir faktör olmaktadır.

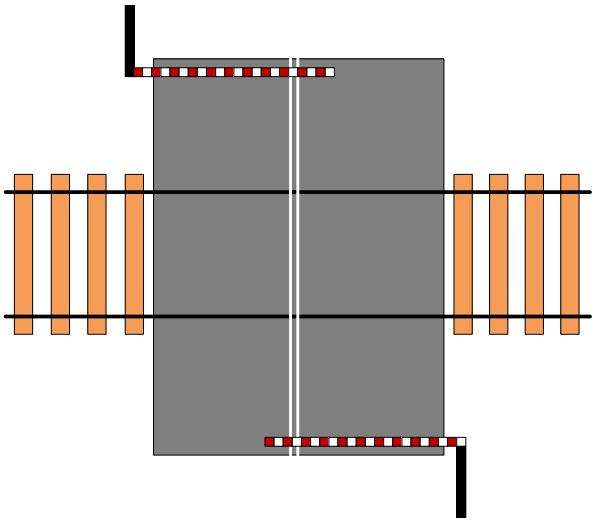
Her bir hemzemin geçit için öncelik trenlerde olduğu için genelde insan eksenli bir sürü trafik kazası olmaktadır. Bu durumda ister istemez can kaybına sebebiyet vermektedir. Her bir hemzemin geçit için alınan önlemler ve emniyet kriterleri çeşitli şekilde oluşmaktadır. Yazılımsal ve donanımsal olarak hemzemin geçit modeli tasarlandağında ekipmanların minimum hata yapacak şekilde tasarlanması ve demiryolu sistemine entegre edilmesi amaçlanmaktadır. Her ne şekilde olursa olsun sistem hatada kritik sistem olarak tanımlandığı için demiryolu boyunca hiçbir kaza olmama ihtimali göz önüne alınıp can kaybının önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminde öncelikle geçit sistemine ilişkin genel kavramlar belirlenmelidir. Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin genel kavram, tasarlanan hemzemin geçit modelini yapısını temel alarak risk hesabının minimum düzeyde olacak şekilde hesaplayıp SIL seviyesininde en yüksek seviyede olacak şekilde hesabının yapılması gerekmektedir. Tasarlanan hemzemin geçit modeli sonrasında sistem tanımı ve uygulama durumu göz önüne alınmalıdır. Sistem tanımı yapıldıktan sonra tasarlanan hemzemin geçide ilişkin risk analizi yapılmalıdır. Bu bölümde yapılan risk analizinde sistemin uygun bir SIL seviyesinde olmadığı zaman ne gibi önlemler alınıp SIL seviyesinin nasıl yükseltilmesi gerektiği belirtilmiştir. ‘V’ diyagramı temel alınarak oluşturulan hemzemin geçit sisteminde,

sisteme ilişkin geçerleme ve doğrulama adımları göz önüne alınarak sistemin ileriye dönük iyileştirme aşamalarının nasıl olması gerektiği tanımlanmış ve hemzemin geçit sistemi için oluşturulacak kemikleşmiş model tanımlanmıştır.

4.2 Hemzemin Geçit Sistemi

Raylı ulaşım sistemlerinde bulunan yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin örnek model Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

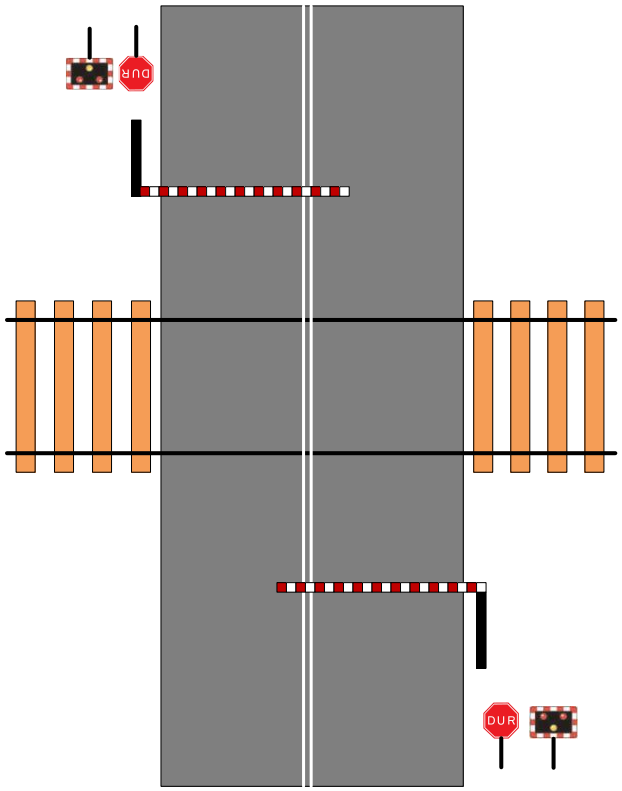


Şekil 4.1 : Yarım bariyerli hemzemin geçit.

Şekil 4.1'de belirtilen yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi hem otomatik hemzemin geçit kontrolünde hem de insan kontrollü hemzemin geçite örnek olarak düşünülebilir. Trafik kuralları gereği hemzemin geçit bölgesinde trenlerin diğer taşıtlara göre geçiş üstünlüğü bulunmaktadır.

Hemzemin geçit sisteminde bölgesinde farklı kurallara sahip iki değişik ulaştırma altyapısının kesişim noktası olması sebebiyle bu kesişim noktasında özellikle karayolu sürücüsünün trafik kurallarına, işaret ve işaretçilere uyması beklenmektedir. Demiryolu sisteminde bulunan tren ile karayolunda bulunan taşıtın fiziksel olarak özellikleri çok farklıdır. Trende fren yapma durumu bulunduğu koşul nedeniyle ray sisteminden dolayı çok uzun mesafeleri bulmakta iken, karayolu taşıtlarında bu mesafe daha az miktardadır. Fiziksel olarak hemzemin geçit noktasına aynı mesafede olan tren ile karayolu taşıtı frenleme yaptığında, karayolu taşıtı ani fren ile dururken aynı durumdaki tren çok daha uzun mesafe sonrasında durmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için hemzemin geçit bölgesinde bulunan ve karayolu taşıtlarını

ilgilendiren kısımlarda gerek dur işareti ile gerekse trenin geldiğini belli edecek şekilde çan ile uyarı mekanizması karayolu taşıtının bulunduğu yere konulabilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Yarım bariyerli hemzemin geçit bölgesi dur işareti ile çan ile uyarı sistemi.

Hemzemin geçit bölgesinde karayolu taşıt sürücülerinin sabırsız olması ister istemez bu bölgedeki trafik kazalarının artmasına yol açmaktadır. Bu noktada bulunan sürücülerin sabırsız olup trafik kurallarına kasıtlı olarak uymadıkları takdirde bile bile kazaya sebep olmaktadırlar. Bu durumda oluşan kazalar genelde ölümlü olmaktadır. Taşıt sürücülerinin hemzemin geçit bölgesinde zig zag diye adlandırılan ve bariyerlerin açık bölgesinden geçme anlamı taşıyan hareketleri yapmaması gerekmektedir. Bu durumu yapan sürücülerin hemzemin geçit bölgesinde kaza yapması olasıdır. Taşıt sürücülerinin dalgınlık, dikkatsizlik gibi faktörleri de hemzemin geçit bölgesindeki kazalara sebep olmaktadır.

Hemzemin geçit bölgesinde genelde karayolu taşıtlarının denetimine yönelik herhangi bir mekanizması bulunmamaktadır. Bu durumun oluştuğu hemzemin geçit bölgelerinde kaza olmaması için karayolu taşıtının kullanan bilinçli sürücülerin olması hemzemin geçit bölgesinde kaza olmasının önüne geçecektir. Kurallara

uymayan sürücüler veya karayolu taşıtlarının hemzemin geçit bölgesinde organize hareket edememesi sonucunda trafik düzgün bir şekilde yönetilememektedir. Bu durum da hemzemin geçit bölgesinde kazalara sebep olabilmektedir.

Hemzemin geçit bölgesinde görüşü etkileyen hava, çevre ve yol koşulları da olası kazalara sebep olmaktadır. Mesela havanın aşırı sisli olması görüş mesafesini çok düşüreceğünden dolayı gerek makinist gerekse araç sürücüsü gerekli görüş mesafesine sahip olamayacaktır. Bu durumda karayolu taşıt sürücüsünü görsel uyarandan ziyade sesli uyarı mekanizması devreye girecek ve olası kaza engellenmiş olacaktır. Ayrıca, hemzemin geçit bölgesinde kazaların oluşmasının sebeplerinde biri de hemzemin geçit bölgesinde herhangi ayrı bir koruma sisteminin olmaması durumudur. Bu bölgede dalgın olan herhangi bit taşıt sürücüsü olası bir kaza sonrası hayatını yitirebilmektedir.

Yarım bariyerli hemzemin geçit bölgesinde yayalarında trafik kurallarına uyarak herhangi bir kazaya sebebiyet vermemesi beklenmektedir. Tüm bu kriterler göz önüne alınarak gelişmiş bir yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin güvenik analizi yapılmış ve pilot bir hemzemin geçit bölgesi oluşturulmuştur.

4.3 Otomatik Yarım Bariyerleri Hemzemin Geçit Sistemi Tanımı ve Uygulama Durumları

4.3.1 Giriş

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin güvenlik analizi yapılırken, öncelikle FMEA yapılmalıdır. Bunun için öncelikle hemzemin geçit sistemi için oluşabilecek olası kaza durumları belirtilmelidir. FMEA yapıldığında oluşan hata senaryosunda sisteme etki eden hata oranları yıl bazında değerlendirilmelidir. FMEA analizinde hemzemin geçit sisteminin güvenlik seviyesinin bulunması için hata ağacı modeli kullanarak hesap yapılmalıdır. Hata ağacı yöntemi sonrasında otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin SIL seviyesi bulunmalıdır. ‘V’ modeli baz alındığında her bir emniyet sistemi geçişlerinde doğrulama ve geçerleme adımları göz önüne alınmalıdır. Eğer sistem üretim aşamasından sonra gerçek zamanlı olarak kullanıldığında herhangi bir hata ürettiğinde hatanın çözümüne ilişkin yöntem belirlenmeli ve çözüm yolları araştırılmalıdır. Hazırlanan çözüm yolu ile birlikte eğer sistemimiz yeterli ve gerekli bir güvenlik seviyesinde değil ise tekrar FMEA

yapılır ve indirgeme yoluna gidilir. İndirgeme yöntemi ve adımları belirlendikten sonra sistemimizin daha güvenli olması için FMEA tablosunda hata adımı olarak belirtilir. Hata adımı indirgeme yöntemi olarak belirtildikten sonra tekrardan SIL seviyesi hesabı yapılır. SIL hesabı ile birlikte sistemin optimum güvenlik seviyesi belirlenmiş olmaktadır.

4.3.2 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin risk indeksinin belirlenmesi

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için olası hata senaryoları tanımlanmalıdır. Olası hata senaryoları şöyledir:

- Hata 1: Sürücünün kötü görüş mesafesi
- Hata 2: Sürücünün gözüne güneş gelmesi
- Hata 3: Sürücünün sonraki trene dikkat etmemesi
- Hata 4: Zemin
- Hata 5: Araç ile trenin çarpışması
- Hata 6: Araç arızası
- Hata 7: Aracın arkasını kurtaramaması
- Hata 8: Hgs yolunun güvensiz kullanılması (Zigzag)
- Hata 9: Hemzemin geçitin manuel kontrolü sırasında hatanın oluşması
- Hata 10: Sinyal/Koruyucu hatası
- Hata 11: Makinist hatası
- Hata 12: Bariyerin kapanma hatası
- Hata 13: Trenin geçişinde kolun kırılması

Tüm bu hata senaryolarının FMEA analizi ile incelenip risk değerlendirilmesi yapılmalıdır. Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için tasarımı yapılan FMEA analizi Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi FMEA analizi.

No	Hata	Etki	Donanımlar (Components)	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)	İndirgeme Yöntemi	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)
				İndirgeme Olmadan Risk Değerlendirmesi				İndirgenmiş Risk Değerlendirmesi		
1	Sürücünün kötü görüş mesafesi	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
2	Sürücünün gözüne güneş gelmesi	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
3	Sürücünün sonraki trene dikkat etmemesi	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Uzak (Remote)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
4	Zemin	Kaza	HGS kontrol birimi	Önemsiz (Insignificant)	Uzak (Remote)	İhmal edilebilir (Negligible)	FTA	-	-	-
5	Araç ile trenin çarpışması	Kaza	HGS kontrol birimi	Felaket (Catastrophic)	Ara sıra (Occasional)	Kabul edilemez (Intolerable)	FTA	-	-	-
6	Araç arızası	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Uzak (Remote)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
7	Aracın arkasını kurtaramaması	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Uzak (Remote)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-

Çizelge 4.1 (devam) : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi FMEA analizi.

No	Hata	Etki	Donanımlar (Components)	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)	İndirgeme Yöntemi	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)
				İndirgeme Olmadan Risk Değerlendirmesi				İndirgenmiş Risk Değerlendirmesi		
8	HGS yolunun güvensiz kullanılması (Zigzag)	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Olası, muhtemel (Probable)	Kabul edilemez (Intolerable)	FTA	-	-	-
9	Hemzemin geçitin manuel kontrolü sırasında hatanın oluşması	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Uzak (Remote)	Kabul edilebilir (Tolerable)	FTA	-	-	-
10	Sinyal/ Koruyucu hatası	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
11	Makinist hatası	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
12	Bariyerin kapanma hatası	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
13	Trenin geçişinde kolun kırılması	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Olası, muhtemel (Probable)	Kabul edilemez (Intolerable)	FTA	-	-	-

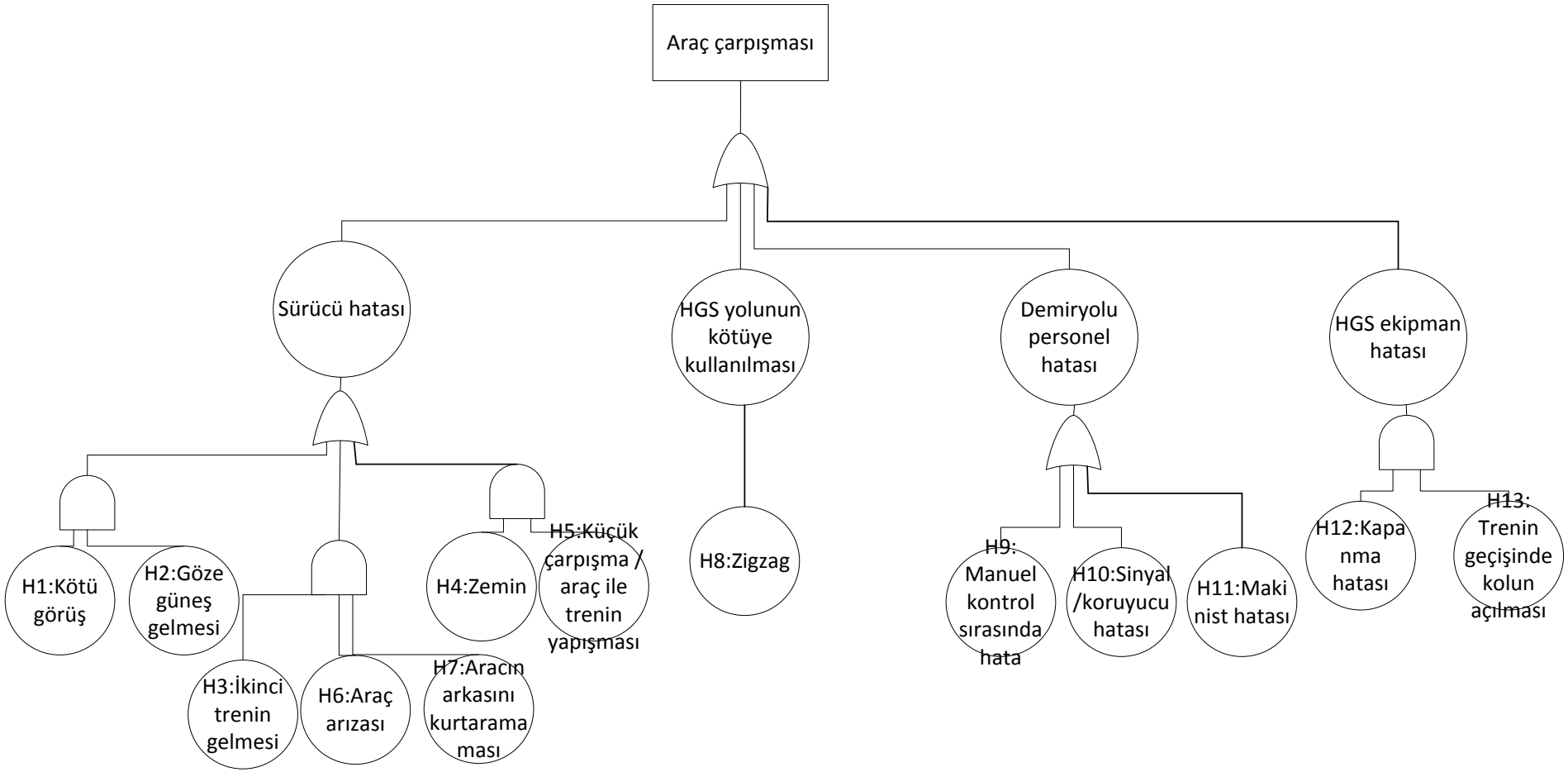
Tüm hata olasılıkları FMEA analizi sonucunda oluşturulduktan sonra otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminde oluşan hatalara ilişkin hata oranları Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Çizelge 4.2'de gösterilen sayısal değerler hemzemin geçit konusunda deneyimli olan demiryolu personelinin görüşleri doğrultusunda oluşturulan bir tablodur.

Çizelge 4.2 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi hata oranları.

Hata No	Hata	Hatanın Görülme Sıklığı	Hatanın Olasılığı(Q) (1 yıl = 8760 saat) (Yıl Bazında Yazıldı)	Dangerous Failure Rate(Hata Oranı) (λd) (THR)
1	Sürücünün kötü görüş mesafesi	1	4,00	2,85388E-05
2	Sürücünün gözüne güneş gelmesi	1	4,00	2,85388E-05
3	Sürücünün sonraki trene dikkat etmemesi	1	20,00	5,70776E-06
4	Zemin	1	20,00	5,70776E-06
5	Araç ile trenin çarpışması	1	4,00	2,85388E-05
6	Araç arızası	1	20,00	5,70776E-06
7	Aracın arkasını kurtaramaması	1	20,00	5,70776E-06
8	Hgs yolunun güvensiz kullanılması (Zigzag)	1	0,75	0,000152207
9	Hemzemin geçitin manuel kontrolü sırasında hatanın oluşması	1	20,00	5,70776E-06
10	Sinyal/Koruyucu hatası	1	4,00	2,85388E-05
11	Makinist hatası	1	4,00	2,85388E-05
12	Bariyerin kapanma hatası	1	4,00	2,85388E-05
13	Trenin geçişinde kolun kırılması	1	0,75	0,000152207

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin hata oranları bulunduktan sonra FMEA analizinde belirlenen hataları hafifletme ölçüsü dikkate alınarak FTA analizi yapılmalıdır. FTA analizi ile elde edilen sisteme ilişkin nerelerde düzenleme yapılacağı matematiksel hesaplama yapılarak belirlenmelidir. FTA analizi Şekil 4.3'te gibi oluşmaktadır. FTA analizi sonucunda hemzemin geçit sistemi daha güvenilir bir sistem olması amaçlanmaktadır. Böylelikle kaza oranı azalacak, can ve mal kaybı en aza indirilmesi sağlanacaktır.

Hemzemin geçit bölgesinde sürücü hatası sonucu olabilecek gerçekleşmesi muhtemel hata oranı denklemi denklem 4.1'de ve sürücü hata oranı denklem 4.2'de belirtilmiştir.



Şekil 4.3 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi FTA analizi.

$$\lambda_{Dsurucu_hatasi} = (\lambda_{Dh1} \times \lambda_{Dh2}) + (\lambda_{Dh4} \times \lambda_{Dh5}) + (\lambda_{Dh3} \times \lambda_{Dh6} + \lambda_{Dh7}) \quad (4.1)$$

$$\lambda_{Dsurucu_hatasi} = 9{,}7736 \times 10^{-10} \quad (4.2)$$

Hemzemin geçit bölgesinde araç sürücüsü tarafından yolun kötüye kullanılması sonucu olabilecek gerçekleşmesi muhtemel hata oranı denklem 4.3'de belirtilmiştir.

$$\lambda_{Dhgs_yolunun_kotuye_kullanilmasi} = 0{,}000152207 \quad (4.3)$$

Hemzemin geçit bölgesinde demiryolu personelinin hatası sonucu olabilecek gerçekleşmesi muhtemel hata oranı denklemi denklem 4.4'de ve sürücü hata oranı denklem 4.5'de belirtilmiştir.

$$\lambda_{Ddemiryolu_personel_hatasi} = \lambda_{Dh9} + \lambda_{Dh10} + \lambda_{Dh11} \quad (4.4)$$

$$\lambda_{Ddemiryolu_personel_hatasi} = 6{,}2785 \times 10^{-5} \quad (4.5)$$

Hemzemin geçit bölgesinde hemzemin geçit sistemininde bulunan ekipman arıza hatası sonucu olabilecek gerçekleşmesi muhtemel hata oranı denklemi denklem 4.6'de ve sürücü hata oranı denklem 4.7'de belirtilmiştir.

$$\lambda_{Dhgs_ekipman_hatasi} = \lambda_{Dh12} + \lambda_{Dh13} \quad (4.6)$$

$$\lambda_{Dhgs_ekipman_hatasi} = 4{,}3438 \times 10^{-9} \quad (4.7)$$

Hemzemin geçit bölgesinde araç ile trenin çarpışma olasılığı denklem 4.8'de belirtilmiştir.

$$\lambda_{Dcarpisma} = 2{,}15 \times 10^{-4} \quad (4.8)$$

Tüm sistem incelendiğinde tasarım için düşünülen hemzemin geçitin herhangi bir SIL seviyesinde olmadığı gözükmektedir.

- Sürücü hatası için gerekli güvenlik seviyesini sağlamaktadır.

- HGS yolunun kötüye kullanılması için zigzag durumunun iyileştirilmesi gerekmektedir.
- Demiryolu personel hatasının azaltılması için manuel kontrol kaldırılmalı, sinyal/koruyucu hatası için ekipmanlar iyileştirilmeli ve makinist hatası olmayacak şekilde sistem düzeltilmelidir.
- HGS ekipman hatası gerekli güvenlik seviyesini sağlamaktadır.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin iyileşmesi için SIL güvenlik seviyesinin seviye olarak yükseltilmesi için hemzemin geçit sistemi yolunun güvensiz kullanılması, sinyal/koruyucu hatası ve makinist hatasını FMEA analizinde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu hata türlerinin iyileştirilerek güvenlik seviyesi yukarı çekilmelidir. Ayrıca hemzemin geçit sistemi otomatik kontrol sistemi ile yönetileceğinden dolayı hemzemin geçitin manuel kontrolü sırasında oluşacak hata ortadan kaldırılarak burada oluşacak muhtemel hata sıfıra inmektedir. FMEA analizinin indirgenmiş hali Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

İndirgenmiş FMEA analizi sonucu hemzemin geçit sisteminde oluşan indirgenmiş hata oranları tablosu Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Güncellenen FMEA analizi ile hemzemin geçit sisteminde oluşacak muhtemel hata oranları belirlendikten sonra hemzemin geçit sistemi için yeni bir FTA analizi gerekmektedir. Güncellenen FMEA tablosunda aşamasında hemzemin geçit bölgesinde demiryolu personelinin hemzemin geçit kontrolünü manuel olarak yapması hata durumu hata olarak düşünülmemiş olup (ilk FMEA tablosunda 9 numaralı hata senaryosu), hemzemin geçit bölgesinde oluşacak muhtemel zigzag ile geçiş sırasındaki kaza durumu genişletilmiş olarak güncellenen FMEA tablosuna eklenmiştir. Güncellenen FTA analizi Şekil 4.4'te gözükmektedir.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için en önemli kaza faktörlerinden biri sürücülerin hemzemin geçit bölgesinin zigzag şeklinde geçmesi olarak düşünülebilir. Karayolu taşıt sürücülerinin hemzemin geçit bölgesinden zigzag yaparak geçişi esnasında da hemzemin geçit bölgesinde muhtemel kazaların oluşmasına sebep olmaktadırlar. Bu durumu engellemek için FTA analizinde zigzag hata durumu daha detaylı incelenmiştir. Bu durum Şekil 4.5'te detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Zigzag durumundaki iyileştirme Çizelge 4.4'de bulunan zigzag hata olasılığı Çizelge 4.2'te bulunan hata olasılığına göre yükseltilmiştir.

Çizelge 4.3 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi indirgenmiş FMEA analizi.

No	Hata	Etki	Donanımlar (Components)	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)	İndirgeme Yöntemi	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)
				İndirgeme Olmadan Risk Değerlendirmesi				İndirgenmiş Risk Değerlendirmesi		
1	Sürücünün kötü görüş mesafesi	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
2	Sürücünün gözüne güneş gelmesi	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
3	Sürücünün sonraki trene dikkat etmemesi	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Uzak (Remote)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
4	Zemin	Kaza	HGS kontrol birimi	Önemsiz (Insignificant)	Uzak (Remote)	İhmal edilebilir (Negligible)	FTA	-	-	-
5	Araç ile trenin çarpışması	Kaza	HGS kontrol birimi	Felaket (Catastrophic)	Ara sıra (Occasional)	Kabul edilemez (Intolerable)	FTA	-	-	-
6	Araç arızası	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Uzak (Remote)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
7	Aracın arkasını kurtaramaması	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Uzak (Remote)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-

Çizelge 4.3 (devam) : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi FMEA analizi.

No	Hata	Etki	Donanımlar (Components)	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)	İndirgeme Yöntemi	Şiddet (Severity)	Sıklık (Frequency)	Risk Seviyesi (Risk Level)
				İndirgeme Olmadan Risk Değerlendirmesi				İndirgenmiş Risk Değerlendirmesi		
8	Hgs yolunun güvensiz kullanılması (Zigzag)	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Olası, muhtemel (Probable)	Kabul edilemez (Intolerable)	FTA	Kritik (Critical)	Olağanüstü (Incredible)	İhmal edilebilir (Negligible)
9	Sinyal/ Koruyucu hatası	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	Düşük (Marginal)	Olağanüstü (Incredible)	İhmal edilebilir (Negligible)
10	Makinist hatası	Kaza	HGS kontrol birimi	Düşük (Marginal)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	Düşük (Marginal)	Olağanüstü (Incredible)	İhmal edilebilir (Negligible)
11	Bariyerin kapanma hatası	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Ara sıra (Occasional)	İstenmeyen (Undesirable)	FTA	-	-	-
12	Trenin geçişinde kolun kırılması	Kaza	HGS kontrol birimi	Kritik (Critical)	Olası, muhtemel (Probable)	Kabul edilemez (Intolerable)	FTA	-	-	-

Çizelge 4.4 : İndirgenmiş hata oranları.

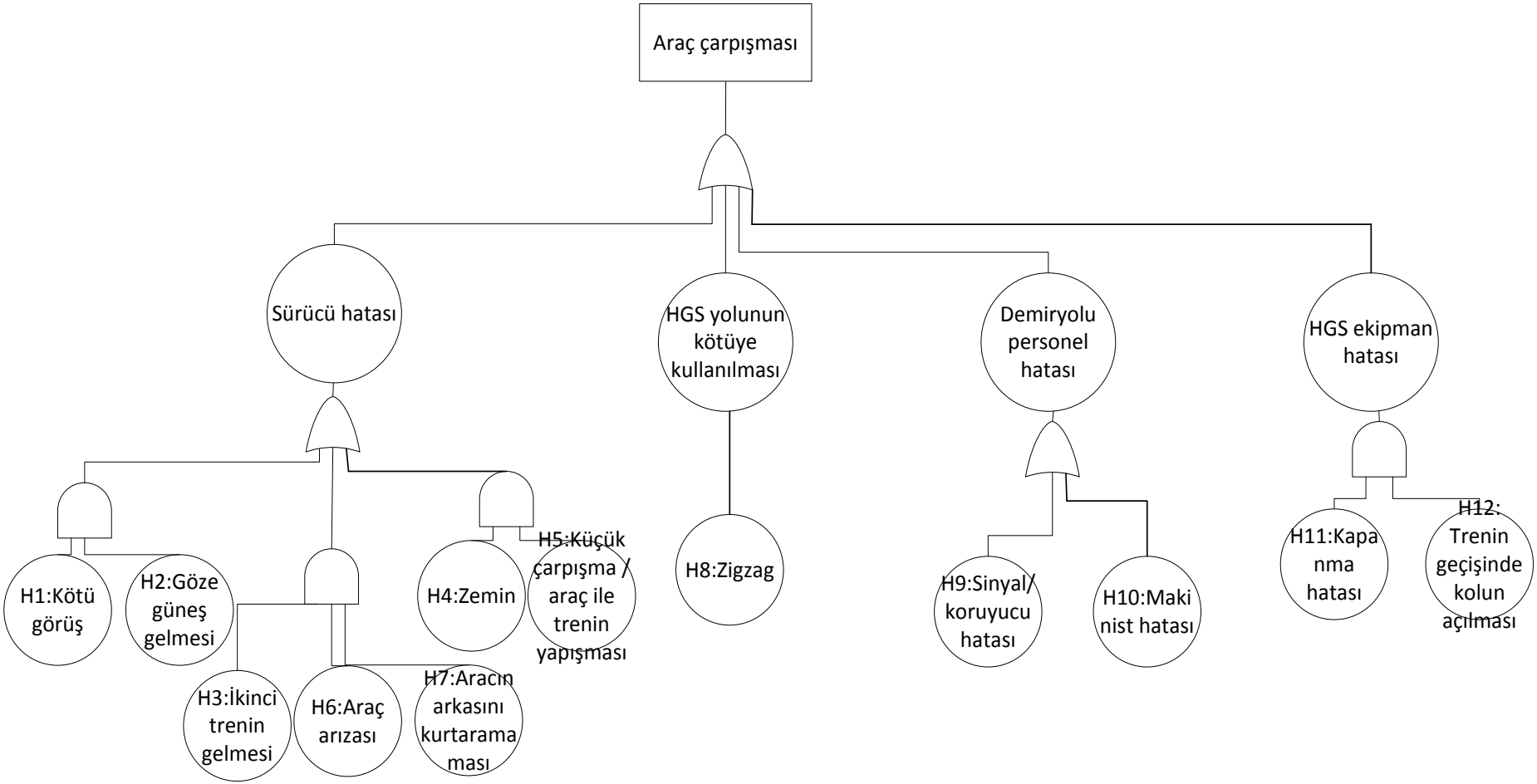
Hata No	Hata	Hatanın Görülme Sıklığı	Hatanın Olasılığı(Q) (1 yıl = 8760 saat) (Yıl Bazında Yazıldı)	Dangerous Failure Rate(Hata Oranı) (λd) (THR)
1	Sürücünün kötü görüş mesafesi	1	4,00	2,85388E-05
2	Sürücünün gözüne güneş gelmesi	1	4,00	2,85388E-05
3	Sürücünün sonraki trene dikkat etmemesi	1	20,00	5,70776E-06
4	Zemin	1	20,00	5,70776E-06
5	Araç ile trenin çarpışması	1	4,00	2,85388E-05
6	Araç arızası	1	20,00	5,70776E-06
7	Aracın arkasını kurtaramaması	1	20,00	5,70776E-06
8	Hgs yolunun güvensiz kullanılması (Zigzag)	1	300,00	3,80518E-07
9	Sinyal/Koruyucu hatası	1	300,00	3,80518E-07
10	Makinist hatası	1	300,00	3,80518E-07
11	Bariyerin kapanma hatası	1	4,00	2,85388E-05
12	Trenin geçişinde kolun kırılması	1	0,75	0,000152207

Bu oranın yükseltimesi neticesinde tolere edilebilir hata oranının (THR) sayısal oranında ciddi oranda düşüş gözlenmiştir. Tolere edilebilir hata oranının azalması neticesinde hemzemin geçit sisteminin güvenilirlik seviyesi yükselmektedir. Bu durum hemzemin geçit sisteminin daha güvenilir olduğu anlamı taşımaktadır. Hemzemin geçit sistemindeki zigzag hata durumu Şekil 4.3'te basit bir şekilde hata olarak varsayılırken Şekil 4.5'te zigzag hata durumu daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Böylelikle hemzemin geçit sistemindeki zigzag durumuna ilişkin hata durumu mümkün olan en az düzeye indirilerek hemzemin geçit bölgesindeki kaza oranının azaltılması amaçlanmıştır.

Zigzag durumunun önüne geçebilmek için özellikle karayolu taşıt sürücüsünün belirlenen kurallara uyması gerekmektedir. Bu kurallar;

- Karayolunda bulunan işaretlere göre araçlar durmalıdır.
- Karayolu aracı trenin çarpmayacağı pozisyonda durmalıdır.



Şekil 4.4 : İndirgenmiş FTA analizi.

- Geçitte görünürde tren olmamalıdır, ancak hemzemin geçit bölgesine yaklaşan tren olabilir. Eğer görünürde tren varsa sürücü geçitin önünde durmalıdır (SELCAT, 2006).

Hemzemin geçit bölgesinde sürücü hatası sonucu olabilecek gerçekleşmesi muhtemel hata oranı denklemi denklem 4.1'de ve sürücü hata oranı denklem 4.2'de belirtilmiştir. Sürücü hatasında her hangi bir indirgeme yapılmadığından buradaki hesapta herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

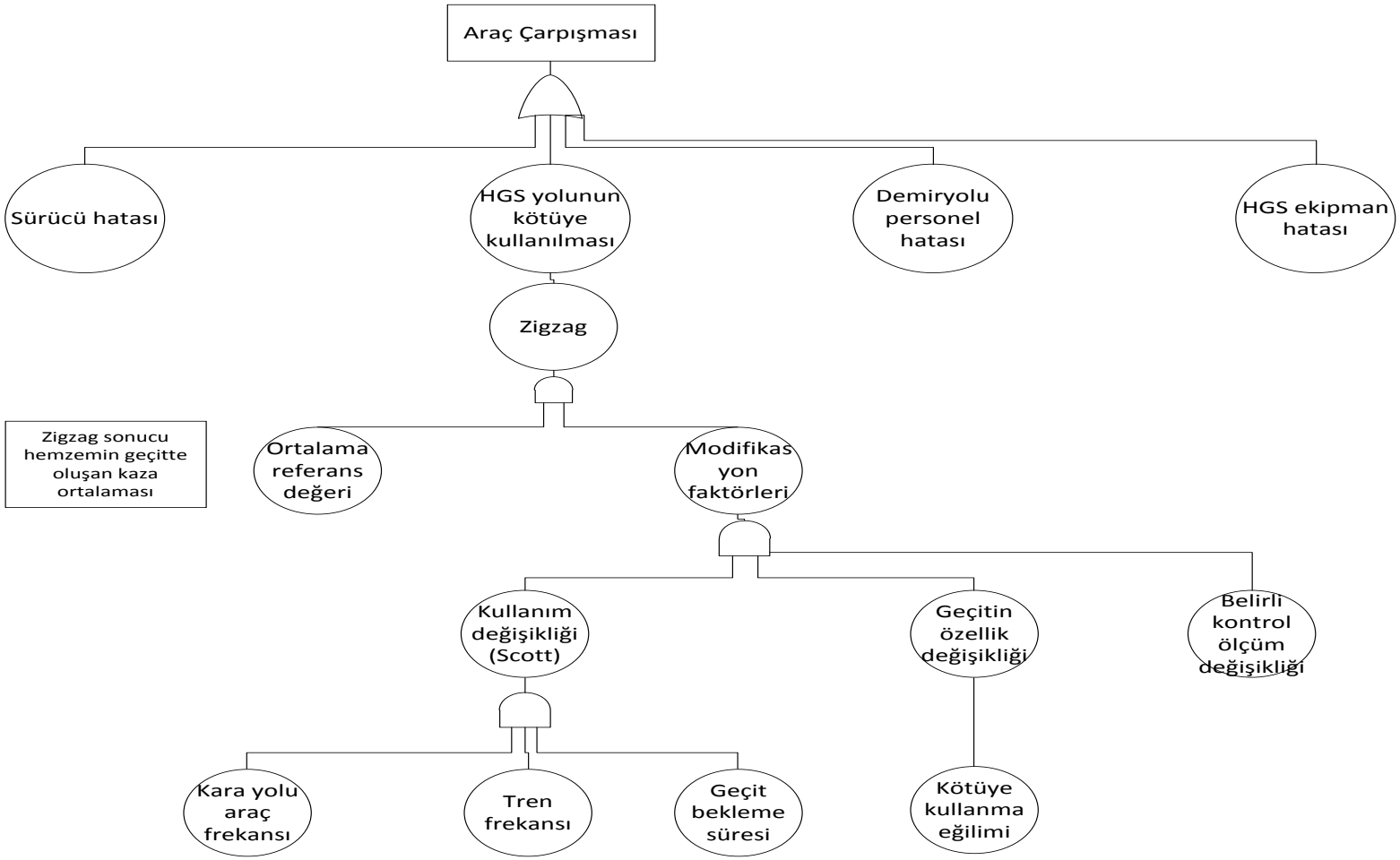
Hemzemin geçit bölgesinde araç sürücüsü tarafından yolun kötüye kullanılması sonucu olabilecek gerçekleşmesi indirgenmiş şekildeki muhtemel hata oranı denklem 4.9'de belirtilmiştir. Denklem 4.3'te hemzemin geçit bölgesinde bulunan yolun kötüye kullanılması basit zigzag durumu ele alınarak oluşturulmuştu. Denklem 4.9'da ise Şekil 4.5'te belirtildiği gibi zigzag durumu daha detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve tolere edilebilir hata oranı denklem 4.3'e göre iyileştirilmiştir.

$$\lambda_{Dhgs_yolunun_kotuye_kullanilmasi} = 3{,}80518 \times 10^{-7} \tag{4.9}$$

Hemzemin geçit bölgesinde demiryolu personelinin hatası sonucu olabilecek gerçekleşmesi indirgenmiş şekildeki muhtemel hata oranı denklemi denklem 4.10'da ve sürücü hata oranı denklem 4.11'de belirtilmiştir. Denklem 4.5'te bulunan demiryolu personel hatasından kaynaklı olan tolere edilebilir hata oranının azaltılması hemzemin geçit sisteminde bulunan manuel kontrol aşamasındaki durumun tamamen ortadan kalkmış olması ile mümkün olmaktadır. Burada insan kaynaklı hatalar tamamen ortadan kaldırılarak demiryolu personel hatasında iyileştirilmeye gidilmiştir. Bunun için yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi, otomatik olarak kontrolü amaçlanmıştır.

Akış diyagramı Şekil 4.6'da belirtilmiştir Böylelikle insan kaynaklı oluşabilecek hataların önüne geçilmiş olmaktadır.

Hemzemin geçit bölgesinde hemzemin geçit sistemininde bulunan ekipman arıza hatası sonucu olabilecek gerçekleşmesi indirgenmiş şekildeki muhtemel hata oranı denklemi denklem 4.12'de ve sürücü hata oranı denklem 4.13'de belirtilmiştir. Denklem 4.7'deki tolere edilebilir hata oranı ile denklem 4.13'te bulunan hata oranı aynı kalmıştır. Buradaki hata oranının iyileştirilmesi tamamen hemzemin geçit bölgesinde bulunan ekipmanların iyileştirilmesi ile mümkündür.



Şekil 4.5 : Zigzag durumu için ayrıntılı FTA analizi.

$$\lambda_{Ddemiryolu_personel_hatasi} = \lambda_{Dh9} + \lambda_{Dh10} \tag{4.10}$$

$$\lambda_{Ddemiryolu_personel_hatasi} = 7{,}6104 \times 10^{-7} \tag{4.11}$$

Bu durumun oluşabilmesi içinde otomatik hemzemin geçit sisteminin proje aşamasından çıkıp uygulama aşamasına geçmesi ile mümkündür.

Ekipmanda belirtilen güvenlik seviyesi ile hemzemin geçit sisteminin bulunduğu bölgede gerçek zamanlı çalışan ekipman test edilecek ve bulunan sonuçlar eşliğinde hemzemin geçit sisteminin ekipman hatasında iyileştirmeye gidilebilecektir.

$$\lambda_{Dhgs_ekipman_hatasi} = \lambda_{Dh11} + \lambda_{Dh12} \tag{4.12}$$

$$\lambda_{Dhgs_ekipman_hatasi} = 4{,}3438 \times 10^{-9} \tag{4.13}$$

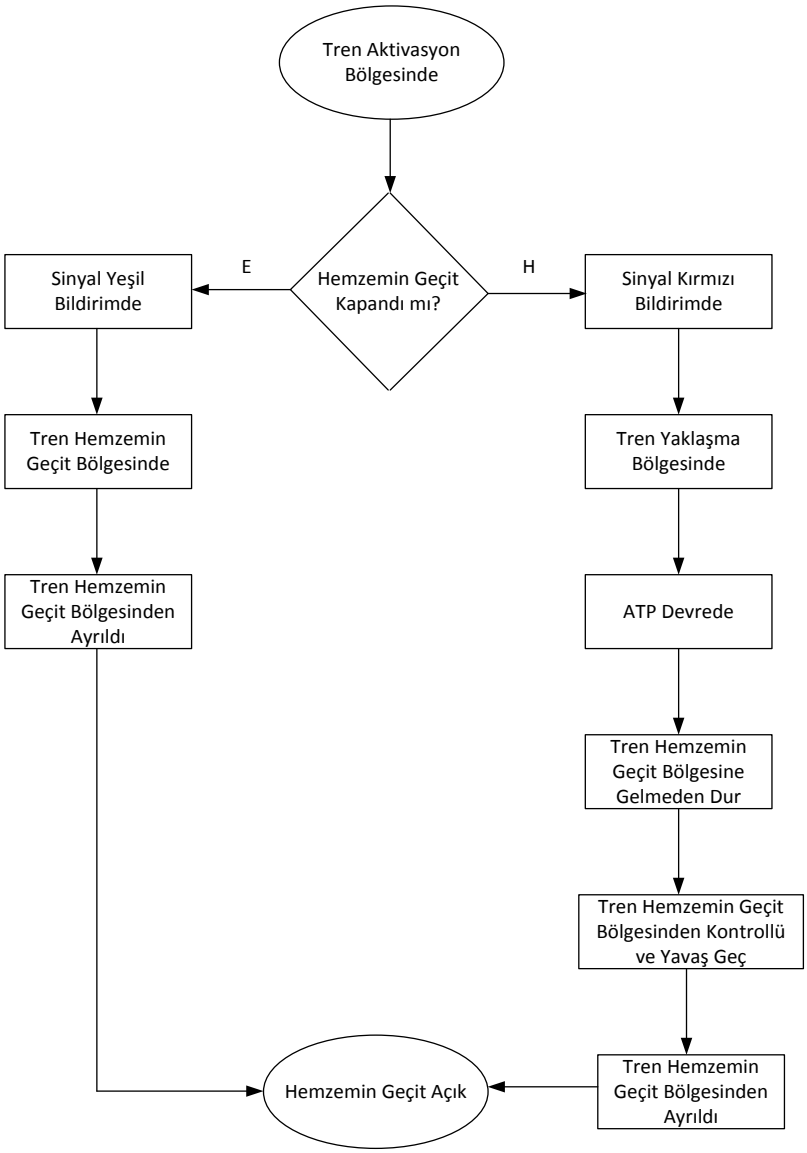
Hemzemin geçit bölgesinde araç ile trenin çarpışma olasılığı denklem 4.14'de belirtilmiştir.

$$\lambda_{Dcarpisma} = 1{,}1469 \times 10^{-6} \tag{4.14}$$

Tüm sistem incelendiğinde tasarım için düşünülen hemzemin geçitin SIL 2 seviyesinde olduğu gözükmektedir.

Hemzemin geçit bölgesinde analizi yapılan çarpışma durumu ilk hata oranları hesaplandığında denklem 4.8'de de belirtildiği üzere yüksek çıkmıştır. Tolere edilebilir hata oranının denklem 4.8'de bulunan sonucu hemzemin geçit bölgesinin herhangi bir SIL seviyesinde sahip olmadığını göstermektedir. Bunun anlamı hemzemin geçit bölgesinde analizi yapılan ve kurulması planlanan sistemin güvenli olmadığıdır.

Güncellenen FMEA tablosu ile beraber hemzemin geçit bölgesindeki güvenlik bütünlük seviyesi yükselmiş olmaktadır. Güvenlik bütünlük seviyesinin yükseltilmesi aşamasında karayolu taşıtlarını ilgilendiren sürücü hatası durumunda herhangi bir iyileştirme yapılmamıştır. Bunun temel sebebi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te belirtilen sürücü hatası durumunun oluşmasındaki temel faktörlerin çoğu insan kaynaklı kazaların olmasıdır.



Şekil 4.6 : Otomatik Yarım Bariyerli Hemzemin Geçit Akış Diyagramı.

Burada önlem alınması gereken nokta sürücülerin trafik kurallarına uymasının yanında hemzemin geçit bölgesinde bulunan dış durumlarının da iyileştirilmesidir. Dış durumlardan kasıt karayolu taşıtı kullanan kişinin görüşünü engelleyecek olan sis ve güneş ışığı gibi durumların ortadan kaldırmaktır. Bu durumun oluşması pratikte pek mümkün değildir. Bu yüzden karayolu taşıt sürücüsü hemzemin geçit bölgesinde bulunan işaret ve işaretçilere uyması bu bölgedeki kaza oranını düşürebilecek bir unsurdur. Bunun yanında hemzemin geçit bölgesindeki zemin yapısının kötü olması durumunda da karayolu taşıt sürücüsü hemzemin geçit bölgesinin içinde kalabilir ve bu bölgede kaza oluşmasına sebebiyet verebilir. Bu bölgede zeminin kötü olmasından dolayı kaza oluşmasını engellemek adına karayolu ve demiryolu

çalışanlarının bölgeyi iyileştirmesi gerekmektedir. Örneğin hemzemin geçit bölgesindeki yolun toprak veya mıcır olması kaza oranını arttırmaktadır. Herhangi bir yağış durumunda karayolu taşıtı bu bölgedeki toprak zemine saplanabilir ve kazaya sebebiyet verebilir. Hemzemin geçit bölgesinin içinde bulunan karayolu kısmı asfalt veya beton bir zeminden oluşsa aracın bu bölgede kalma olasılığı düşer ve kaza toprak zemine göre daha az bir ihtimalle gerçekleşir.

Hemzemin geçit bölgesindeki yolun kötüye kullanılması zigzag durumu adı altında ele alınmıştır. Zigzag durumunda karayolu taşıt sürücüsünün sabırsız davranmasının önüne geçilmesi adına iyileştirmeye gidilmiştir. Zigzag durumundaki iyileştirmenin çok iyi bir şekilde gözlemlenebilmesi için zigzag durumunun oluştuğu yerleşim yerinin analizinin de iyi yapılmış olması gerekmektedir. Bu bölge kentsel veya kırsal bir bölge olabilir. Trafik akışının çok yoğun olduğu veya az yoğun olduğu bir bölge olabilir. Buradaki amaç zigzag durumunda oluşabilecek genel tehlike durumunu ortaya koymak ve ortaya konulan tezin iyileştirmesini amaçlayabilmektir. Zigzag durumundaki iyileştirme genel olarak ele alınacak olursa karayolu bölgesinde bulunan işaret ve işaretçilere karayolu taşıt sürücüsü uymalıdır. Hemzemin geçit bölgesinde tren olmamalıdır. Ancak, bu bölgeye yaklaşan bir tren olabilir. Eğer hemzemin geçit bölgesine yaklaşan bir tren varsa karayolu taşıt sürücüsü trenin geçişini beklemeli hemzemin geçit bariyeri açıldıktan sonra hareket etmelidir. Karayolu taşıtı trenin çarpmayacağı pozisyonda durmalıdır. Bu durumun önüne geçebilmek için hemzemin geçit bölgesindeki karayolu araçlarının beklediği kısım bölünmüş yol ile desteklenebilir ve bu bölünmüş yol taşıt sürücüsünü caydırabilir. Bazen bu tedbirlerde işe yaramamakta karayolu taşıt sürücüsü hemzemin geçit bariyerini kırıp hemzemin geçit bölgesine girebilmektedir. Bu durumunda önüne geçebilmek için hemzemin geçit bölgesi sensörlerle taranabilir ve tren makinistinin tedbir alması sağlanabilir. FMEA tablosundaki iyileştirme neticesinde hemzemin geçit bölgesinde tolere edilebilir hata oranı azaltılmıştır ve zigzag durumundan oluşacak tehlike durumu iyileştirilmiştir. Hemzemin geçit bölgesi iyileştirme neticesinde daha güvenilir olmuştur.

Hemzemin geçit bölgesinde demiryolu personel hatasından kaynaklı bir hata durumu olan hemzemin geçitin manuel kontrol aşaması sistemin hata durumundan çıkarılmış ve sistem otomatik kontrol olacak şekilde planlanmıştır. Buradaki iyileştirme

sistemdeki tolere edilebilir hata oranını azaltmış, sistemi daha güvenilir bir duruma getirmiştir.

Hemzemin geçit bölgesinde ekipman arızasında herhangi bir iyileştirmeye gidilmemiştir. Bunun sebebi de hemzemin geçit bölgesinde seçilecek olan ekipmanların güvenlik bütünlük seviyesinin belli bir kriterde seçilecek olmasıdır. Seçilen ekipmanın durumuna göre ekipmanın hemzemin geçit bölgesinde test edilecektir. Test edildikten sonra hemzemin geçit bölgesindeki güvenlik bütünlük seviyesinin durumu daha net bir şekilde ortaya çıkacaktır.

Tüm bu iyileştirmeler göz önüne alındığında hemzemin geçit bölgesi iyileştirmelerden sonra SIL 2 seviyesine yükseltilmiş ve hemzemin geçit bölgesi herhangi bir güvenlik bütünlük seviyesinde değilken daha güvenli bir noktaya ulaşmıştır.

4.3.3 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin sistem gereksimlerinin belirlenmesi

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin sistem gereksinimleri fonksiyonel isterler ve yazılım isterleri olarak alt kategoride toplanabilir.

4.3.3.1 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin fonksiyonel isterlerinin belirlenmesi

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin fonksiyonel isterleri şu alt gruplarda incelenir: hemzemin geçit aktivasyon isterleri, hemzemin geçit deaktivasyon isterleri, hemzemin geçit alarm isterleri ve sinyal isterleri.

- Hemzemin geçit aktivasyon isterleri
    - *Tanım 1:* Eğer bir hemzemin geçitin aktivasyonu için uygun komut gitmiş ise, hemzemin geçit aktif olmalıdır.
    - *İster 1:* Kullanıcı (dispeçer veya hareket memuru) hemzemin geçite aktivasyon komutu göndermiş ise hemzemin geçit aktivasyonu sağlanmalıdır.
- Hemzemin geçit deaktivasyon isterleri

- *Tanım 1:* Eğer deaktivasyon koşulu için hiç bir hemzemin geçitin aktivasyonu için uygun komut gitmemiş ise, hemzemin geçit deaktif olmalıdır/kapanmalıdır.
- *Tanım 2:* Deaktivasyon koşulu sağlanan hemzemin geçit deaktif olmalıdır/kapanmalıdır.
- *İster 1:* Eğer bir tren deaktivasyon noktasına gelmiş ise hemzemin geçit deaktivasyonun sağlandığı noktada kapanmalıdır.
- *İster 2:* Deaktivasyon noktasından sonra hemzemin geçit bölgesine ilerleyen tren hemzemin geçit bölgesinde bulunan dedektör ray devresini meşgul ettiğinde hemzemin geçit kapalı olmaya devam etmelidir.
- *İster 3:* Hemzemin geçit bölgesinden ilerleyen tren arkasını kurtardığında dedektör ray devresi serbest olarak algılar ve hemzemin geçit aktivasyonu sağlanarak hemzemin geçit açılır.
- *İster 4:* Kullanıcı (dispeçer veya hareket memuru) hemzemin geçite deaktivasyon komutu göndermiş ise hemzemin geçitin deaktivasyonu sağlanmalıdır.

- Hemzemin geçit alarm isterleri
  - *Tanım 1:* Hemzemin geçit bariyeri kırıldığında uyarı üretilecektir.
  - *İster 1:* Hemzemin geçit bariyeri kırıldığında 'Bariyer Kırık' uyarısı üretilmelidir.
  - *İster 2:* 'Bariyer Kırık' hatası düzeltilip uyarı kaldırıldığında hemzemin geçite normalizasyon talebi verilip başlangıç durumuna döndürülmelidir.
  - *Tanım 2:* Hemzemin geçit kapanması gerektiği zaman kapanmadığında uyarı verecektir.
  - *İster 3:* Hemzemin geçit kapanması gerektiği zaman kapanmadığında 'Bariyer Açık' uyarısı verecektir.

- *İster 4:* ‘Bariyer Açık’ hatası düzeltilip uyarı kaldırıldığında hemzemin geçite normalizasyon talebi verilip başlangıç durumuna döndürülmelidir.
- *Tanım 3:* Hemzemin geçit bölgesinde bulunan karayolundaki araçlar için görsel ve sesli uyarılarda hata olduğunda sistem hata üretecektir.
- *İster 5:* Karayolunda bulunan çan ve sinyal hemzemin geçit kapalı olduğu süre boyunca karayolu taşıtlarında uyarı üretecektir. Eğer bu sistemlerde bu sorun olursa ‘Karayolu Sinyali Hatası’ ve ‘Çan Bozuk Hatası’ uyarısı üretilecektir.
- *İster 6:* ‘Karayolu Sinyali Hatası’ ve ‘Çan Hatası’ hatası düzeltilip uyarı kaldırıldığında hatalı ekipmana normalizasyon talebi verilip başlangıç durumuna döndürülmelidir.
- *Tanım 4:* Hemzemin geçit bölgesinde bulunan demiryolu araçlarının görsel uyarılarda hata olduğunda sistem hata üretecektir.
- *İster 7:* Demiryolu hattında bulunan sinyal hemzemin geçit kapalı olduğu süre boyunca trenin kontrollü bir şekilde hemzemin geçit bölgesinde ilerleyebilmesi için uygun uyarıda bulunacaktır. Eğer bu sistemlerde bu sorun olursa ‘Demiryolu Sinyali Hatası’ üretilecektir.
- *İster 8:* ‘Demiryolu Sinyali Hatası’ düzeltilip uyarı kaldırıldığında hatalı ekipmana normalizasyon talebi verilip başlangıç durumuna döndürülmelidir.

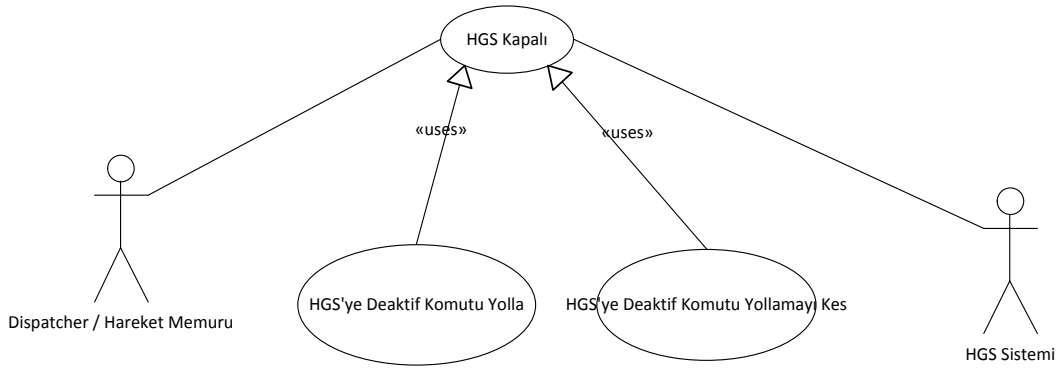
- Sinyal isterleri
  - *Tanım 1:* Hemzemin geçit bölgesinde trenin kontrollü bir şekilde bölgede hareket edebilmesi için uygun sinyal bildirimi verilmelidir.
  - *İster 1:* Hemzemin geçit bölgesinde herhangi bir arıza durumunda hemzemin geçidi koruyan sinyal ‘Kırmızı’ bildirim vermelidir.
  - *İster 2:* Hemzemin geçit bölgesinde herhangi bir arıza durumunda değil ise hemzemin geçidi koruyan sinyal ‘Yeşil’ bildirim vermelidir.

- *İster 3:* Hemzemin geçit tehlike bölgesinde sinyal ‘Kırmızı’ bildirim verdiği durumda tren durmaz ise ATP sistemi devreye girmeli ve tren tehlike bölgesine gelmeden durmalıdır.
- *İster 4:* Hemzemin geçit bölgesinde tren ‘Yeşil’ bildirimde geçtiği esnada tehlike bölgesinde herhangi canlı veya cansız bir varlık algılandıktan belli bir süre sonra tren ani fren yapmalı ve tehlike bölgesine gelmeden durmalıdır.

4.3.3.2 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin yazılım isterlerinin belirlenmesi

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin yazılım isterleri oluşturulurken öncelikle ister aşamasındaki kullanım senaryosu ile ifade edilmelidir. Kullanım senaryosu ifade edildikten sonra hemzemin geçit için gerekli olan durumlar isterlerin akış durumuna göre şekillenecektir.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminde deaktivasyon durumuna ilişkin kullanım senaryosu Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



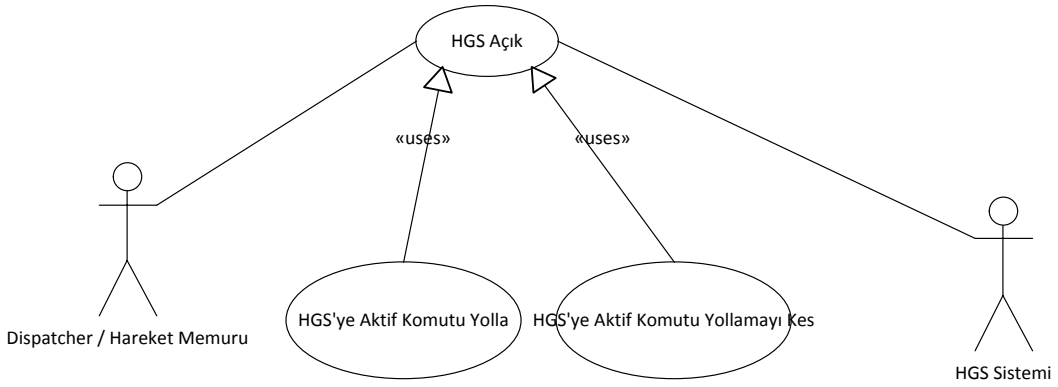
Şekil 4.7 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit deaktivasyon kullanım senaryosu.

- Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin deaktif komut yolla
  - *Birincil Aktör:* Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi
  - *İlgililer ve Beklentiler:* Hemzemin geçit sisteminin dekatif komutuna göre karayolunun araç trafiğine açık tutulması
  - *Ön Koşullar:*

- Hemzemin geçit sistemi çalışır durumdadır.
- Tren hemzemin geçit bölgesindeki ray devresine girmemiştir.

- *Son Koşullar:* Hemzemin geçit sistemine deaktif komutu yollanmıştır.
- *Ana Başarılı Senaryo (Temel Akış):* Tren hemzemin geçit bölgesinde olmadığında hemzemin geçit sistemine deaktif komutu yollar.
- *Uzantılar (Alternatif Akışlar):* Yok.
- *Sıra Dışı Durumlar:* Hemzemin geçit bölgesi ile hemzemin geçit arasındaki bağlantının kopmuş olması.
- *Teknolojik Beklentiler:* Hemzemin geçit bölgesi ile hemzemin geçit arasındaki bağlantının yapılmış olması.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminde aktivasyon durumuna ilişkin kullanım senaryosu Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

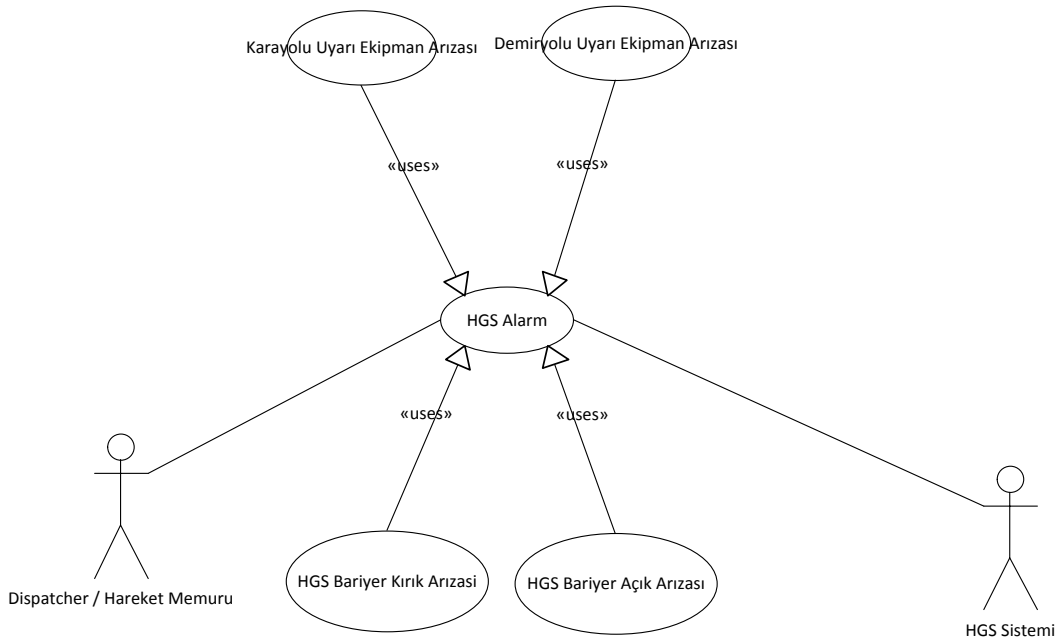


Şekil 4.8 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit aktivasyon kullanım senaryosu.

- Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin deaktif komutu yollamayı kes
  - *Birincil Aktör:* Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi
  - *İlgililer ve Beklentiler:* Hemzemin geçit sisteminin dekatif komutuna göre karayolunun araç trafiğine açık tutulması
  - *Ön Koşullar:* Hemzemin geçit sistemi çalışır durumdadır.
  - *Son Koşullar:* Hemzemin geçit sistemine deaktif komutu yollanması kesilmiştir.

- *Ana Başarılı Senaryo (Temel Akış):* Tren hemzemin geçit bölgesinde olmadığında hemzemin geçit sistemine deaktif komutu yollanması kesilir.
- *Uzantılar (Alternatif Akışlar):* Yok.
- *Sıra Dışı Durumlar:* Hemzemin geçit bölgesi ile hemzemin geçit arasındaki bağlantının kopmuş olması.
- *Teknolojik Beklentiler:* Hemzemin geçit bölgesi ile hemzemin geçit arasındaki bağlantının yapılmış olması.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminde arıza durumuna ilişkin kullanım senaryosu Şekil 4.9'da gösterilmektedir.

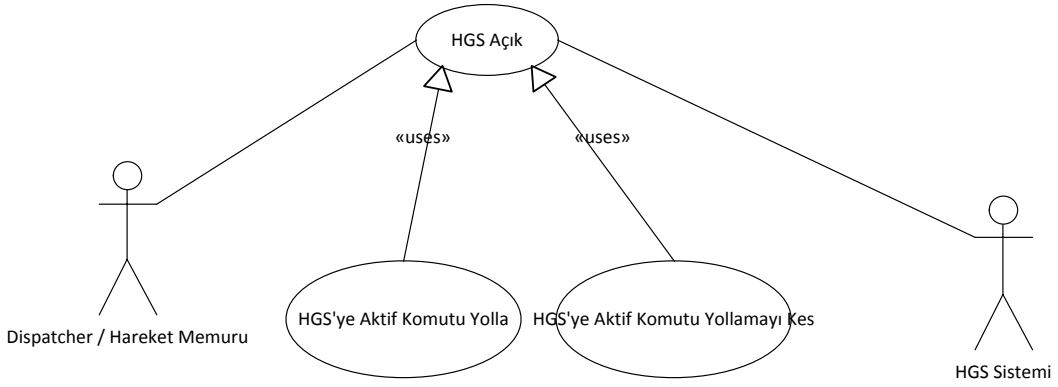


Şekil 4.9 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit arıza durumu kullanım senaryosu.

- Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin arıza kontrolü
  - *Birincil Aktör:* Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi
  - *İlgililer ve Beklentiler:* Hemzemin geçit bölgesinde bulunan ekipman arızasının oluşmaması
  - *Ön Koşullar:* Hemzemin geçit sistemi çalışır durumdadır.

- *Son Koşullar:* Hemzemin geçit sistemi, trenin hemzemin geçit bölgesinden geçtiği sırada herhangi bir ekipman arızasının bulunup bulunmadığını kontrol eder.
- *Ana Başarılı Senaryo (Temel Akış):* Hemzemin geçit bölgesinde hemzemin geçit deaktivasyonu sağlandıktan sonra 'Bariyer Kırık', 'Bariyer Açık', 'Karayolu Sinyal Hatası', 'Çan Bozuk Hatası' ve 'Demiryolu Sinyal Hatası' yoktur.
- *Uzantılar (Alternatif Akışlar):*
  - Hemzemin geçit bölgesinde hemzemin geçit deaktivasyonu sağlandıktan sonra 'Bariyer Kırık', 'Bariyer Açık', 'Karayolu Sinyal Hatası', 'Çan Bozuk Hatası' ve 'Demiryolu Sinyal Hatası' vardır.
  - Hemzemin geçit sistemi trenin geçişine izin vermez.
- *Sıra Dışı Durumlar:* Yok.
- *Teknolojik Beklentiler:* Yok.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminde demiryolu sinyal bildirimi durumuna ilişkin kullanım senaryosu Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit demiryolu sinyal bildirimi durumu kullanım senaryosu.

- Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine demiryolu sinyal bildirimi
  - *Birincil Aktör:* Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi

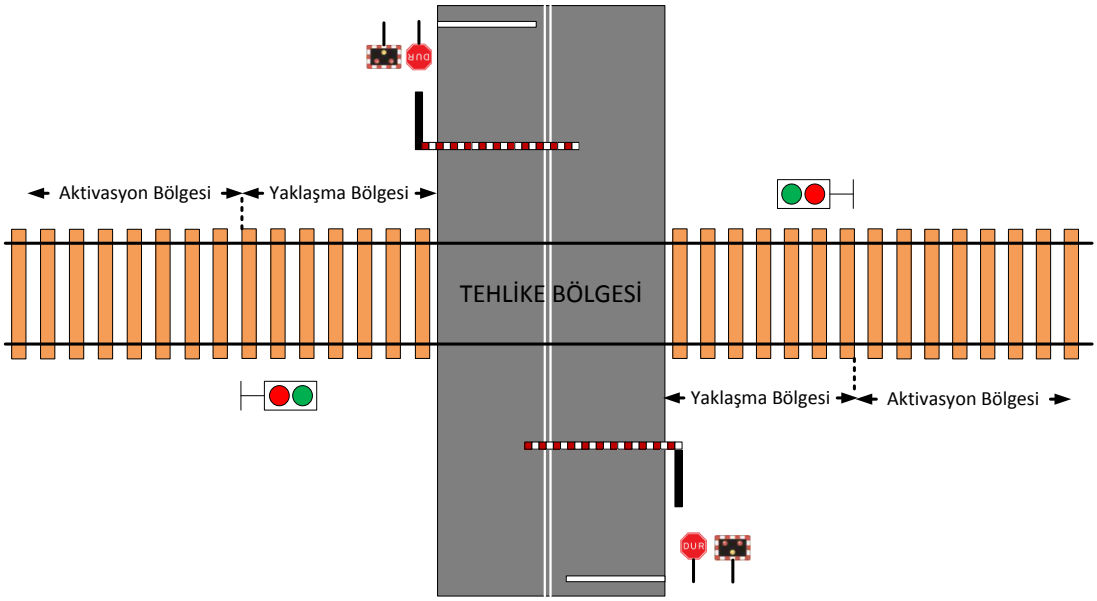
- *İlgililer ve Beklentiler:* Demiryolu hattı üzerinde bulunan sinyallere gerekli komutların yollanması.
- *Ön Koşullar:* Hemzemin geçit sistemi çalışır durumdadır.
- *Son Koşullar:* İlgili sinyalin gerekli bildirim vermesi sağlanmıştır.
- *Ana Başarılı Senaryo (Temel Akış):*
  - Hemzein geçit sistemi, gerekli bildirim komutunu ilgili sinyale yollar.
  - İlgili sinyal istenen bildirimi verir.
- *Uzantılar (Alternatif Akışlar):* Yok.
- *Sıra Dışı Durumlar:* Hemzemin geçit bölgesi ile hemzemin geçit arasındaki bağlantının kopmuş olması.
- *Teknolojik Beklentiler:* Hemzemin geçit bölgesi ile hemzemin geçit arasındaki bağlantının yapılmış olması.

4.3.4 Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin sistem tasarımı

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin şematik bir gösterilimi Şekil 4.11'de gösterilmektedir.

Hemzemin geçit bölgesinde karayolu taşıtları için işaret ve işaretçiler yapılmış olan emniyet analizi çerçevesinde tasarlanmıştır. Bölgede karayolu taşıtlarının zigzag durumunu engellemek için bariyer kapanma sürelerinin optimum bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Tehlike bölgesinde bulunan bir araç belli bir süre orada kalırsa demiryolu bölgesinde bulunan sinyal aracılığıyla tren tehlike bölgesine gelmeden durması sağlanacaktır. Böylelikle olası can ve mal kaybının önüne geçilecektir.

Tren aktivasyon bölgesine geldiğinde otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit kapanacaktır. Hemzemin geçit kapandığında demiryolu bölgesinde bulunan sinyal yeşil bildirim verecektir ve böylelikle tren hızını koruyarak hemzemin geçit bölgesinden ilerleyecektir. Hemzemin geçit bölgesinden tren ayrıldıktan sonra otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit açılacak ve karayolu ulaşımı devam edecektir.



Şekil 4.11 : Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit tasarımı.

Tren aktivasyon bölgesine geldiğinde otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit kapanmazsa veya hemzemin geçit bölgesinde herhangi bir tehlike durumu olduğunda demiryolu bölgesinde bulunan sinyal kırmızı bildirim verecektir. Tren sinyali geçit yaklaşma bölgesine geldiği durumda ise ATP sistemi çalışacaktır ve trenin durması sağlanacaktır. Böylelikle hemzemin geçit bölgesinde herhangi bir can ve mal kaybının önüne geçilecektir.

Emniyet kritik analizi yapılan otomatik yarım bariyerli hemzemin geçitin güvenlik seviyesinin SIL 2 düzeyinde olabilmesi için sistem isterlerinin başarılı bir şekilde kullanılıyor olması gerekmektedir. Sistem isterlerinde detaylandırılan fonksiyonel isterler aşamasında otomatik hemzemin geçit için olası bir hata durumunda hemzemin geçit sistemi SIL 2 güvenlik seviyesinin altında bir başarıya ulaşacaktır. Emniyet bütünlük seviyesi hesaplanırken hem fonksiyonel isterler aşaması hem de yazılım isterleri aşaması göz önüne alınmalı bu duruma göre emniyet bütünlük seviyesi bulunmalıdır. Örneğin otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi düzgün çalıştığı senaryoda hem yazılım isterleri hem de fonksiyonel isterler doğrulanmış olacaktır. Bu şekilde çalışan sistem için emniyet bütünlük seviyesi doğru tanımlanmıştır denilebilir. Ancak, yazılım isterlerinde doğru çalıştığı gözlemlenen bir durumun fonksiyonel isterlerde hata olarak gözlemlenmesi sistemin güvenilirliğinin sorgulanmasına yol açacaktır. Bu durumda olası senaryolar devreye girmektedir. Yazılım isterlerinde bulunan senaryoların gerçekleşebilmesi için hemzemin geçit bölgesinde belirtilen fonksiyonel isterlere ilişkin donanımsal

ekipmanların birbiri ile iletişimi düzgün bir şekilde sağlanmalıdır. Mesela PLC ile kontrol edilen bir sistem saha ekipmanları ile safe ethernet üzerinde haberleşiyor olsun. PLC ile kontrol edilen hemzemin geçit sistemi komut ürettiğinde hemzemin geçite ilişkin herhangi bir ekipman çalışmıyor olsun. Bu durumda otomatik hemzemin geçit sistemi için emniyet bütünlük seviyesi hatalıdır diyemeyiz. Çünkü belirlenen yazılım senaryosu ile hemzemin geçit bölgesinde belirtilen donanımsal ekipmanlar emniyet bütünlük seviyesini sağlayacak şekilde sağlanmaktadır. PLC ile saha ekipmanları arasındaki bağlantı noktalarının göz önüne alınması gerekmektedir. Belirtilen olumsuz senaryoda PLC ile saha ekipmanı arasında kablo kopması durumu PLC ekipmanında kontrol edilen bir noktadır denilebilir. Bunun yanında PLC'de bulunan giriş ve çıkış birimlerinde herhangi bir hata olması durumunda sistemi dışarıdan gözlemleyen ve hatayı farkedemeyen bir hareket memuru veya dispeçer olabilir. Bu tip bir olumsuz senaryoda otomatik hemzemin geçit bölgesi en kötü senaryoya göre hareket etmeli ve tren hemzemin geçit bölgesinde kontrollü bir şekilde hareketini sağlamalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde demiryolu taşımacılığı gelişmiş ülkelerde önem taşıdığı gibi ülkemizde de özellikle son dönemlerde özel öneme sahip olmaktadır. Raylı sistemlerin yapılması ve geliştirilmesi daha hızlı ve konforlu bir ulaşım imkanını ortaya çıkarmaktadır. Sadece yolcu ulaşımında değil aynı zamanda yük taşımacılığında da demiryolu taşımacılığı önemli bir yere sahiptir.

Demiryolu sistemlerinin gelişmesi ile birlikte, demiryoluna ilişkin güvenlik önlemlerine olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu konuda can ve mal kaybının en aza indirilmesi için uluslararası standartlar getirilmiştir. Bu standartlara göre yapılan demiryolu sistemleri hem can hem de mal kaybını en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında demiryolu sistemlerinin bir alt bölümü olan hemzemin geçit sistemi üzerinde durulmuştur. Tez çalışmasında hemzemin geçit sistemine ilişkin tanımlamalar yapılmış ve çeşitleri üzerinde durulmuştur. Hemzemin geçide ilişkin kontrol aşamaları ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. Hemzemin geçit bölgesinin ayrıntılı tanımlaması yapılmıştır.

Hemzemin geçit sistemlerinin bir alt kümesi olan otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi tezde ayrıntısı ile ele alınmıştır. Bu hemzemin geçit sisteminin temel öğelerine değinilmiştir. Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi için risk analizi yapılmış ve olası kaza senaryoları ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. Demiryolu sistemlerinde emniyetli bir işletmeden bahsetmek için RAMS analizi yapılması gerekmektedir. Bu aşama da herhangi bir sisteme ilişkin RAMS yapısı anlatılmış ve tanımlaması yapılmıştır. RAMS yapısının önemli bir bileşeni olan ‘V’ modelinin üzerinde durulmuştur. Risk analizi değerlendirme metodlarından FMEA ve FTA yöntemleri kullanılarak otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin emniyet analizi yapılmıştır.

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin risk analizi yapılarak hemzemin geçit sistemine ilişkin nihai SIL seviyesi bulunmuştur.

SIL seviyesi hesabı yapıldıktan sonra hemzemin geçit sistemine ilişkin sistem isterleri oluşturulmuştur. Böylelikle kontrol edilecek olan hemzemin geçit için fonksiyonel ve yazılım isterleri ortaya çıkarılmış ve bu isterler bir akış şemasında ilerlemiştir.

Tez çalışmasının son bölümünde otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin olası tüm riskleri belirlenip SIL seviyesi ortaya çıkarılmıştır. SIL seviyesi hesaplandıktan sonra hemzemin geçit sistemine ilişkin sistem isterleri oluşturuldu. Tümleşik hemzemin geçit sisteminin şematik yapısı hatada güvenli bir hemzemin geçit bölgesi şeklinde oluşturulmuştur. Burada oluşturulan şematik yapıya ilişkin akış diyagramı da yapılıp hatada güvenli otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi belirlenmiş olmaktadır.

Tez çalışmasında SIL seviyesi hesaplaması neticesinde yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi SIL 0 seviyesinde bulunmuştur. Bu seviyenin anlamı herhangi bir emniyet kritik sistem seviyesinde olmadığı anlamını taşımaktadır. SIL seviyesinin yükseltilmesi için hemzemin geçit bölgesinde karayolu taşıtının yapacağı zigzag durumuna yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Bu yaklaşımların içeriğinde hemzemin geçit sisteminde araç geçişlerinin yıl bazında ortalama değer olarak sonuçlarının değerlendirmesini içermektedir. Bunun anlamı bölgedeki araç yoğunluğuna göre hemzemin geçit bölgesindeki kaza oranlarını bulmak ve bulunan oranlara göre kazaların önüne geçebilmektir. Bunun yanında zigzag durumunda modifikasyon faktörlerinin çeşitlendirmek gerekmektedir. Bu durumu da çeşitlendirmek mümkündür. Hemzemin geçit bölgesinin trafik akışını değiştirip buradaki kaza oranı azaltılabilir. Karayolu taşıtlarının hemzemin geçit bölgesinde çok beklemesinin önüne geçebilmek için burada bulunan hemzemin geçit bariyerinin minimum sürede açılması sağlanarak karayolu taşıt sürücülerinin olası sabırsızlık durumunun önüne geçilmesi amaçlanabilir. Böylelikle kaza oranı azaltılabilir. Hemzemin geçit bölgesinin karayolu kısmında bekleyen taşıtların yollarında düzeltmeye gidilerek bölünmüş yol yapılabilir. Bölünmüş yol yapılan bir yerde taşıt sürücüsünün zigzag durumunun önüne geçilecektir. Tüm bu yaklaşımların yanında karayolu taşıt sürücüsünün sabırsız davranmasını engelleyecek faaliyetlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Karayolu taşıt sürücüsünden beklenen karayolunda bulunan işaret ve işaretçilere uymaktır. Hemzemin geçit bölgesinde tren olmasa bile hemzemin geçit bariyerinin kapalı olması durumunda karayolu taşıt sürücüsü burada

kurallara uymalıdır. Karayolu taşıt sürücüsü gereğinden fazla süre hemzemin geçit bölgesinde bekliyorsa hemzemin geçit bariyerini kırmak yerine bölgenin kontrolünü sağlayan demiryolu personeli ile iletişime geçmelidir. Böylelikle hem kendi aracına zarar vermemiş olacaktır hem de hemzemin geçit bölgesini bir zarara uğratmamış olacaktır. Yeni yaklaşımlar neticesinde FMEA analizi ve FTA hesaplamaları güncellenerek zigzag durumunda iyileştirmeye gidilmiştir. Bu iyileştirme neticesinde yarım bariyerli hemzemin geçit sisteminin güvenlik seviyesi SIL 2 seviyesine çıkarılmıştır. Daha önceki bir çok akademik çalışmalarda otomatik hemzemin geçitler hakkında algoritma oluşturulmuş bu algoritmalar neticesinde çalışmalarda kod yazılmıştır. Bu çalışmada bu yönteme gidilmemiştir. Bu çalışmada güncel olarak yarım bariyerli bir hemzemin geçit sisteminin otomatik olarak nasıl kontrol edilmesi gerektiğine dair bir akış diyagramı oluşturulmuştur. Bu oluşturulan akış diyagramı neticesinde yeni bir bakış açısı getirilerek hemzemin geçide ilişkin tehlike bölgesindeki can ve mal kaybının en aza indirilmesi amaçlanarak güvenlik seviyesi en üst düzeyde tutulmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışması hemzemin geçit sistemleri açısında önemli bir kaynak oluşturulmaktadır. Sadece hemzemin geçit sistemlerinin çeşitlerini sunmamakta bunun yanında risk indeksi, sistem isterleri ve otomatik bir hemzemin geçit sisteminin nasıl olması gerektiği kavramlarının da üzerinde durmaktadır.

5.1 Çalışmanın Uygulama Alanları

Otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi hem kent içi ulaşımda hem de kırsal kesimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Demiryolu sistemlerinde gerek sinyalizasyonlu bölüm olsun gerekse sinyalizasyonsuz bölüm olsun otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemi kullanılabilir.

5.2 İleri Çalışmalar

Bu tez çalışmasında otomatik yarım bariyerli hemzemin geçit sistemine ilişkin yapının emniyet analizi yapılmış, sistemin kontrolü sağlanmıştır. Bu sisteme ilişkin ileri çalışma risk indeksinde belirtilen sayısal değerlerin optimal çözümünün bulunulabilmesi için örneklem sayısı baz alınarak bulanık mantık yöntemiyle daha efektif bir risk analizi yapılabilir. Ayrıca her bir hemzemin geçit sistemi için yapılan

hata oranları kayıt altına alınıp daha doğru sonuçlara ulaşılarak hemzemin geçit sistemi çok daha küçük bir hata ile tasarım yapılabilir.

KAYNAKLAR

An, M. (2005). A review of design and maintenance for railway safety – the current status and future aspects in the UK railway industry. World Journal of Engineering, Vol.2(3), pp.10-22.

An, M. Lin ve W., Huang, S (2013). An Intelligent Railway Safety Risk Assessment Support System for Railway Operation and Maintenance Analysis. The Open Transportation Journal, Vol.7, pp.27-42.

Boulanger, J. L. (2005). Brail – Requirement Analysis, *IADIS Virtula Multi Conference on Computer Science and Information System 2005*. *Proceedings of the Third International Conference on GeoComputation*, (pp.343-348). France : Universite de Technologie de Compiegne.

BS EN 31010 (2010). Risk Management – Risk Assessment Techniques. London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 50126-1 (1999). Railway Applications – The Specification and Demonstration Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 1: Basic Requirements and Generic Process. London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 50126-2 (2007). Railway Applications – The Specification and Demonstration Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 2: Guide to the Application of EN 50126-1 for Safety. London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 50126-3 (2006). Railway Applications – The Specification and Demonstration Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 3: Guide to the Application of EN 50126-1 for Rolling Stock RAMS. London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 50128 (2009). Railway Applications –Communication, Signalling and Processing Systems – Software for Railway Control and Protection Systems. London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 50129 (1999). Railway Applications –Communication, Signalling and Processing Systems – Safety related Electronic Systems for Signalling. London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 60812 (2006). Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 61025 (2007). Fault tree analysis (FTA). London: British Standards Institution (BSI).

BS EN 61508-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (2002 - 2005). Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1 to 7: Functional safety and IEC 61508. London: British Standards Institution (BSI).

BS IEC 61882 (2001). Hazard and Operability studies (HAZOP) studies – Application guide. London: British Standards Institution (BSI).

Ericson, C.A. (2005). Hazard analysis techniques for system safety, Wiley.

Ghazel, M. & Koursi, E. M. E. (2007). Automatic level crossings: from informal functional requirements' specifications to the control model design, *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, (pp. 1-6). Villeneuve d'Ascq, France, April.

Gofuku, A., Koide, S. & Shimada, N. (2006). Fault tree analysis and failure more effects analysis based on multi-level modeling and causality estimation. *In:* SICE-ICASE, 2006. International Joint Conferencei 2006. IEEE, 497-500.

Kaufmann, J. J. (1982). Function analysis system technique (FAST) for management applications. Value World, Vol.5.

Kohda, T., & Fujihara, H. (2008). Risk analysis of level crossing accidents based on systems control for safety.*Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, (pp.419-429).

Lundteigen, M. A., Rausand, M. & Utne, I. B. (2009). Integrating RAMS engineering and management with the safety life cycle of IEC 61508. Reliability Engineering & System Safety, Vol.94, pp.1894-1903.

Medikonda, B. B. S., Ramaiah, P. S. & Gokhale, A.. (2011). FMEA and Fault Tree based Software Safety Analysis of a Railroad Crossing Critical System, *Global Journal of Computer Science and Technology*.

Medjoudj, M. & Yim, P. (2007). Extraction of Critical Scenarios in a Railway Level Crossing Control System, *International Journal of Computers, Communication & Control*, (pp.252-268). United Kingdom: University of Bristol, September 17-19.

Ortmeier, F. & Schellhorn, G. (2007). Formal Fault Tree Analysis: Practical Experiences. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, (pp.139-151). July 13.

SELCAT (2006). Safer European Level Crossing Appraisal and Technology, D3 – Report on risk modeling techniques for level crossing risk and system safety evaluation.

UIC 760 (2007). International Union of Railways: Level crossings – Road signs and signals.

UIC 761 (2004). International Union of Railways: Guidance on the automatic operation of level crossigns.

UIC 762 (2005). International Union of Railways: Safety measures to be taken at level crossings on lines operated from 120 to 200 km/h.

Url-1 < *https://en.wikipedia.org/wiki/Level_crossing* >, erişim tarihi 20.03.2016.

Url-2<*http://rzv113.rz.tu-bs.de/Bieleschweig/B10/9_Slovak.pdf*>, erişim tarihi 18.10.2016.

Url-3<*https://tr.scribd.com/document/262768343/10692-Level-Crossing-User-Guide*>, erişim tarihi 18.10.2016.

Url-4<*http://www.rrc.co.uk/nlpdfs/W2010/LINKS/Fault%20Tree%20Analysis%20and%20Event%20Tree%20Analysis_NID.pdf*>, erişim tarihi 20.03.2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Oğuz Kırbıyık

Doğum Tarihi ve Yeri **:** Bakırköy, 18 Temmuz 1989

E-posta **:** oguzkirbiyik@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Fakültesi, Kontrol Mühendisliği Bölümü