

**T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

**RAYLI SİSTEMLERDE RİSK ANALİZİ İLE SİSTEM EMNİYETİ VE
KALİTESİNİN ARTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMİNE EMEL SARIGÜZEL

OCAK 2021

**T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

**RAYLI SİSTEMLERDE RİSK ANALİZİ İLE SİSTEM EMNİYETİ VE
KALİTESİNİN ARTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMİNE EMEL SARIGÜZEL

DANIŞMANLAR

DR. ÖĞR. ÜYE. FATİH ÖZTÜRK

ÖĞR. GÖR. DR. GÜLSÜM KÜBRA KAYA

OCAK 2021

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt ederim.

İmza

Emine Emel Sarıg zel

Danışmanlığını yaptığım işbu tezin tamamen öğrencinin çalışması olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığını taahhüt ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Öztürk

Öğr. Gör. Dr. Gülsüm Kübra Kaya

İMZA SAYFASI

Emine Emel Sarıgözel tarafından hazırlanan ‘Raylı Sistemlerde Risk Analizi ile Sistem Emniyeti ve Kalitesinin Artırılması’ başlıklı bu yüksek lisans tezi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalında hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Öztürk

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Tez Danışmanı:

Öğr. Gör. Dr. Gülsüm Kübra Kaya

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Doç. Dr. Hasan Köten

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Doç. Dr. Berk Ayvaz

.....

Kurumu: İstanbul Ticaret Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Osman Kuşakçı

.....

Kurumu: İbn Haldun Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: / / 202...

ÖNSÖZ

Tez çalışması süresince sahip olduğu engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle çalışmaya ışık tutan değerli hocam Dr. Fatih Öztürk'e, tez konumu seçmemde ve tez hazırlama sürecinde değerli katkılarını ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen hocam Öğr. Gör. Dr. Gülsüm Kübra Kaya'ya, projenin kodlama kısmında yardımcı olan Dr. Serpil Üstebay'a deneyimlerini ve bilgilerini büyük bir özveriyle paylaşan İstanbul Ulaşım A.Ş.'ye ve bütün bu süreç boyunca annesinin yanı başında olan anlayışlı ve güzel kızım Elif Ece'ye teşekkür ediyorum.

Bu çalışma İstanbul Medeniyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: F-GAP-2020-1658.

Emine Emel Sarıgözel

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1 – GİRİŞ	14
1.2. ARAŞTIRMA AMACI	15
1.3. ARAŞTIRMA KAPSAMI	15
1.4. TEZİN YAPISI	15
1.5. BÖLÜM ÖZETİ	16
BÖLÜM 2 – LİTERATÜR İNCELEMESİ	17
2.1. LİTERATÜR İNCELEMESİNE GİRİŞ	17
2.2. RAYLI SİSTEMLERDE KALİTE YÖNETİMİ	18
2.2.1. IRIS – RAMS	18
2.2.2. Raylı Sistemlerde Sistem Emniyeti	21
2.3. EMNİYET KAVRAMI	22
2.3.1. Emniyet ve Güvenlik Kavramları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	23
2.3.1.2. Emniyet ve güvenlik kavramları arasındaki farklar	24
2.4. KAZA MODELLERİ	25
2.4.1. Domino Teorisi	26
2.4.2. Epidemiyolojik Teori	28
2.4.3. Sistemik Kaza Modelleri	29
2.5. RİSK DEĞERLENDİRME VE RİSK ANALİZİ	30
2.6. RİSK DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİ	33
2.6.1. Risk Tanımlama Süreci	33
2.6.2. Risk Analizi Süreci	34
2.6.3. Risk Değerlendirme Süreci	34
2.7. RİSK DEĞERLENDİRME TEKNİKLERİ	35
2.7.1. Hata Ağacı Analizi (FTA)	37
2.7.2. Olay Ağacı Analizi (ETA)	39
2.7.3. Hata Modu ve Etki Analizi (FMEA)	39
2.7.4. Fonksiyonel Rezonans Analiz Yöntemi (FRAM)	41
2.8. BÖLÜM ÖZETİ	42
BÖLÜM 3 – ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ	44
3.1. GİRİŞ	44
3.2. ARAŞTIRMA SORUSU	44

3.3.	METOTLAR	47
3.3.1.	Geleneksel FRAM Analizi	47
3.3.2.	FRAM İlkeleri ve Adımları	48
3.3.2.1.	Adım 1: Sistem fonksiyonlarının tanımlanması ve açıklaması	49
3.3.2.2.	Adım 2: Performans değişkenliğinin tanımlanması	49
3.3.2.3.	Adım 3: Değişkenliğin toplanması	49
3.3.2.4.	Adım 4: Değişkenliklerin yönetimi	49
3.3.3.	FRAM'a Yarı Nicel Yaklaşım	50
3.3.3.1.	Soyutlama – Ajan Çerçevesi	54
3.3.3.2.	Bilgi Toplama	54
3.3.3.3.1.	Veri toplama I	55
3.3.3.3.2.	Simülasyon	56
3.3.3.3.3.	Veri toplama II	57
3.4.	BÖLÜM ÖZETİ	57
	BÖLÜM 4 – UYGULAMA	58
4.1.	GİRİŞ	58
4.2.	ÖRNEK VAKA ÇALIŞMASI	58
4.3.	FRAM MODELLERİ	59
4.3.1.	Veri Yönetimi	60
4.3.2.	Vaka Analizi	63
4.3.2.1.	Tramvay sefere çıkmadan önce gerçekleştirilen aktiviteler	63
4.3.2.2.	Tramvay sefere başladığında gerçekleştirilen aktiviteler	64
4.3.2.3.	Tramvay seferdeyken gerçekleştirilen aktiviteler	65
4.3.2.4.	Tramvay seferi tamamladığında gerçekleştirilen aktiviteler	66
4.3.3.	Kritik Yollar	67
4.4.	SENARYO ANALİZİ	74
4.4.1.	Senaryo [0, 0, 0, 4]	75
4.4.1.1.	Tramvayın hat boyunca çalışması	75
4.4.1.2.	Tramvayın istasyona gelmesi	76
4.4.1.3.	Tramvayın park edilmesi	76
4.4.1.4.	Tramvayın bakıma hazırlanması	77
4.4.2.	Senaryo [0, 0, 1, 0], [0, 0, 1, 1], [0, 0, 1, 2]	77
4.4.2.1.	Enerji kesintisi yaşanması	77
4.4.2.2.	Tramvayın hat boyunca çalışması	77
4.4.3.	Senaryo [0, 0, 4, 0]	78
4.4.3.1.	Tramvayın hat boyunca çalışması	78

4.4.3.2.	Turnikeden geçmesi	79
4.4.3.3.	Tren sürücüsünün iş başı yapması	82
4.4.4.	Senaryo [1, 0, 0, 4]	82
4.4.4.1.	Tramvayın hat boyunca çalışması	82
4.4.4.2.	Tramvayın istasyona gelmesi	83
4.4.5.	Senaryo [4, 0, 0, 2]	84
4.4.5.1.	İstasyon güvenliğinin sağlanması	84
4.4.6.	Senaryo [4, 0, 0, 4]	84
4.4.6.1.	Tramvayın hat boyunca çalışması	84
4.4.7.	Senaryo Analizlerinin Özeti	85
4.5.	BÖLÜM ÖZETİ	88
BÖLÜM 5 – SONUÇ		89
KAYNAKÇA		91
ÖZGEÇMİŞ		99

KISALTMALAR

RAMS: Güvenilirlik, Kullanılabilirlik, Dayanıklılık, Emniyet

IRIS: Uluslararası Demiryolu Endüstrisi Standardı

DDGM: Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü

SGK: Sosyal Güvenlik Kurumu

AKOM: Afet Koordinasyon Merkezi

ORR: Demiryolu Düzenleme Ofisi

UNIFE: Avrupa Demiryolu Endüstrileri Birliği

TDK: Türk Dil Kurumu

ÇSGB: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

FRAM: Fonksiyonel Rezonans Analiz Metodu

FMEA: Hata Modu ve Etkileri Analizi

FTA: Hata Ağacı Analizi

STAMP: Sistem Teorik Kaza Modeli ve Süreci

PERT: Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği

AH: Soyutlama Hiyerarşisi

FA: Fonksiyonel Amaç

GF: Genelleştirilmiş Fonksiyon

PF: Fiziksel Fonksiyon

SAP: Sistem, Uygulama ve Ürünler

PDKS: Personel Denetleme Kontrol Sistemi

YBS: Yolcu Bilgilendirme Sistemi

SPC: Senaryo Performans Koşulu

T1: Bağcılar-Kabataş Tramvayı

M5: Üsküdar-Çekmeköy Metro Hattı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Soyutlama hiyerarşisi

58



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Tezin yapısına genel bakış	15
Şekil 2. Kazaları oluşturan unsurların açılımı	26
Şekil 3. Hollnagel'den uyarlanmış sıralı kaza modeli	27
Şekil 4. FTA yöntemi	36
Şekil 5. ETA yöntemi	37
Şekil 6. Hollnagel'den uyarlanmış bir fonksiyonu temsil eden altıgen	44
Şekil 7. Çıktı değişkenliğinin <Tramvayın hat boyunca çalışması> aktivitesinden zaman ve kesinlik açısından olasılık dağılımına bir örnek	47
Şekil 8. FRAM uygulaması için gerçekleştirilen araştırma süreci	49
Şekil 9. T1 Kabataş-Bağcılar Hattı	56
Şekil 10. Fonksiyonel amaçların FRAM ile gösterimi	59
Şekil 11. Genelleştirilmiş fonksiyonların FRAM ile gösterimi	60
Şekil 12. Fiziksel fonksiyonların FRAM ile gösterimi	61
Şekil 13. Birinci kritik yol	66
Şekil 14. İkinci kritik yol	67
Şekil 15. Üçüncü kritik yol	68
Şekil 16. Dördüncü kritik yol	69
Şekil 17. Beşinci kritik yol	70
Şekil 18. Altıncı kritik yol	71
Şekil 19. Yedinci kritik yol	72
Şekil 20. Viyana tramvay hattı	78
Şekil 21. İstanbul T1 tramvay hattı	79

ÖZET

RAYLI SİSTEMLERDE RİSK ANALİZİ İLE SİSTEM EMNİYETİ VE KALİTESİNİN ARTIRILMASI

Emine Emel SARIGÜZEL

Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı

Danışmanlar:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Öztürk - Öğr. Gör. Dr. Gülsüm Kübra Kaya

Ocak, 2021. 101 Sayfa

Demiryolu taşımacılığı, hava taşımacılığından sonra ulaşım yolları arasında en güvenli olanı olarak kabul edilmektedir. Ülkeler, demiryolu taşımacılığında güvenliğin sağlanması ve sürdürülmesi için sürekli çaba göstermektedirler. UNIFE (2009) tarafından tanıtılan ve ekipman üreticileri tarafından da desteklenen IRIS (Uluslararası Demiryolu Endüstrisi Standardı), demiryollarına özel gereksinimleri tanıtan, uluslararası kabul görmüş ISO 9001 kalite standardını tanımlar. IRIS ray standardı ISO 9001 standardını temel almıştır. IRIS, demiryollarına özgü süreçler için tasarlanmış bir yönetim sistemidir.

Raylı sistemlerde risk yönetimi, diğer endüstrilerde kullanılan risk yönetimi süreçlerine dayanmaktadır. Raylı sistemlerde yaşanabilecek olası kazaların ölümcül olabilmesi, demiryolu risk yönetimi uygulamalarına olan ilgiyi artırmıştır. Raylı sistemler sosyo-teknik sistemlerdir. Bu nedenle, geleneksel risk yönetimi tekniklerinin lineer bir yaklaşım ile sistemi parçalarına ayırarak sebep sonuç ilişkisi çerçevesinde incelemesi yetersiz kalabilmektedir. İnsani ve örgütsel faktörleri içeren kazaların analizi, sıralı bir kaza modeli kullanan yöntemlerin yeterli olmadığını açıkça göstermektedir. Bu tezde araştırılan ve sistem yaklaşımı üzerine geliştirilen FRAM'ın amacı, risk yönetimi ile insan ve örgütsel faktörler arasında tamamlayıcı bir değişim desteği sunmaktır. FRAM metodu, performans değişkenliklerine odaklanmaktadır. FRAM metoduna göre, performans değişkenlikleri sistemi başarı ile sürdürmek için gerekli olabileceği gibi, kontrol edilmeyen performans değişkenlikleri istenmeyen olaylara sebebiyet verebilmektedir. Sosyo-teknik sistemlerde, istenmeyen olaylar genellikle sistemin parçaları arası etkileşimlerden kaynaklanır. Bu çalışmada, nitel bir yöntem olan FRAM, yarı nicel hale getirilmiştir. Monte Carlo

simülasyonuna dayanan yarı niceliksel bir yaklaşımla geleneksel FRAM'e yenilikçi bir form katılarak değerlendirilmiştir.

Demiryolu taşımacılığı, toplu taşıma sisteminin en güvenilir ve çevre açısından kabul edilebilir sistemidir. Fakat tramvaylar demiryolu tiplerinde yaya ve yolcu güvenliği açısından en riskli gruplardan biridir. Bu nedenle, bu çalışma İstanbul T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattındaki potansiyel riskleri tespit ederek, tramvay işletmeciliğinin iyileştirilmesini hedeflemiştir. Raylı sistem kullanımını artırmak için verimlilik artışı önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Risk Analizi, Raylı Sistemler, RAMS, IRIS, FRAM



ABSTRACT

INCREASING SYSTEM SAFETY AND QUALITY WITH RISK ANALYSIS IN RAIL SYSTEMS

Emine Emel SARIGÜZEL

Master Thesis, Department of Engineering Management

Thesis Supervisors:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Öztürk - Öğr. Gör. Dr. Gülsüm Kübra Kaya

January, 2021. 101 Pages

Rail transport is considered to be the safest of transport after air transport. Countries are constantly striving to ensure and maintain safety in rail transport. IRIS (International Railway Industry Standard), introduced by UNIFE (2009) and supported by equipment manufacturers, defines the internationally recognized ISO 9001 quality standard, which introduces specific requirements to railways. The IRIS rail standard is based on the ISO 9001 standard. IRIS is a management system designed for processes specific to railways.

Risk management in rail systems is based on risk management processes used in other industries. The fatality of possible accidents in rail systems has increased the interest in railway risk management practices. Rail systems are socio-technical systems. For this reason, it may be insufficient to examine traditional risk management techniques by separating the system with a linear approach and within the framework of cause and effect relationship. Analysis of accidents involving human and organizational factors clearly shows that methods using a sequential accident model are not sufficient. The aim of FRAM, which is a systemic approach researched in this thesis, is to provide a complementary exchange support between risk management and human and organizational factors. The FRAM method focuses on performance variations. According to the FRAM method, performance variations may be necessary to maintain the system successfully, and uncontrolled performance variations can cause undesirable events. Undesirable events can be caused by interactions between parts of the system. In this study, FRAM, which is a qualitative method, was made semi-quantitative. It is evaluated by adding an innovative

form to traditional FRAM with a semi-quantitative approach based on Monte Carlo simulation.

Rail transport is the most reliable and environmentally acceptable system of the public transport system. However, trams are one of the most risky groups in railway types in terms of pedestrian and passenger safety. For this reason, this study aimed to improve the tram operation by identifying the potential risks in the Istanbul T1 Kabataş Bağcılar tram line. Increasing efficiency is recommended to increase the use of the rail system.

Keywords: Risk Analysis, Railway Systems, RAMS, IRIS, FRAM



BÖLÜM 1 – GİRİŞ

Emniyet ve güvenlik, insan hayatı üzerinde etkisi olan diğer tüm sistemlerde olduğu gibi, raylı sistemlerde de sistemin vazgeçilmez unsurlarındandır. Çok hızlı değişen ve gelişen ileri bir teknoloji çağında yaşamaktayız. Hızla değişen ve gelişen bu çağ, sistem uygulayıcılarını mevcut sistemlerin nasıl daha kusursuz veya kusursuza yakın bir şekilde dizayn edilebilir sorusuna cevap aramaya yöneltmiştir. Gelişmiş sistemlerde risk analizi gerçekleştirmek için kullanılan birçok yöntem vardır. Sistematik analiz için yakın zamanda geliştirilen bir yöntem olan FRAM, mevcut sistem elemanları arasındaki fonksiyonel ilişkilerin tanımlarını kolaylaştırdığı gibi potansiyel bağlantıların görünürlüğünü artırmaktadır. FRAM’i diğer metotlardan ayıran fark, sistem yaklaşımı üzerine inşa edilmesidir. Bu tez çalışmasında FRAM yöntemi ile demiryolu taşımacılığında bir risk analizi gerçekleştirilmiştir.

1.1.ARAŞTIRMA MOTİVASYONU

Demiryolu endüstrisi, dünya çapında hızla gelişmekte olan bir taşımacılık sistemidir. Ülkemizde de demiryolu sektörüne gün geçtikçe daha fazla yatırım yapılmaktadır. Raylı sistemlere yapılan yatırımların artmasının esas sebebi, hızlı kentleşme karşısında daha hızlı, daha konforlu ve daha verimli bir sistem olarak kabul görmesidir. Uluslararası standartlara hızlı uyum sağlayabilmek için, yeni gelişmeler ve kalite gereksinimlerini takip etmek, demiryolu endüstrisi için oldukça önemlidir. Bu araştırma çalışmasında İstanbul’un günlük en fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip olan T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattı incelenmiştir. Araç trafiği ile birçok noktada kesişen T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattında birçok kaza riski bulunmaktadır. Bu kazalara sebebiyet veren aktiviteleri araştırmak, potansiyel riskleri analiz etmek, riskleri en aza indirgeyebilmek bu araştırma çalışmasının motivasyonlarıdır.

1.2.ARAŞTIRMA AMACI

Bu araştırma çalışmasının genel amacı, İstanbul’da bulunan T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattında yeni bir yaklaşım ile risk değerlendirme uygulamasını geliştirmektir. Bu amaca ulaşmak için araştırma, mevcut risk değerlendirme uygulamalarını araştırmış ve yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı tasarlayarak önermiştir. Çalışma, tramvay işletim sistemini çeşitli çalışma koşulları altında modellemeyi, fonksiyonel değişkenliği anlamayı ve sistem güvenliğini tehdit eden riskleri belirlemeyi amaçlamaktadır.

1.3.ARAŞTIRMA KAPSAMI

Bu araştırmanın kapsamı, tramvay hattının daha emniyetli bir şekilde çalışması için uygulanan bir risk değerlendirmesidir. Risk değerlendirmesi, risk yönetiminin bir parçasıdır ve risk tanımlama, risk analizi ve risk değerlendirme adımlarından oluşur. Bu araştırma çalışmasında incelenen tramvay hattı, karmaşık ilişkilere sahiptir, çok sayıda olay bir arada yaşanmaktadır, bu nedenle T1 tramvay hattı araştırma için ilgi çekici hale gelmiştir. Önerilen yaklaşım ihtiyaç analizi yapılarak tasarlanmıştır. Diğer araştırmacıların çalışmalarına yapılan atıflar metinde açıkça belirtilmiştir.

1.4.TEZİN YAPISI

Şekil 1. Bu tezin yapısını göstermektedir. Tez beş bölümden oluşmaktadır. Her bölüm aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Bölüm 1: Giriş

Giriş bölümünde araştırmanın temel motivasyonu, amacı, kapsamı ve tezin yapısı tanıtılmaktadır.

Bölüm 2: Literatür İncelemesi

Literatür incelemesi bölümü, araştırma konusuna genel bir bakış sunmaktadır. Raylı sistemlerde kalite yönetimi, IRIS ve RAMS standardizasyonları açıklanmaktadır. Ayrıca emniyet ve güvenlik kavramları, kaza modelleri, risk analizi, ve risk değerlendirme teknikleri de tanıtılmaktadır.

Bölüm 3: Araştırma Metodolojisi

Araştırma metodolojisi bölümünde araştırma soruları, araştırma yöntemleri ve araştırma tasarımı ana hatlarıyla belirlenerek bu çalışmada izlenen araştırma süreci tanıtılmaktadır.

Bölüm 4: Uygulama

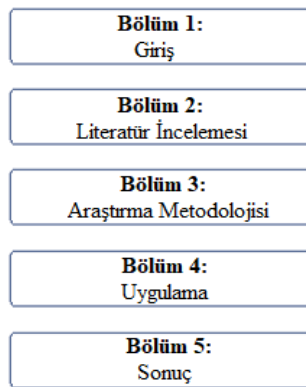
Uygulama bölümünde, araştırma metodolojisinde tanıtılmış olan sürecin uygulaması tanıtılmaktadır. Kullanılan metot, metoda dair ajanlar, kritik yollar ve öneriler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölüm 5: Sonuç

Sonuç bölümü her bir araştırma sorusuna kısa bir yanıt sunmaktadır ve bu araştırmanın katkılarını tartışmaktadır. Sonuç bölümünde, araştırma çalışmasının özgünlüğü, literatüre katkısı, ve uygulanabilirliği tartışılmaktadır.

1.5.BÖLÜM ÖZETİ

Bu bölümde tezin özeti sunulmuştur. Bu araştırma, motivasyonunu, potansiyel bir iyileştirme alanı olan risk değerlendirmesi ile tramvaylarda emniyeti iyileştirme ihtiyacından almıştır. Son olarak, bu bölüm, Şekil 1.'de özetlenen bu tezin yapısını tanıtmıştır.



Şekil 1. Tezin yapısına genel bakış

BÖLÜM 2 – LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. LİTERATÜR İNCELEMESİNE GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığı, tüm dünyada güvenilir yolcu taşımacılığı sistemlerinden biri olarak kabul görmektedir. Demiryolu taşımacılığının diğer ulaşım metotlarına göre bazı avantajları vardır. Diğer ulaşım metotlarına göre avantajları arasında, motorlu taşıtlara göre hava kirliliğine daha az sebebiyet vermesi, yaşanan kazaların daha az olması ve ulaşım açısından pek çok avantajları bulunmaktadır (Öztürk, 2014). Demiryolu endüstrisi, giderek artan önemini birçok faktöre borçludur, esas olarak hızlı kentleşme karşısında nispeten daha konforlu, hızlı ve verimli bir ulaşım şekli olarak kabul edilmektedir (Öztürk, 2017). Bu nedenle günlük kentsel yaşamın ana parçalarından biri haline gelmiştir. Aynı zamanda dinamik şehir merkezleri oluşturulmasını sağlamak için önemli bir araç olarak da kullanılmaktadırlar.

Tramvaylar, karayolu taşıtları ile kıyaslandığında güvenli kabul edilmekle birlikte tramvay sistemleri tramvayın tasarımı, çalışma sistemi ve çevresi ile ilgili çeşitli risklere maruz kalmaktadır. Tramvay şeritlerinin karayolu trafik araçları ve yayalarla paylaşılması nedeniyle önemli risklere maruz kalmaktadır. Kavşaklarda ve yaya geçitlerinde ölümcül kazalar meydana gelebilir (Naznin, Currie, vd. 2016).

Demiryolu sistemleri, uluslararası standardizasyona sahip olması gereken, çok geniş bir sistemdir. Bu standardizasyonu sağlayan RAMS (Güvenilirlik, Elde Edilebilirlik, Bakım Yapılabilirlik, Emniyet) yönetimi, günümüzde hem küresel alanda hem de yerel alanda demiryolu işletmeciliğinde önemli bir destek unsuru haline gelmiştir (Mahboob ve Zio 2018). Demiryolu işletmeciliğinde yüksek performansı başarmanın en etkili yolu, sürecin doğru anlaşılması ve ardından doğru iyileştirmelerin yapılmasıdır. Bu nedenle günümüzde birçok demiryolu kuruluşu, operasyonel faaliyetlerinin iyileştirilmesi için RAMS yönetimini işletmelerine entegre etmeye başlamışlardır.

Tezin bu bölümünde, Raylı Sistemlerde Kalite Yönetimi, Emniyet ve Güvenlik Kavramları, Kaza Modelleri, Risk Analizi ve Risk Değerlendirme Teknikleri konularına değinilecektir. Risk değerlendirmesinin arkasındaki bilimi anlamak için, emniyetin ne olduğu, kazaların nasıl olduğu ve risk değerlendirmesine neyin dahil olduğu açıklanarak konunun daha iyi anlaşılması adına zemin hazırlanmıştır. Son olarak, bu literatür incelemesinde ortaya konan bulgular ışığında araştırma soruları sunulmuştur.

2.2. RAYLI SİSTEMLERDE KALİTE YÖNETİMİ

Demiryolu endüstrisi, büyük uluslararası değişimlere maruz kalan ve önemi her geçen gün artan, sürekli büyüyen bir sistemdir. Tüm dünyada önemi hızla arttığı için, daha fazla ülke demiryolu sektörüne girerek yatırımlarını artırmaktadırlar. Demiryolu endüstrisindeki değişiklikleri ve kalite gereksinimlerini takip etmek için, iyi işleyen yönetim sistemleri ve endüstri gereksinimleri standartları önemlidir (Naweed, Rainbird, ve Dance, 2015).

RAMS yönetimi, tanımlanmış bir demiryolu trafiği hizmetini başarıyla elde etmek için güvenilirlik, kullanılabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet özelliklerini sistem mühendisliği süreci aracılığıyla doğal bir sistem tasarım özelliğine entegre eden bir mühendislik disiplindir. RAMS, Avrupa standartları kapsamında farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Demiryollarına özgü RAMS standardı TS EN 50126 çerçevesinde tasarlanmaktadır (Gündoğdu, 2012).

Demiryolu endüstrisine özgü ihtiyaçları karşılamak üzere kurulan ve daha yüksek kalite standartlarına erişmeyi hedefleyen IRIS ray standardı, ISO 9001 standardını temel almaktadır (DEMİRYOLU SEKTÖR RAPORU 2018). IRIS, demiryolu sistemlerine özgü süreçler için tasarlanmış bir kalite yönetim standardıdır ve bu sayede demiryollarında kullanılan araçlara ait her türlü ekipman ve sinyal sistemlerini standart bir çatı altında toplamaktadır (Friedel ve Huke, 2006).

2.2.1. IRIS – RAMS

IRIS, Uluslararası Demiryolu Endüstrisi Standardı anlamına gelmektedir. Demiryolu sektörünün değişimlerini ve kalite gereksinimlerini takip etmek için Uluslararası Demiryolu Endüstrisi Standartları (IRIS) geliştirilmiştir. Demiryolu endüstrisi için geliştirilmiş, ve tüm dünyada ortak kullanıma uygun olması açısından global olarak hazırlanmış bir kalite yönetim

sistemidir. Yönetim sistemlerinin değerlendirilmesi için demiryolu sektörüne özgü, dünya çapında tanınan ve geçerli tek sektör standardıdır.

IRIS'in amacı, demiryolu endüstrisine katkıda bulunan şirketlerin değerlendirilmesi için küresel bir sistem geliştirmek ve uygulamaktır. IRIS, müşteri memnuniyeti, ürün kalitesi, etkin süreç yönetimi ve tüm bileşenler için yenilik sağlama sürecinde hayati bir rol oynamaktadır.

IRIS, Avrupa Demiryolu Endüstrisi (UNIFE, 2009) önderliğinde geliştirilmiştir. IRIS standartlarının bir parçası olarak, satın alma süreçlerinin ve tedarik zinciri yönetim sistemlerinin genel yönetimindeki değişiklikler yoluyla, sektöre özgü daha fazla ayrıntıya olanak tanıyan ayrı bir yönetim sistemi kurulmuştur. 2009 senesinde demiryolu endüstrisine malzeme ve bileşen tedarikçileri için de IRIS standartlarına uygunluk zorunluluğu getirilmiştir. IRIS sistemi, denetimin içeriği, prosedürleri ve değerlendirilmesinde gerekliliklerin yanı sıra belgelendirme kuruluşları ve denetçiler için bir gereklilik profili tanımlamaktadır. IRIS, demiryolu tedarikçilerinin denetimi için verimli ve şeffaf bir sistem sunmaktadır. Herkes için aynı temel ilke, ortak dil ve denetim uygulaması ve herkes için yüksek düzeyde şeffaflık ilkesi benimsenmiştir. Bu da IRIS'i tüm dünyada güvenilir ve demiryoluna özgü tek standart kılmaktadır.

RAMS, baş harflerini İngilizce kelimeler olan Reliability, Availability, Maintainability ve Safety'den almaktadır. RAMS, güvenilirlik, elde edilebilirlik, bakım yapılabilirlik ve emniyet kombinasyonunu açıklayan bir kısaltmadır. Demiryolu sisteminin operasyonel amaçlarına uygun güvenilirlik, elde edilebilirlik, bakım yapılabilirlik ve emniyet özelliklerini demiryolu sistemleri mühendisliği yoluyla entegre eden bir mühendislik disiplindir (Friedel ve Huke, 2006). Güvenilirlik, bir öğenin belirli bir zaman aralığı için belirli koşullar altında gerekli bir işlevi gerçekleştirme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Elde edilebilirlik, bir nesneye ait gerekli yardımcı malzemelerin, belirtilen şartlar altında ve belirli bir süre boyunca gerekli bir işlevi yerine getirmesi anlamına gelmektedir. Bakım yapılabilirlik, belirli bir bakım önleminin belirli bir süre içinde mevcut koşullar altında gerçekleştirilebileceği fizibilitesi olarak tanımlanmaktadır (Öztürk, 2014). Emniyet, kabul edilemez bir hasar riskinin olmaması anlamına gelmektedir (Karanki, Vinot ve Ajit, 2020).

Tanımlanmış bir demiryolu hizmetini zamanında, güvenli ve uygun maliyet ile gerçekleştirebilmeyi sağlayan RAMS yönetimi, son yıllarda hızla büyüyen bir mühendislik disiplini haline gelmiştir. Demiryolu taşımacılığının başta karayolu taşımacılığı olmak üzere diğer taşımacılıklara karşı rekabet gücünü artırmak için büyük bir potansiyeli vardır. Bu

nedenle, RAMS yönetimi günümüzün küresel demiryolu projelerinde önemli bir konu haline gelmektedir. Ayrıca yerel demiryolu projelerinde de giderek genişletilmektedir (Park, 2013).

Emniyet, kullanılabilirlik ve maliyet etkinliği günümüz küresel demiryolu işletmelerinde en önemli konular arasındadır (Kecklund, Ingre, vd. 2001). Bu nedenle, demiryolu endüstrisinde bu özellikleri sağlayabilen bir sistem gereksinimi yüksektir. Demiryolu organizasyonları, demiryolu tasarım ve geliştirme projelerinde belirli mühendisliklerin kullanılmasını talep etmektedirler. RAMS yönetimi sayesinde işletmenin şartları ve hedefleri belirlenmektedir (Park, 2013). Raylı sistem araçlarının sık sık yüklenmesi nedeniyle, çevre koşulları ve verimsiz çalışma gibi nedenlerden dolayı demiryolu altyapısındaki sistem ve bileşenler bir süre sonra bozulmaktadırlar. Trenlerin performansını ve kullanımını geliştirmek için, düzeltici veya önleyici temelde yapılması gereken bir bakım eylem ve sürecine ihtiyaç vardır. Altyapı, herhangi bir bakım eyleminin yeterli gelişme göstermeyeceği şekilde bozulursa, altyapı yöneticileri yenilemeyi veya elden geçirmeyi önerir. Bu iki ana bakım stratejisine ek olarak, demiryolu altyapısının kullanılabilirliğini ve güvenliğini artırmak için uygulanan çeşitli bakım stratejilerinin bir kombinasyonu vardır. Kullanılabilirlik ve emniyet üzerinde etkili olan bu arıza ve bakım eylemlerinin toplanması güvenilirlik, elde edilebilirlik, bakım yapılabilirlik ve güvenliği, yani kısaca RAMS' ı oluşturmaktadır (Park, 2013). Bakım işlemlerinin her biri doğrudan veya dolaylı maliyetlere tabidir ve toplam maliyetin öngörülen bütçeden daha fazla olmaması beklenmektedir. Bu nedenle, tasarım, imalat, kurulum, işletme, bakım gibi yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında demiryolu altyapısının yaşam döngüsü maliyetinin yapılması gerekmektedir. Bakım işlemleri belirli sayıda hatadan fazla gerçekleştirilirse veya bileşenlerin bozulması için var olan eşik değere ulaşırsa, bu eylemlerin daha yüksek risklere yol açabilecek daha yüksek sonuçları olması muhtemeldir.

RAMS, sistemin veya bu sistemi içeren alt sistemlerin belirtildiği gibi çalışmasına ve hem kullanılabilir hem de güvenli olmalarına göre, derecesinin nitel ve nicel bir göstergesi olarak karakterize edilebilir. Aynı zamanda bir ürünün yaşam döngüsü boyunca belirlenmiş fonksiyonelliğini öngörmeyi de amaçlamaktadır.

RAMS gereksinimleri dörde ayrılmaktadır. Bunlar:

1. Fonksiyonel emniyet ve emniyet bütünlüğü gereksinimleri
2. Ürün güvenliği gereksinimleri
3. Operasyonel kullanılabilirlik gereksinimleri

4. Elde edilebilirlik ve bakım desteği gereksinimleri

Üretici, ilgili tüm gereksinimlerin dahil edildiği bir RAMS spesifikasyonu geliştirmelidir. Performans, bir ürünün RAMS özellikleri ile ilgilidir. İstenen RAMS performansı, tahmini RAMS performansı ve gerçek RAMS performansı arasında ayırım yapılabilir. Başarılı ürünler, arzulanan performansa çok yakın performans göstermektedirler. Başarılı bir ürün, istenen performans ile gerçek RAMS performansı arasında çok dar bir boşluğa sahiptir. Gerçek performans yalnızca ürün özellikleriyle bağlantılı değildir, aynı zamanda ürünün geliştirme sürecinden, işletiminden ve bakımından da etkilenmektedir; bu unsurlar aynı zamanda ürün yaşam döngüsünün önemli unsurlarıdır. Kısacası, bir RAMS yönetim planı, ürün yaşam döngüsü aşamasındaki tüm RAMS ile ilgili faaliyetleri açıklar, ürün geliştirmenin farklı aşamalarından ve görevlerinden sorumlu kişileri, departmanları ve kuruluşları tanımlar. RAMS yönetimi zamanında, güvenli ve uygun maliyetli bir demiryolu trafiği hizmeti verilebilmesi için son yıllarda hızla büyüyen bir mühendislik disiplini haline gelmiştir.

2.2.2. Raylı Sistemlerde Sistem Emniyeti

Ülkemizde gün geçtikçe özellikle büyük şehirlerde kentleşme hızla artmakta ve bunun olumsuz bir getirisi olarak kent içi ulaşım ciddi bir mesele olarak ortaya çıkmaktadır (Naznin, Currie, Logan vd, 2016.). Büyük şehirlerdeki hızla artan nüfus sayısı, toplu taşımacılığın iyileştirilme sorununu da beraberinde getirmektedir. Toplu taşıma işletmeciliğinde en önemli misyon, yolculara emniyetli ve güvenilir bir hizmet sağlamaktır (Manisalı, 2006). Diğer tüm sistemlerde olduğu gibi demiryolu işletim sisteminde de emniyet gerek işletme gerekse yolcular açısından son derece önem arz etmektedir. Bir sisteme ait emniyet bütünlüğünün sağlanması için, o sisteme ait olan tüm parçaların standart bir emniyet seviyesine ve kriterlerine sahip olması beklenmektedir. Bir sisteme emniyetli sistem denilebilmesi için, emniyet bütünlüğünü zedeleyecek durumlardan arındırılmış olması esastır. Sisteme ait olan herhangi bir bölümde oluşabilecek bir zayıflık, tüm emniyet bütünlüğünü sekteye uğratacağından, o sistem, artık güvenli sistem olarak anılamayacaktır. Dolayısıyla böylesi bir sistemde emniyet bütünlüğünden de söz edilemeyecektir (Gülener, 2009).

Emniyet bütünlüğü gereklilikleri, bir risk değerlendirmesinden elde edilir (Gündoğdu ve Açıkbaş, 2007). Emniyet bütünlüğü seviyesi ne kadar yüksek olursa, tehlikeli arıza olasılığı o kadar düşük olur (IEC, 2004). Daha yüksek emniyet bütünlüğü seviyelerine ulaşabilmek için, emniyet ile ilgili sistem mühendisliğinde daha fazla titizlik gerekmektedir. Hem emniyet

fonksiyonu hem de emniyet bütünlüğü, belirli bir ortamda sistemler için bir bütün olarak gerekli davranışı belirtmektedir. Bu iki unsur, “hangi emniyet fonksiyonunun gerçekleştirilmesi” - emniyet fonksiyon gereklilikleri- ve “emniyet fonksiyonunun yerine getirilmesi için ne kadar kesinliğin gerekli olduğu” -emniyet bütünlüğü gereklilikleri- fonksiyonel emniyetin temellerini oluşturmaktadır (King, 2016).

2.3. EMNİYET KAVRAMI

Demiryolu işletmeciliğinde emniyet yönetim sisteminin amacı, demiryolu işletmesine ait olan tüm faaliyetler ile ilgili riskleri kontrol altında tutmaktır. Bu faaliyetler, bakım, onarım, malzeme/ekipman tedariki ve dış kaynak tarafından yapılan işler de dahil olmak üzere tümünü kapsamaktadır. Emniyet belgesine ihtiyaç duyan tüm işletmeler, emniyet yönetim sistemi de bulundurmak zorundadırlar (Uzuner, 2014). Tüm demiryolu işletmelerinde ortak bir emniyet anlayışı üretilmesi, emniyet yönetim sisteminin kurulması ile mümkün olmaktadır. Bir işletmede emniyet yönetim sistemi bulundurulması ile emniyet yönetim sistemine ait olan tüm parçaların dokümente edilmesi ve sistemin emniyeti ile ilgili tüm süreç adımlarının doğru saptanması beklenmektedir. Tramvay işletim sistemlerinde, emniyet yönetimi personelin, yolcuların ve halkın güvenliğini sağlamak için düzenleyici çerçevenin bir parçası olarak tasarlanmıştır (Uzuner, 2014).

Emniyet yönetim sistemi süreçlerine sistemin tüm faaliyetleri dahildir: bakım ve onarım, malzeme/ekipman tedariki, hizmet alımı, yapım işleri, mevcut talimat ve standartlara uyum, risk değerlendirmesi ve risk tespiti süreçleri, eğitim ve mesleği geliştirme süreçleri. Demiryolu işletmeciliğinde Emniyet Yönetim Sistemi, işletmenin hem kendi bünyesinde bulunan hem de dış kaynak çalıştırılmasından kaynaklanan risklerin yönetimi için etkin süreçler sağlamaktadır (Uzuner, 2014). Risk yönetimini, risklerin tespit edilip değerlendirilmesi, riski azaltmak için uygulanan tedbirlerin yürürlüğe konması, işletmede hali hazırda mevcut olan bütün kurallara uyma, ve süreçlerin denetlenmesi kapsar (BSI, 2009).

Emniyet yönetimi sistemi, prosedürlerin ve kuralların geliştirilmesini, emniyet eğitimi programlarının sağlanmasını, pozitif bir emniyet kültürünün geliştirilmesini, risklerin değerlendirilmesini ve kazaların soruşturulmasını içerir (Uzuner, 2014).

Emniyet ve risk değerlendirmesi ile ilgili çok sayıda arama kriteri ve terim kullanılarak araştırma yapılmıştır. Ülkemizde güvenlik ve emniyet kelimelerinin birbiri yerine kullanıldığı görülmüştür, bu da kavram kargaşasına yol amaktadırdır. Bu kavram kargaşasını açıklamak gerekmektedir.

2.3.1. Emniyet ve Güvenlik Kavramları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Emniyet ve güvenlik kelimeleri, ülkemizde birbiri yerine sıklıkla kullanılmasına rağmen, anlam bakımından birbirlerinden oldukça farklıdırlar. Son yıllarda demiryollarının hızla gelişmesi ile birlikte, sektöre özgü bazı kelimelerin anlamlarının yeniden tanımlanması ihtiyacı doğmuştur. Emniyet ve güvenlik kavramlarının, özellikle yüksek hızlı tren sistemlerinin ve tünel teknolojilerinin gelişmesiyle demiryolları işletmeciliğinde önemleri artmıştır. Türk Dil Kurumunun güvenlik ve emniyet kelimelerinin anlamlarına bakıldığında, bu iki kelimenin birbiri yerine kullanılmasının kaçınılmaz olduğu görülmektedir (TDK, 2020).

Emniyet: Güvenlik.

Güvenlik: Toplum yaşamında yasal düzenin aksamadan yürütülmesi, kişilerin korkusuzca yaşayabilmesi durumu, emniyet.

Türk Dil Kurumunun kelime anlamlarına bakıldığında, bu iki kelime arasında bir fark olmadığı görülmektedir. Pek çok dilde bu iki kelime birbiri yerine kullanılmaktadır, fakat İngilizcede ise durum farklıdır. Türkiye'nin Avrupa demiryollarıyla entegrasyonu için kavram kargaşasının ortadan kalkması ve kavramların doğru kullanılması önem arz etmektedir. Güvenlik ve emniyet kelimelerinin Oxford sözlükte karşılığına bakıldığında, bu iki kelimenin birbirinden son derece farklı olduğu açıktır (OXFORD, 2020).

Emniyet: Tehlike, risk veya yaralanmalardan ya da neden olma ihtimalinden korunmuş olma durumu.

Güvenlik: Tehlike ya da tehditten arınmış olma durumu.

Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğünün (DDGM) hazırlamış olduğu Demiryolu Emniyet Yönetmeliğinde (2015) emniyet kelimesi; “Kabul edilemez risklerin kontrol altında tutulması amacıyla gerekli önlemlerin alınması” olarak tanımlanmıştır (DDGM , 2015).

Bununla birlikte, demiryolları işletmeciliğinde güvenlik ve emniyet alanlarında çalışan birimlerde bu kelimelerin doğru kullanıldığı görülmüştür. “Koruma ve Güvenlik Müdürlüğü” ve 2012 senesinde kurulan ve faaliyete geçen “Emniyet Yönetimi Dairesi Başkanlığı” örnek olarak gösterilebilir.

2.3.1.1.Emniyet ve güvenlik kavramları arasındaki benzerlikler

Risk, emniyet kavramı için de güvenlik kavramı için de geçerli bir unsurdur. Bu iki kavram için de detaylı bir şekilde yapılandırılmış bir risk yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistem üzerindeki olumsuz etkiler, risk değerlendirmesi yolu ile analiz edilebilir. İnsan faktörünün bulunduğu her sistemde olduğu gibi, demiryolu işletmeciliğinde de mutlak emniyet ve mutlak güvenlik mümkün olmamaktadır (Mahboob, ve Zio, 2018.) Riskler, sürecin her aşamasında bulunmaktadır. Emniyette de güvenlikte de önemli olan, kişilerin ve varlıkların korunması olup, riskin azaltılmaya çalışılmasıdır.

2.3.1.2.Emniyet ve güvenlik kavramları arasındaki farklar

Daha önce de belirtildiği gibi, ülkemizde, emniyet ve güvenlik kelimeleri birbirini yerine sıklıkla kullanılmakta ve bu durum birçok anlam bozukluğuna sebebiyet vermektedir. Güvenlik kelimesinin kullanım alanlarına bakıldığında genellikle insanların diğer insanlardan korundukları sistemlere atfedildiği görülmektedir; örnek olarak güvenlik kontrolleri, güvenlik kameraları gösterilebilir. Emniyet kavramı ise, insan dışı unsurlardan korunma ile ilgilidir. Emniyet mesafesi, trafik emniyeti gibi kavramlar, emniyet kavramına dahildir. Emniyet, sistem ile ilgili bir durum, kaza veya ihmal ile meydana gelen oluşumları ifade ederken, güvenlik insanlar tarafından gerçekleştirilmiş, kasıtlı bir eylem ile ilgili oluşumları içermektedir (Üstündağ, 2016). Emniyet ile ilgili olaylarda insan hatası vardır, burada bir kasıt yoktur. Hız sınırının belirlenen düzeyin üstüne çıkması, deray, totman gibi durumlar emniyetle ilgilidir. Fakat trenin taşlanması, bireylerin raylar üzerine atlayarak intihar girişiminde bulunması gibi durumlar güvenlik ile ilgilidir ve burada kasıt bulunmaktadır (Üstündağ, 2016).

Emniyet ve güvenlik kavramlarını daha doğru anlamak için, günlük hayattan örnek vermek mümkündür. Araç fren sistemi, emniyet kemeri, hava yastığı gibi ekipmanlar emniyetin birer parçasıdır. Araçta bulunan alarm sistemi, kapı kilidi, direksiyon kilidi ise aracı suç ihtimallerinden koruyan ve araca ait güvenlik sisteminin parçalarıdır (Uzuner, 2014).

Buradan yola çıkarak, emniyet, sistemin tehlikelerden korunması, güvenlik ise sistemin tehditlerden korunması olarak özetlenebilir. Emniyetten kaynaklanan olaylar kaza ile gerçekleşir, güvenlikten kaynaklanan olaylar ise kastidir. Güvenlik sebebi ile yaşanan bir problem, sistemin işleyişini etkileyeceği için emniyeti de etkileyen bir faktördür. Bu nedenle, emniyetin güvenliği de içine alan daha geniş bir kavram olduğu anlaşılmaktadır.

2.4. KAZA MODELLERİ

Kaza tanımlarına bakıldığında, genel olarak, ani, istenmeyen, planlanmamış ve yaralanma, ölüm veya maddi hasar ile sonuçlanan bir olay olarak tanımlandığı görülmektedir (Tabak, 2016). İstenmeyen bir olay sonrası aniden gelişen, kontrol edilmesi mümkün olmayan, bireye bedenen zarar verebilen veya maddi hasara sebebiyet veren nitelikte olaylara kaza denilmektedir. Her risk analizi tekniği bir kaza nedeni modeline dayanmaktadır (Kaya ve Canbaz 2019; Ouyang, Hong, Yu ve Fei, 2010). Bir kaza modeli, kaza teorisine dayalı kaza oluşumunun gösterimine yardımcı olmak için bir sistemin veya sürecin basitleştirilmiş bir tanımıdır. Kaza teorisi, kazalara neden olma ilkelerini gösterir (Awal ve Kazuhiko, 2017). Bir kaza soruşturması her zaman bir yöntem izlemektedir. Bu başlık altında, kaza teorileri ve kaza modelleri hakkında bir literatür araştırması sunulmaktadır. Araştırma sırasında, kaza teorilerinin ve modellerinin türü, amacı, hipotezi ve analiz yöntemi gibi birkaç kilit nokta ele alınmıştır. Çok çeşitli kaza teorileri ve modelleri olduğu görülmüştür. Kaza nedeni ile ilgili, her biri açıklayıcı ve öngörücü bir değeri olan birçok önemli teori vardır.

2.4.1. Domino Teorisi

Sıralı modeller, kazaların belirli bir sırada meydana gelen sıralı olayların bir sonucu olarak ortaya çıktığını ifade eder. Sıralı modeller, potansiyel olarak aynı rota ve olay serisini takip eder. Bu düşünce biçiminin ilk modeli, 1931 yılında Herbert Heinrich tarafından geliştirilmiştir. Domino modeli, domino teorisi veya domino etkisi olarak adlandırılmıştır. Heinrich (1931), istatistiksel kaza analizi üzerine çalışmalar yaptıktan sonra kazanın bir olaylar zinciri şeklinde meydana geldiğini öne sürmüştür.

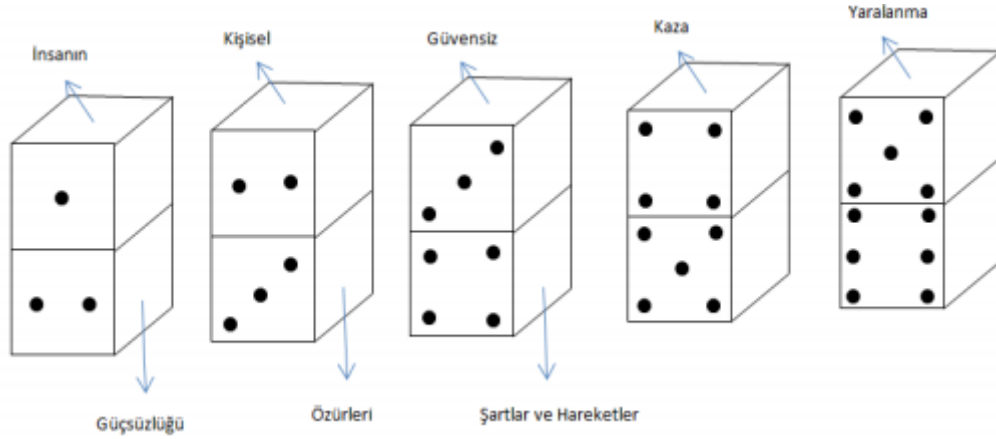
Bu modele dayanarak, her bir kaza, zincirde bir bağlantı olarak kabul edilir ve her bir kaza beş faktörden biri ile bağlantılıdır. Bağlantılı olduğu faktörler şunlardır: kalıtsal ve sosyal çevre,

kişinin hatası, güvensiz hareketler ve koşullar, kaza ve yaralanma. Diğer bir ifadeyle, tüm kazalar sosyal çevreden kaynaklanabilir. Gerçekleşen bir kaza, yaralanmaya yol açan güvenli olmayan davranışlarla sonuçlanabilir ve bir insan hatası sebebiyle gerçekleşir. Domino teorisi, neden-sonuç bağlantılarının doğrusal bir şekilde ifade edilmesini içermektedir.

Heinrich, bireysel hataların tıpkı bir domino taşı gibi sırayla diğer faktörlerle ilişkili olduğunu detaylandırmıştır. Kaza zinciri şu şekilde özetlenebilir:

- **Kalıtsal ve sosyal çevre:** İstenmeyen kişilik özelliklerinin miras yoluyla aktarılabilmesi veya kişinin sosyal ortamı nedeniyle oluşabileceği düşünülmüştür. Hem mirasın hem de çevrenin bir kişinin hatalarına katkıda bulunduğunu açıklanmıştır. Bu, ilk domino olarak kabul edilmektedir.
- **Kişinin hatası:** İnsanların birçok beşeri zaafları vardır. Olumsuz kişilik alışkanlıklarına sinirlilik, dikkatsizlik, önem vermeme, pervasızlık gibi alışkanlıklar örnek olarak verilebilir. İkinci domino, çalışan kişilik özellikleri ile ilgilidir. Doğuştan gelen veya sonradan elde edilen karakter kusurlarının kaza nedenine katkıda bulunduğunu açıklanmıştır. Bütün bunlarla birlikte insanın zaafları eğitim ve disiplin ile iyileştirilebilir.
- **Güvensiz hareketler ve koşullar:** Üçüncü domino, güvensiz hareketleri ve koşulları ifade etmektedir. Kazaların doğrudan nedenleri, insanların güvenli olmayan hareketleri ve mekanik veya fiziksel tehlikelerdir. Bir insan dikkatsiz olabilir, fakat dikkatsizliği yalnızca iş başında iken gerçekleşirse kazanın sebebi sayılabilir. Kazaların esas sebebi, iş başında iken yapılan yanlış davranışlardır (Kaya, 2020). Heinrich, insanların tehlikeli eylemlerde bulunmalarını dört sebebe bağlamaktadır. Bunlardan ilki uygunsuz tutumdur. İkincisi bilgi veya beceri eksikliğidir. Üçüncüsü fiziksel uygunsuzluktur. Sebeplerden dördüncüsü ise uygunsuz mekanik veya fiziksel çevredir. İnsanların tehlikeli eylemlerde bulunmasının sebeplerini tanımlayan Heinrich, daha sonra bu kategorileri doğrudan ve dolaylı nedenlere ayırır ve birden fazla nedenin bir araya gelmesinin kazaya yol açan sistematik bir olaylar zinciri oluşturduğu sonucuna varmıştır.
- **Kaza:** Yukarıda sıralanmış olan faktörlerin hepsi bir arada gerçekleşmiş olsa bile, kazanın yaşanması için yeterli değildir. Önceden planlanmamış bir olayın da meydana gelmesi beklenmektedir. Kazanın bütün unsurları ile meydana gelebilmesi için bir kaza olayı da yaşanmalıdır.
- **Yaralanma:** Kazalar gerçekleştikten sonra kişileri bedenen etkileyen olaylardır.

Domino teorisinin amacı, beş domino kullanarak çeşitli sosyal ve bireysel faktörler arasında doğrusal bir neden-sonuç ilişkisi kurmaktır.

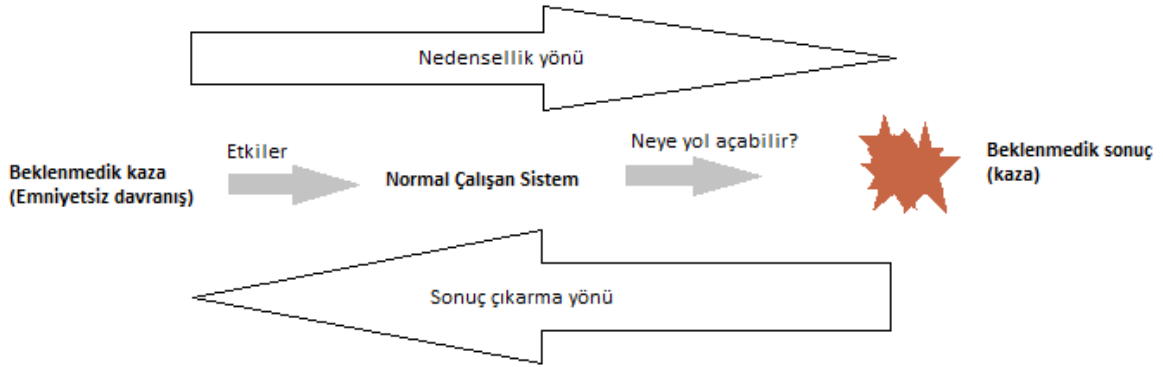


Şekil 2. Kazaları oluşturan unsurların açılımı (Kellegöz, 2013)

Şekil 2, normal çalışan bir sistemde sıralı bir kaza modelini göstermektedir. Domino teorisine göre, bir olay gerçekleşmeden ardındaki gerçekleşmez. Beklenmedik bir olay bir dizi olayı başlatır ve beklenmedik bir sonuca yol açar. Domino modeli, bu beş bloktan birinin kaldırılmasıyla kazaların önlenebileceğini, böylece domino etkisinin kesintiye uğramasını önermektedir. Bu beş blok arasında, Heinrich, insan hatasının giderilmesine odaklanmıştır. Heinrich, sanayi kazalarının yüzde 88'inin insanların güvensiz davranışlarından ve emniyetsiz hareketlerinden, yüzde 10'unun güvensiz makinelerden ve güvenli olmayan koşullardan kaynaklandığını ve yüzde 2'sinin de kaçınılmaz olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, bu model insanları kazanın ana nedeni olarak gören bir model olarak da ifade edilebilir. Sistemi kontrol altına alabilmek için, kaza zincirine ait olan tüm halkaların kontrol altına alınması gerekmektedir.

Heinrich'in domino teorisindeki kazalara sebebiyet veren faktörler, aşağıdaki gerçekleri gün yüzüne çıkarmıştır:

- İnsan yapısı itibari ile zayıf kişilik özellikleri olan bir canlıdır, zayıflığını tamamen ortadan kaldırmak imkansızdır. Bu nedenle kazalardan da tamamen kurtulmak imkansızdır.
- Her sistemde insan unsuru bulunmaktadır. İnsansız sistemlerde dahi makineleri, robotları veya sistemleri yöneten insanlar vardır. Bu nedenle her kazada insan hatası bulunmaktadır diye düşünülebilir. İnsanın olduğu her yerde kazaların oluşması mümkündür.



Şekil 3. Hollnagel(2004)'ten uyarlanmıştır

Sıralı modeller, insanları domino etkisi tarzında düşünmeye yönlendirdikleri için çekici olsa da, karmaşık sistemlerde kazalarla ilgili neden ve sonuç ilişkilerini aşırı basitleştirdikleri iddia edilmiştir (Hollnagel, 2004). Sonuç olarak, kazaların daha iyi anlaşılması için epidemiyolojik modeller geliştirilmiştir.

2.4.2. Epidemiyolojik Teori

Epidemiyolojik modeller, kazaları ve çevresel koşulları, tehlikeli davranışlara yol açan performans sapmalarını ve gizli koşulları içeren faktörlerin bir kombinasyonu sonucu görür (Kaya 2018). Bu faktörler sistem bariyerlerinden ve savunma sistemlerinden geçer ve sonuç olarak kazalara yol açabilir. Bu nedenle bariyer eklemenin bu modellerde kazaları önleyebileceği ileri sürülmüştür. Ancak, yeni engeller eklemenin sistemde yeni riskler meydana getirebileceği belirtilmelidir (Hollnagel, 2004).

Gordon (1949), epidemiyolojik kaza teorisinin ilk önericisi olarak ilk çalışmayı yayınlamıştır. Gordon kazayı ekolojik bir sorun olarak görmüştür. Gordon'un araştırması, kazalardaki etken faktörlerin araçlarda, ev sahibinde ve çevrede olduğunu ileri sürmüştür. Reason (1990), görünür nedenleri olmayan kazalara neden olan gizli insan başarısızlıkları olduğunu öne sürmüştür. Öneri şu üç kavramı içermektedir: (i) gizli hata (ii) yerel tetikleme olayı, (iii) sistem savunmaları. Daha sonra Reason, İsviçre peynir modelini ve örgütsel Kaza Modelini geliştirmiştir. Örgütsel kazalar, birden fazla nedeni olan modern karmaşık teknolojik

toplumlarda meydana gelmektedir. Kazalar, bir organizasyondaki farklı seviyelerinde çalışan birçok kişiyi kapsamaktadır.

İsviçre Peynir Modeli, iyi bilinen bir epidemiyolojik modeldir (Reason, 1997). Bu model, tetikleyici bir olaydan, kurumdan teknik ortama kadar farklı seviyelerde engellerle ortaya çıkar. Bu engeller mükemmel olmayabileceğinden, gizli koşullar ve arızalar nedeniyle zayıflıklar meydana gelebilir. Tehlikeler tüm "deliklerden" doğabilir, bu herhangi bir zarara veya kayba yol açabilir.

Epidemiyolojik modeller karmaşık sistemlerde kazaları anlamak için bir temel sağlamaktadır (Reason, 1997). Bununla birlikte, epidemiyolojik modeller hala sıralı modellerin ilkelerini takip etmektedir ve odakları tüm sistemden ziyade sistem bileşenleridir. Epidemiyolojik modeller, bir olayın nerede ve ne zaman olabileceğini açıklamadan, kazanın gerçekleşme olasılığını genel olarak tahmin etme eğilimindedir. Böylece sistemin genel sağlığını gösterirler ve genel başarısızlık türlerini tahmin ederler (Hollnagel, Woods ve Levenson, 2006).

Fakat, sistemin tüm bileşenleri başarıyla çalışıyor olsalar bile bu bileşenlerinin etkileşimi ile istenmeyen olaylar oluşabilir ve bununla birlikte kazalar meydana gelebilir. Bu nedenle sistemi daha iyi anlayan ve analizine olanak sağlayan sistemik kaza modelleri geliştirilmiştir (Kaya 2018).

2.4.3. Sistemik Kaza Modelleri

Sistem teorisi üzerine sistemik kaza modelleri oluşturulmuştur. Sistemik kaza modelleri, kazaları, sistem bileşenleri arasında sistem performansının bozulmasına yol açabilecek veya bir kazayla sonuçlanabilecek karmaşık etkileşimlerden kaynaklandığını ele almaktadır (Qureshi, 2007). Sistemik modellerin temel kavramları Rasmussen (1985) tarafından atılmıştır. Her olayın önüne başka olaylar gelebileceğinden, bu modelde nedensellik yönü yoktur (Klockner ve Toft, 2015). Sistemin özellikleri göz önüne alındığında, arızaların çoklu ve beklenmedik etkileşimleri kaçınılmazdır. Etkileşimli karmaşıklık ve sistem karakteristiğinin sıkı bir şekilde bağlanması kaçınılmaz olarak bir kaza yaratır; bu nedenle buna “Normal Kaza” veya “Sistem Kaza” denir. Bu düşüncenin temelleri şunlardır: insanlar hata yapar, büyük kazalar küçük başlangıçlardan başlar ve organizasyon teknoloji nedeniyle birçok başarısızlık ortaya çıkar. Hollnagel ve Goteman 2004 senesinde Fonksiyonel Rezonans Kaza Modeli (FRAM) önermişlerdir. Fikir, bir sistemdeki fonksiyonel rezonans nedeniyle kazaların meydana geldiğini öne sürmüştür. FRAM metodu, karmaşık sistemik kaza teorisine dayanmaktadır.

Hollnagel'in FRAM modeli, her bir aktivitenin değişkenliğini anlamaya yardımcı olur. Bu sayede sistem içindeki farklı aktivitelerin diğer aktivitelerle aralarındaki bağlar tanımlanmış olur. Aktivite bazlı değişkenlikleri anlama ve yönetme imkanı sunar. Aktiviteler, girdiler, çıktılar, ön koşullar, kaynaklar, zaman ve kontrol olmak üzere altı özelliğe sahiptirler. Leveson (2004) esasen sosyal yapıda uygulanan bir kontrol sistemi modeli olan Sistem Teorik Kaza Modeli ve Süreci'ni (STAMP) tanıtmıştır. STAMP modelinde en temel kavram bir olay değil, bir kısıtlamadır. Kısıtlama eksikliği olduğunda kazaların geręekleştini ileri sürmüştür. Temel sistem teorisi kavramlarına dayanan STAMP modeli, kazaların neden olduğunu anlamak için etkilidir, böylece gelecekteki olayları önlemek için birçok iyileştirme önlemi bulunabileceğini söylemektedir (Ouyang ve diğ., 2010). Genel olarak, kontrol ve sistem teorik modelleri, ilgili sistemdeki zayıflıkları bulmaya çalışır ve kazaları önlemek için çeşitli kontrol parametrelerini reçete eder.

2.5. RİSK DEĞERLENDİRME VE RİSK ANALİZİ

Risk, İSG Risk Değerlendirme Yönetmeliği (2012) tarafından “Tehlikelerden kaynaklanan kayıp, yaralanma veya diğer zararlı sonuçların olasılığı” olarak tanımlanmıştır. Risk, olumsuz olaylara veya olumsuz sonuçlara neden olan olayların potansiyeli olarak da tanımlanmıştır (Rowe, 1977). Barnes (1988), riski gelecekteki belirsiz olaylar olarak tanımlamıştır ve risk geręekleşirse önemli ölçüde ekstra maliyete veya gecikmeye neden olacağını ileri sürmüştür. Bu tanımlar, risk analizi ve değerlendirme uygulamalarının genel amacının, üretim ve hizmet sistemlerindeki potansiyel tehlikeleri tanımlamak, potansiyel tehlikeleri tespit etmek için mevcut uyarı sistemlerini ve emniyet önlemlerini gözden geçirmek ve bu tür önlemlerin uygun şekilde alınıp izlenmesini sağlamak olduğunu göstermektedir (Aven, 2012). Bununla birlikte, en önemli konu tehlikenin ana nedenini tanımak ve tehlikeye neden olan riskli durumlardan kaçınmak için uygun önlemleri belirlemek, diğer bir ifadeyle birincil riski belirlemektir. İyi risk yönetimi uygulamaları, kayıpları en aza indirmeye yardımcı olmaktadır (Akintoye ve MacLeod, 1997). Kinney ve Wiruth (1976), riskin tamamen ortadan kaldırılamadığını fakat riski azaltma çalışmaları ile mümkün olan en yüksek faydayı sağlayacağı öne sürmüşlerdir. Risk değerlendirmesi, riskin büyüklüğünün kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için risk analizi sonuçlarının risk kriterleri ile karşılaştırılması süreci olarak tanımlanmaktadır (ISO, 2018).

Bir sistemin risk değerlendirmesi ve risk analizi bir dizi metodun sistematik olarak uygulanmasından oluşmaktadır. İlk aşama sistemin doğru tanımlanmasıdır. Doğru tanımlanmış sisteme ait tehlikeler belirlenir ve senaryo analizleri gerçekleştirilir (Kaya, Ward, vd. 2019; Gündoğdu, 2018). Risk belirlenirken kontrol listelerinden ve iş analizinden faydalanılır. Belirlenen tehlikeler sayesinde riskin niteliği anlaşılmış olur. Risk değerlendirme sureci yalnızca belli bir sureyi kapsamaz. Sistem var olduğu surece risk değerlendirme sureci devamlı olarak işletilmektedir. Takım alışması esaslı olan risk değerlendirme sureci, farklı alanlarda deneyimli olan uzmanlar tarafından yapılmaktadır (Tabak, 2016).

Emniyet Yönetim Sistemlerinin amacı, risk değerlendirmesi yapılarak verilen hizmette emniyetin sağlanması yardımcı olmaktır (Koçak, 2014). Birçok farklı endüstride uygulanan risk değerlendirme ve risk analizi süreleri raylı sistemlerde de uygulanmaktadır. Raylı sistemler tasarlanırken, ilk aşamalardan itibaren risk azaltma metotları uygulanmaktadır (Kecklund ve Ingre, 2001). Buradaki amaç, sistem içinde barınan risklerin bertaraf edilmesi, bertaraf edilemiyorsa kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesini sağlamaktır (Naweed, Rainbird, vd. 2015). Birçok risk değerlendirme yöntemi bulunmasına rağmen bazı araştırmacılar emniyeti sağlamak için uygulanan geleneksel mühendislik yaklaşımlarının başarısız olduğunu savunmuştur. Günümüz sistemlerinin karmaşıklığı, bu başarısızlığı kaçınılmaz kılmaktadır (Perrow, 1984).

Risk analizlerinin yapılmasındaki amaç, insan hayatı üzerinde etkisi yüksek olan raylı sistemlerin yüksek emniyetli bir şekilde işletilmesini sağlamaktır. Raylı sistemler tasarlanırken ilk aşama olan projelendirme aşamasında, sistemde bulunan risklerin net olarak belirlenmemesi, işletme esnasında sistemi ve insan hayatını tehlikeye atabilecek ciddi risklerin oluşmasına neden olmaktadır (Kecklund ve Ingre, 2001).

Risk yönetiminin birçok bileşeni bulunmaktadır. Sistemin tanımı, tehlikenin belirlenmesi, önlem alınması, risk değerlendirmesi risk yönetiminin bileşenleridir. Risk değerlendirmesi, risk yönetiminin önemli ve temel bir parçasıdır (Kaya 2018). Risk değerlendirmesinin sonunda riskin kabul edilebilir düzeyde olup olmadığına karar verilir. Eğer kabul edilebilir düzeyde ise sistem herhangi bir düzenleme ve değişiklik yapılmadan çalışmaya devam eder. Risk kabul edilebilir düzeyde değil ise sistemi iyileştirmek adına çeşitli değişiklikler ve düzenlemeler yapılır. Risk değerlendirmesi, riski tanımlayan bir süre olduğu için riske dayalı kararlar verilebilmesini sağlamaktadır. Risk değerlendirmesi aşağıdaki soruları ele alır (Tabak, 2014):

- Risk ne olabilir ve neden dolayı ortaya çıkmaktadır?
- Riskin sistem üzerindeki potansiyel sonuçları nelerdir?
- Riskin ortaya çıkma olasılığı nedir?
- Riskin sonucunu veya olasılığını azaltan herhangi bir faktör var mı?

Teknolojik ilerlemelerin insanlık üzerinde büyük etkisi olmuştur. Teknoloji, hayatı daha kolay ve verimli hale getirmesine rağmen, mühendislik, ekonomik, sosyal, politik, çevresel ve personel sağlığı ve emniyetinin farklı yönleri ile ilgili büyük riskler taşımaktadır. Sanayileşme ve mekanizasyona doğru artan eğilim, hızlı teknolojik ilerlemeler ile birlikte iş kazaları ve meslek hastalıklarında artış yaşanmasına sebep olmuştur. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2016 yılında yayınlanan yıllık istatistik raporuna göre, Türkiye'de her yıl 1000'den fazla iş kazası rapor edilmektedir (SGK, 2016). İş kazaları, çoğunlukla makine ve aletlerin güvenli kullanım talimatlarına uygun hareket edilmemesi, güvensiz işyeri koşulları, çalışanların hataları veya diğer bilinmeyen nedenlerden dolayı gerçekleşmektedir. Kazalar nadir olmakla birlikte, çalışanlar üzerinde ciddi etkiye sahiptir. Bu etkiler, sakatlık, sakatlanma ve hatta ölüm olabilmektedir. İş kazalarını ve hastalıklarını önlemek, üretim sürecindeki kayıpları azaltmak, şirketin itibarına zarar gelmesini önlemek ve bu tür kazaların etkisini en aza indirmek için işyerlerinde, risk analizi ve risk değerlendirme çalışmaları yürütülmektedir.

Geleneksel emniyet tanımı, hiçbir şeyin yanlış gitmediği veya yanlış giden şey sayısının kabul edilebilir düzeyde az olduğu bir durum olarak kabul görmüştür (Kaya, Ovalı, vd., 2019; Patriarca, Gianluca, vd. 2018). Emniyet analizleri açısından, yalnızca olumsuz sonuçlara odaklanmak ve sistem arızasının nedenlerini araştırmaya çalışmak yerine, sistemin normal işleyişini anlamak da çok önemlidir. Bu perspektife uygun olarak, emniyet değişen koşullar altında başarılı olma yeteneği olarak da tanımlanabilir (Kaya, 2020; Hollnagel, 2014).

Demiryolu taşımacılığında kazaların önüne geçebilmek için gerekli iş güvenliği mevzuatı uygulanmalı ve aşağıda sıralanmış olan güvensiz çalışma koşullarının ortadan kaldırılması elzemdir (Tabak, 2016):

- Demiryolu hat yapımının, üretim aşamasından başlayarak, projelendirme sürecini de kapsayan kısmında kullanılan metotların, çalışan insanların kabiliyetlerine uygun olması gerekmektedir.
- Çalışanların koruyucu ekipman kullanıyor olması gerekmektedir.

- Sistemde bulunan uyarıların kolay okunur olması ve anlaşılır özellikler taşıyor olması gerekmektedir.
- Sistem bakım ve kontrolleri zamanında ve etkili bir şekilde yapılıyor olmalıdır.
- Gerekli emniyet yönetim sisteminin kurulmuş olması gerekmektedir.

Risk yönetiminde, risklerin değerlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Risk değerlendirmesi bağımsız bir faaliyet olmadığı için, iyi risk değerlendirme uygulaması, risk değerlendirmesi öncesinde, sırasında ve sonrasındaki faaliyetleri de belirlemelidir. İş kanunu kapsamına giren tüm işletmelerde risk değerlendirilmesi yapılması kanunen zorunludur (Ceylan ve Başhelvacı, 2011).

2.6. RİSK DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİ

Risk değerlendirme süreci şu adımlardan oluşur: risk tanımlama, risk analizi ve risk değerlendirmesi süreci (BSI, 2009).

2.6.1. Risk Tanımlama Süreci

Risk tanımlama süreci, risk kaynakları, gerçekleşen olaylar, olayların nedenleri ve olayların sonuçları ile birlikte riskleri bulmayı, tanımayı ve açıklamayı içerir (Farid, Abdel-Aty ve Lee). Uluslararası Standardizasyon Örgütü, risk tanımlamayı potansiyel risk faktörlerini belirleme süreci olarak tanımlar (ISO, 2018). Tehlikelerin her biri, birer risk kaynağıdır. Ayrıca, tehlikeye neden olan faktörlerin de risk kaynağı olduğu söylenebilir. Kazalara neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Tek bir kazanın çeşitli nedenleri olabilir. Bazı durumlarda nedenler açık olabilirken, bazı durumlarda ise belirgin olmayabilir. Bu nedenle, potansiyel olayların ortaya çıkmasına katkıda bulunan faktörleri tanımlamak için risk kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir.

2.6.2. Risk Analizi Süreci

Risk analizi süreci, riskin niteliğini ve riskin seviyesini belirleme sürecidir (ISO, 2018). Riskin niteliği ve seviyesi belirlenirken, riskleri önlemek veya azaltmak için sistemde mevcut olan kontroller de dikkate alınır. Tek bir risk, bir dizi farklı sonuca yol açabilir. Risk analizi, mevcut kontrolleri ve bu kontrollerin sistem üzerindeki etkinliğini belirler. Kontroller, riskleri önlemek, eğer önlenemiyorsa azaltmak veya bu riskler henüz ortaya çıkmadan onlardan kurtulmak için

alınan tedbirlerdir (Kaya 2018). Card, Ward ve Clarkson (2014), eliminasyon, tasarım kontrolleri ve idari kontroller olmak üzere üç risk kontrolü hiyerarşisini tanımlamaktadır. Eliminasyon, zarar kaynağını ortadan kaldırmak için kontroller geliştirmektir. Tasarım kontrolleri, insanlara daha az güvenen mühendislik kontrolleri geliştirmedir. İdari kontroller ise, insana güvenerek kontroller geliştirmedir. Sisteme ait mevcut kontrollerin etkinliği, çeşitli sorular sorularak anlaşılabilir:

- Belirli bir risk için mevcut kontroller nelerdir?
- Bu kontroller, riski tolere edilebilir bir seviyede tutuyor mu?
- Sistemde bulunan kontroller hedeflendiği şekilde çalışıyor mu?
- Kontrollerin etkili oldukları gereken durumlarda gösterilebilir mi?

Bunu takiben risk seviyesi, mevcut kontrollerin etkinliğini değerlendirdikten sonra olasılık ve sonuç birleştirilerek ölçülür.

2.6.3. Risk Değerlendirme Süreci

Risk değerlendirme süreci, risk analizi sonuçlarına göre ortaya çıkan risklere yönelik önlem alma ve risklere cevap verme sürecidir (BS EN IEC 31010, 2019). Risk değerlendirme süreci, riski önceliklendirme ile ilgili kararlar alınmasına yardımcı olur. Bir riskin tolere edilebilirliğini belirlemek için tahmini risk seviyesi risk kriterleri ile karşılaştırılır.

Risk kriterleri bir riskin öneminin değerlendirildiği referans şartlarıdır (BSI, 2009). Dolayısıyla, risk kriterleri, riske dayalı kararların alınmasında kullanılan referans noktalarıdır. Bu nedenle, risk kriterlerini iyi bir şekilde belirlemek, değerlendirme şartlarının oluşturulması açısından önemlidir. Risk kriterleri, organizasyonel önceliklerin, paydaşların ihtiyaçlarını, sosyo-ekonomik ve çevresel yönleri, düzenlemeleri, politikaları ve standartları dikkate alabilir (Kaya, 2018).

Riskin tolere edilebilirliğine ilişkin kararlar, genellikle risk matrisleri kullanılarak verilir. Karar verme sürecini desteklemek için risk matrisindeki farklı bantlar kullanılır (Kaya, Ward vd. 2019; Cox 2008). Örneğin, üç bantlı bir risk matrisi için, üst bant dayanılmaz riskleri temsil eder, orta bant “Makul Oldukça Uygulanabilir” ilkesini teşvik eder ve alt bant ihmal edilebilir riskleri temsil eder (BSI, 2010). Bununla birlikte, psikolojik, toplumsal, ahlaki, duygusal, politik ve finansal yönleri de içeren risklerin tolere edilebilirliğine karar verirken dikkate alınması gereken başka yönler de olabilir.

Demiryolu Düzenleme Ofisi (ORR) (The Office of Rail Regulation)    risk kabul ilkesini belirler. Bunlar: uygulama kodlarının uygulanması ( rne in standartlar ve kurallar), benzer referans sistemleri ile karşılaştırma ve açık risk seviyesi. Riskler biliniyor ve iyi anla ılmı sa, uygulama kodlarının çalıştırılması uygundur. De erlendirilecek sistem diğer referans sistemlerine yeterince benziyorsa, benzer referans sistemiyle karşılaştırma uygulanabilir. Riskler bu iki kabul ilkesi kapsamında değilse, risk kabulüne ilişkin kararlar almak için açık risk düzeyi belirlenebilir (ORR, 2015).

Risk  nceliklendirme ile ilgili olarak, bir riskin olasılığı, sonucu ve saptanabilirli i ile emniyet açığı ve ba lama hızı dahil olmak üzere birden fazla faktör ile ilgili olabilir ve belirlenmesi gerekebilir (COSO, 2012). Emniyet açığı, bir sistemin riske maruz kalma veya bunlarla ba  edememe derecesi olarak açıklanmaktadır. Emniyet açığı ne kadar yüksek olursa, risk olayının etkisi o kadar büyük olur (Parry, Canziani, vd., 2007).

2.7. RISK DEĞERLENDİRME TEKNİKLERİ

Risk değerlendirme teknikleri kaza senaryolarına dayanmaktadır. Risk yönetimi, "bir kurumu risk açısından yönlendirmek ve kontrol etmek için koordine edilmiş faaliyetler" olarak tanımlanmaktadır (ISO, 2009). Risk yönetimi, denetimin ve organizasyon yönetiminin önemli bir parçasıdır. Potansiyel tehlikelere karşı risk kontrol önlemleri almak, i  kazalarını azaltmak ve üretim ve hizmet sistemlerinin güvenilirliğini artırmak için risk analizi uygulanır (Simsekler, Kaya ve Ward, 2019).

Risk değerlendirme uygulamasından önce, değerlendirme içeriği bazı maddeler belirlenerek oluşturulmalıdır. Bunlar, i  parametreler (i  paydaşların kültürü, politikaları ve algısı), dış parametreler (sosyal  evre, kilit eğilimler ve dış paydaşların algıları), sorumluluklar, değerlendirme metodolojisi ve risk kriterleridir. Kurumsal risk değerlendirme politikaları veya prosedürleri bu detayların çoğunu sağlamaktadır (Varzakas, 2011).

Risk değerlendirme yöntemleri, risk değerlendirmesi yapılmadan önce seçilmelidir. Kullanılabilecek bir dizi yöntem vardır; ancak, mevcut sistem için en uygun olan yöntem seçilmelidir (Redmill, Chudleigh ve Catmur, 1999). Risk değerlendirmesinin desteklenmesi için potansiyel yöntemler dört kategoriye ayrılır: deneyim, kontrol listeleri, standartlar ve yapılandırılmış inceleme teknikleri. Yeterli düzeyde bilgi ve uzmanlık olduğunda deneyim kullanmak uygun bir yöntemdir. Kontrol listeleri ise tüm tehlikeler bilinip tanımlandığında

oldukça yararlıdır. Kontrol listelerini kullanmak oldukça basit ve kolay bir yöntemdir. Ancak kullanım alanı kısıtlıdır. Standartlar ise, önerilen uygulamalar için bir açıklama listesine başvurur. Öngörülemez tehlikeleri değerlendirmek için yapılandırılmış teknikler geliştirilmiştir. Ancak hiçbir teknik tek başına mükemmel ve yeterli değildir. En uygun risk değerlendirme teknikleri, hedeflere, ihtiyaçlara, kullanılan araçla yetkinliğe, riskin doğasına, belirsizlik seviyesine, kaynak kullanılabilirliğine, bilgi kullanılabilirliğine veya yasal gerekliliklere göre seçilebilir. Ancak yine de farklı bireyler risk değerlendirmesini farklı şekilde anlayabilir ve uygulayabilir (Kaya, 2020).

Ayrıca, değerlendirilecek sistem risk değerlendirmesinden önce açıklanmalıdır. Sistemin net bir şekilde anlaşılması, tüm potansiyel risklerin tanınmasına ve daha etkili bir risk analizine yol açar. Sistem açıklaması, sistem hedeflerinin, sistem sınırlarının, sistem parçalarının ve bu parçaların etkileşimlerinin tanımlanmasını içerir (Jun, Ward, vd. 2010).

Mevzuat, risk değerlendirmesini zorunlu kılmakla beraber çalışanların işle ilgili sağlık ve emniyetini sağlama yükümlülüğünü de beraberinde getirmiştir. Çalışanların sağlık ve emniyetini içeren mevzuat, işverene kanuni yükümlülükler yüklerken göz önünde bulundurulması gereken bazı ilkeler de vardır. Bunlar, işyerindeki riskleri tanımlamak ve bunlardan kaçınmak, eğer kaçınmak mümkün değil ise riskleri doğru değerlendirip risklerle mücadele etmek, yapılması gereken işin, çalışana uygun hale getirilmesi için iş ekipmanları güncel tutmak, üretim yöntem ve metotlarının çalışma şekline uyumu konusunda özenli olmak, sürekli güncellenen teknolojik yeniliklere uyum sağlamak, bireysel ve toplu korunma tedbirlerine öncelik vermektir (ÇSGB, 2012).

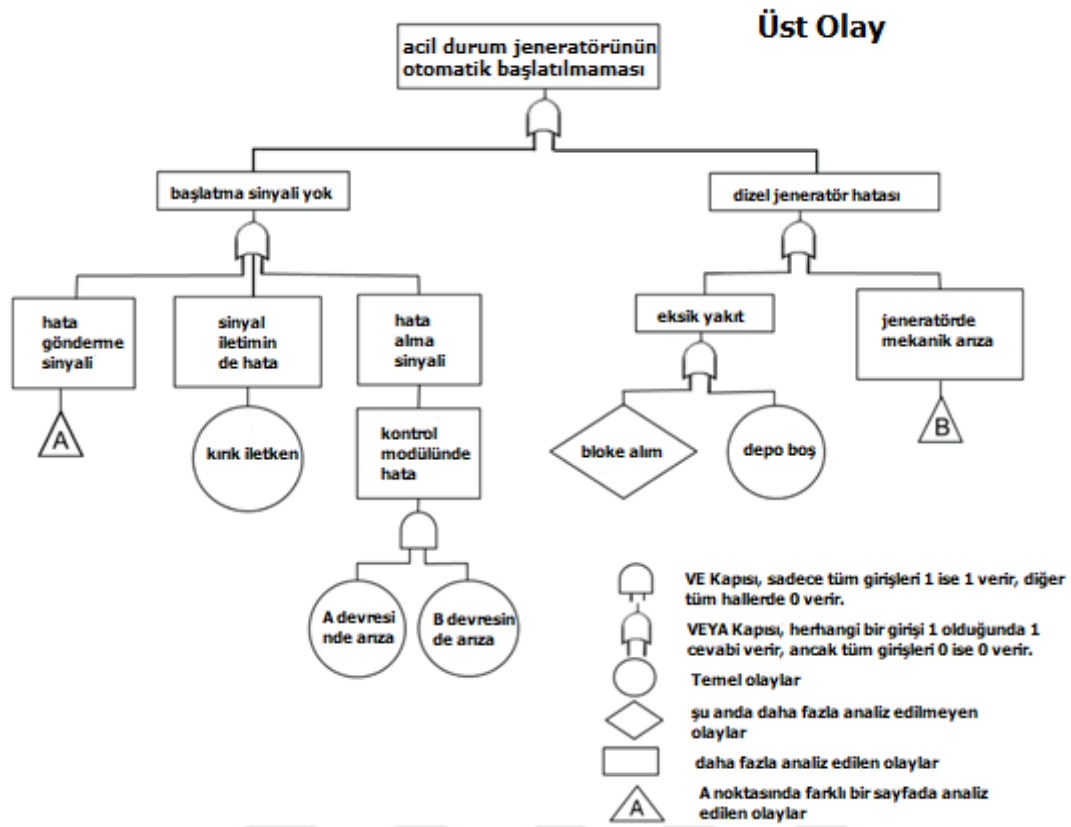
Emniyet seviyesi meydana gelen kazaların sayısı ile ölçüldüğünden, tramvay sistemlerindeki emniyet yönetimi ağırlıklı olarak risk değerlendirmelerine ve kaza incelemelerine odaklanmıştır. Bunu yaparken, geleneksel emniyet yönetimi tekniklerinin (örn. Hata Ağacı Analizi (FTA), Hata Modu ve Etki Analizi (FMEA) ve Hata Modu Etkisi ve Kritiklik Analizi (FMECA) kullanılması tavsiye edilir (Aven, 2012). Literatür araştırmasında, güncel risk değerlendirme tekniklerine ait detaylar aşağıdaki gibidir.

2.7.1. Hata Ağacı Analizi (FTA)

FTA yani Hata Ağacı Analizi, tanımlanamayan, istenmeyen bir büyük olayın ortaya çıkmasına sebep olan potansiyel nedenleri ve koşulları tanımlamayı ve analiz etmeyi sağlayan bir risk değerlendirme tekniğidir (Watson, 1961). FTA yöntemi, sistem güvenilirliğini ve

kullanılabilirliğini olumsuz etkileyebilecek potansiyel olayların hiyerarşik akışını analiz etmek, değerlendirmek ve grafiksel olarak göstermek için kullanılan tümden gelimli bir analiz tekniğidir (IEC, 2006). FTA'nın kapsamı çok geniştir, emniyet ve risk analizlerinde kullanılır. Sisteme ait bir hatayı, en alt bileşenlerine kadar ayırarak analiz ettiği için oldukça kullanışlı bir analiz metodu olarak kabul görmüştür. Bu sayede, yüksek risk içeren herhangi bir parça kolaylıkla değiştirilebilir veya gerektiği durumlarda çıkarılabilir. Bu yöntem, özellikle daha önce işletim gerçekleştirmemiş sistemlerin yeni teknik süreçlerinin kullanımında pozitif etki göstermektedir (BS EN IEC 31010 2019). Olası hataları araştıran ve gerçekleşme nedenlerinin olası izlerini tespit etmeyi sağlayan FTA yönteminin birçok farklı alana uygulanabilirliği vardır.(Liu, Fan, vd. 2014; Held ve Brönnimann 2016; Liu, Hwang, vd. 2013; Park ve Lee 2009; Yao, Wang, vd. 2016).

İlk adım sistem analizi adımıdır, bu adımda sistem detaylı bir şekilde incelenir. İkinci adım olan hata ağacının oluşturulması adımıdır, ana problem ve buna etki eden olumsuzluklar tespit edilir. Bileşenlerin olumsuzluk türleri tespit edilir. Tespit edilen problemler hata ağacının oluşturulmasını sağlar. Ardından hata ağacının girdileri değerlendirilir. Son olarak da hata ağacının değerlendirilmesi gerçekleştirilir (BS EN IEC 31010 2019).



Şekil 4. FTA Yöntemi BS EN IEC 31010 2019'dan uyarlanmıştır.

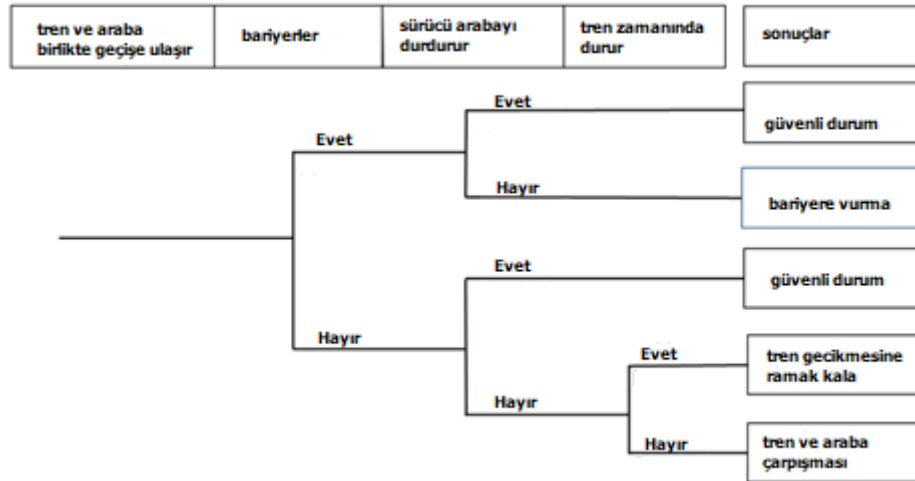
FTA yöntemi birden fazla amaç için kullanılmaktadır ve bu amaçlar aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

- Büyük bir olayın gerçekleşmesine katkıda bulunan küçük olayların mantıksal kombinasyonlarını belirlemek ve büyük olayı azaltmak için gereken önlemleri belirlemek üzere küçük olaylara öncelik vermek.
- Bir sistemin geliştirme sürecinde istenmeyen olayların olası nedenlerini belirlemek.
- Bir sistemi analiz etmek, güvenilirliğini tehdit eden bileşenleri belirlemek, uygun tasarım varyasyonlarına karar vermek.
- Olasılıksal risk değerlendirme sürecine yardımcı olmak.

Aynı zamanda, sistemlerin emniyetini değerlendirmek ve arızaların meydana gelme olasılığını analiz etmek için de FTA yaklaşımı benimsenmiştir (Held, ve Brönnimann, 2016).

2.7.2. Olay Ağacı Analizi (ETA)

Anlaşılması oldukça kolay olan Olay ağacı analizini (ETA), Hata ağacı analizinden (FTA) ayıran fark, FTA’da tümünden gelimli bir yaklaşım söz konusu iken, ETA’da tüme varımlı bir yaklaşım vardır (BS EN IEC 31010 2019). Analize başlarken bir olay seçilir. Seçilen olay gerçekleştikten sonra, ortaya çıkabilecek potansiyel sonuçlar bir akış diyagramı sayesinde gösterilir. En kolay uygulanan analiz yöntemlerinden biridir. ETA, kaza gerçekleşmeden öncesini ve kaza gerçekleştikten sonrası durumları da gösterdiği için oldukça kullanışlı bir metodolojidir. ETA’yı FTA’dan ayıran fark nedeni ile, bu yöntem, çalışması devam eden veya beklemede olan sistemlerde kullanılabilir. Hata ağacı analizi ile birbirinin tam zıttı olan Olay ağacı analizi, olay ağacı diyagramından hata ağacı diyagramına kolaylıkla transformasyon yapılmasına olanak sağlar. Bu sayede geri döndürülemez hatalara neden olan esas olayların değerlendirilmesine yardımcı olur.



Şekil 5. FTA Yöntemi BS EN IEC 31010 2019'dan uyarlanmıştır.

2.7.3. Hata Modu ve Etki Analizi (FMEA)

FMEA yani Hata modu ve etki analizi, sistemde oluşabilecek herhangi bir kaza veya tehlike gerçekleşmeden önce hataları ve tehlikeleri tespit etmek ve bunların en öncelikli olandan başlayıp iyileştirilmesini sağlayan bir metottur. FMEA metodunda riskler, skorlarına göre en yüksekten en düşüğe doğru sıralanır (BS EN IEC 31010 2019). Bu yöntem, sistemin emniyetini artırmak ve hatasız hale getirmek için neler yapılabileceğini tanımlamak için kullanılır. 40 yılı aşkın bir süredir riskleri ölçmede en yaygın olarak kullanılan bir yöntemlerden biridir (Simsekler, Kaya, vd. 2019; McDermott, Mikulak, vd. 1996; Varzakas 2011). FMEA’yı diğer

risk değerlendirme yöntemlerinden ayıran fark, FMEA'nın ölçülecek risk nesnesine dayanmasıdır.

FMEA, bir sistemin tasarım, süreç veya hizmet yapısındaki potansiyel arızaları henüz ortaya çıkmadan önce tanımlamak, istenmeyen olayları önlemek ve gerekli önlemleri alarak çalışanları iş kazalarından ve hastalıklardan korumak için kullanılan bir mühendislik tekniğidir (Stamatis, 2003). Analiz edilen sistemdeki potansiyel arızaların türleri, karar vericilerin gerekli risk azaltma önlemlerini almalarını sağlayan FMEA tarafından tanımlanır. FMEA, analiz edilecek kapsamdaki uzmanlardan oluşan bir ekip tarafından yürütülmelidir. FMEA yöntemi, olayların nedenlerini ve olayı tetikleyen koşulları inceleyen bir risk değerlendirme metodolojisidir (Mutlu, Gülüm ve Altuntas, 2019). FMEA'nın ana fıkrının hataları erken önlemesi olduğu söylenebilir (Altın, Dag, Oz ve Aydogmus). Analiz genellikle çalışan tarafından kullanılan parça ve ekipman analizine odaklanmaktadır. Bir FMEA analizinin amacı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bir sistemin düzgün çalışmasını olumsuz yönde etkileyecek hataları tespit etmek.
- Ortaya çıkan hataların etkilerini en aza indirmek.
- Müşteri taleplerine tatmin edici bir şekilde cevap vermek.
- Sistemin emniyetini artırmak için sistemin zayıf yönlerinin etkilerini ve olasılıklarını belirlemek.
- Sistemi sürekli olarak iyileştirmek.

FMEA yöntemi ayrıca, değerlendirilen ürün ve süreçlerin kalitesini ve güvenilirliğini iyileştirme, ürünün yeniden tasarlanma süresini belirleme ve maliyetleri düşürme, riskleri ve etkilerini kabul edilebilir seviyelere düşürme ve risk kontrol planları oluşturma, birincil riskleri ortadan kaldırmak, müşteri memnuniyetini artırmak gibi alanları da etkilemektedir. FMEA yaklaşımı sıklıkla kullanılır ve etkin bir risk analizi ve değerlendirme aracı olarak bilinmektedir. FMEA yöntemi de ETA yöntemi gibi tüme varımsal bir metodolojidir. Literatüre bakıldığında potansiyel risklerin temel nedenlerini en düşük seviyeye kadar analiz etmek için tüme varımsal FMEA ile birlikte tümünden gelimli FTA yönteminin bir arada kullanılması önerilmektedir (Mutlu, Gülüm ve Altuntas, 2019).

2.7.4. Fonksiyonel Rezonans Analiz Yöntemi (FRAM)

Fonksiyonel Rezonans Analiz Yöntemi (FRAM), sistemik analiz için yakın zamanda geliştirilen bir yöntemdir. FRAM, sistem elemanları arasındaki fonksiyonel ilişkilerin tanımlarını kolaylaştırır (Hollnagel, 2012). FRAM fonksiyonlar veya faaliyetlerle başlar. Bir kuruluşun veya kişilerin -tek tek veya toplu olarak- yaptığı aktiviteleri temsil eder (Meeuwis, Steinmetz, Hamming ve Dekker, 2020). FRAM analizinde tanımlanan gereksinimler oldukça geniştir. FRAM'i kullanarak kaza analizi veya risk değerlendirmesini gerçekleştirmeden önce verilen senaryolar veya görevler için önemli olan fonksiyonel varlıkları tanımlamaktır. Bu çalışma, sistemi çok iyi derecede bilen kişiler için önemsiz görülebilir, fakat önemsiz bir çalışma değildir, çünkü sistem yapılarından ziyade sistem fonksiyonlarının anlaşılmasına dayanmaktadır. Bir FRAM modeli, fonksiyonlar arasındaki potansiyel bağlantıları grafiksel olarak temsil etmek için kullanılır.

FRAM'ın altı özelliği bulunmaktadır (Hollnagel ve Goteman, 2004). Bunlar;

- Girdi(I): Fonksiyonu gerçekleştirmek için gereken girişler, aktivite tarafından işlenen, değiştirilen veya dönüştürülen. Girdiler önceki fonksiyonların bağlantılarını oluşturur ve çıktılar üretmek için fonksiyon tarafından dönüştürülebilir veya kullanılabilir.
- Çıktı(O): Gerçekleştirilen aktivitenin sonucu. Çıktılar, sonraki aktiviteye bağlantı oluşturur.
- Zaman(T): Zamanla ilgili hususlar, müsait veya gerekli zaman. Zaman, aynı zamanda özel bir kaynak türü olarak kabul edilebilir. Tüm süreçler zamanında gerçekleşir ve zamana tabidir. Zaman, bir faaliyet için bir zaman süresi olması bakımından da bir kısıtlama olabilir.
- Kontrol(C): Aktivitenin yürütülmesini kontrol eden, düzenleyen veya denetleyen. Aktiviteyi denetlemeye veya kısıtlamaya yarayan kontroller veya kısıtlamalar (onu izlemek ve saptığında onu ayarlamak için). Kontroller aktif işlevler veya sadece planlar, prosedürler ve yönergeler olabilir.
- Önkoşul(P): Bir aktivitenin başlatılması veya yürütülmesi için karşılanması gereken durumlar veya koşullar. Bir fonksiyonun gerçekleştirilebilmesi için yerine getirilmesi gereken sistem koşulları olan ön koşullar. Yaygın bir önkoşul, başka bir adım veya sürecin tamamlanmış olması veya belirli bir sistem koşulunun oluşturulmasıdır.
- Kaynak(R): Bir aktiviteyi yürütebilmek için tüketilen, gereken veya kullanılan. Girdinin işlenmesi için aktivitenin ihtiyaç duyduğu şeyi temsil eden kaynaklar. Örneğin donanım, prosedürler, yazılım, enerji, insan gücü gibi.

Risk analizi, normalde bireysel işlevlerin veya eylemlerin nasıl başarısız olabileceğini ararken, FRAM, kazalara neden olan koşulların nasıl ortaya çıkabileceğine odaklanır. FRAM, bir şeyin nasıl yapıldığına ilişkin ayrıntılı bilgiler içeren işlevleri tanımlayarak, işlevlerin değişkenliğini karakterize ederek, değişkenliğin olası bağlantılarını yorumlayarak ve beklenmedik değişkenliği yönetmek için önerilerde bulunur (Tian, Wu, Yang ve Zhao, 2016). FRAM, dört prensibe dayanmaktadır: Temel sistem fonksiyonlarını tanımlama ve karakterize etme, bir kontrol listesi kullanarak değişkenlik potansiyelini belirleme, fonksiyonlar arasındaki tanımlanmış bağlara dayanarak fonksiyonel rezonans tanımlama, ve değişkenliğin önündeki engelleri belirleme (Hollnagel 2012).

İlk adımda, bir fonksiyon (bir aktiviteye veya bir dizi aktiviteye atıfta bulunarak) altı açıdan karakterize edilir. İkinci adımda, her fonksiyon hem normal hem de olağandışı çalışma koşulları altında potansiyel ve gerçek performans değişkenliği açısından dikkate alınır. Analiz, aktivitenin kendisinin değişkenliğinden ziyade bir aktiviteden çıktının değişkenliğini belirler. Bir aktivitede performans değişkenliği olabilir, ancak bu çıktısını etkileyebilir. Çıktının değişkenliği, aktivitenin kendisinin, yukarı akış aktivitesinin veya aktivitelerinin ve çalışma ortamının değişkenliğinden kaynaklanabilir. Üçüncü adımda, bir üst fonksiyonun değişkenliğinin, alt fonksiyonları üzerindeki etkisi, fonksiyonel rezonansı anlamak için analiz edilir. Dördüncü adımda, performans değişkenliğini yönetme ve izleme yolları dikkate alınır. Performans değişkenliği hem olumlu hem de olumsuz sonuçlara yol açabileceğinden, bu adım başarıya yol açan değişkenliği sürdürmeyi ve kontrolsüz performans değişkenliğini yönetmeyi amaçlamaktadır (Hollnagel, 2012).

Bir FRAM modeli, aktiviteler arasındaki potansiyel bağlantıları grafiksel olarak temsil etmek için kullanılır. Fonksiyonel rezonans, kazaların neden meydana geldiğine dair son bir açıklama sunmasa da, kazalar hakkında düşünmek ve büyük etkilerin nasıl meydana gelebileceğini ve dolayısıyla sonuç olarak nasıl önleneceğini anlamak için yararlıdır (Hollnagel ve Goteman, 2004). FRAM, diğer risk analizi yöntemleri ile karşılaştırıldığında, kolayca gözden kaçabilen etkileşimleri daha güçlü vurguladığı söylenebilir.

2.8. BÖLÜM ÖZETİ

Geleneksel emniyet yönetimi teknikleri, sistem bileşenlerinin güvenilirliğini analiz etmek için tasarlanmıştır ve her sistem bileşenini bağımsız olarak değerlendirirler. Ancak tramvay sistemleri birbiriyle etkileşim halinde olan birkaç alt sistemden oluşur ve insanlar, araçlar /

ekipman ve çevre arasındaki karmaşık etkileşimler sonucu kazalar meydana gelir. Dahası, geleneksel teknikler çok fazla suçu insan hatasına atfetme eğilimindedir. Bu nedenle, risk değerlendirme tekniklerinin demiryolu sistemlerinde başarılı uygulamalarına rağmen geleneksel tekniklerin uygunluğu sorgulanmıştır. Üretim sistemlerini tehdit eden emniyet risklerini değerlendirmek ve kontrol etmek ve sistem operasyonlarının ve süreçlerinin verimliliğini artırmak için birçok endüstride çeşitli risk analizi ve risk değerlendirme teknikleri kullanılmaktadır. Bu bölümde güvenlik, emniyet, kazalar ve risk değerlendirme teknikleri hakkında mevcut literatür incelenmiştir.



BÖLÜM 3 – ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

3.1. GİRİŞ

Bu bölüm FRAM metodunun tramvay sistem emniyetinde kullanımının uygunluğu üzerindeki etkilerine bir giriş niteliğindedir. Metodoloji araştırmaya genel bir yaklaşımdır. Bu nedenle, bir araştırma metodolojisinin seçilmesi, bilimsel araştırmanın amaçlarına ulaşmak için etkinliğini belirlemektedir.

Dünyada tren, metro ve tramvay hattı içeren demiryolu sistemlerinin önemi artmaktadır. Bu çalışma, günlük ortalama 400.000 yolcu kapasitesi olan, ve hat uzunluğu 19.3 km olan T1 Tramvay hattı işletmesinde, tramvayın çalışma sürecindeki performans değişkenliğini yönetmek için Patriarca, Di Gravio and Costantino (2017) ve Kaya ve Hocaoglu (2020) tarafından önerilen FRAM metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem modelleme ve emniyette FRAM'ın potansiyel etkinliğine rağmen, araştırmacılar, güçlü yönlerini geliştirmek için FRAM'a nicel yaklaşımları entegre etmeyi önermişlerdir. Patriarca, Di Gravio ve Costantino (2017), Monte Carlo simülasyonunu entegre ederek yarı niceliksel bir FRAM uygulaması önermiştir. Sonrasında bu çalışma Kaya ve Hocaoglu (2020) tarafından revize edilerek sağlık sektöründe uygulanmıştır. Bu çalışmada, Kaya ve Hocaoglu (2020) tarafından önerilen yarı niceliksel bir yaklaşım kullanılmıştır ve tramvay sistemini modellemek ve emniyet yönetimini desteklemek için tasarlanmıştır. Bir sonraki bölümde, literatür taramasının temel sonuçlarından çıkarılan araştırma soruları listelenmiştir.

3.2. ARAŞTIRMA SORUSU

Bu çalışma kapsamında sunulan araştırma soruları şunlardır:

1. Raylı sistemler içerisindeki karayolu ile en fazla kesişimi bulunan tramvay hatlarında, emniyeti sağlamak için mevcut risk değerlendirme uygulaması nasıl geliştirilebilir?
2. Riskin yüksek olduğu noktalar nelerdir?

3. Riskin yüksek olduğu noktalar tespit edildikten sonra oluşturulacak kritik yollarda ne türde iyileştirmeler yapılabilir?

Bu çalışma, 39 km uzunluğunda ve 31 istasyonlu İstanbul'un en yoğun tramvay hattına (T1) uygulanmıştır. T1 hattında 92 tren çalışmakta ve her gün 400.000'den fazla yolcu seyahat etmektedir. Tramvaylar 50 km / saate kadar hızlarda çalışır. Tramvay sürücüleri, vagonları çoğunlukla karışık bir trafik ortamında çalıştırır. Tüm çalışan tramvaylar, bir trafik kontrolörü, bir iletişim operatörü, bir SCADA operatörü ve bir süpervizör dahil olmak üzere kontrol odası personeli tarafından izlenir. Kontrol odasında görevli personel, tren şoförleri ile sürekli iletişim halindedir. Tramvay sürücüleri ve diğer ilgili kurumlar, tramvay şeridindeki herhangi bir elektrik kesintisi, trafik sıkışıklığı ve kazalardan haberdar edilir. T1 hattında tramvaylar, trafikten farklı seviyelerde izolasyona sahip (yani tamamen izole edilmiş, kısmen izole edilmiş veya izolasyonsuz) raylarda çalışmaktadır. T1 tramvay şeridi, tüm uzunluğu boyunca duvarlar, yol bölücüler veya yükseltilmiş tramvay rayları ile izole edilmiştir. Benzer şekilde, platformlar bir tarafta veya her iki tarafta bariyerlerle trafikten izole edilmiştir. Böylelikle yolcular, genel trafik araçları ve tramvaylar farklı lokasyonlarda farklı risk seviyelerine maruz kalmaktadır.

Tramvaylar, yayaların, tramvayların ve araçların paylaştığı yollarda bulunan yollarda çalışır. Tramvay sistemlerinde, çevresel koşullar tramvay işletim sistemini etkiler ve buna karşılık eylem sahiplerinin sistemi başarılı bir şekilde yönetmek için değişime yanıt vermesi gerekir (Naznin, Currie, vd. 2016). Tramvay sistemlerinde FRAM'i kullanmak için, FRAM uygulamasının günlük çalışan bir sistemi modellemesi, değişkenliği anlaması ve sistem güvenliğini tehdit eden riskleri belirlemesi beklenmektedir. Tramvay işletmeciliğinin yaya ile ilişkili kazalar açısından riske en açık bölgesi istasyonlar ve yakın çevresidir (Kasımoğlu, 2015). Konunun uzmanları ile yapılan toplantılarda ve gerçekleştirilen yerinde gözlemlerde, istasyonlarda ve istasyonların çevresinde birden fazla emniyet sorununun olduğu görülmüştür. Bu emniyet sorunlarının çerçevesinin, tramvay, karayolu ve yolcular arasında olduğu anlaşılmıştır. Tramvay ile yolcular arasında yaşanan emniyet problemleri, büyük ölçüde tramvaya binen ve tramvaydan inen yolcular arasında ve yolcuların dikkatsizliğinden dolayı çıkmaktadır (Büyükşahin Sıramkaya, 2018). Tramvay ile karayolu araçları arasında çok fazla kaza yaşanmaktadır. Tramvayların diğer raylı sistem türlerine göre hatırı sayılır ölçüde karayolu kesişmesi bulunmaktadır. Tramvay ile karayolunun ve yaya geçitlerinin kesiştiği yerler 'hemzemin geçit' olarak adlandırılmaktadır (Klockner, ve Yvonne, 2015). Demiryolu taşımacılığında yaşanan kazalar ile ilgili yapılan çalışmalarda, Avrupa'da da Türkiye'de de en

fazla kazanın hemzemin geçitlerde yaşandığı tespit edilmiştir (Tabak, 2016). Bu sebepten, sinyalizasyon eksikliklerinden kaynaklı birçok sorun gelişmektedir. Hemzemin geçitlerde yeterli sinyalizasyon sistemi bulunmamaktadır.

Tramvay ile karayolu araçları arasındaki sorunlara karşı alınabilecek birçok tedbir bulunmaktadır. Hemzemin geçitlerde uygulanması gereken kurallar Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü (DDGM) tarafından belirlenmiştir (Tabak, 2016). Yerleşim alanları içerisinde bulunan hemzemin geçitler yeterli görüş mesafesine sahip değildir; bu sebeple yoğun trafikler oluşabilmekte ve sürücülerin agresif tutumlar gösterdiği durumlar yaşanabilmektedir. Trafik yoğunluğunun fazla yaşandığı hemzemin geçitlerde bekçi bulunmadığı için trafiğin açılması zaman almaktadır. Özellikle yoğun trafik yaşanan bölgelerde bekçi istihdam edilmesi, hem demiryolunu hem de karayolunu rahatlatacaktır. Trafiğin yoğun olduğu hemzemin geçitlerde ışıklı ve çanlı levhalar bulunmaktadır. Tren sürücüsü tarafından rahatlıkla görülebilen ışıklı ve çanlı levhalar, araç sürücülerini tarafından rahatlıkla görülememektedir. Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan kurallarda, hemzemin geçitlerin olduğu yerlerde kamera ile izleme mekanizması kurulması gerektiği yer alırken, uygulamada sorunlar yaşandığı görülmektedir (Uzuner, 2014). 2016 senesinde yayınlanan çalışmaya göre (Tabak, 2016) Türkiye’de yaklaşık 3400 adet hemzemin geçit bulunmaktadır. Trenin yaklaşması esnasında hemzemin geçide yabancı bir cisim girdiğinde kumanda merkezine veya tren sürücüsüne bildirim gönderen bir kontrol mekanizması bulunmamaktadır. Bu da bir eksiklik olarak görülmektedir (Üstündağ, 2016).

Demiryolu sistemindeki riskleri en aza indirerek kullanılabilirliği ve emniyeti arttırmak mümkündür. Bu nedenle, riskleri yeterince erken tespit etmeye yardımcı olacak tespit yöntemleri geliştirmeye büyük bir ihtiyaç vardır. Bu risk tespit yöntemleri sadece maliyeti düşürmekle kalmaz, aynı zamanda emniyeti de artırır. Demiryolu sistemi oldukça dinamik bir sistemdir, bu nedenle risk analizi yapılırken, dinamik bir risk analizi metoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaca binaen, FRAM metodu risk analizi metodları arasında en dinamik olanı olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle, bu araştırma kapsamında FRAM metodu uygulanmıştır.

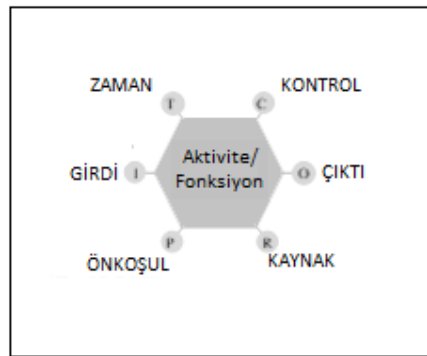
3.3.METOTLAR

3.3.1. Geleneksel FRAM Analizi

Geleneksel FRAM analizi dört adımla açıklanmaktadır: mevcut fonksiyonların tanımlanması, değişkenliğin tanımlanması ve açıklanması, değişkenliğin toplanması ve değişkenliğin yönetimi.

İlk adımda, bir fonksiyon (bir aktiviteye veya bir dizi aktiviteye atıfta bulunarak) altı açıdan karakterize edilir: Giriş (I) (yani aktiviteyi başlatan), Çıkış (O) (yani aktivitenin sonucu veya sonuçları), Önkoşul (P) (yani aktivite gerçekleşmeden önce olması gereken zorunlu koşullar), Kaynak (R) (yani gerçekleştirilecek aktivitenin gereksinimleri), Zaman (T) (yani aktiviteyi etkileyebilecek zaman kısıtlamaları) ve Kontrol (C) (yani aktivitenin nasıl izlendiği veya kontrol edildiği).

FRAM fonksiyonu, grafiksel olarak bir altıgen ile temsil edilir (Şekil 6). Aktiviteler iki kategoriye ayrılır: ön plan aktiviteleri ve arka plan aktiviteleri. Ön plan aktiviteleri, altı özelliğin tamamının tam bir tanımını gerektirir ve analiz için gereklidir. Arka plan aktiviteleri, ön plan aktivitelerini neyin etkilediğini gösterir ve açıklamak için daha az ayrıntı gerektirir. Zaman, önkoşul veya kaynak gibi özelliklerden biri veya birkaçı arka plan aktivitelerinde eksik olabilir.



Şekil 6. Hollnagel'den uyarlanmış bir fonksiyonu temsil eden altıgen (Hollnagel ve Goteman, 2004)

Sistemik görünüm, aktivitelerin birbirine nasıl bağlı olduğunu ve beklenmedik bağlantıların aniden nasıl ortaya çıkabileceğini vurgular.

3.3.2. FRAM İlkeleri ve Adımları

FRAM, fonksiyonlar arasındaki etkileşimi açıklayan sosyo-teknik sistemde normal performans değişkenliğinin temsil edilmesini sağlar (Rosa, França, Haddad ve Carvalho, 2017). FRAM dört prensibe dayanmaktadır (Hollnagel ve Goteman, 2004):

- Başarıların ve başarısızlığın denk oluşu: Başarılar ve başarısızlıklar aynı kökene sahiptir, buna örnek olarak performans değişkenliği verilebilir. Her ikisi de aynı kaynaktan yani günlük iş değişkenliklerinden meydana gelmektedir.
- Yaklaşık ayarlamalar: Birey veya grup olarak ve kuruluşlar olarak insanlar günlük performanslarını günlük çalışma koşulları, kaynaklar ve gereksinimlerle başa çıkmak için ayarlarlar. Gündelik işler her zaman koşulsuz olarak tanımlanır ve ayarlanır (Rosa ve diğ., 2017)
- Ortaya çıkma: Belirli bir olayı, bir sistem arızasının nedeni olarak tanımlamak zor, hatta imkansız bir görevdir. Herhangi bir özel emniyet olayının nedenlerini belirlemek mümkün değildir. Bazı olaylar, herhangi bir iz bırakmadan, geçici olabilen belirli zaman ve mekan koşullarının birleşimi nedeniyle ortaya çıkar.
- Fonksiyonel Rezonans: Fonksiyonel rezonans, çoklu sinyallerin günlük değişkenliğinin istenmeyen etkileşiminden ortaya çıkan saptanabilir sinyali temsil eder. Bu değişkenlik rastgele değil, insani, örgütsel ve teknik davranışlarla ilgilidir. Fonksiyonel rezonans, sisteme ve çevresel koşullara bağlı olarak dinamik bir fenomendir.

Bu ilkelere dayanarak, emniyet değerlendirmesi, hata sayısına dayanan geleneksel önlemlerin ötesine geçmelidir: yanlış giden şeyler (kazalar ve olaylar) ve doğru giden şeyler (normal çalışma) performans değişkenliğinden kaynaklanır. Bir sistemin emniyet seviyesinin belirlenmesi, kabul edilebilir sonuçların ölçülmesinden elde edilir. Emniyet mühendisliği prensipleri üzerine yapılandırılmış olan FRAM metodolojisinin kullanılmasıyla, istenmeyen sonuçlara yol açabilecek değişkenliğin daha iyi izlenmesine ve azaltılmasına olanak sağladığı görülmüştür (Rosa ve diğ., 2017). Dahası, olumlu sonuçlara veya başarılarla, yani teşvik edilmesi gerekenlere yol açabilecek değişkenliği tahmin etmek, izlemek ve uygulamak için harekete geçmeye izin verir. Risk değerlendirme amacıyla FRAM, sistem emniyeti için uygun göstergelerin belirlenmesine yardımcı olabilmektedir. Bu bakış açısı, bir sistemin hem beklenen hem de beklenmedik çalışma koşullarıyla başa çıkmak için çalışma işlevini ayarlayabilme yeteneğine sahip olması durumunda, bir sistemin sağlam bir şekilde savunulabilmesi açısından yaklaşık ayarlamalar ilkesine uygundur.

3.3.2.1. Adım 1: Sistem fonksiyonlarının tanımlanması ve açıklaması

Sistem bilgisine dayanarak, süreçlerin, görevlerin mevcut prosedürlerin, geçmiş verilerin ve konunun uzmanlarının dahil edilmesi yoluyla, sistemi fonksiyonel yapısı ile karakterize etmek mümkündür. FRAM'da bir aktivite altı yönden oluşur:

- Giriş (I): Aktiviteyi başlatan veya aktivite tarafından işlenen veya dönüştürülen şey.
- Çıktı (O): Alt fonksiyonlara girdi olarak kullanılan bir varlık ya da durum değişikliği aktivitesinin sonucu.
- Önkoşul (P): Aktiviteyi yerine getirmeden önce olması gereken zorunlu fonksiyonlar.
- Kaynak (R): Çıktıyı üretmek için aktivite gerçekleştirildiğinde ihtiyaç duyduğu şey.
- Kontrol (C): Aktiviteyi izleme ve kontrol etme, aktivitenin performansını istenen çıktıya uyacak şekilde düzenleme.
- Zaman (T): Yürütme süresi bakımından aktiviteyi etkileyen bir kısıtlama.

3.3.2.2. Adım 2: Performans değişkenliğinin tanımlanması

İkinci adımda, her bir aktiviteyi potansiyel ve gerçek performans değişkenliği ile karakterize etmek gerekir. Performans değişkenliğinin günlük işlerde çok önemli bir rolü olduğu için, her bir sistem fonksiyonunun nasıl değiştiğini tanımlamak gerekir. Bu tanımlama süreci, hem günlük hem de anormal değişkenliği ve özellikle çıktı değişkenliğini dikkate almalıdır.

3.3.2.3. Adım 3: Değişkenliğin toplanması

Bu adım, olası bir kazayla ilgili aktiviteler arasındaki gerçek bağlantıların genel bir tanımını geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bir risk değerlendirme senaryosu için bu analiz, görsel olarak aşırı yüklenmiş, yani çok sayıda birbirine bağlı aktiviteler de dahil olmak üzere karmaşık bir FRAM modeli oluşturduğu için, bir senaryonun anlaşılabilirliği açısından bazı sınırlamalara sahiptir.

3.3.2.4. Adım 4: Değişkenliklerin yönetimi

Bu adımın amacı, çalışma alanının karmaşıklığının anlaşılmasıdır. Araştırma sürecinin nihai adımı sadece engellerin tanımlanması ve gizli koşulların tespiti ile bağlantılı değildir. Ayrıca performans değişkenliğinin nasıl izlenebileceğini ve yönetilebileceğini, özellikle de sistem verimliliğine olumsuz bir etkisi olmadan değişkenliğin nasıl yönetilebileceğine bakmaktadır.

3.3.3. FRAM'a Yarı Nicel Yaklaşım

Bu çalışmada, Kaya ve Hocaoglu (2020) tarafından önerilen yarı niceliksel bir yaklaşım kullanılmıştır. Çalışmada, T1 hattının çalışmasında yer alan fonksiyonların altı yönü düşünülerek tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar ile de, aktiviteler arasındaki bağlantılar ortaya çıkarılmış ve FRAM model görselleştiricisi (Hollnagel 2016) kullanılarak FRAM modeli çizilmiştir.

Kaya ve Hocaoglu (2020) da bahsettiği gibi yarı nicel yaklaşım, performans değişkenliklerinin sözel ifadelerinin sayısallaştırılması ve performans değişkenliği senaryolarının Monte Carlo ile simüle edilerek aktivitelerin farklı senaryolarda kritik yollarının bulunması ile gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımda, her bir bağlantının değişkenliğini, bir aktiviteden çıktının değişkenliğini, yukarı yönlü aktivitenin veya aktivitelerin değişkenliğinin etkisini ve çalışma ortamının değişkenliğinin etkisini tahmin ederek ölçülmüştür. Değişkenliği ölçmek için konu uzmanlarının kararları kullanılmıştır. Konu uzmanları, değişkenliğin dilsel tanımlarını sayısal puanlara çevirmişlerdir (örneğin çok erken = 1, zamanında = 2, çok geç = 3 ve çok çok geç = 4). Örneğin, bir aktivitenin çıktısı genellikle çok geç gerçekleşiyor ise, konunun uzmanları o aktivitenin çıktısı için değişkenliğe 3 puan atar. Daha yüksek değişkenlik, daha yüksek bir skor ile temsil edilmiştir. Başka bir deyişle, puan ne kadar yüksek olursa, çıktı o kadar değişken olur. Bir aktivite genellikle zamanında olabilir, ancak farklı koşullar altında çok erken veya çok geç de olabilir.

Bununla birlikte, değişkenliğe sabit bir puan atamak gerçek hayattaki değişkenliğin belirlenmesine yardımcı olmayabilir. Çünkü bir aktivitenin değişkenliği genellikle dinamiklidir. Bu noktada, ayrı bir olasılık dağılımı kullanılması önerilmiştir (Patriarca, Gravio, Costantino ve Tronci, 2017). Belirsizlikleri yaymak için Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Monte Carlo simülasyonuna dayanan bu çalışma, sistematik olarak performans değişkenliğinin dilsel karakterizasyonunun değişkenlik dağılımlarına nasıl çevrileceğini açıklamaktadır. Monte Carlo simülasyonu daha sonra olasılık dağılımı açısından değişkenliğin farklı yönlerinin birleştirilmesine ve aktiviteler arasındaki kritik ilişkilerin izole edilmesine izin verir. Bu yaklaşım yarı nicel olacaktır çünkü değişkenlik dağılımları nicel verilerden ziyade genellikle nitel performans değerlendirmelerine dayanmaktadır. Bu çalışmada FRAM in yarı-niceliksel ilk uygulaması olan Patriarca, Gravio, vd. (2017) çalışmasını geliştiren Kaya ve Hocaoglu (2020)'nin çalışması baz alınarak yapılmıştır.

Bu çalışmada, yarı niceliksel yaklaşım dört noktada belirlenmiştir:

- Bir aktivitenin tek bir çıktıya sahip olacağını varsaymak yerine, bir aktiviteden birden fazla çıktı türeyebileceği değerlendirilmiş ve her çıktının değişkenliği incelenmiştir.
- Tüm olası değişkenlik koşullarını göz önünde bulundurarak yukarı yönlü çıkışın aşağı yönlü aktivite üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Örneğin, üst aktivitedeki çıktı çok geç veya kesin değilse, alt aktivite üzerinde değişkenliği yükseltici bir etkiye sahiptir. Buna karşılık, aynı üst aktivite çıktısı zamanında veya kabul edilebilir olursa, alt aktiviteyi etkilemez.
- Senaryo oluşturmak için, her Senaryo Performans Koşullarının (SPC) oluşumu ve değişkenlik etkisi için ayrı bir olasılık dağılımı kullanılmıştır.
- Her SPC'nin çıktılar üzerindeki etkisini tahmin etmek için logaritmik bir ölçek kullanılmıştır.

Performans değişkenliği, her bir FRAM aktivitesini karakterize eder: aktivitelerin potansiyel bağlantılarını ve beklenmedik sonuçların nasıl olduğunu anlamaya yardımcı olur. Aktivitelerin değişkenliği doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Performans değişkenliği hem olumlu hem de olumsuz sonuçlara yol açabilir. En verimli strateji, olumlu etkileri yükseltmek, olumsuz etkileri azaltmak, gerçekleştirmelerini ortadan kaldırmak ve bunları önlemektir (Patriarca, Gravio, Costantino ve Tronci, 2017).

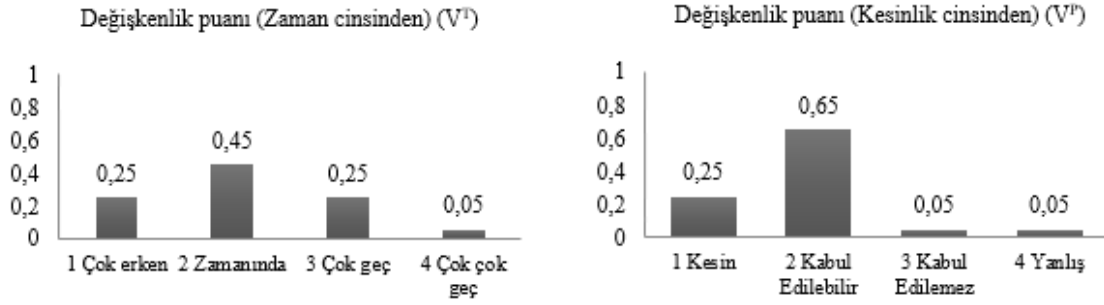
Tüm bunlar temel alınarak, üst aktivitenin j çıkışı n ile alt aktivitenin i arasındaki z senaryosu için her bir bağlantı için değişkenlik öncelik numarası (VPN_{ijn}^z) şöyle hesaplanmıştır:

$$VPN_{ijn}^z = V_{jn}^T \cdot V_{jn}^P \cdot a_{ijn}^T \cdot a_{ijn}^P \cdot e_{jn}^z \quad (1)$$

Burada;

V_{jn}^T veya V_{jn}^P , n yukarı akış işlevinden j çıkışının zaman veya kesinlik açısından değişkenliğini temsil eder. Bu çalışmada zamanlamayı ve kesinliği değişkenlik tipleri olarak tanımlayan basit çözüm değerlendirilmiştir (Kaya ve Hocaoglu, 2020; Patriarca, Gravio, Costantino ve Tronci, 2017). Çıktının değişkenliği hem zaman (yani çok erken, zamanında, çok geç ve çok çok geç) hem de kesinlik (yani kesin, kabul edilebilir, kesin olmayan ve yanlış) olarak dört kategoride tanımlanmıştır. Böylece dilsel açıklamaları sayısal değerlere aktarmak için 1'den 4'e kadar bir puan atanabilmesine olanak sağlanmıştır. Puan ne kadar yüksek olursa, çıktı değişkenliği o kadar yüksek ve dolayısı ile kritik düzeyde olur. Bir çıktı çok erken, zamanında, çok geç veya çok çok geç olabilir. “Çok çok geç”, bir çıktının çok geç yaşanması olasılığını temsil eder.

Kesinlik açısından, bir çıktı kesin, kabul edilebilir, kesin olmayan veya yanlış olabilir. Sonuç olarak, her bir aktivitenin her bir çıktısı için ayrı bir olasılık dağılımı oluşturulmuştur. Çıktı değişkenliğinin zaman ve kesinlik cinsinden değişkenlik puanının daha kolay anlaşılabilmesi için örnek olarak <Tramvayın hat boyunca çalışması> aktivitesi seçilmiştir.



Şekil 7. Çıktı değişkenliğinin <Tramvayın hat boyunca çalışması> aktivitesinden zaman ve kesinlik açısından olasılık dağılımına bir örnek

a_{ijn}^T veya a_{ijn}^P , üst fonksiyonundan (j) çıkışın (n) alt fonksiyonuna (i) zaman veya kesinlik açısından etkilerini temsil eder. Konunun uzmanları, V_{jn}^T veya V_{jn}^P koşullarını dikkate alarak, onlara uygun birer puan vermiştir. Her bir puanın dilsel tanımı şu şekildedir:

$$a_{ijn}^T, a_{ijn}^P = \begin{cases} 2 & \text{Üst fonksiyonunun (j) çıkışı (n) alt fonksiyonunda (i) güçlendirici bir etkiye sahipse} \\ 1 & \text{Üst fonksiyonunun (j) çıkışı (n) alt fonksiyonunda (i) üzerinde bir etkisi yok ise} \\ 0.5 & \text{Üst fonksiyonunun (j) çıkışı (n) alt fonksiyonunda (i) azaltıcı bir etkiye sahipse} \end{cases}$$

(2)

Örneğin, (j) üst fonksiyonun (n) çıkışı zamanında gerçekleşmiş ise ($V_{jn}^T=2$), konunun uzmanları tarafından alt fonksiyon üzerinde bir etkisi olmadığına karar verilmiştir ($a_{ijn}^T=1$); bununla birlikte çıktı çok geç gerçekleşmiş ise ($V_{jn}^T=3$), konunun uzmanları alt fonksiyon üzerinde değişkenliği artırıcı etkisi olduğuna karar vermiştir ($a_{ijn}^T=2$).

e_{jn}^z , z senaryosu için j aktivitesinin n çıktısının, çalışma ortamından kaynaklanan koşullu değişkenliğini temsil eder. Bu, m'nin önemini ($k= 1, 2, 3, \dots m$), potansiyel senaryo performans koşullarını (SPC^k) ve (j) fonksiyonunun (n) çıktısının üzerindeki diğer etkileri (b_{jn}^k) içermektedir:

$$e_{jn}^z = \max \left\{ 1; \log \left(\sum_{k=1}^m SPC_z^k . b_{jn}^k \right) \right\} \quad (3)$$

$$b_{jn}^k = \begin{cases} 100 & \text{Eğer } SPC^k \text{ (j) fonksiyonunun (n) çıktısı üzerinde yüksek etkisi var ise} \\ 20 & \text{Eğer } SPC^k \text{ (j) fonksiyonunun (n) çıktısı üzerinde orta düzeyde bir etkisi var ise} \\ 1 & \text{Eğer } SPC^k \text{ (j) fonksiyonunun (n) çıktısı üzerinde bir etkisi yok ise} \end{cases} \quad (4)$$

$$SPC_z^k = \begin{cases} 4 & \text{Eğer } SPC^k \text{ yüksek değişkenlik etkisi var ise} \\ 2 & \text{Eğer } SPC^k \text{ düşük değişkenlik etkisi var ise} \\ 1 & \text{Eğer } SPC^k \text{ değişkenlik etkisi yok ise} \end{cases} \quad (5)$$

b_{jn}^k , her bir SPC^k 'nin, (j) fonksiyonunun her bir çıktısını ifade etmektedir. Formül (3) 'deki e_{jn}^z değeri, büyük değerlere doğru çarpıklığa cevap vermek için logaritma kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, 4 farklı senaryo performans koşulu belirlenmiştir (SPC^k): yolcu sayısındaki artış (SPC^1), makinist sayısındaki azalış (SPC^2), hava koşulları (SPC^3) ve trafik (SPC^4). Her koşul, yüksek, düşük veya değişkenlik etkisi olmadan ortaya çıkabilir. Ayrıca, her Senaryo Performans Koşulu' nun (SPC) farklı bir gerçekleşme olasılığı olabilir. Bu nedenle, konunun uzmanları, her bir SPC'nin ortaya çıkması için bir olasılık tayin etmişlerdir, böylece daha gerçekçi senaryolar üretilebilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma iki, üç veya dört SPC'nin bir kombinasyonu ile senaryolar oluşturabilir şekilde dizayn edilmiştir. Ancak, aynı senaryoyu tekrar oluşturmamak için koda bir kısıtlama eklenmiştir. Bu mümkün olduğunca farklı senaryoların dikkate alınmasına olanak sağlamıştır.

3.3.3.1.Soyutlama – Ajan Çerçevesi

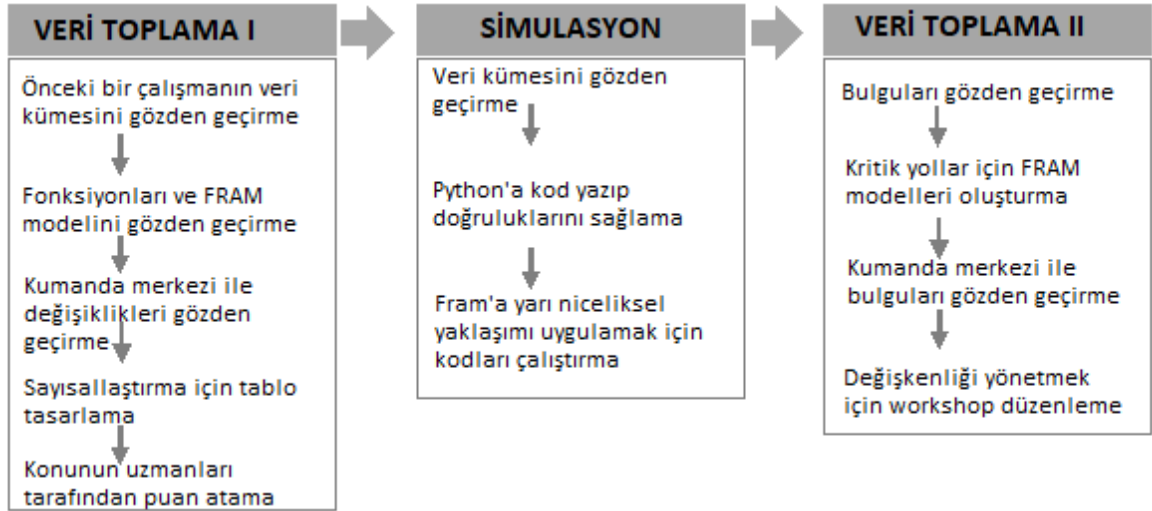
Rasmussen'in Soyutlama Hiyerarşisinden (Abstraction Hierarchy - AH) esinlenen Soyutlama / Ajan, bir FRAM modelini, temsilin karmaşıklığıyla başa çıkmanın bir aracı olarak iki boyuta ayırmayı amaçlamaktadır (Rasmussen, 1985). Sosyo-teknik sistemlerin yapısında, insan, kültür ve teknolojiler bir arada bulunmaktadır. Kısacası, çerçeve sosyo-teknik sistemin (FRAM) işlevsel bir modellemesini, farklı kavramsal çözünürlüklerde (AH) gözlemleme fırsatı ile birleştirmektedir. Sınırsız sayıda soyutlama katmanı olmadığından soyutlama bir süreklilik üzerine yayıldığı için analizin ayrıntı düzeyi, FRAM ölçeği değişmezliğine göre analizin amacına bağlı olarak belirlenebilir. Çerçeve, fonksiyonun aynı katmandaki veya farklı katmanlardaki fonksiyonlar arasındaki fonksiyonel etkileşimleri gözlemlemeye izin verir. Değişkenlik tanımlama ve değişkenlik toplama ile gerçekleştirdiğimiz yarı niceliksel yaklaşım, değişkenliği sistematik olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Olayların nedenini anlamaya ve önlemeye çalışırken, iyi uygulamanın özelliklerinin anlaşılabilmesi ve geliştirilebilmesi önemlidir.

3.3.3.2.Bilgi Toplama

Çalışma, İstanbul'da bulunan tramvay hatlarından, T1 Bağcılar – Kabataş hattında, 10 kişiyi kapsayan görüşmeler neticesinde gerçekleştirilmiştir. Konunun uzmanları ile olan görüşmeler, 14,5 saat sürmüştür. Belirtilen bu süreye, analiz sırasında kullanılan kodlama araçlarının kullanılmasında geçen süre dahil edilmemiştir. Her bir görüşme ortalama bir saat sürmüştür. Gerçek dünyadaki çalışma koşullarındaki yolu incelemek amacıyla yerinde ve doğal gözlemler yapılmıştır.

3.3.3.3.Verİ Yönetimi

Yarı niceliksel yaklaşımı FRAM'a uygulamak için veri yönetimi süreci üç aşamada açıklanabilir: Veri Toplama-I, Simülasyon ve Veri Toplama-II.



Şekil 8. FRAM uygulaması için gerçekleştirilen araştırma süreci

3.3.3.3.1. Veri toplama I

Veri toplama-I aşamasında fonksiyonları tanımlamak ve değişkenliği ölçmek için birçok veri toplanmıştır. Hazırlanan FRAM modelini gözden geçirmek için konunun uzmanları ile toplantılar ve olay yerinde gözlemler yapılmıştır. Veri toplama-I aşamasında toplam iki görüşme, iki gözlem ve beş toplantı düzenlenmiştir.

Konunun uzmanları ile yapılan ilk görüşmede, bir tramvay işletim süreci tüm detaylarıyla aktivitelere dökülmüştür. Ardından, aktivitelere ait altı özellik belirlenmiştir. Aktiviteler, günlük sistem çalışmasını tanımlamayı amaçlamaktadır.

Sayısallaştırma sürecinde, araştırma yöntemini uygulamak için gerekli tüm bilgilerin bir arada bulunmasını sağlamak amacı ile excel tablosu kullanılmıştır. Bu tabloda, konunun

uzmanlarından V_{jn}^T ve V_{jn}^P için bir tahmini olasılık dağılımı sağlamaları, her bir SPC^k 'nin

meydana gelmesi için tahmini bir olasılık sağlamak için a_{ijn}^T , a_{ijn}^P ve b_{jn}^k için bir sayısal puan

atamaları ve değişkenlik etkisi için her bir SPC^k için olasılık dağılımı istenmiştir. Konunun uzmanları tarafından, her biri iki saat süren üç toplantı ile gerekli bilgiler toplanmıştır.

3.3.3.3.2. Simülasyon

3.3.2.ci bölümde açıklanan araştırma yöntemi, PyCharm kullanılarak üst düzey bir programlama dili olan Python 3.8'de simüle edilmiştir. Python kodu, kullanıcıların istenen sayıda senaryo ve yineleme girmesine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Simülasyon (örn. On yinelemeli on senaryo) sonucunu analitik sonuç ile karşılaştırarak kodun doğruluğunu sağlamak için çoklu testler yapılmıştır. Simülasyona ait pseudo-code aşağıda belirtilmiştir.

Girdiler

- #Senaryolar (int) ve #İterasyonlar (int)
- V_{jn}^T ve V_{jn}^P değerlerinin dağılımı
- SPC^k oluşumlarının dağılımı ve SPC^k değerlerinin dağılımı
- Fonksiyonların çıktıları üzerindeki etkiler (b_{jn}^k)

Rastgele Senaryolar Oluşturma

- Rastgele bir SPC^k seçin (Senaryoda ilgili SPC 'nin oluşturulup oluşturulmayacağına karar verir, 0 veya 1 değeri atanır).
- SPC^k için rastgele bir değer seçilir.
- Dört basamaklı bir senaryo oluşturulur (Her basamak bir SPC 'yi temsil eder).

Problem Tanımı Okuma

- Yukarı akış ve aşağı akış işlevleri arasında bir bağlantı nesnesi oluşturma, V_{in}^T , V_{in}^P , a_{ijn}^T ve a_{ijn}^P 'den oluşur (Her değer olasılık dağılımlarına bağlı olarak oluşturulur).

Hesaplama

While #Senaryolar

While #İterasyonlar

Her yukarı akış ve aşağı akış fonksiyonu için VPN hesaplama

Yineleme istatistiklerini hesaplama,

Bu çalışmada, 1000 yineleme ile 100 senaryo için kod çalıştırılmıştır. Kapsamlı bir yaklaşıma sahip olmak için minimum tekrar sayısı, 1000 yinelemeye çıkarılmıştır.

3.3.3.3.3. Veri toplama II

Veri toplama-II aşamasında simülasyondan elde edilen bulgular gözden geçirilmiş ve performans değişkenliğinin yönetimini desteklemek için kritik yollar belirlenmiştir. Kritikliği tanımlamak için üç aşamalı bir strateji izlenmiştir. İlk olarak, her bir senaryoda (toplam 100 senaryoda) her eşleşme için ortalama VPN değerleri (1000 yinelemeden) hesaplanmıştır. İkinci olarak, 100 senaryonun ortalama VPN değerlerine göre kümülatif dağılımda 0,95'e eşit olan değeri hesaplanmıştır. Üçüncüsü, hesaplanan değerden daha büyük 100 senaryonun ortalama VPN değerleri filtrelenmiştir. Bir senaryoda birden fazla kritik bağlantı varsa, bunları bağlayarak kritik yollar oluşturulmuştur.

Bundan sonra, bulguların gözden geçirilmesi için kumanda merkezinde bulunan konunun uzmanları ile iki saatlik bir toplantı yapılmış ve bir atölye çalışması sırasında daha ayrıntılı tartışılmak üzere yedi senaryo seçilmiştir. Seçim, tramvayın hat boyunca çalışması esnasında, kontrolsüz performans değişkenliğinin nasıl yönetileceğini belirleyebilmek için normal ve olağandışı çalışma koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Bu yedi kritik yolda performans değişkenliğinin nasıl yönetileceğinin belirlenmesi için, iki saatlik bir atölye çalışması düzenlenmiştir. Bu atölye çalışmasına, mevcut görevlerinde çalışma süreleri 7 ila 21 yıl arasında değişen, supervisor, iş sağlığı güvenliği uzmanı ve trafik kontrolörü katılmıştır.

3.4. BÖLÜM ÖZETİ

Araştırma metodolojisi bölümü, bu çalışmada kullanılan araştırma sürecine genel bir bakış sunmuştur. Veri toplama yöntemi tüm yönleriyle birlikte detaylandırılarak anlatılmıştır.

BÖLÜM 4 – UYGULAMA

4.1.GİRİŞ

Bu tez çalışması, kaza analizi için FRAM' in rolünü tartışmayı amaçlayarak, karmaşık sistemlerde yapılan işi tanımlamanın faydalarını göstermektedir. FRAM, fiziksel yapılarından ziyade işlevsel yönlerine bakarak karmaşık sistemleri modellemeyi, işlevler arasındaki dinamik etkileşimleri tanımlamayı ve hem başarıların hem de başarısızlıkların kaynağını temsil eden performans değişkenliğini modellemeyi amaçlamaktadır. FRAM, değişkenliğin sistem üzerinden nasıl yayılabileceğini değerlendirmek ve potansiyel olarak ortaya çıkabilecek risklerin temsiline izin veren dinamik bir yapıya sahiptir (Kaya and Hocaoglu 2020; Patriarca vd, 2018).

4.2.ÖRNEK VAKA ÇALIŞMASI

T1 Bağcılar – Kabataş hattı, günlük ortalama 400.000 yolcu ile İstanbul şehir içi ulaşımında en çok kullanılan raylı sistemdir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin sahibi olduğu tramvay hattının işletmecisi Metro İstanbul'dur. Hatta toplam 31 istasyon vardır. Sefer sıklığı 5 dakikadır. Her bir sefer ortalama 65 dakika sürmektedir. Trafığın yoğunluğu, hava koşullarının değişkenliği gibi durumlar sefer süresini etkilemektedir. Hat uzunluğu 19,3 km'dir (Kasimoglu, 2015). Aşağıdaki görselde T1 Kabataş-Bağcılar hattının güzergahı gösterilmiştir. T1 tramvay hattı, genel olarak tarihi kent merkezi olarak değerlendirilen Eminönü-Sultanahmet güzergahına ve nüfusun kalabalık olduğu yerleşim bölgeleri olan Zeytinburnu-Bağcılar istikametine hizmet vermektedir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde genellikle konut-iş yolculukları gerçekleştirilmektedir. Tarihi yarımada bölgesinde ise büyük ölçüde iş ve turistik seyahatler gerçekleştirilmektedir.

4.3.1. Veri Yönetimi

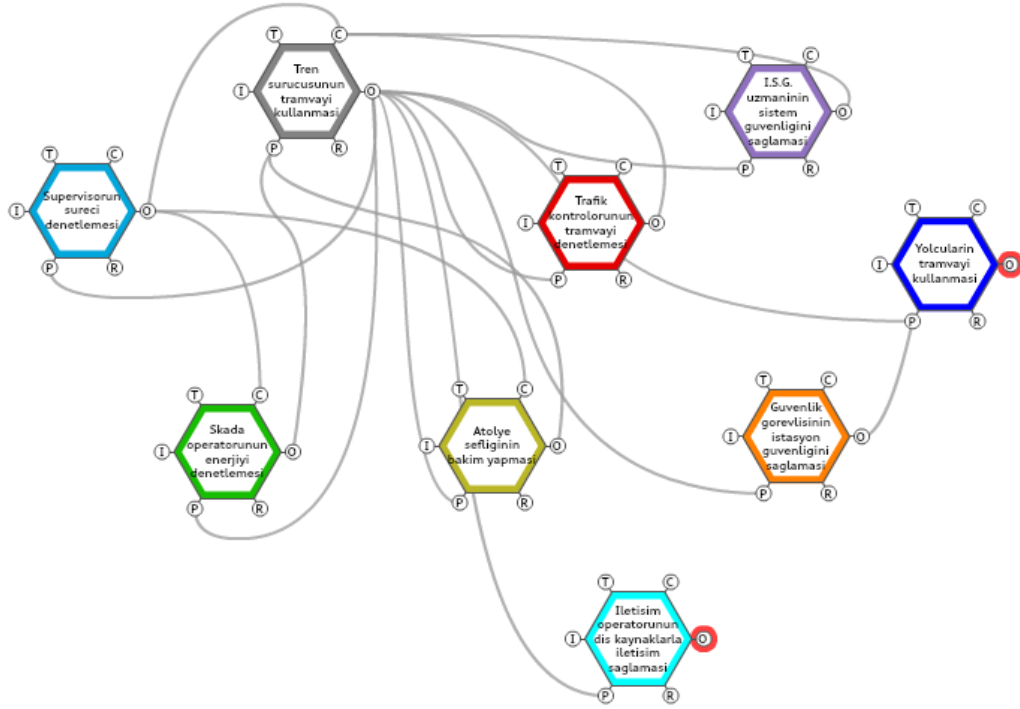
Bölüm 3’te açıklanan araştırma yöntemi yinelemeli bir veri toplama sürecine dayanmaktadır. Soyutlama / Ajan çerçevesi, sistem bilgisini farklı açılardan düzenlemeye izin vermiştir, yani aktiviteleri farklı soyutlama katmanlarına bütünsel olarak atamıştır. Eşzamanlı olarak, üç analiz katmanının çalışma alanını modellemek için uygun olduğu düşünülmüştür: Fonksiyonel Amaç (FA), Genelleştirilmiş Fonksiyon (GF), Fiziksel Fonksiyon (PF) (Patriarca, Falegnami, Costantino ve Bilotta, 2018).

Tablo 1. Soyutlama hiyerarşisi

Ajanlar	Ajan 1 Supervisor	Ajan 2 Tren sürücüsü	Ajan 3 Trafik kontrolö rü	Ajan 4 Skada operatör ü	Ajan 5 Atölye şefliği	Ajan 6 Güvenl ik Görevli si	Ajan 7 İ.S.G. Uzman ı	Ajan 8 İletişim operat örü	Ajan 9 Yolcu
Soyutlama									
Fonksiyonel Amaçlar(FA)	1 FP	1 FP	1 FP	1 FP	1 FP	1 FP	1 FP	1 FP	1 FP
Genelleştiril miş Fonksiyonlar(GF)	3 GF	6 GF	2 GF	2 GF	3 GF	<u>2 GF</u>	1 GF	1 GF	5 GF
Fiziksel Fonksiyonlar(FF)	4 PF	24 PF	5 PF	2 PF	5 PF	2 PF	2 PF	1 PF	5 PF

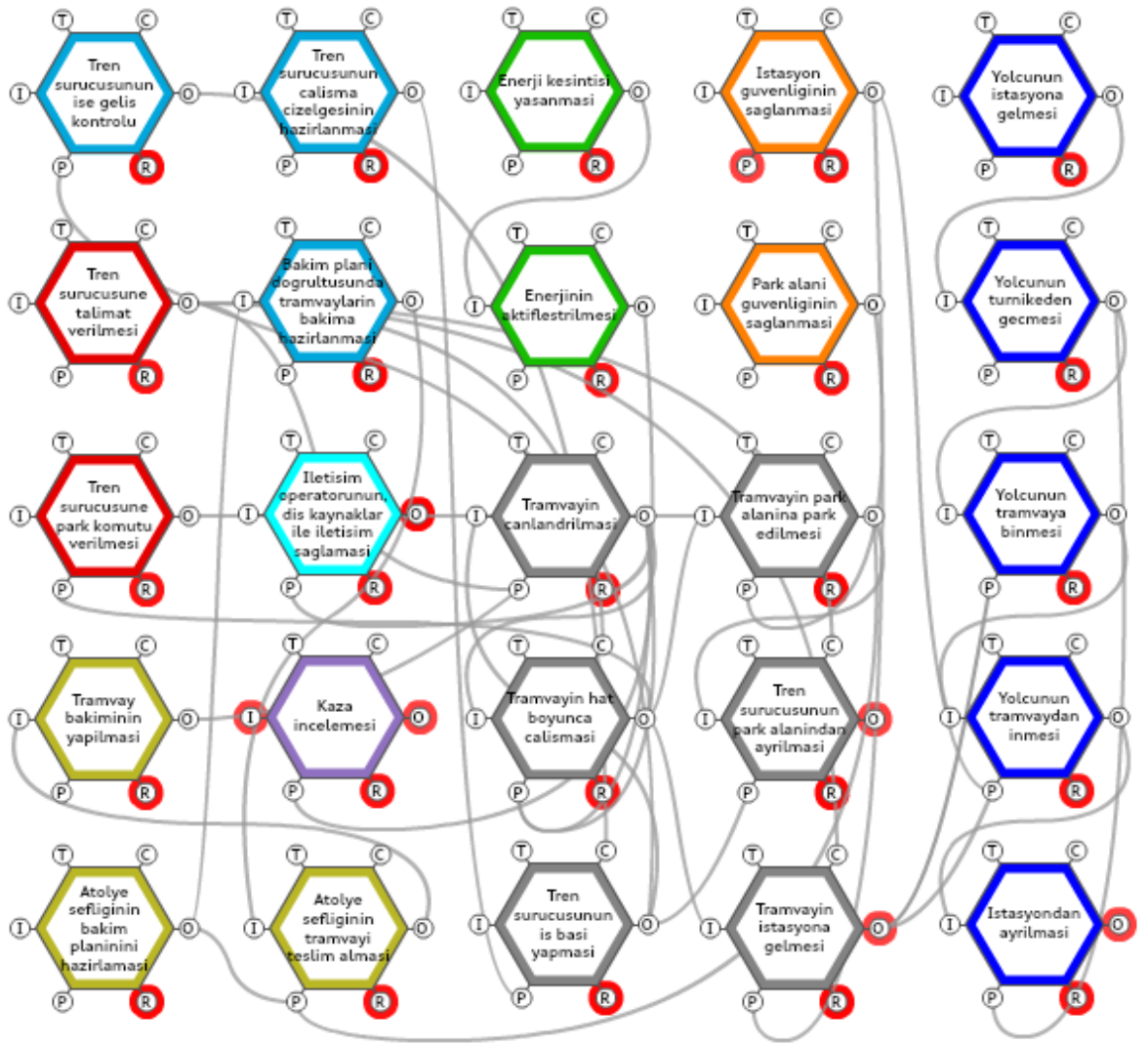
Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere, tramvayın günlük çalışma prosesinde dokuz ajan tanımlanmıştır. Bunlardan beş tanesi kumanda merkezinde görev alan görevlilerdir. Bunlar, supervisor, trafik kontrolörü, skada operatörü, iş sağlığı güvenliği uzmanı ve iletişim operatörüdür. Atölye şefliği birimi, kumanda merkezi ile paralel çalışmaktadır. Güvenlik görevlisi ve yolcu tramvay istasyonunda bulunan ajanlardır.

Soyutlama hiyerarşisinin ilk basamağı olan fonksiyonel amaçlarda her bir ajana bir aktivite tanımlanmıştır. Aşağıda FRAM Model görselleştiricisi ile çizilmiş gösterimi bulunmaktadır.



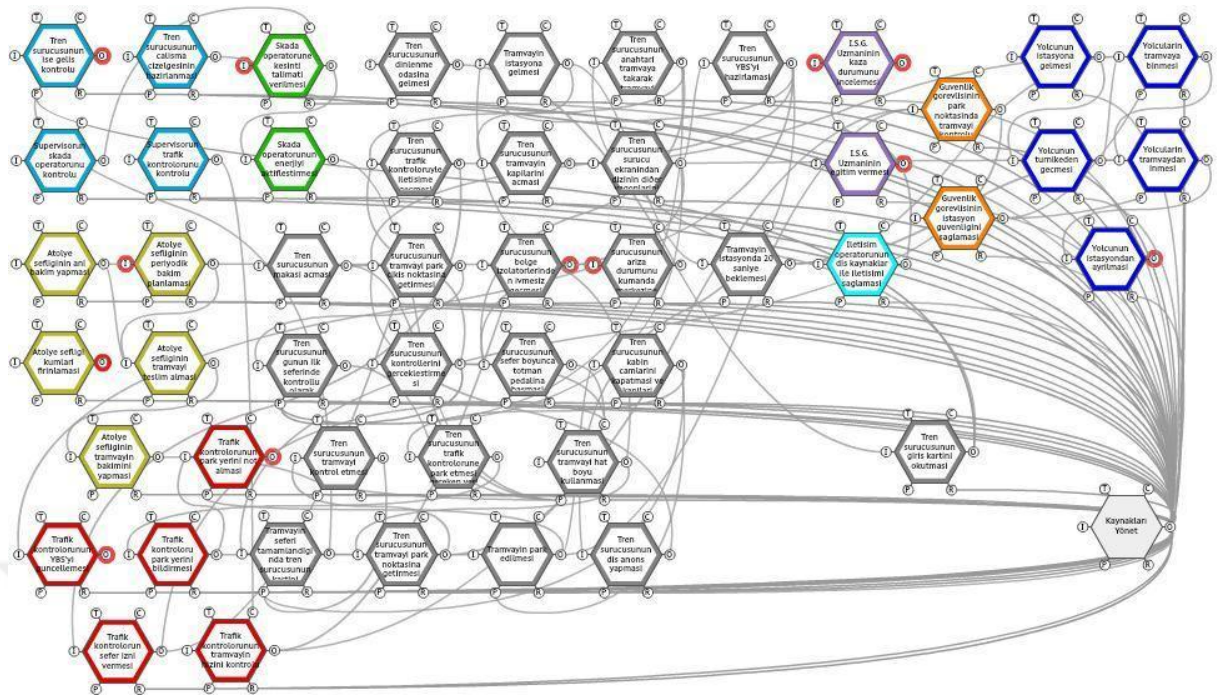
Şekil 10. Fonksiyonel amaçların FRAM ile gösterimi

Soyutlama hiyerarşisinin ikinci basamağı, geliştirilmiş fonksiyonlardır. Geliştirilmiş fonksiyonlarda, her bir ajanın aktiviteleri orta düzeyde detaylandırılmıştır. Aşağıdaki görselde FRAM Model görselleştiricisi programı ile görselleştirilmiş hali bulunmaktadır.



Şekil 11. Genelleştirilmiş fonksiyonların FRAM ile gösterimi

Soyutlama hiyerarşisinin en detaylı ve son katmanı fiziksel fonksiyonlardır.



Şekil 12. Fiziksel fonksiyonların FRAM ile gösterimi

4.3.2. Vaka Analizi

4.3.2.1. Tramvay sefere çıkmadan önce gerçekleştirilen aktiviteler

İlk olarak, tramvayın sefere çıkmadan önce yapılacaklarına odaklanılmıştır. Supervisor, <Tren surucusunun çalışma çizelgesinin hazırlanması> aktivitesini, aylık olarak hazırlar. Tren sürücüsü, supervisor tarafından aylık olarak hazırlanan İşletme Müdürlüğü Vardiya Çalışma Çizelgesi'nde ve Günlük Görev Çizelgesi'nde belirtilen çalışma düzenine ve saatlerine uygun bir şekilde çalışır. Supervisor, <Tren surucusunun işe geliş kontrolü>'nu gerçekleştirir. Supervisorün vardiya saatlerini denetlediği sistemin adı SAP'dir. SAP, ilgili verileri PDKS sisteminden alır. Her bir tren sürücüsü, mesai başlangıcında, personel kartını PDKS'ye okutur, PDKS de olası kimlik kartı ihlallerine karşı personelin fotoğrafını çeker. Böylece tren sürücüsünün mesaisi başlamıştır.

Atölye şefliği birimi, tramvayların ve tramvay yollarının bakımından ve onarımından sorumludur. Tramvayların 2 çeşit bakımları vardır. Bunlar, periyodik olarak yapılan bakımlar ve periyodik olarak yapılmayan ani bakımlardır. Periyodik bakımlar, <Atölye şefliğinin periyodik bakım planlaması> aktivitesi ile yapılır. Atölye şefliği, bakım planını SAP üzerinden

yapmaktadır. Bakımlar, 20.000km, 40.000 km ve 60.000 km, ve 80.000 km’de gerçekleştirilir. Ağır bakımlar bir ay sürmektedir. Yaklaşık 1,5 senede bir tekrarlanır. Atölye şefliği biriminin, tramvay sefere başlamadan önce gerçekleştirdiği bir aktivite daha vardır, bu aktivite, <Atölye şefliği kumları fırınlaması> aktivitesidir. Özellikle yapraklanmanın fazla olduğu bahar aylarında, tramvay hattında bulunan raylar arasına düşen yapraklar bir tür sıvı salgılar ve salgıladıkları bu sıvı trenin kaymasına sebebiyet verebilmektedir. Atölye şefliği birimi tarafından fırınlanıp nemi alınan kumlar, trenin kaymasına engel olarak olası bir kazadan korunmaya yardımcı olmaktadır. Özellikle Gülhane – Sirkeci güzergahında yapraklanmalar fazladır.

Tren sürücüsünün tramvayı canlandırmadan önce yapması gereken aktiviteler vardır. Tren sürücüsü ilk olarak <Tren surucusunun dinlenme odasına gelmesi> aktivitesini gerçekleştirir. Dinlenme odasına geldiğinde <Tren surucusunun giriş kartını okutması> aktivitesini gerçekleştirerek PDKS sistemine giriş kartını okutur. Giriş kartında, tren sürücüsünün kimlik bilgileri bulunmaktadır. PDKS sisteminde bulunan kamera sayesinde, tren sürücüsünün fotoğrafı çekilmektedir. Böylece herhangi bir kimlik kartı ihlali, kamera görüntüsü sayesinde tespit edilebilmektedir.

İş sağlığı güvenliği uzmanı tarafından tüm personele iş sağlığı güvenliği eğitimi verilmektedir. Bu eğitimler belirli periyotlarla tekrarlanabilir. Bu aktivite <I.S.G. Uzmanının eğitim vermesi> aktivitesi olarak tanımlanmıştır.

4.3.2.2. Tramvay sefere başladığında gerçekleştirilen aktiviteler

Tren sürücüsü, seferinden 15 dakika önce tramvaya biner. Tramvaya bindiğinde, <Tren surucusunun anahtarı tramvaya takarak tramvayı canlandırması> aktivitesini gerçekleştirir. Sabahları yolcusuz olarak hatta çıkacak ilk araç mutlaka kontrollü seyir eder, sefer sırasında yolda ve katener hattındaki olumsuz durumları Kumanda Merkezi’ne bildirir. Tren sürücüsünün günün ilk seferine başlarken gerçekleştirdiği aktivite, <Tren surucusunun günün ilk seferinde kontrollü olarak seyretmesi> olarak tanımlanmıştır. Tren sürücüsü trenin ekipmanlarını ve çevresini, gereken talimatlar doğrultusunda kontrol eder. Tren rayında bir cisim olup olmadığını da kontrol eder. Bu aktivite, <Tren surucusunun kontrollerini gerçekleştirilmesi> olarak tanımlanmıştır. Daha sonra tren sürücüsü <Tren surucusunun surucu ekranından dizinin diğer vagonlarını tanıması> aktivitesini gerçekleştirir. Sürücü ekranından tramvay dizisinin diğer vagonları kontrol edilir. Bu aktivitenin ardından <Tren surucusunun YBS’yi hazırlaması>

aktivitesi gerçekleştirilir. Tren sürücüsü, anons kodlarını girerek Yolcu Bilgilendirme Anons ve displayi otomatik olarak kurar. Her bir tren sürücüsü, günün her seferinde, sefere çıkarken trafik kontrolörü ile iletişime geçer. Bu aktivite <Tren surucusunun trafik kontroloruyle iletisine geçmesi> olarak tanımlanmıştır. Tren sürücüsü, trafik kontrolörü ile gerçekleştirdiği telsiz görüşmesinde kendisini tanıtır ve tramvayı hatta çıkardığını bildirir. Trafik kontrolöründen onay alan tren sürücüsü <Tren surucusunun tramvayı park cikis noktasına getirmesi> aktivitesini gerçekleştirir. Yolcu Bilgilendirme Sistemi kurulduktan sonra <Tren surucusunun dis anons yapmasi> aktivitesi gerçekleştirilir. Tramvay hareket etmeden önce, tren sürücüsü tarafından ikaz işareti mutlaka verilir ve dış anons yapılır. Bu aktivitenin ardından, tren sürücüsü makası açıp açmayacağına kendisi makasın pozisyonuna bakarak karar verir. Bu aktivite <Tren surucusunun makasi acmasi> olarak tanımlanmıştır.

Tren sürücüsü, trafik kontrolörü ile sefere çıkacağını bildirmek için iletişime geçtiğinde, trafik kontrolörünün sefer onayı vermesi için <Trafik kontrolorum sefer izni vermesi> aktivitesi gerçekleştirilir. Trafik kontrolörü onay vermeden, tren sürücüsü sefere başlayamaz.

4.3.2.3. Tramvay seferdeyken gerçekleştirilen aktiviteler

Tren sürücüsü, hat boyunca tramvayı kullanır. Bu aktivite, <Tren surucusunun tramvayı hat boyu kullanmasi> olarak tanımlanmıştır. Tren sürücüsünün hat boyunca optimum hızla tramvayı kullanması çok önemlidir. Hız ihlali yaşanan durumlarda trafik kontrolörü müdahale eder. Trafik kontrolörü tarafından tramvayın hızı her zaman kontrol edilir. Bu aktivite, <Trafik kontrolorumun tramvayın hizini kontrolu> olarak tanımlanmıştır. Trafik kontrolör, trafik kontrolör ekranından seyir halindeki tramvayların tümünün hızını takip edebilir. Tren sürücüsü, tramvayı kullandığı süre boyunca totman pedalına basmaktadır. Bu aktivite, <Tren surucusunun sefer boyunca totman pedalina basmasi> olarak tanımlanmıştır. Totman pedalı, tren sürücüsünün kendinde olduğunu gösteren pedaldır. Tren sürücüsü, sefere başladığı andan itibaren totman pedalına basar. Tren sürücüsünün yaşayabileceği her türlü sağlık sorununda, totman pedalından ayağını çekmiş olması, kumanda merkezine çağrı olarak iletilir. Yolcuların ve tramvayın güvenliği için totman pedalı önemlidir.

Enerji ayırıcılarının olduğu noktalarda, pantograf ve katener hattının arasında bulunan kömürün aşınmaması için, tramvayın sabit hızını koruyarak geçmesi gereken alanlar vardır. Bu alanlara bölge izolatörleri denilmektedir. Bu aktivite, <Tren surucusunun bolge izolatorlerinden ivmesiz gecmesi> olarak tanımlanmıştır. Tren sürücüsü, tramvayı 20km/sa hızla istasyona yaklaştırır.

Bu aktivite, <Tramvayın istasyona gelmesi> olarak tanımlanmıştır. İstasyona gelen tramvayın kapıları, <Tren surucusunun tramvayın kapılarını açması> aktivitesi ile açılmaktadır. Tramvayın istasyonda bekleme süresi 20 saniyedir. Tramvayın istasyonda beklemesini belirten aktivite, <Tramvayın istasyonda 20 saniye beklemesi> ile tanımlanmıştır. Tramvay hat boyunca kullanılırken oluşabilecek her türlü arıza, <Tren surucusunun arıza durumunu kumanda merkezine bildirmesi> aktivitesi ile supervise bildirilmektedir. Oluşan arıza ile ilgili aksiyonlar alınır. Tramvay hat boyunca kullanılırken, her istasyonda güvenlik görevlisi bulunmaktadır. Güvenlik görevlisi, istasyonun güvenliğinden sorumlu kişidir. Güvenlik görevlisinin istasyondaki görevi, <Güvenlik görevlisinin istasyon güvenliğini sağlaması> aktivitesi ile tanımlanmıştır. Tramvay hattayken gerçekleşebilecek olası her kaza, iş sağlığı güvenliği uzmanı tarafından rapor edilmektedir. İş sağlığı güvenliği uzmanı, kaza gerçekleştiği durumda tren sürücüsünün tramvayda bulunduğu sırada kaydedilen görüntülerini inceler. Tren sürücüsünün bir hatası var ise disipline sevkeder. Bu aktivite, <I.S.G. Uzmanının kaza durumunu incelemesi> aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Ağır yaralanma, ölümcül kazalar, deray gibi maddi ve manevi büyük hasarlı kazaları iş sağlığı güvenliği uzmanı incelemektedir. İletişim operatörü dış kaynaklarla iletişimi sağlamaktadır. Dış kaynaklar, ambulans, Akom vb. kurumlardır. Bir kaza gerçekleştiğinde, tren sürücüsü kumanda merkezine bilgi verir ve iletişim operatörü ambulans ile iletişime geçer. İletişim operatörü, tramvay yolunun kapanması, trafik sorunları gibi durumları Akom'a bildirir, trafik polisi desteği talep eder. Tren raydan çıktığında, deray durumu oluştuğunda şirkete bilgi verir. Yolcu tarafından iletilen şikayetlerde kamera kayıtlarını inceler ve gerekli mercilere yönlendirir.

Yolcunun tramvaya binmek için istasyona gelmesi, <Yolcunun istasyona gelmesi> aktivitesi ile tanımlanmıştır. İstasyona gelen yolcu, turnikeden geçmesi gerekmektedir. Turnikeden geçme aktivitesi, <Yolcunun turnikeden geçmesi> aktivitesi ile tanımlanmıştır. Yolcu turnikeden geçmek için geçiş kartını okutur. Yolcunun tramvaya binmesi, <Yolcunun tramvaya binmesi> aktivitesi ile tanımlanmıştır. Yolcunun tramvaydan inmesi, <Yolcunun tramvaydan inmesi> aktivitesi ile tanımlanmıştır.

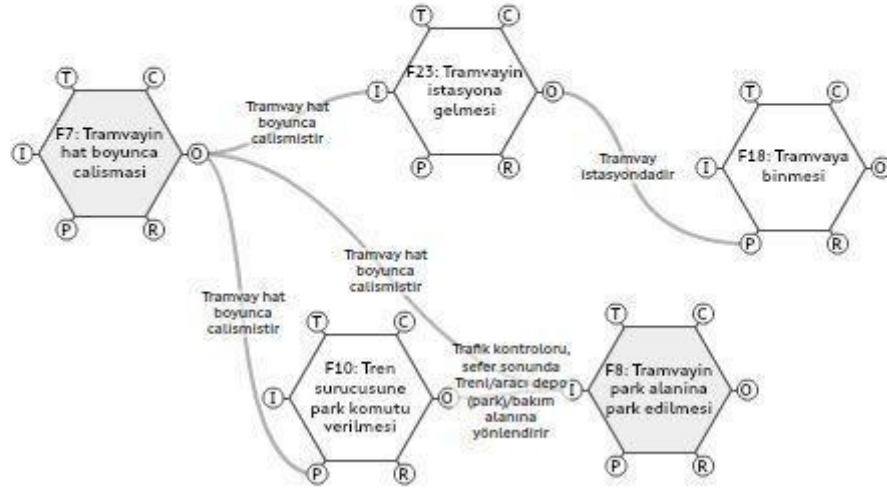
4.3.2.4. Tramvay seferi tamamladığında gerçekleştirilen aktiviteler

Gün sonunda, tramvayın seferi tamamlandığında tren sürücüsü, trafik kontrolörüyle iletişime geçip, tramvayı hangi park yerine park etmesi gerektiğini sorar. Bu aktivite, <Tren surucusunun trafik kontrolörüne park etmesi gereken yeri sorması> olarak tanımlanmıştır. Trafik kontrolörü <Trafik kontrolörü park yerini bildirmesi> aktivitesi ile aksiyon almıştır. Trafik kontrolörünün

talimatı doğrultusunda dizi, limitler dahilinde park edilir. Ardından, trafik kontrolörü <Trafik kontrolörünün park yerini not alması> aktivitesi ile park noktasını not alır. Tren sürücüsü <Tramvayın park edilmesi> aktivitesi ile tramvayı parkeder. Tren sürücüsü, kabin camlarını kapatır ve kapıları kilitler. Bu aktivite, <Tren surucusunun kabin camlarini kapatması ve kapilari kilitlemesi> aktivitesi ile tanımlanmıştır. Güvenlik görevlisinin olmadığı park noktasında tren sürücüsü, günün sonunda tramvayı kontrol eder. Tramvayın içini ve dışını kontrol eder, herhangi bir arıza/hasar var ise kumanda merkezine bilgi verir. Park noktasında güvenlik görevlisi var ise, <Güvenlik görevlisinin park noktasında tramvayı kontrolü> aktivitesi ile görevlerini gerçekleştirir. Güvenlik görevlisi tramvayın içini ve dışını kontrol eder, herhangi bir arıza/hasar var ise kumanda merkezine bilgi verir. Son istasyonda araç iç güvenlik kontrolü yapıldı teminatını verir. (Güvenlik görevlisi araç kontrolünü yaptıktan sonra teminat verir). Bakım zamanı gelmiş olan ve seferi tamamlanan tramvayı atölye şefliği teslim alır. Bu aktivite, <Atölye sefliginin tramvayı teslim alması> aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Atölye şefliği tarafından belirlenen süre zarfında, <Atölye sefliginin tramvayın bakımını yapması> aktivitesi gerçekleştirilir.

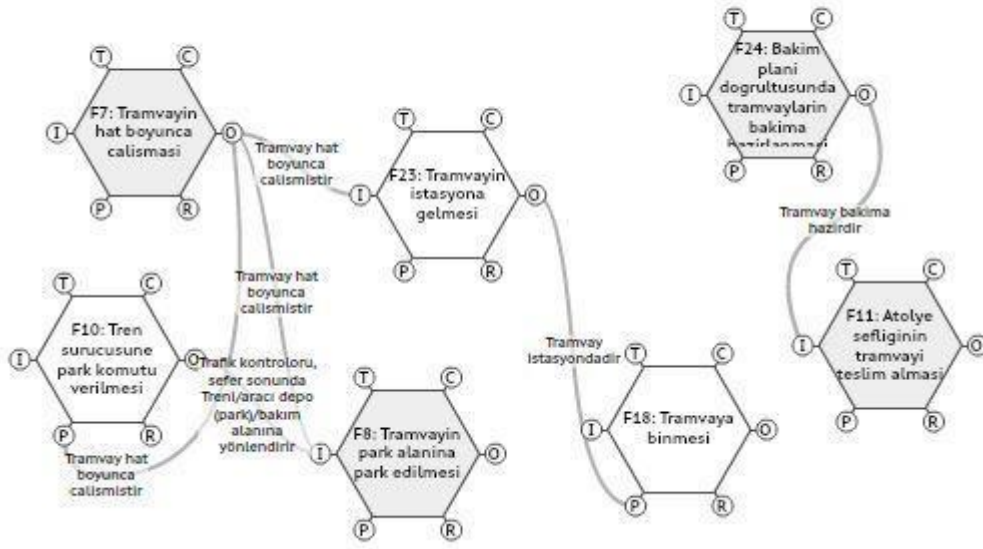
4.3.3. Kritik Yollar

Bu aşama, hem incelenen süreçteki çıktıları belirlemek hem de performans değişkenliğini modellemek için konunun uzmanlarının katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonel değişkenliği tanımlamak için iki önemli argüman göz önünde bulundurulmuştur: zamanlama (çok erken, zamanında, çok geç, çok çok geç) ve hassasiyet (kesin, kabul edilebilir, kabul edilemez, yanlış). Bölüm 3.3.3.3.'te belirtilen Veri Toplama II'de kritik yolların nasıl oluşturulduğu açıklanmıştır. Bu bağlamda, 7 adet kritik yol belirlenmiştir. Bu 7 adet kritik yola özgü senaryo analizleri yapılmıştır. 7 adet yol belirlenirken, 4 farklı senaryo performans koşulu kullanılmıştır (SPC^k): yolcu sayısındaki artış (SPC^1), makinist sayısındaki azalış (SPC^2), hava koşulları (SPC^3) ve trafik (SPC^4). Her koşul, yüksek, düşük veya değişkenlik etkisi olmadan ortaya çıkabilmektedir. FRAM uygulaması kullanılarak kritik yollar görselleştirilmiştir.



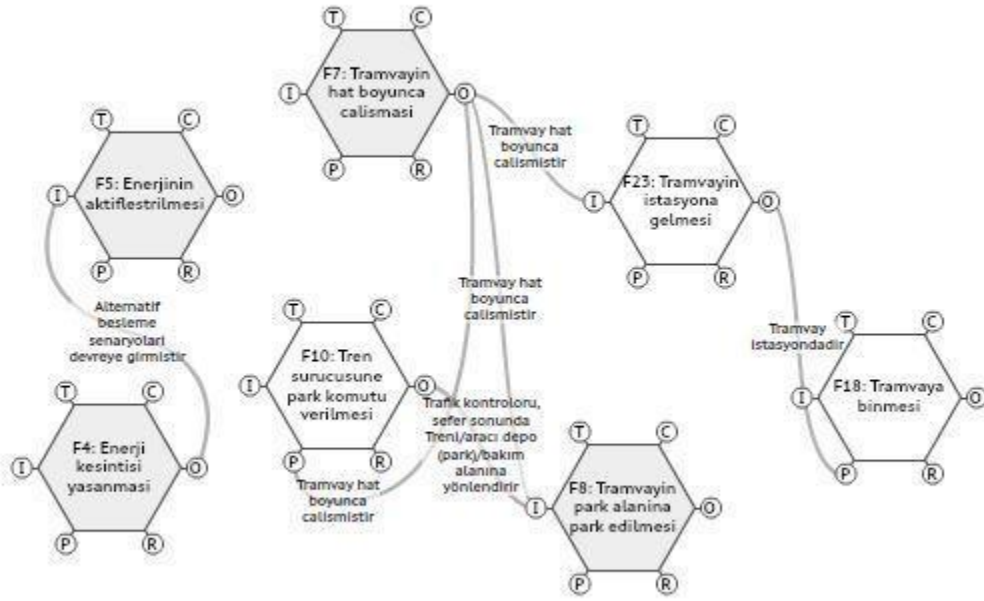
Şekil 13. Birinci kritik yol

1.Kritik yolda, [0,0,0,1], [0,0,0,2], [4,0,0,0] senaryo performans koşullarının aynı aktiviteleri etkilediği görülmüştür. [0,0,0,1] trafiğin düşük şiddette tramvayın çalışmasını etkilediğini belirtmektedir. [0,0,0,2] trafiğin orta şiddette tramvayın çalışmasını etkilediğini belirtmektedir. [4,0,0,0] ise yolcu sayısındaki aşırı artışın tramvayın çalışmasını etkilediğini belirtmektedir.



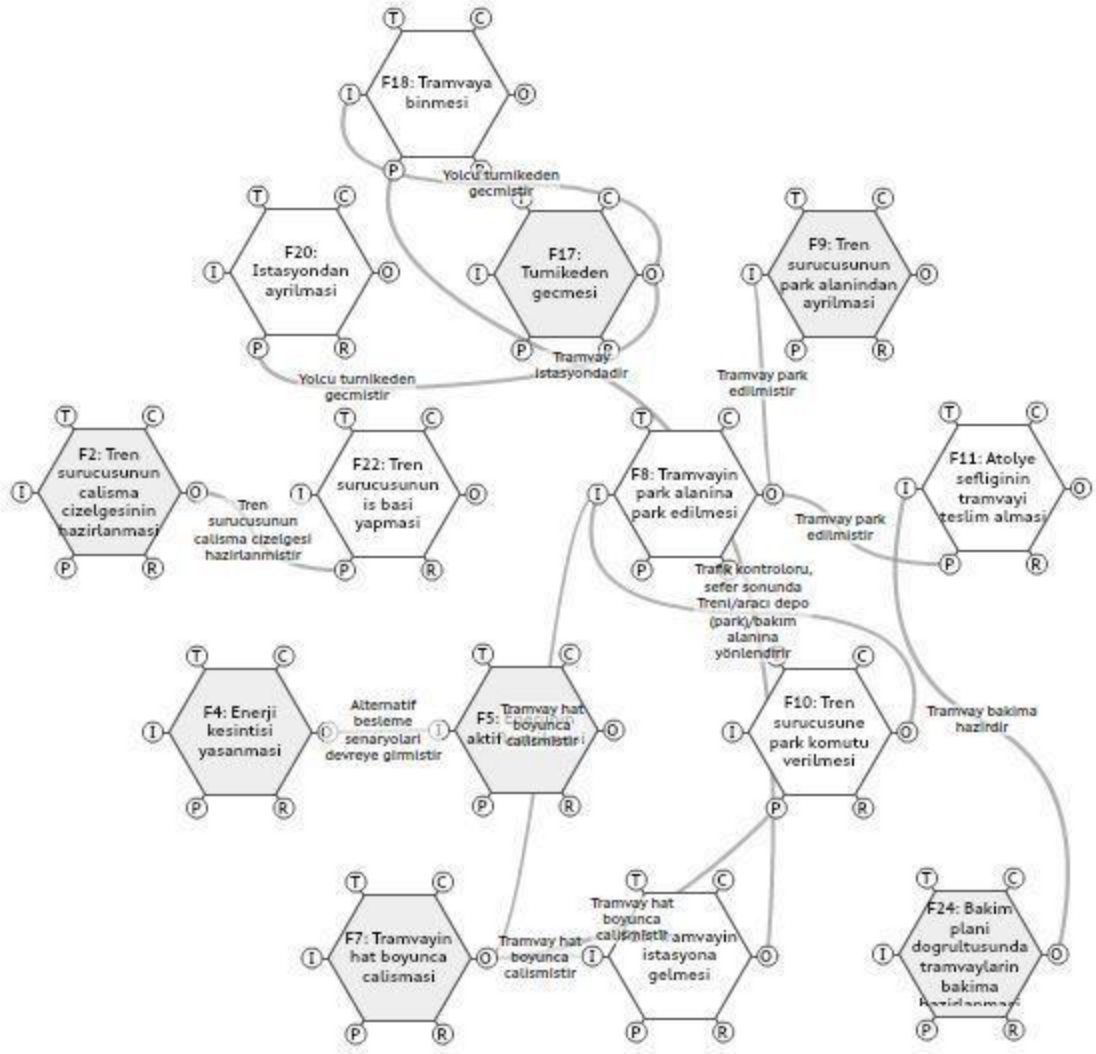
Şekil 14. İkinci kritik yol

İkinci kritik yolda, [0,0,0,4] senaryo performans koşulunun etkilediği aktiviteler ve bağlar gösterilmiştir. [0,0,0,4] trafiğin çok yüksek şiddette olduğu senaryoyu belirtmektedir.



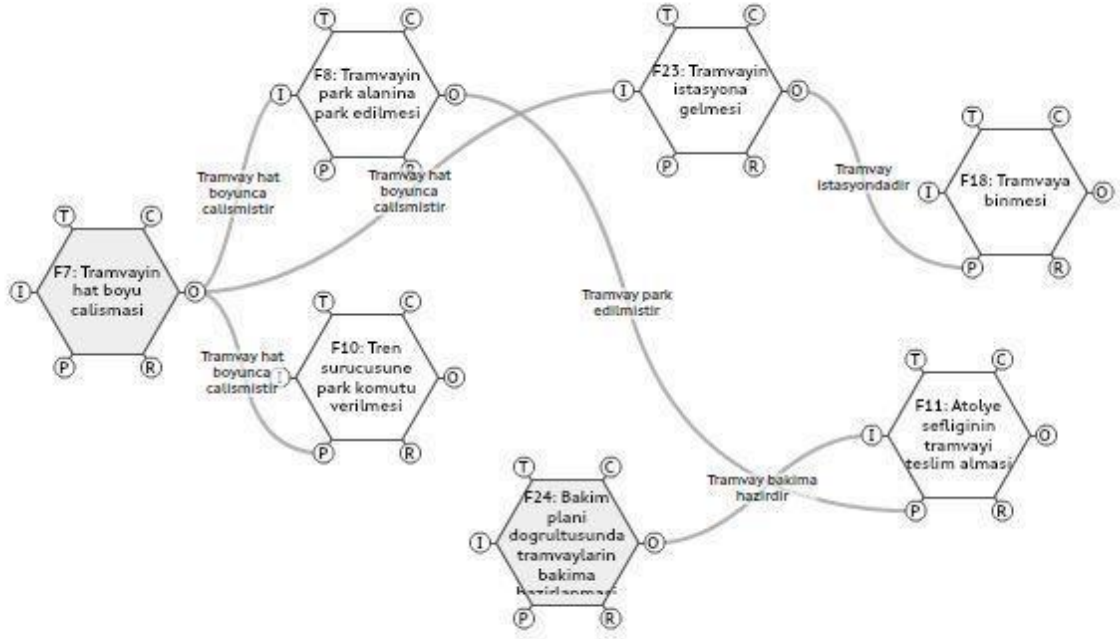
Şekil 15. Üçüncü kritik yol

Üçüncü kritik yolda, [0,0,1,0], [0,0,1,1], [0,0,1,2] senaryo performans koşullarının aynı aktiviteleri etkilediği görülmüştür. [0,0,1,0] hava koşulları düşük şiddette iken tramvayın çalışmasını etkilediği gösterilmiştir. [0,0,1,1] hava koşulları düşük şiddette iken ve trafiğin şiddeti de düşük şiddette iken tramvayın çalışması gösterilmiştir. [0,0,1,2] hava koşulları düşük şiddette iken ve trafiğin şiddeti de orta şiddette iken tramvayın çalışması gösterilmiştir.



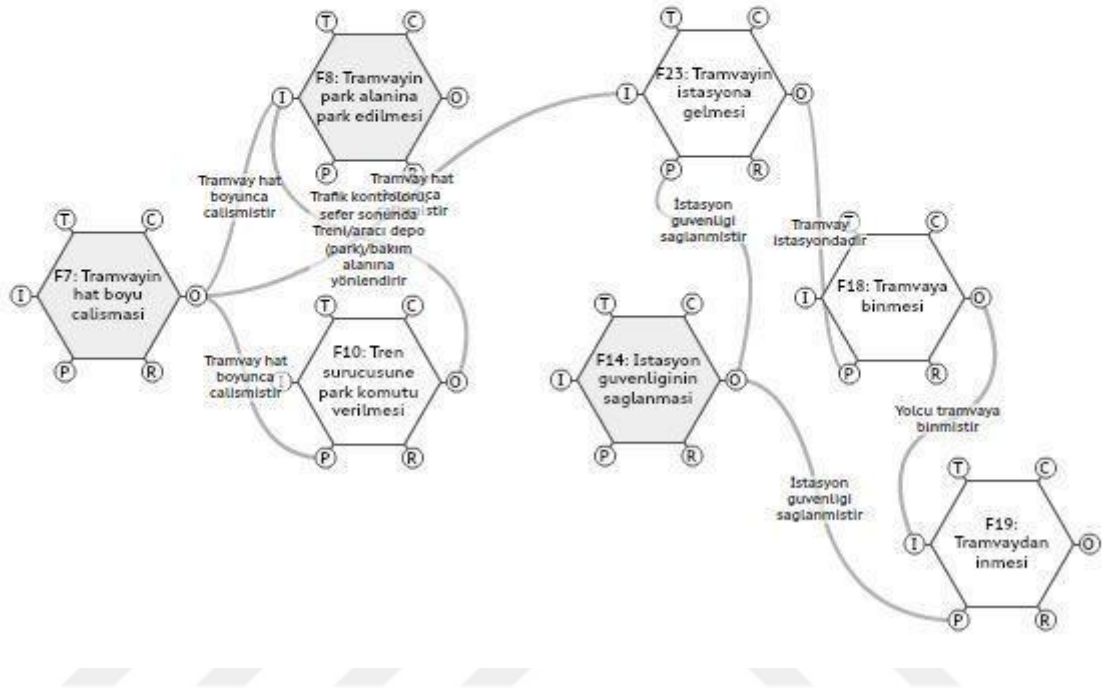
Şekil 16. Dördüncü kritik yol

Dördüncü kritik yolda [0,0,4,0] senaryo performans koşulu gösterilmiştir. [0,0,4,0] hava koşullarının çok yüksek şiddetli olduğunu ifade etmektedir. Tramvayın çalışma prosesini yüksek ölçüde etkilediği Fram modelinde gösterilmiştir.



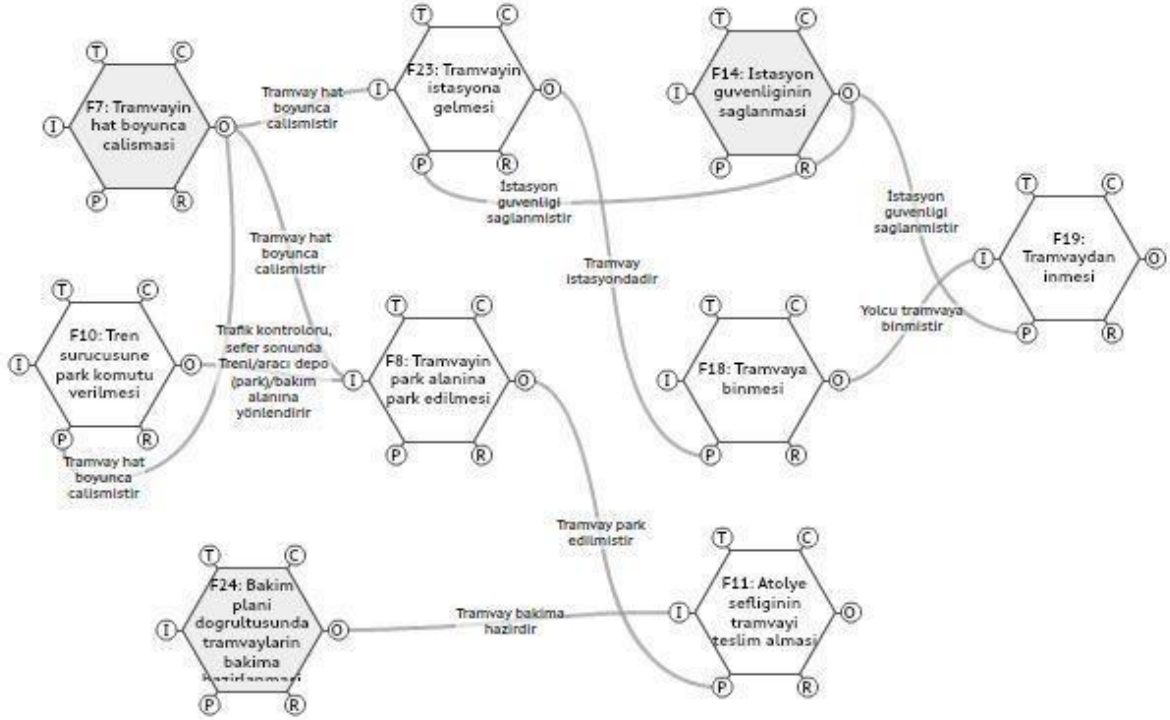
Şekil 17. Beşinci kritik yol

Beşinci kritik yolda [1,0,0,4] performans koşulu gösterilmiştir. [1,0,0,4] yolcu sayısında düşük şiddette bir artışı ve trafiğin çok yüksek şiddette olduğunu ifade eder.



Şekil 18. Altıncı kritik yol

Altıncı kritik yolda [4,0,0,2] performans koşulu gösterilmiştir. [4,0,0,2] yolcu sayısının çok yüksek şiddette olduğunu ve trafiğin orta şiddette olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 19. Yedinci kritik yol

Yedinci kritik yolda [4,0,0,4] performans koşulu gösterilmiştir. [4,0,0,4] yolcu sayısının çok yüksek şiddette olduğunu ve trafiğin çok yüksek şiddette olduğunu ifade etmektedir. Yedi adet senaryoya ait FRAM modelleri ile gösterilen kritik yollar yukarıda gösterilmiştir.

4.4.SENARYO ANALİZİ

Kritik yollar bölümünde, 7 adet senaryoya ait FRAM modelleri ile kritik yollar gösterilmiştir. Senaryo analizi, her bir senaryonun etkilediği aktiviteler bazında tek tek incelenmiştir.

Senaryo: Üst fonksiyondaki değişkenliğin diğer aktivitelere potansiyel etkisi

Zaman: Çok erken, vaktinde, geç, çok geç;

Kesinlik: Çok iyi, kabul edilebilir, kötü, yanlış

4.4.1. Senaryo [0, 0, 0, 4]

[0, 0, 0, 4] performans koşuluna sahip senaryo, trafik yoğunluğunun çok şiddetli olduğu senaryoyu ifade etmektedir. Bu senaryoyu etkileyen tüm aktiviteler, çıktıları, durumları ve önerileri bazında incelenmiştir.

4.4.1.1. Tramvayın hat boyunca çalışması

Tramvayın hat boyunca çalışması aktivitesinin çıktısı; Tramvay hat boyunca çalışmıştır. Trafiğin çok yoğun olması, tramvay işletmeciliğini en çok etkileyen değişkenliktir. Trafiğin çok yoğun olması durumunda tramvayın hat boyunca çalışması gecikmeli olabilmektedir.

Öneriler: Trafik yoğunluğunun çok fazla olması, özellikle kavşaklarda tıkanıklığa sebep olur. Bu durumda tramvayın güzergahı izole edilir. Gereken durumlarda iletişim operatörü, polis ekibi ile iletişime geçip, en yakın mesafede bulunan polis ekipleri trafiği açmaları için yönlendirilir.

Eğer yakın mesafede polis ekibi yoksa, istasyonda bulunan güvenlik görevlisi trafiğin açılmasında yardımcı olur.

Trafik yoğunluğuna bağlı olarak, tramvaylar arasındaki takip mesafesi de kısalabilmektedir. Bu durumda trafik kontrolörü telsiz ile arkada kalan tramvaya bulunduğu istasyonda beklemesini (1dk-2dk gibi) bildirir. Aynı zamanda trafik kontrolörü, kaza olma oranının yüksek olduğu noktalar konusunda tren sürücüsünü uyarır.

Kumanda merkezi ile gerçekleştirilen görüşmelere göre, gün içerisindeki peak saatlerde karayolundaki trafik yoğunluğu, tramvay hattını da olumsuz yönde etkilemektedir. Peak saatler, kumanda merkezi tarafından, 07:30-09:30 ve 18:30-21:00 civarı olduğu belirtilmiştir. Kavşakların yoğun olduğu noktalarda, peak saatlerde, trafiği kontrol altına alması adına daimi görevli bir personelin bulunması, tramvayın hat boyunca çalışmasındaki bir olumsuzluğu normal seviyeye getirecektir.

Araçlar ile tramvay arasında gerçekleşen kazalar, yayalar ile tramvaylar arasında gerçekleşen kazalardan dört kat daha fazladır (Kasimoglu, 2015). Bu durumda, özellikle trafiğin çok yoğun olduğu peak saatlerde caddenin tramvaya tahsis edilmesi, karayolları ve tramvay sistemleri arasında ortaya çıkabilecek muhtemel kazaları minimuma indirmek adına en iyi çözüm yollarından biridir.

Alınabilecek bir diğ er önlem ise, olası karayolu araçları ve tramvay arasındaki kazaları önlemek amaçlıdır. İstasyon konumlarının belirlenirken, karayolları ile tramvay hattının kesişiminin en az olduğu noktaların değerlendirilmeye alınması, olası kazaları önleyecektir.

4.4.1.2. Tramvayın istasyona gelmesi

Tramvayın istasyona gelmesi aktivitesinin  ıktısı; Tramvay istasyondadır. Trafik yoğunluğu, tramvayın istasyona gelmesini de geciktirebilir. Tramvayın istasyona gelmesi geciktiğinde, yolcuların tramvaya binişi de gecikmeli olmaktadır ve böyle bir durumda istasyonlarda yığılmalar yaşanabilmektedir.

 neriler: Trafik kontrolör, trafik kontrolör ekranından tramvayın gecikmeli olarak istasyona ulaştığını takip etmektedir. Bu durumda her istasyonda bulunan “Yolcu Bilgilendirme Sistemi” aracılığıyla, istasyonda bekleyen yolculara anons yapılarak tramvayın gecikmeli geleceği bildirilir.

Ek olarak, istasyonda bulunan istasyon görevlisi, tramvay gecikmeli olarak istasyona ulaştığında yaşanabilecek olası yığılmaları önlemek adına yolcuları uyarabilir.

Tramvayın istasyona gecikmeli olarak gelmesi, yolcuları da kararsızlığa itebilir. Uzun süre tramvayın gelmesini bekleyen yolcular tramvay istasyona geldiğinde tutarsız davranışlarda bulunabilirler. Bu durumları önlemek için, yolcuların bekleme alanı ile tramvay hattının bulunduğu alan arasına bariyer uygulanabilir. Tramvay istasyona geldiğinde bariyerler otomatik olarak açılır, olası yolcu-tramvay kazalarının önüne geçilir. Bu uygulamanın bir  rneği M5 Üsküdar- ekmek y hattında görülmektedir.

4.4.1.3. Tramvayın park edilmesi

Tramvayın park edilmesi aktivitesinin  ıktısı; Tramvay park etmiştir. Tramvay yaşanan trafik yoğunluğu sebebi ile yanlış yere park edebilir.

 neriler: Böyle bir durumda trafik kontrolör, trafik kontrolör ekranından park noktasını görebildiği için tren sürücüsünü uyarır. Kumanda merkezinde günün her saatinde görevli bir trafik kontrolör bulunmaktadır.

4.4.1.4. Tramvayın bakıma hazırlanması

Tramvayın bakıma hazırlanması aktivitesinin çıktısı; Tramvay bakıma hazırdır. Trafikğin çok yoğun olması tramvayın bakımını doğrudan etkileyen bir durum değildir. Tramvayların bakım planları aylık olarak aracın kilometresine veya arıza durumu gibi durumlara bakılarak planlandığı için trafik yoğunluğu bakımı etkilememektedir. Burada herhangi bir öneride bulunulmayacaktır.

4.4.2. Senaryo [0, 0, 1, 0], [0, 0, 1, 1], [0, 0, 1, 2]

[0, 0, 1, 0], [0, 0, 1, 1] ve [0, 0, 1, 2] performans koşullarına sahip senaryolar, hava koşullarında az düzeyde bir değişiklik ve trafik yoğunluğunun az/orta düzeyli değişikliği yaşandığını ifade eder. Bu üç senaryoya ait kritik yollar aynı olduğu için, aynı başlık altında incelenmiştir. Yağmur çiselemesi veya mevsim geçişlerinde az düzeyli hava sıcaklıklarının değişmesi olarak düşünülebilir. Bu senaryoyu etkileyen tüm aktiviteler, çıktıları, durumları ve önerileri bazında incelenmiştir.

4.4.2.1. Enerji kesintisi yaşanması

Enerji kesintisi yaşanması aktivitesinin çıktısı; Alternatif besleme senaryoları devreye girmiştir. Planlı gerçekleştirilen enerji kesintileri gece 01:30-05:00 arasında yapılmaktadır. Bu saatler arasında tramvay çalışmadığı için ve bu sebepten tramvay hattı boş olduğu için bu durum işletmeyi etkileyen bir durum söz konusu değildir. Gün içerisinde, tramvay sefer halindeyken, ani enerji kesintileri gelişebilir. Bu duruma örnek olarak katener hattının kopması verilebilir.

Katener hattı kopması gibi enerji kesintisinin zorunlu gerçekleştirilmesi gereken durumlarda, hattın koptuğu en yakın iki istasyon arası seferler durdurulur. Enerji kesintisi yaşanan bölge izole edilir, tramvay aksi istikametlerde ring sefere başlar.

Hava koşullarında az düzeyde bir değişiklik yaşanması ile ilgili, bu aktiviteye herhangi bir öneride bulunulmayacaktır.

4.4.2.2. Tramvayın hat boyunca çalışması

Tramvayın hat boyunca çalışması aktivitesinin çıktısı; Tramvay hat boyunca çalışmıştır. Hava koşullarında az düzeyde bir değişiklik ve trafik yoğunluğunun az/orta düzeyli değişikliği tramvayın çalışmasını ciddi anlamda etkilemeyeceği için bu durumlarda bir önlem

alınmamaktadır. Sonbaharda yaprak dökülmesi olayı bu senaryo altında incelendiğinde, özellikle Gülhane ve Çapa - Yusufpaşa güzergahında raylar üzerine dökülen yapraklar tramvayın geçişi açısından zorlayıcıdır.

Öneriler: Tramvay hattına dökülen yapraklar temizlik görevlileri tarafından temizlenmektedir. Varlık yönetimi birimi tarafından da tramvay hattında bulunan kumlar yüksek derecede fırınlandırır, ardından kurutulup içindeki nemi alınır. Raylar arasına dökülen yapraklar, bir sıvı salgılar. Yapraklanmadan kaynaklı sıvılara karşılık, trenlere kumlama yapılır, araç yapraklanmayı fark ettiğinde kum dökülür. Demir ile rayın arasına kum dökülür, böylece aracın kayması engellenmiş olur. Kumun sürtünmeyi azaltıcı etkisi vardır.

4.4.3. Senaryo [0, 0, 4, 0]

[0, 0, 4, 0] performans koşuluna sahip senaryo, hava koşullarında çok yüksek şiddette değişiklik yaşandığını ifade etmektedir. Hava koşullarındaki değişkenliğin çok yüksek olduğu durumlar tramvay işletmeciliğini zorlayıcıdır. Kar yağması, don oluşması, tipi, ani ve aşırı yağmur gibi durumlarda alınacak önlemler vardır. Bu senaryoyu etkileyen tüm aktiviteler, çıktıları, durumları ve önerileri bazında incelenmiştir.

4.4.3.1. Tramvayın hat boyunca çalışması

Tramvayın hat boyunca çalışması aktivitesinin çıktısı; Tramvay hat boyunca çalışmıştır. Yukarıda incelediğimiz iki farklı senaryoda olduğu gibi, bu senaryoda da performans değişkenliği öncelikle tramvayın hat boyunca çalışması aktivitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Öneriler: AKOM'dan ayrıntılı bilgi alınır ve hava durumu yazılı ve görsel medyadan takip edilir. Tramvay İşletmeci tarafından ilgili tüm birimler bilgilendirilir. Tüm birimlerin saha koordinasyonunu Kumanda Merkezi sağlamaktadır.

Tramvay İşletme ve T1 Varlık Yönetim Şefliği işletme esnasında yolculu alanları etkileyecek eğimli alanları belirler ve muhtemel su birikintilerine karşı tahliyenin hızlı ve güvenli olması adına drenaj pompa alanlarını belirler. Tünel bölgesinde drenaj pompa sistemleri çalışır durumda olarak beklemektedir.

Kış şartlarının olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla Tramvay İşletme tarafından tuz, kar küreme, temizlik malzemeleri vb. kullanılacak ekipmanlar belirlenir ve kullanıma hazır halde bulundurulur.

Kar yağışı ve buzlanma olacağı bilgisi alındığında, Tramvay İşletme 24 saat esasına göre istasyonlarda karla mücadele etmek amacıyla personel planlaması yaparak görevlendirme yapar.

TRAM Elektrik Sistemler Bakım Şefliği tarafından makas ısıtıcılarının çalışma durumu periyodik olarak kontrol edilir.

Tramvay İşletme, işletme saatleri dışında katener hattının donmasına karşı işletme planlaması yapar. Katener hattının kar ile dolmaması için, gece tramvaylar çift yönlü olarak ve boş olarak çalıştırılır. Katener hattının donması, tramvay işletmeciliğini durma noktasına getirebilir.

Tramvay İşletme Şeflikleri tarafından karayolu araçlarının yoğun olarak geçiş yaptığı kavşaklarda tuzlama çalışmaları düzenli şekilde yapılır ve trafik akışının kontrolü ve yönlendirilmesi yapılır.

Sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde mazgallar temizlendiği için aşırı yağmur bu mevsimlerde tramvay işletmeciliğini çok fazla etkilememektedir fakat yaz aylarında mazgallar temizlenmemektedir. Bu sebeple özellikle Eminönü, Cevizlibağ gibi istasyonlarda su fazlalığı yaşanmaktadır. AKOM'dan su çekilmesi için vidanjör istenir.

Tramvay İşletme Şeflikleri Kumanda Merkezi yardımıyla su birikintisinin olduğu ve tren sürücüsü tarafından araç geçişinin uygun olmadığı belirlenen ray seviyesinin görülmediği ve su seviyesinin en az 5 cm olduğu durumlarda aracın yağmur suyu olan bölgede beklememesi için araçlar en fazla 5 km/sa hız ile bölgeden geçmelidir. Kumanda Merkezi talimatı ile hareket edilir. Kumanda Merkezi yardımıyla su birikintisinin olduğu ve tren sürücüsü tarafından araç geçişinin uygun olmadığı belirlenen bölgelerden araç geçirmeyip en yakın istasyonda beklemesi sağlanır ve alternatif sefer uygulamasına geçilir.

4.4.3.2.Turnikeden geçmesi

Turnikeden geçmesi aktivitesinin çıktısı; Yolcu turnikeden geçmiştir. Tramvay istasyonlarında yolcunun beklediği alanın üzeri açıktır. Tramvay işletmeciliğinde istasyonlar tam kapalı değildir. Yolcuların geçiş kartlarını okuttukları turnike alanının üzeri bekleme alanına göre daha fazla kapalı olduğu için, turnike alanlarında yığılmalar yaşanmaktadır.

Öneriler: Olumsuz hava koşullarından etkilenmek istemeyen yolcular, turnike alanının altında tramvayı bekler, bu sebeple arkadan gelmekte olan diğer yolcuların turnikeden geçmekte zorluk yaşamaları kaçınılmazdır. Bu durumda istasyonda bulunan güvenlik görevlisi yolcuları turnike altında beklememeleri konusunda uyarır. Aynı zamanda, Kumanda Merkezi'nde bulunan trafik kontrolörü, trafik kontrolör ekranından istasyonda yaşanan kalabalığı takip etmektedir. Yolcu Bilgilendirme Sistemi'nden yolcuların turnike alanında beklememeleri, istasyon bekleme alanında beklemeleri konusunda çağrıda bulunabilir.

Avusturya'nın Viyana kentinde bulunan, Viyana Tramvay Hattı dünyanın beşinci büyük tramvay hattıdır. 423.3 km uzunlukta olup, 30 hat ve 1071 istasyona sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, Viyana tramvay hattı, İstanbul T1 tramvay hattı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 20. Viyana tramvay hattı

Yukarıdaki resimde görüleceği üzere, istasyon bekleme alanının üzeri tam kapalıdır. Bu sistem, İstanbul T1 tramvay hattına da uygulanabilir. Böylece yolcuların daha konforlu bir şekilde seyahat etmeleri sağlanır.



Şekil 21. İstanbul T1 tramvay hattı

Yukarıdaki resimde görüleceği üzere, istasyon bekleme alanının üzeri kapalı değildir. Açık istasyon şeklinde uygulama vardır. Bu durumda da şiddetli yağış yaşandığı günlerde yolcuların turnike geçiş alanının altında beklemek istemeleri kaçınılmazdır. İstasyon bekleme alanına yönlendirilmeleri halinde, tramvayı beklerken olumsuz hava koşullarına maruz kalacaklardır. Oldukça konforsuz bir seyahat deneyimi yaşamaları beklenmektedir. Bu durum, olası yolcu şikayetlerini de beraberinde getirecektir.

İstasyon bekleme alanlarının gerekli araştırma çalışmaları ile değiştirilmesi, tam kapalı sisteme geçilmesi yolcuların memnuniyetini artıracak düşünülmektedir. Şehir ağı için bir tramvay durağı geliştirilirken, Ulaştırma Bakanlığı ve Türk Standart Kurumunun gereklilikleri dikkate alınarak, düzenlemelere tüm alanlarda uyulmalıdır. Sistemin tasarımını etkileyen faktörler istasyonun en önemli kısmıdır. Yoğun bir kentsel ortamda tramvay sisteminin tasarımı ve çalışması düşünceli bir tasarım süreci gerektirir. Sokak konfigürasyonu, erişim değişiklikleri, dönüş hareketleri, kaldırım genişlikleri ve yol izleme işlemlerinin detayları işletme sahipleri, sakinler ve şehir trafik mühendisleri için önemlidir. Yolcu, yaya ve araç tasarımının güvenliğini sağlamak için tasarım kriterlerine uygun düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Bu düzenlemede meydana gelen ihmaller veya hatalar kaza riskini artıracaktır.

4.4.3.3.Tren sürücüsünün iş başı yapması

Tren sürücüsünün iş başı yapması aktivitesinin çıktısı; Tren sürücüsü mesaiye başlamıştır. Hava koşullarından dolayı tren sürücüsü mesaiye geç kalabilmektedir. Servis geç gelebilir, kullandığı otobüs gelemeyebilir. Bu durum seferi etkilemez. Başka bir tren sürücüsü, geç kalan tren sürücüsünün yerine geçer. Bu durum işletmeyi etkilemez fakat personel arasında sorunlara yol açabilir.

Öneriler: Günümüzde hava durumu bilgisi 14 güne kadar meteoroloji tarafından verilmektedir. Elbette 14 günlük verilerin tamamının gerçekleşeceği iddia edilemez, ama bir tahmin oranı verilmektedir. Bu durumda, kumanda merkezi meteorolojiyi takip eder, aşırı yağmur, aşırı kar yağışı, don olayı, tipi olayı gibi durumlar hakkında önceden bilgi sahibi olur. Personel planlamasını da bu doğrultuda gerçekleştirdiği takdirde personel arasında yaşanan sorunlar azalabilir.

4.4.4. Senaryo [1, 0, 0, 4]

Senaryo [1, 0, 0, 4] yolcu sayısındaki düşük düzeyli bir artış ve trafik yoğunluğunun şiddetinin çok yüksek olduğu performans koşulunu ifade etmektedir. Bu senaryoyu etkileyen tüm aktiviteler, çıktıları, durumları ve önerileri bazında incelenmiştir.

4.4.4.1.Tramvayın hat boyunca çalışması

Tramvayın hat boyunca çalışması aktivitesinin çıktısı; Tramvay hat boyunca çalışmıştır. Bu senaryoda da [0, 0, 0, 4] performans koşuluna sahip senaryo ile aynı önlemler alınmaktadır. Trafikğin çok yoğun olması, tramvay işletmeciliğini en çok etkileyen değişkenliktir. Trafikğin çok yoğun olması durumunda tramvayın hat boyunca çalışması gecikmeli olabilmektedir.

Bu durum, tramvayın istasyona gelmesini de geciktirebilir. Tramvayın istasyona gelmesi geciktiğinde, yolcuların tramvaya binışı de gecikmeli olacaktır ve istasyonlarda yığılmalar yaşanabilir.

Öneriler: Trafik yoğunluğunun çok fazla olması, özellikle kavşaklarda tıkanıklığa sebep olur. Tramvayın güzergahı izole edilir. Gereken durumlarda iletişim operatörü, Trafik yoğunluğunun çok fazla olması, özellikle kavşaklarda tıkanıklığa sebep olur. Tramvayın güzergahı izole edilir. Gereken durumlarda iletişim operatörü, polis ekibi ile iletişime geçip, en yakın mesafede bulunan polis ekipleri trafiği açmaları için yönlendirilir.

Eğer yakın mesafede polis ekibi yoksa, istasyonda bulunan güvenlik görevlisi trafiğin açılmasında yardımcı olur.

Trafik yoğunluğuna bağlı olarak, tramvaylar arasındaki takip mesafesi de kısalmır. Bu durumda trafik kontrolörü telsiz ile arkada kalan tramvaya bulunduğu istasyonda beklemesini (1dk,2dk gibi) bildirir. Aynı zamanda trafik kontrolörü, kaza olma oranının yüksek olduğu noktalar konusunda tren s uyarır.

Kumanda merkezi ile gerçekleştirilen görüşmelere göre, gün içerisindeki peak saatlerde karayolundaki trafik yoğunluğu, tramvay hattını da olumsuz yönde etkilemektedir. Peak saatler, 07:30-09:30 ve 18:30-21:00 civarı olduğu belirtilmiştir. Kavşakların yoğun olduğu noktalarda, peak saatlerde, trafiği kontrol altına alması adına daimi görevli bir personelin bulunması, tramvayın hat boyunca çalışmasındaki bir olumsuzluğu normal seviyeye indirecektir.

Araçlar ile tramvay arasında gerçekleşen kazalar, yayalar ile tramvaylar arasında gerçekleşen kazalardan dört kat daha fazladır (Kasimoglu, 2015). Bu durumda, özellikle trafiğin çok yoğun olduğu peak saatlerde caddenin tramvaya tahsis edilmesi, karayolları ve tramvay sistemleri arasında ortaya çıkabilecek muhtemel kazaları azaltmak adına en iyi çözüm yollarından biridir.

4.4.4.2. Tramvayın istasyona gelmesi

Tramvayın istasyona gelmesi aktivitesinin çıktısı; Tramvay istasyondadır. Trafiğin çok yoğun olduğu senaryoda tramvay istasyona ulaşmakta zorluk çekebilir. Peak saatlerde sabah 07:30-09:30, akşam 18:30-21:00 trafik yoğunluğu beklenmektedir. Bu durum çalışma günlerinde bu şekildedir.

Ayrıca, Güngören-Bağcılar hattında araç park sorunu yaşanmaktadır. Yol kenarına park eden araçlar sebebiyle, trafik tramvay hattından devam eder. Bu durum tramvayın seferini çok büyük oranda etkiler.

Öneriler: Trafiğin tramvay hattı üzerinden devam ettiği durumda istasyonda bulunan güvenlik görevlisi yolu açmakta yardımcı olur. Trafik polisi beklenmez.

Fakat bazı aşırı yoğunluklarda, iletişim operatörü kameralardan yoğunluğu takip eder, trafik polisine haber verir. Bölgede trafik polisi var ise trafiğe müdahale eder.

4.4.5. Senaryo [4, 0, 0, 2]

Senaryo [4, 0, 0, 2] yolcu sayısındaki aşırı artışı ve trafik yoğunluğunun şiddetinin orta düzeyli olduğu performans koşulunu ifade etmektedir. Bu senaryoyu etkileyen tüm aktiviteler, çıktıları, durumları ve önerileri bazında incelenmiştir.

4.4.5.1.İstasyon güvenliğinin sağlanması

İstasyon güvenliğinin sağlanması aktivitesinin çıktısı; İstasyon güvenliği sağlanmıştır. Yolcu sayısının aşırı artışı ve trafik yoğunluğunun orta düzeyli olduğu senaryoda, istasyonlarda güvenlik personeli yetersiz kalabilmektedir. Günlük ortalama 320.000 yolcu taşıyan T1 tramvay hattı, oldukça yüksek kapasiteli bir tramvay hattıdır.

Öneriler: Güvenliğin yetersiz kaldığı durumlarda, tramvay hattında devriye olarak gezen personel çağırılır. 2.yedek olarak güvenlik ile beraber istasyonda çalışır. Güvenlik personellerinin ilk yardım sertifikaları bulunmaktadır. Böylece yoğunluktan gelişebilecek ani kazalarda, ambulans veya ilkyardım ekibi olay yerine ulaşmadan önce, ilk müdahaleler güvenlik görevlisi aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

4.4.6. Senaryo [4, 0, 0, 4]

Senaryo [4, 0, 0, 4] yolcu sayısındaki aşırı artışı ve trafik yoğunluğunun çok yüksek şiddetli olduğu performans koşulunu ifade etmektedir. Bu senaryoyu etkileyen tüm aktiviteler, çıktıları, durumları ve önerileri bazında incelenmiştir.

4.4.6.1.Tramvayın hat boyunca çalışması

Tramvayın hat boyunca çalışması aktivitesinin çıktısı; Tramvay hat boyunca çalışmıştır. Yolcu sayısında aşırı artış ve trafik yoğunluğunun en yüksek olması senaryosunda, trafik açıldığı sürece yolcu sayısının aşırı artışı seferi etkilememektedir. Fakat istasyonlarda kalabalıklar ve kalabalıklardan kaynaklı sorunlar oluşması muhtemeldir.

Öneriler: Trafik yoğunluğunun çok fazla olması, özellikle kavşaklarda tıkanıklığa sebep olur. Tramvayın güzergahı izole edilir. Gereken durumlarda iletişim operatörü, Trafik yoğunluğunun çok fazla olması, özellikle kavşaklarda tıkanıklığa sebep olur. Tramvayın güzergahı izole edilir. Gereken durumlarda iletişim operatörü, polis ekibi ile iletişime geçip, en yakın mesafede bulunan polis ekipleri trafiği açmaları için yönlendirilir.

Eğer yakın mesafede polis ekibi yoksa, istasyonda bulunan güvenlik görevlisi trafiğin açılmasında yardımcı olur.

Trafik yoğunluğuna bağlı olarak, tramvaylar arasındaki takip mesafesi de kısalmaktadır. Bu durumda trafik kontrolörü telsiz ile arkada kalan tramvaya bulunduğu istasyonda beklemesini (1dk,2dk gibi) bildirir. Aynı zamanda trafik kontrolörü, kaza olma oranının yüksek olduğu noktalar konusunda makinisti uyarır.

Kumanda merkezi ile gerçekleştirilen görüşmelere göre, gün içerisindeki peak saatlerde karayolundaki trafik yoğunluğu, tramvay hattını da olumsuz yönde etkilemektedir. Peak saatler, 07:30-09:30 ve 18:30-21:00 civarı olduğu belirtilmiştir. Kavşakların yoğun olduğu noktalarda, peak saatlerde, trafiği kontrol altına alması adına daimi görevli bir personelin bulunması, tramvayın hat boyunca çalışmasındaki bir olumsuzluğu normal seviyeye indirecektir.

İstasyonda yaşanan aşırı yolcu yığılması da, genellikle peak saatlerde meydana gelir. Bu peak saatlerde sefer sayısı artırılır.

Araçlar ile tramvay arasında gerçekleşen kazalar, yayalar ile tramvaylar arasında gerçekleşen kazalardan dört kat daha fazladır (Kasimoglu, 2015). Bu durumda, özellikle trafiğin çok yoğun olduğu peak saatlerde caddenin tramvaya tahsis edilmesi, karayolları ve tramvay sistemleri arasında ortaya çıkabilecek muhtemel kazaları azaltmak adına en iyi çözüm yollarından biridir.

4.4.7. Senaryo Analizlerinin Özeti

Senaryo analizlerinde, kritik yollara ait zorluklar ve alınan ve alınabilecek olası önlemler değerlendirilmiştir. Alınan mevcut önlemlerin bazı noktalarda yetersiz kaldığı görülmüştür. Örneğin, hava koşullarının son derece olumsuz olduğu durumlarda, yolcuların turnikeden geçişinde ciddi sıkıntılar olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada, dünyadaki diğer tramvay istasyonları incelenmiş, karşılaştırılması adına Viyana tramvay istasyonları tercih edilmiştir. Viyana tramvay istasyonları, yolcu bekleme alanlarının üst bölümlerinin tam kapalı olduğu görülmüştür. Gerekli teknik incelemeler sonrası, bu uygulamanın T1 tramvay hattına da uygulanabileceği öngörülmüştür.

Tramvay sürücüleri, çeşitli çalışma koşullarında (örneğin hava durumunun elverişsiz olması veya yolcu sayısının aşırı fazla olması) tramvayı çalıştırırlar, bu da değişime yanıt vermek için tramvay sürücülerinin kendi performanslarını ayarlamalarına neden olabilir. Örneğin, bir tren sürücüsü, karlı bir çalışma gününde bir tramvayın aşırı kalabalık olduğu bir senaryoyu anlattı. Tren sürücüsü, aşırı yüklü tramvay ve ıslak yolların fren sistemini olumsuz yönde

etkileyebileceğini açıkladı. Ancak bu koşullar altında, tren sürücülerinden tecrübelerine güvenmeleri beklenir ve tramvayın hızını daha erken düşürmeleri beklenir. Sonuç olarak böyle bir durumda, tren sürücüsü güvenli çalışmayı sürdürecektir, ancak aynı zamanda istasyonda bekleyen yolcu sayısını da artıracaktır. Ne zaman ve nerede değiş tokuş yapılacağını anlamak çok önemlidir. <Tramvayı çalıştır> ve <durağa varma> aktivitesi arasındaki bağlantı çeşitli risklere (örneğin raydan çıkma, hatalı ekipman, yetersiz görüş) maruz kalır. Katılımcılar çalışma ortamının önemini vurgulayarak, kazaların çoğunun karışık trafik ortamı nedeniyle meydana geldiğini belirttiler. Risk seviyesi çeşitli faktörlere bağlı olsa da, tramvay sürücülerini kazaları önlemek için performanslarını ayarlamaktadırlar. Bununla birlikte, katılımcılar T1 hattında bildirilen kazaların çoğunun kavşaklarda ve yaya geçitlerinde meydana geldiğini belirttiler.

Birkaç katılımcı, yayaların en yüksek risklere maruz kaldığı tehlikeli yerlerde sinyalleri ve geçişleri dikkate almayan yayalar, bisikletliler veya karayolu taşıtları konusunu belirledi. Örneğin, bir yayaya tramvay veya karayolu taşıtı çarpabilir ve bu da kişinin ciddi şekilde yaralanmasına veya ölümüne neden olabilir. Böyle bir riski önlemek için, katılımcılar zebra geçitlerini görünür ve sesli sinyal kontrollü geçitlerle değiştirmeyi önerdiler. Trafik sinyallerinin kullanılması trafik sıkışıklığı olasılığını artırabileceğinden, katılımcılar bu tür sinyallerin kazaların en sık meydana geldiği noktalara dikilebileceğini ekledi. Ayrıca, katılımcılar trafik sinyalleri ve işaretlerinin bakımının gerekliliğinin altını çizdiler ve tüm trafik sinyalleri ve işaretlerinin görünürlüğünü, işitilebilirliğini (uygun olduğunda) ve fiziksel koşullarını (örneğin aydınlatma ve renk) kontrol etmeyi önerdiler. Katılımcılar ayrıca trafik uygulamalarının caydırıcı etkilerinin önemini vurguladılar ve karşılığında gerekli noktalara kırmızı ışıklı trafik kameraları yerleştirmeyi önerdiler. Buna ek olarak, katılımcılar kötü görüşün tramvay işletimi üzerindeki olası etkilerinden de bahsetmişlerdir. T1 şeridinde ağaçlar ve çitler yayaların, karayolu taşıt sürücülerinin ve tramvay sürücülerinin görüşünü engelleyebilmektedir. Sonuç olarak, yaralanmalara ve maddi kayıplara yol açan kazalar meydana gelebilir. Katılımcılar, bu tür tehlikeler için şeridi düzenli olarak kontrol etmekten bir ekibin sorumlu olduğunu belirtti. Ancak bir katılımcı, trafik kontrolörü, güvenlik personeli ve bakım ekibi arasındaki mükemmel iletişimin, bu tür sorunların daha erken tespit edilmesine yardımcı olacağını ve böylece hemen harekete geçilebileceğini ekledi. Ayrıca katılımcılar, tramvayın çalışma saatlerinde şeritte çalışırken bakım ekibinin sisteme kattığı riskleri de ifade ettiler. Katılımcılar, şeritte iş yapılırken yüksek görünürlüklü ceketler giymek ve çalışma

alanını imzalamak ve korumak için gerekli tüm ekipmana sahip olmak dahil olmak üzere güvenlik önlemlerinin önemini vurguladılar.

Ayrıca katılımcılar, başarılı bir tramvay işletim sisteminde ray bakımının rolünü vurguladılar. Kazaya yol açan bir diğer önemli risk faktörü de raydan çıkma yani deray olarak belirtildi. Deray, yolcuların yaralanmasına, tramvay hizmetinde gecikmelere ve gereksiz hasar ve maliyetlere yol açacaktır. Katılımcılar, gerektiğinde ray tasarımının iyileştirilmesini (ör. Viraj noktaları), uygun yerlere raydan çıkma işaretleri yerleştirmeyi, tramvay sürücülerini eğitmeyi ve yolda düzenli bakım (ör. Aşınma ve yıpranma) sağlamayı önerdiler. Sonuçlar, yolcuları ilgilendiren tüm faaliyetlerin yüksek kritikliğe sahip olduğunu gösterdi. Katılımcılar, <istasyona varma> ve <istasyonu terk etme> işlevlerinde erişimle ilgili birkaç sorun belirlediler. Ortada tek bir platformun bulunduğu ve tramvay şeridinin karayolu trafiğiyle paylaşıldığı istasyonlarda en çok erişimle ilgili sorunların yaşandığını eklediler. Örneğin, katılımcılar tekerlekli sandalye kullananlar için erişim sorunlarından bahsetmişlerdir, tüm istasyonlarda basamaksız erişim sağlanmasını (örneğin yaya yollarına kaldırılan bordürlerin eklenmesi) tavsiye ettiler. Katılımcılar, bazı yolcuların istasyon çıkışları veya aktarma duraklarına yön bulmakta zorlandıklarını ve bunun bazı istasyonlarda, özellikle yoğun saatlerde kaosa yol açabileceğini açıkladı. Yönlü bilgi işaretlerinin ve haritalarının yeniden tasarlanmasını önerdiler. Katılımcılar ayrıca istasyon girişi ve çıkışı için engelsiz bir yol sağlanmasını önerdiler. Özellikle bazı istasyonlarda katılımcılar oturma alanlarının kötü yerleştirildiğinin altını çizerek engelsiz bir rota sağlamak için yerlerinin değiştirilmesi gerektiğini açıkladılar. Dahası, katılımcılar istasyon zemini ile ilgili sorunları (örneğin, yetersiz bakım, temizlik ve zemin işaretleri) ve bunların yolcu güvenliği ve erişimi üzerindeki etkilerini dile getirdiler. Kötü kalite istasyon döşemesi yolcuların düşmelerine, kaymalarına ve yolculuklarına katkıda bulunabilir, bu da işletmeci şirketin iddialarına ve itibarının zarar görmesine neden olabilir. Bir katılımcı, istasyondaki kötü koşulların farkına vardıktan hemen sonra bakım ekibini bilgilendirmekten istasyon güvenliklerinin sorumlu olabileceğini öne sürdü. Yolcuların istasyon hakkındaki şikayetlerini ve önerilerini toplamak için her istasyona bir öneri kutusu kurulması da önerildi. Bu çalışmada, <enerji kesme hatları> ve <enerji hatları> arasındaki bağlantı da kritik olarak bulundu. Bu kuplajdaki herhangi bir değişkenliğin genel sistem üzerinde önemli bir etkisi olabileceği belirtildi. Katılımcılar, bu iki işlevin normal çalışma koşullarında düşük değişkenliğe sahip olduğunu, çünkü enerjiyle ilgili eylemlerin genellikle önceden planlandığını ve çalışma süreleri dışında gerçekleştirildiğini iddia ettiler. Yine de katılımcılar, üstten geçen elektrik hatlarıyla kazara temasın insanları öldürebileceğini

ekledi. Örneğin, üstten geçen elektrik hatlarında çalışma yapılırken aşırı hava koşullarının bir sonucu olarak uzun bir araç hatların altından geçebilir veya bir hat düşebilir. Kazara temas durumunda, SCADA operatörü derhal gücü kesmelidir. Ayrıca trafik kontrolörünün, operasyonun her anında trafik kontrolör ekranını dikkatlice kontrol etmesi ve böyle bir riski fark ettiğinde derhal gerekli organları bilgilendirmesi tavsiye edildi. Katılımcılar, düşük olasılığa sahip olmakla birlikte, trafo merkezindeki bir arızanın, hattaki güç kaybına neden olabileceğini de belirtti. İlk etapta böyle bir eylemi önlemek esastır, bu nedenle sorunun erken tanınması gerekir. Böylece katılımcılar, tüm trafo merkezi aparatlarının mekanik ve elektriksel testlerinin ve bu tür arızaların oluşmasını önlemek için enerji sisteminin düzenli bakımının önemini vurguladılar.

4.5.BÖLÜM ÖZETİ

FRAM sistemik olay araştırması ve potansiyel emniyet analizlerine izin vermektedir. FRAM, günümüzde sistemlerin karmaşıklığını dikkate alan Emniyet Mühendisliği temelli yöntemlerden biridir ve birbiriyle ilişkili ve sıkı bağlanmış sistemlerin fonksiyonel özelliklerini gösterdiği için, gözlemcinin önyargılarını sınırlamayı amaçlamaktadır. FRAM, karmaşık sosyo-teknik sistemleri modellemek için bir yöntem olarak tanınmaktadır. FRAM'ın güvenilir bir karar destek aracı olarak görülme potansiyelini arttırmak için ek modelleme etkenleri gerekmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen ayrıntılı vaka çalışmasının, karmaşık bilgi yönetimini desteklemek için Soyutlama / Ajan çerçevesinin önemini ve değişkenlik verilerini sistematik olarak toplamak ve yönetmek için yarı niceliksel bir çerçevenin uygulanabilirliğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, tramvay işletim sisteminin kontrolsüz değişkenlik nedeniyle çeşitli risklere maruz kaldığını göstermiştir. Monte Carlo simülasyonu entegre edilerek yarı nicel bir görünüm sağlayan FRAM analizinde, kritik yollar belirlenmiştir. Bu kritik yolların iyileştirilmesi adına çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışma, sistematik yarı niceliksel yaklaşımın, sistemin kapsamlı bir analizini sağladığını ve katılımcıların değişkenlik yönetimi konusundaki farkındalığına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

BÖLÜM 5 – SONUÇ

Metropollerin en yaygın sorunlarından biri trafiktir. Metropollerde yaşayan insanlar, her gün seyahat etmek zorunda kalmaktadırlar. Nüfus artışı, trafikte gittikçe daha fazla zorluğa neden olmaktadır. Bu ulaşım sorunlarını çözmek için, ulaşım sistemlerini geliştirmek önemlidir.

İstanbul, her gün ulaşımın yüksek yolcu sayısına sahip olduğu metropollerden biridir. Tramvay sistemi, şehrin çok önemli ve stratejik kısımlarını birbirine bağlayan bu ulaşım sistemlerinden biridir. Bununla birlikte, birçok yolcu için erişim zordur ve istasyon ortamında yolcular ve araç hareketi için birtakım zorluklar bulunmaktadır. Trafik sıkışıklığındaki sürekli artışlardan ve aşırı kalabalık olmasından dolayı sorun ağırlaştırmakta ve kaza sayılarının artmasına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, İstanbul T1 tramvay hattı etrafıca incelenmiştir. Bu çalışmada, İstanbul'da T1 tramvay işletim sistemi üzerinde sistem emniyet analizi yapmak için Monte Carlo simülasyonları entegre edilerek Fonksiyonel Rezonans Analiz Metodu (FRAM) uygulanmıştır. Sistematik yarı niceliksel yaklaşımın, sistemin kapsamlı bir analizini sağladığını ve katılımcıların değişkenliğin yönetimi konusundaki farkındalığına katkıda bulunduğunu göstermektedir. FRAM uygulaması, geleneksel emniyet yönetimi tekniklerini tamamlar. Araştırma, günlük performans değişkenliğine odaklanmış sosyo-teknik bir bakış açısı eklemenin risk değerlendirmesi için faydasını açıklamaktadır. Önerilen yarı niceliksel yaklaşım, değişkenliği sistematik olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. FRAM, karmaşık sosyo-teknik sistemlerde sistem etkileşimlerini anlamak ve emniyeti yönetmek için kullanılan yeni geliştirilmiş yöntemlerden biridir. FRAM, bir sistemi çalıştırmak için gerekli olan aktiviteleri inceler. Eylemler arasındaki etkileşimleri ortaya çıkarır, toplu değişkenlik etkilerini dikkate alır ve sırayla performans değişkenliğinin yönetimini destekler. FRAM metodunun FMEA ile pek çok benzerliği bulunmaktadır. FRAM metodunun da FMEA metodunun da uygulama alanları benzerdir. Bu iki metot da birçok sektörde ürün veya hizmetin riskini minimize etmek için projenin başından sonuna kadar içerdiği tüm prosesler için uygulanabilen

risk analizi metotlarıdır. FRAM' in FMEA gibi geleneksel yöntemlerden farkı, FMEA isminden de anlaşılacağı üzere, hatalara yani sistem üzerindeki başarısızlıklara odaklanır. FRAM' da ise hem başarılar hem başarısızlıklar üzerine odaklanılır. Her iki metot da başarısızlığın olduğu ve potansiyel olarak olabileceği alanları analiz eder. FRAM' in bir farkı çok fazla teorik bilgiye ihtiyaç duyulmamasıdır.

Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA) ile karşılaştırıldığında, FRAM' in da yararlı olduğu değerlendirilmiştir. Esasen bu iki risk analizi metodunda iki fark mevcut olduğu tespit edilmiştir. İlki, FMEA genellikle basit sıralı işlem haritalarına sahiptir. FRAM' de ise, sistematik tüm bağlantılar açıkça gösterilmiştir. İkincisi, FRAM, hataların ve kesin sonuçların dikkate alınmasını gerektirmez. FRAM dinamik bir risk değerlendirme metodu olduğu için, FRAM uygulayıcıları sistemin nasıl etkileneceği konusunda akıl yürütebilirler. FRAM, sistem dinamiğinin sistem işlevlerindeki küçük değişikliklerden nasıl etkilendiğine ilişkin bilgiler verir. Klasik emniyet analizi yöntemleri yanlış giden unsurları gösterirken, FRAM ayrıca doğru performans gösteren fonksiyonları veya faaliyetleri görüntülemeye de izin verir.

Bu çalışma ile FRAM metodunun raylı sistemlere de uygulanabilirliği ölçülmüştür. Elde edilen neticeler ile FRAM metodunun raylı sistemlere uygulanabileceğine kanaat getirilmiştir. FMEA gibi geleneksel yöntemlerden farkı, FRAM metodunun değişkenlikleri görüntülemeye ve değişkenliklere puan vermede olanak sağlıyor oluşudur. Bu çalışma, sistematik yarı niceliksel yaklaşımın, sistemin kapsamlı bir analizini sağladığını ve katılımcıların değişkenliğin yönetimi konusundaki farkındalığına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Akintoye, A. S., ve MacLeod, M. J. 1997. "Risk analysis and management in construction". *International Journal of Project Management*, 15(1):31-38.
- Altin, Z. G., M. Dag, A. Oz, ve E. Aydogmus. 2018. "Risk Analysis by FMEA Method in Hotel".
- Awal, Zobair Ibn, ve Kazuhiko Hasegawa. 2017. "A Study on Accident Theories and Application to Maritime Accidents". *Procedia Engineering* 194:298-306.
- Aven, T., 2012. *Foundations of risk analysis* 2nd ed., Hoboken, NJ: Wiley.
- Barnes, M. (1988). "Construction project management". *International Journal of Project Management*, 6(2), 69-79.
- Biol, Burak. 2014. "KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLER VE METROBÜS İŞLETME MALİYETİ DEĞERLENDİRİLMESİ :İSTANBUL ÖRNEĞİ", 129.
- BSI, 2009. *BS ISO 31000: Risk management: principles and guidelines*, London: British Standards Institution.
- BSI, 2010. "BS EN 31010: Risk management: risk assessment techniques". London: British Standards Institution.
- BS EN IEC 31010, 2019. *ISO/IEC 31010 : 2019 BSI Standards Publication Risk management Risk assessment*, London.
- Büyükhahin Sıramkaya, Süheyla. 2018. "TRAMVAYIN KAMPÜS YERLEŞKESİ İÇİNE ENTEGRASYONUNUN YAYA GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ". *e-Journal of New World Sciences Academy* 13(4):302-15.
- Card, Alan J., James Ward, and John P. Clarkson. 2014. "Generating options for active risk control (GO-ARC): introducing a novel technique". *Journal for Healthcare Quality*, 36(5):32–41.
- Ceylan, Hüseyin ve Volkan S. Başhelvacı. 2011. "Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama". *International Journal of Engineering Research and Development* 3(2): 25-33.

Cirit, Faruk, Turkey, Kalkınma Bakanlığı, ve İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü. 2014. “Sürdürülebilir kentiçi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması: uzmanlık tezi”. T.C Kalkınma Bakanlığı, Ankara.

COSO. 2012. “Risks assessment in practice P. Curtis & M. Carey, eds”. Committee of Sponsoring Organisations of the Treadway Commission.

Cox, L.A., 2008. What’s wrong with risk matrices? Risk Analysis, 28(2), pp.497–512.

Çubukçu, Remzi. 2008. “ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ”. ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ 158.

ÇSGB. 2012. “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği”. T.C Resmi Gazete.

DEMİRYOLU EMNİYET YÖNETMELİĞİ, 19 Kasım 2015 PERŞEMBE, Sayı : 29537

“DEMİRYOLU SEKTÖR RAPORU 2018”. 2018, 91.

Hollnagel Erik, and Örjan Goteman. 2004. “The functional resonance accident model”. Proceedings of Cognitive System Engineering in Process Plant. 155-161.

Farid, A., M. Abdel-Aty, J. Lee. .2019. “Comparative analysis of multiple techniques for developing and transferring safety performance functions”. Accid. Anal. Prev. 122:85–98. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.09.024>.

Friedel, J. & Huke, G. 2006. IRIS sets the quality standard. 162.

Functional Safety and IEC 61508. 2004. “A Basic Guide”.

Gordon, John E. 1949. “The Epidemiology of Accidents”. *Professor of Preventive Medicine and Epidemiology, Harvard School of Public Health*. Boston, Mass. 39:12.

Gülener Yeliz. 2009. “BİR RAYLI ULAŞIM SİNYALİZASYON SİSTEMİ GERÇEKLEŞTİRME” (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi), 91.

GÜNDOĞDU, Feyzullah. 2018. “Raylı Sistemlerde Tehlike ve Risk Analizi ile Emniyetin Arttırılması”. *Kayseri Raylı Sistem Projesi*.

Gündoğdu, Feyzullah. 2012. “Raylı Sistemlerde Emniyet”. *1. Uluslar arası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı* 9.

Gündoğdu, Feyzullah, ve Süleyman Açıkbaş. 2007 “RAYLI SİSTEMLERDE EMNİYET STANDARTLARI VE MAKAS OTOMASYON SİSTEMİNE UYGULAMASI”.

Gündüz, Ali Yılmaz, Mehmet Kaya, ve Cahit Aydemir. 2011. “KENTİÇİ ULAŞIMINDA KARAYOLU ULAŞIMINA ALTERNATİF SİSTEM: RAYLI ULAŞIM SİSTEMİ”. 2(1):18.

Held, M. and Brönnimann, R., 2016. Safe cell, safe battery? Battery fire investigation using FMEA, FTA and practical experiments. *Microelectronics Reliability*, 64, pp.705–710.

Hollnagel, Erik ., Woods, David D., ve Levenson, Nancy , 2006. *Resilience engineering: concepts and precepts*, Aldershot, UK: Ashgate.

Hollnagel, Erik. 2004. “Barriers and Accident Prevention (1st ed.)”, Ashgate, Aldershot, UK.

Heinrich, Herbert W., 1931. “Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach”, McGraw-Hill. New York.

Hollnagel, E., 2012. FRAM: the Functional Resonance Analysis Method modelling complex socio-technical systems, Surrey: Ashgate.

Hollnagel, E., 2014. Safety I and safety II, Surrey: Ashgate.

IEC 61025. 2006. <https://webstore.iec.ch/publication/4311> International

ISO. 2009. “PD ISO Guide 73: Risk management- vocabulary”. Geneva: International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. 2018. ISO 31000 - Risk management — Guidelines

Jun, G., Ward, J. and Clarkson, P., 2010. Systems modelling approaches to the design of safe healthcare delivery: ease of use and usefulness perceived by healthcare workers. *Ergonomics*, 53, pp.829–847.

Karanki, D. R., Vinod, G., Ajit, S., 2020. Advances in RAMS Engineering, In Honor of Professor Ajit Kumar Verma on His 60th Birthday. Cham, Switzerland.

Kasimoglu, Esin. 2015. “TRAMVAY İSTASYONLARINDA TASARIM VE GÜVENLİK ESASLARININ ARAŞTIRILMASI İSTANBUL T1 TRAMVAY HATTI İNCELEMESİ”. 137.

Kaya, Gulsum Kubra. 2018. “GOOD RISK ASSESSMENT PRACTICE IN HOSPITALS”. University of Cambridge Department of Engineering 245.

Kaya, Gulsum Kubra and Hocaoglu, M.F., 2020. Semi-quantitative application to the Functional Resonance Analysis Method for supporting safety management in a complex health-care process. *Reliability Engineering and System Safety*, 202(June), p.106970.

Kaya, G.K. and Canbaz, H.T., 2019. The problem with traditional accident models to investigate patient safety incidents in healthcare. In C. A. H. Calisir F., Cevikcan E., ed. *Industrial Engineering in the Big Data Era. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering*. Cham: Springer, pp. 481–488.

Kaya, G.K. and Hocaoglu, M., 2020. Semi-quantitative application to the Functional Resonance Analysis Method for supporting safety management in a complex health-care process. *Reliability Engineering and System Safety*, 0(0), pp.1–9.

Kaya, G.K., Ovali, H.F. and Ozturk, F., 2019. Using the functional resonance analysis method on the drug administration process to assess performance variability. *Safety Science*, 118, pp.835–840.

Kaya, G.K., Ward, J. and Clarkson, J., 2019. A Review of Risk Matrices Used in Acute Hospitals in England. *Risk Analysis*, 39(5), pp.1060–1070.

Kaya, G.K., Ward, J.R. and Clarkson, P.J., 2019. A framework to support risk assessment in hospitals. *International Journal for Quality in Health Care*, 31(5), pp.392–401.

Kaya, G.K., 2020. Safety Risk Management in Complex Systems. In *Global Joint Conference on Industrial Engineering and Its Application Areas*. Antalya: Istanbul Technical University, pp. 1–11.

Kecklund, L., Ingre, M., Kecklund, G., et al., 2001. Railway safety and the train driver information environment. In *Signalling Safety*. London, pp. 1–12.

Kellegöz Talip, 2013. “Risk Analizi”, Gazi Üniversitesi-Ankara, 11-15.

King, Karl M. 2016. “Systems Engineering Framework for Railway Control & Safety Systems”. Ss. 236-43 içinde *2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*. Birmingham, United Kingdom: IEEE.

Kinney G. F., A. D. Wiruth. 1976. “Practical Risk Analysis for Safety Management”. U.S. Naval Postgraduate School, Safety and Security Department, CALIFORNIA.

Klockner, Karen, ve Yvonne Toft. 2015. “Accident Modelling of Railway Safety Occurrences: The Safety and Failure Event Network (SAFE-Net) Method”. *Procedia Manufacturing* 3:1734-41.

Koçak, Derya. 2014. “DEMİRYOLU ÇALIŞMALARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ VAGON BAKIM ONARIM ATÖLYESİ RİSK DEĞERLENDİRMESİ ÖRNEĞİ”. T.C.

ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK EĞİTİM VE ARAŞTIRMA MERKEZİ. 182.

Leveson Nancy. 2004. “A new accident model for engineering safer systems”. *Safety Science* 42, (4):237-270.

Liu, C.-T., Hwang, S.-L. and Lin, I.-K., 2013. Safety analysis of combined FMEA and FTA with computer software assistance - Take photovoltaic plant for example. In IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). IFAC, pp. 2151–2155.

Liu, Y., Fan, Z.P., Yuan, Y., et al., 2014. A FTA-based method for risk decision-making in emergency response. *Computers and Operations Research*, 42, pp.49–57.

Mahboob, Q. and Zio, E., 2018. Handbook of RAMS in railway systems: theory and practice, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Manisali, Ekrem. 2006 “KENTSEL RAYLI TAŞIMA ÜZERİNE BİR İNCELEME”, 9.

McDermott, R., Mikulak, R. and Beauregard, M., 1996. The basics of FMEA, Portland: Productivity Inc.

Meeuwis, C. J., V. Steinmetz, J. F. Hamming, ve S. W. A. Dekker. 2020. “A FRAM Requirements Analysis for Safety Differently Investigations”. *Safety Science* 125:104653.

Mutlu, Nazlı Gülüm, ve Serkan Altuntas. 2019. “Risk Analysis for Occupational Safety and Health in the Textile Industry: Integration of FMEA, FTA, and BIFPET Methods”. *International Journal of Industrial Ergonomics* 72:222-40.

Naweed, A., Rainbird, S. and Dance, C., 2015. Are you fit to continue? Approaching rail systems thinking at the cusp of safety and the apex of performance. *Safety Science*, 76, pp.101–110.

Naznin, F., Currie, G., Logan, D., et al., 2016. Safety impacts of platform tram stops on pedestrians in mixed traffic operation: A comparison group before-after crash study. *Accident Analysis and Prevention*, 86, pp.1–8.

ORR. 2015. “Common safety method for risk evaluation and assessment”. London: Office of Rail Regulation.

Ouyang, Min, Liu Hong, Ming-Hui Yu, ve Qi Fei. 2010. “STAMP-Based Analysis on the Railway Accident and Accident Spreading: Taking the China–Jiaoji Railway Accident for Example”. *Safety Science* 48(5):544-55.

OXFORD. (2020). Oxford English Dictionary. 21 04, 2020 tarihinde <https://www.oed.com/> adresinden alındı.

Öztürk, Fatih. 2017. “ESTABLISHING THE PRODUCT REALIZATION CONCEPT IN RAILWAY TECHNOLOGY”. *European Journal of Business and Economics* 12(2).

Öztürk, Fatih. 2014. “RAMS/LCC Anforderungen im IRIS Standard - Herausforderung für Unternehmen aus der Schienenfahrzeugindustrie”. *Social and Natural Sciences Journal* 8(1).

Öztürk, Fatih. 2014. “QUALITÄT, EFFIZIENZSTEIGERUNG UND INTEGRIERTE MANagementsYSTEMEN IM TÜRKISCHEN EISENBAHNSEKTOR”. *Social and Natural Sciences Journal* 8(2).

Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., et al. eds., 2007. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*, Cambridge: Cambridge University Press

Patriarca, Riccardo, Andrea Falegnami, Francesco Costantino, ve Federico Bilotta. 2018. “Resilience Engineering for Socio-Technical Risk Analysis: Application in Neuro-Surgery”. *Reliability Engineering & System Safety* 180:321-35.

Patriarca, Riccardo, Giulio Di Gravio, ve Francesco Costantino. 2017. “A Monte Carlo Evolution of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to Assess Performance Variability in Complex Systems”. *Safety Science* 91:49-60.

Patriarca, Riccardo, Giulio Di Gravio, Francesco Costantino, ve Massimo Tronci. 2017. “The Functional Resonance Analysis Method for a Systemic Risk Based Environmental Auditing in a Sinter Plant: A Semi-Quantitative Approach”. *Environmental Impact Assessment Review* 63:72-86.

Perrow Charles. 1984. “Normal Accidents - Living with High Risk Technologies”. Basic Books: New York.

Qureshi, Zahid H. .2007. “A review of accident modelling approaches for complex critical sociotechnical systems”. *Proceedings of the Twelfth Australian Workshop on Safety Related Programmable Systems*.

Park, Mun Gyu. 2013. “RAMS Management of Railway Systems”, 260.

Rasmussen Jens. 1985. “The role of hierarchical knowledge representation in decisionmaking and system management”. *IEEE Trans Syst Man Cybern ;SMC-15:234–43*.

- Rasmussen, Jens. 1997. "Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem". *Safety Science* 27(2-3):183-213.
- Reason, James. 1990. "The Contribution of Latent Human Failures to the Breakdown of Complex Systems". *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* (327):475-84.
- Reason, James. 1997. "Managing the risks of organisational accidents". Aldershot: Ashgate.
- Redmill, Felix, Morris Chudleigh, And James Catmur. 1999. "System safety: HAZOP and software HAZOP". Chinchster: John Wiley and Sons.
- Riccardo, Patriarca, Del Pinto Gianluca, Di Gravio Giulio, ve Costantino Francesco. 2018. "FRAM for Systemic Accident Analysis: A Matrix Representation of Functional Resonance". *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering* 25(01):1850001.
- Rosa, Lucio V., Josué E. M. França, Assed N. Haddad, ve Paulo V. R. Carvalho. 2017. "A Resilience Engineering Approach for Sustainable Safety in Green Construction". *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* 5(4):480-95.
- Rowe, William D. .1977. "An Anatomy of Risk". Wiley, New York.
- Shipley, Margaret F., Andre De Korvin, Khurseed Omer. 1996. "A fuzzy logic approach for determining expected values: a project management application". *J. Oper. Res. Soc.* 47 (4), 562–569.
- Simsekler, M.C.E., Kaya, G.K., Ward, J.R., et al., 2019. Evaluating inputs of failure modes and effects analysis in identifying patient safety risks. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 32(1), pp.197–207.
- Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). 2016. "2016 SGK İstatistik Yıllıkları". Ankara
- Stamatis, D.H. .2003. "Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution". second ed. ASQC Press, New York.
- Tabak, Çağlar. 2014. "DEMİRYOLLARINDAKİ KAZA İSTATİSTİKLERİ VERİTABANI, RİSK AZALTMA YÖNTEMLERİ, ALINAN ÖNLEMLER VE AVRUPA'DAKİ ÖRNEKLERİNİN KIYASLANMASI". 203.
- Tabak, Çağlar. 2016. "Demiryolu Ulaştırması Ve Emniyeti". *Demiryolu Mühendisliği* (3):24-26.
- TDK. 2020. Büyük Türkçe Sözlük. 21 04, 2020 tarihinde <https://sozluk.gov.tr/> adresinden alındı

Tian, Jin, Juyi Wu, Qibo Yang, ve Tingdi Zhao. 2016. “FRAMA: A Safety Assessment Approach Based on Functional Resonance Analysis Method”. *Safety Science* 85:41-52.

Park, A. and Lee, S.J., 2009. Fault tree analysis on handwashing for hygiene management. *Food Control*, 20(3), pp.223–229.

UNIFE .2009. The European Railway Industry. IRIS International Railway Industry Standard.

Uzuner, Ceylan. 2014. “Ab ve Türkiye’de Emniyet Yönetim Sisteminin Ortaya Çıkması, Gelişme Süreci ve Geleceği”. *Demiryolu Mühendisliği* (1):91-99.

Üstündağ, Yunus Emre. 2016. “Demiryollarında Emniyet ve Güvenlik”. *Demiryolu Mühendisliği* (3):27-29.

Watson, HA .1961. “Launch control safety study”. Murray Hill, NJ.

Varzakas, T.H., 2011. Application of ISO22000, Failure Mode, and Effect Analysis (FMEA) Cause and Effect Diagrams and Pareto in Conjunction with HACCP and Risk Assessment for Processing of Pastry Products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(8), pp.762–782.

Yao, Q., Wang, J. and Zhang, G., 2016. A fault diagnosis expert system based on aircraft parameters. *Proceedings - 2015 12th Web Information System and Application Conference, WISA 2015*, pp.314–317.