



Demiryollarında Arıza Durumunda Otonom Trenler için Yedek Sistem

Tasarlanması

Sinan KÜÇÜK

TCDD, Kapasite Dairesi, Müşteri İlişkileri Şubesi, Ankara, Türkiye

kucuk.jfm@hotmail.com

(Alınış/Received: 7.12.2018, Kabul/Accepted: 28.12.2018, Yayımlama/Published: 31.1.2019)

Özet: Demiryolu işletmesinde teknik ve işletmesel sebepler hemzemin geçit havai hat gibi demiryolu elemanlarında düzensizliklere sebep olabilir. Ama bu tür arızalarda tren trafiğinin alınan önlemlerle minimum kapasite ile çalışması sağlanabilir. Bu tür arıza durumlarında tren trafiği ve güvenliği; dispeçer ve sürücü arasında diyalog ile sağlanır. Ancak güvenliğin tamamen insan yönetiminde olması, daha fazla riski de beraberinde getirir. Gelecekte bunun üstesinden gelebilmek için otonom sistemler ile kesin çözümler üretilebilir. Bu sistemler arıza durumunda gerekli önlemleri alarak sistemin en azından minimum kapasite ile çalışmasını sağlayabilir. Bu çalışmanın amacı ATO (Automatic Train Operation) sisteminin seçilen arızalar için şimdiki ve gelecekteki “Yedek Sistem”* yöntemlerini tanımlamaktır. Bunun için olası arızaların bir listesi yapılarak bunların işletmeye olan etkileri analiz edildi. Bugünkü sistem ile Yedek Sistemin kullanılacağı gelecekteki otonom trenler için Yedek Sistemin nasıl tasarlanacağı UML (İng. Unified Modelling Language) diyagramları ile tanımlandı. ATO sistemi için gerekli değişiklikler de bu çalışma da incelendi. Bu çalışma gösterdi ki bugünkü sisteme kıyasla ATO sistemine gelecekte daha teknolojik yeni parçaların eklenmesi gerekmektedir. Ayrıca sürücünün üstlendiği görevlerin bazılarını otonom sisteme aktarmak mümkün olmayabilir. Buna rağmen alınacak önlemler bu çalışmada irdelenmiştir, ancak bu önlemler önce simule edildikten sonra gerçek anlamda uygulanabilir.

Anahtar kelimeler: Sürücüsüz Tren, Otomatik Yedek Sistem, ATO, Risk Analizi

Development of Automated Fallback levels of Disrupted Railway Operations

Abstract: Irregularities may be caused by many technical or operational reasons. In railway operation, there may be a failure of the interlocking system, a power failure in the overhead line, a technical fault in a level crossing, or other unexpected unpleasant effects may happen. However, railway operation must be continued in all cases. As some of the technical facilities do not work, train rides are carried out with written orders. This means “deviation from the regular mode”. The safety of railway operations depends on deviation from the regular mode mainly on the people involved. When facing with the challenge the solutions must be developed in order to carry on autonomously in case of deviations from regular mode. The autonomous system must therefore also be able to take the correct measures even in the case of deviations from the control mode. In this work, the associated procedures in fall-back level under the ATO system are described for selected faults from the railway operation. By means of data collection, the possible faults in railway operation were first collected. Afterwards, the impact on the farm was analysed and today's fall-back level were described. In the further step, today's procedures were transferred to the future ATO system and described using a UML diagram. The necessary modifications for the ATO system were developed. The comparison of today's approaches and those under the ATO system shows that for the system, considerable amounts of new components must be invested in the future. In addition, it has been shown that some tasks cannot be transferred directly to the

ATO system by the train driver. These measures have not yet been carried out, but the logic of the measures has been mentioned in this work. They can be simulated first and then applied in reality.

Key words: Automated Fallback, ATO, Driverless Train, Risk Analysis [4]

1. Giriş

Tam otomasyonlu (sürücüsüz) demiryolu trafiği metro gibi kapalı devre tren hatlarında uzun süredir kullanılan bir sistemdir [1]. Ancak bu sistemin ana demiryolu hatlarında kullanımı, altyapının karmaşık olması ve karışık tren trafiği gibi nedenlerden dolayı oldukça güçtür [2]. Özellikle arıza ve acil durumlarda bu durum büyük bir sorun teşkil etmektedir. Öngörülemeyen durumlar veya teknik arıza durumlarında gerekli önlemlerin hızlıca alınarak sistemin asgari düzeyde çalışmaya devam etmesi sağlanmalıdır [3]. Bu önlemler “acil eylem planı” olarak adlandırılabilir. Bu önlemler şimdilerde sürücü tarafından yapılıyor olsada; gelecekte (otonom trenlerde) bu görev tren üstü ekipmanları tarafından mesaj paketleri ile yürütülecektir [4].

Bu çalışmanın amacı demiryollarında ne tür arızalar ile karşılaşıldığının; bu arızaların sisteme olan etkilerinin ve bu arızalara müdahale planlarının belirlenmesi ve gelecekte bu müdahale planlarının otonom trenlerde nasıl çözüme kavuşturulacağına belirlenmesidir.

Yukarıda belirtilen arızalardan sisteme olan etkilerine göre 2 adet yol, 2 adet araç ve 2 adet tren takip sistemi olmak üzere 6 adet arıza seçilerek; bu arızaların otonom trenler için “Modellemesi” yapılacaktır.

2. Genel Durum

Demiryollarında tren takip sistemleri yüksek maliyetler nedeniyle son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Standart bir tren takip sisteminin kapasite ve güvenlik için büyük öneme sahip olduğu çalışmalar ile kanıtlanmıştır (ERTMS European Railway Traffic Management System) [5]. Bununla birlikte arızaya karşı emniyet tertibatı da (Fail-Safe Principle) önem kazanmıştır. Bu nedenle sürücüsüz trenler (GoA4-Grad of Automation) uzun süredir tartışma konusu olmuştur [6]. Bu sistem CBTC (Communication Based Train Control System) adı altında metro gibi kısa mesafe, kapalı ulaşım sistemlerinde kullanılmıştır [2]. Bu sistem kısaca 3 alt sistemden oluşur [2]:

ATS (Automatic Train Supervision): Bu sistem tüm alt sistemlerin durumunu kontrol ederek uygun yönlendirmeler ile trenin çalışmasını planlanan rota üzerinde; treni etkileyen durumları da dikkate alarak ORER planından sapmaları minimize ederek yönetir.

Automatic Train Protection (ATP): ATP bir tür tren takip sistemidir. İnsan veya sistem hatasının olduğu durumlarda güvenli bir sürüş emniyeti sağlar.

Automatic Train Operation (ATO): Otonom trenlerde tren yönetimini üstlenen alt birimdir. Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği (UITP-Union Internationale des Transports Publics) demiryolu trafiğinin otomasyonunu 4 basamakta tanımlamıştır (Bkz. Tablo 1):

Demiryolu Mühendisliği

- GoA1 : Otomasyonsuz sürüş
- GoA2 : Yarı otomatik sürüş; tren hareketleri otomatik ama sürücü yolu gözetlemekle yükümlüdür.
- GoA3 : Sürücüsüz işletme ama acil durumlara müdahale için kabinde bir sürücü sürüşe eşlik eder.
- GoA4 : Tamamen sürücüsüz işletme

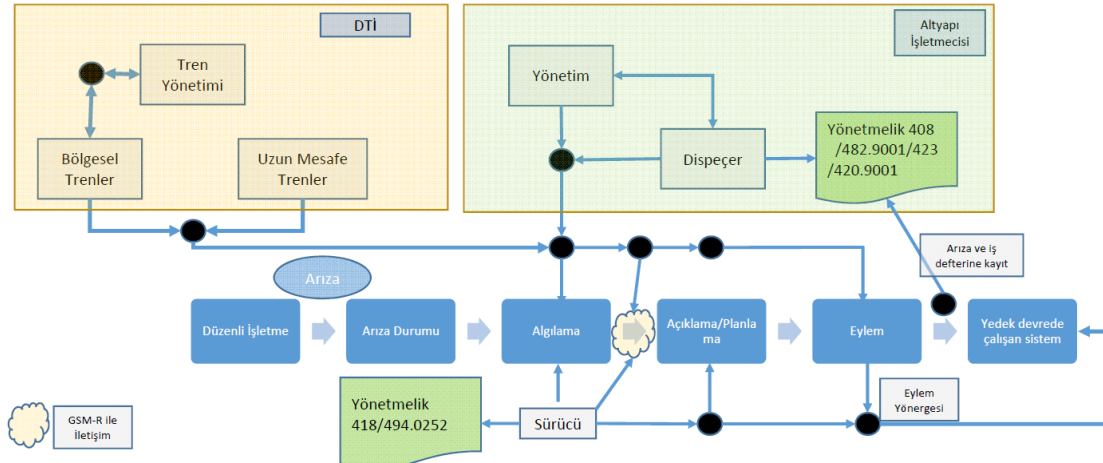
Tablo 1: Otomasyon Derecesi [1]

Otomasyon Derecesi	Tren Operasyon Sistemi	Trenin Sürüşü Hazırlanması	Trenin İvmelenme; Frenleme ve Durması	Kapı Yönetimi	Arıza Durumunda Müdahale
GoA 1	<i>Sürücü ile birlikte ATP</i>	Sürücü	Sürücü	Sürücü	Sürücü
GoA 2	<i>Sürücü ile birlikte ATP ve ATO</i>	Sürücü / Otomatik	Otomatik	Sürücü	Sürücü
GoA 3	<i>Sürücüsüz</i>	Otomatik	Otomatik	Personel / Otomatik	Personel
GoA 4	<i>Personelsiz</i>	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik

Buna karşılık hattı-cari gibi açık ve uzun mesafe işletmeciliğinde benzer sistem olarak ERTMS'nin alt modülü olan ETCS (European Train Control System) geliştirilmiştir [5]. ETCS sisteminin kullanımda olan (Almanya için) en gelişmiş seviyesi Seviye 2'nin otomasyon seviyesi GoA2'dir.

Demiryolu endüstrisinin hedeflerinden olan sürücüsüz trenlerin demiryolu yük ve yolcu kapasitesi, kalitesi; dakiklığı, yolcu yönetimi, enerji kullanımı, güvenliği, kullanılabilirliğini iyileştirmesi; maliyetleri ve seyir süresi gibi kalemleri optimize etmesi öngörülmektedir.

Diğer yandan otonom trenlerin beklenmedik durumlara nasıl tepki vereceği merak konusudur. Bugünkü sistemde arıza durumunda acil eylem süreci Şekil 1'de şöyle tanımlanmıştır:



Şekil 1: Arıza Süreci ve Paydaşlar [7]

3. Materyal ve Metot

3.1. Veri Toplama

Araştırmalar gösteriyor ki doğal veya hatalardan kaynaklanan sebeplerle binlerce arızayla karşılaşılabilir [8][9][10]. Bu çalışmada toplanan arızalar işletmeye olan etkilerine göre ele alınmıştır (Bkz. Tablo 2). Kaynak olarak TCDD'nin "Neden Ağacı" [8]; DB (Deutsche Bahn)'nin "Tehir Kodları Yönetmeliği" [9] ve diğer kaynaklar [11] esas olarak kabul edilmiştir. Çalışmada toplam 82 arıza tipi seçilerek listelenmiştir. Listede 26 arıza ile araç arızası ilk sırada yer alırken; ikinci sırada 13 arıza ile altyapı arızası vardır. Bu liste istenilen biçimde genişletilebilir fakat bu çalışmada araştırmaya yön verecek arıza tiplerine öncelik verilmiştir.

Arıza türleri aşağıda belirtilen özelliklere göre listelenmiştir:

- Arızanın pozisyonu (hat boyu, hemzemin geçit, makas, katener hattı vs.)
- Arızanın tanımı (Katener de kablo kopması, araç hava basıncında düşüş vs.)
- Olası sebepler (İnsan hatası, doğal afetler, donanım/yazılım hatası vs.)
- Olası etkileri (iletişim/veri akışı kopması, çarpışma, hız kısıtlaması vs.)

Yukarıda belirtilen özellikler göreceli olarak yorumlanmış olup değerlendirme metoduna göre genişletilip daraltılabilir.

Tablo 2: Arıza çeşitleri ve FMEA analizine göre risk katsayıları

Arıza No	Konumu	Tanımı	Sebebi	Olası Etkileri	Olma olasılığı	Fark edilme Olasılığı	Hata sıklığı	Risk Katsayısı
1				Katener Arızası				
	Hat Boyu	Ağaç Yıkılması	Doğal Afet	Trafiğin Durması / Çarpışma	4	10	3	120
	Hat Boyu	Kablo Kopması	Aşınan Materyal	Trafiğin Durması	7	9	6	378
	Altyapı	Elektrik çarpması	Doğal Afet	Trafiğin Durması	2	8	8	128
2				GSM-R Arızası				
	Kumanda Merkezi İşletme Sınırı	Veri akışında kesilme / İletişim kopukluğu	Donanım Arızası	Tren ile Kumanda merkezi arası iletişim kopukluğu	4	9	9	324
	Kumanda Merkezi İşletme Sınırı	GSMR İstasyon arızası	Donanım Arızası	Trafiğin Durması/ Sınırlı Seyir modunda sürüş / Çarpışma	4	9	9	324
	Kumanda Merkezi	GSM-R Anten arızası	Donanım Arızası	Trafiğin Durması/ Sınırlı Seyir	4	9	9	324

Demiryolu Mühendisliği

işletme Sınırı			modunda sürüş / Çarpışma				
3	Güvenliği etkileyen Hemzemin Geçit arızası						
Hemzemin Geçit	Hemzemin geçit sistem arızası	Donanım Arızası	Çarpışma	7	7	9	441
Hemzemin Geçit	Bariyer Arızası	Donanım Arızası	Çarpışma	6	5	10	300
4	Tren Takip Sistemi Arızası-ETCS						
Kumanda Merkezi işletme Sınırı	ETCS sisteminde sistem çökmesi	Donanım /Yazılım Arızası	Trafığın Durması/ Sınırlı Seyir modunda sürüş / Çarpışma	4	9	9	324
EST	Sinyal Arızası	Donanım Arızası	Sınırlı Seyir modunda sürüş / Çarpışma	7	6	9	378
EST	Ray Devresi, Aks Sayacı vb. tren algılama devrelerinde arıza	Donanım /Yazılım Arızası	Trafığın Durması/ Bloğun işgal halinin sürmesi	5	9	9	405
5	Makas Arızası						
Makas Bölgesi	Makas Isıtıcısının arıza yapması ya da devre dışı kalması	Üst yapıda oluşan arızalar	Çarpışma / Deray	5	6	8	240
Makas Bölgesi	Makas motorunda arıza olması	Üstyapıda oluşan arızalar	Çarpışma / Deray	5	7	8	280
6	Araç arızası						
Araç	Giden araçtan insan düşmesi	İnsan Hatası	Trenin Durması/ İnsan Kaybı	4	7	8	224
Araç	Duran araçtan insan düşmesi	İnsan Hatası	Trenin Durması/ İnsan Kaybı	4	7	8	224
Araç	Teker kırılması veya çapının küçülmesi	Aşınma	Deray / kurp içinde	3	8	9	216
7	Tehlike Durumu						
Hat Boyu	Herhangi bir nesne ile çarpışma	İnsan Hatası/ Doğal Afet	Deray / araçta hasar / Sınırlı Seyir modunda sürüş	7	5	8	280
Hat Boyu	Hatta veya raylara insan girmesi	İnsan Hatası	Trenin Durması/ Çarpışma /	8	5	8	320

Demiryolu Mühendisliği

		Polis incelemesi					
8	Altyapıda arıza						
Hat Boyu	Güvenliği etkileyen elektronik arızalar	Donanım Arızası	Trafığın Durması / Kaza Riski	5	5	7	175
EST	Güvenliği etkileyen EST arızaları	Donanım Arızası	Trafığın Durması / Kaza Riski	5	5	7	175
Hat Boyu	Cebire Kırılması/Ray kırılması/Makas dili kırılması	Üst yapıda oluşan arızalar	Deray	4	5	10	200
9	İşletmesel Sebepler						
Hat Boyu	Kural İhlali (Hız limitini aşma; kırmızıya basmak vs.)	Sürücü Hatası	Trenin gecikmesi ya da iptali	8	1	9	72
Hat Boyu	Bomba etkisizleştirilmesi	İnsan Hatası	Trenin gecikmesi ya da iptali	5	1	8	40
İstasyon yol boyu	Zamanında duramamak (durma noktasını geçmek)	İşletmesel Hatalar	Trenin gecikmesi ya da iptali	5	4	4	80
10	Doğal arızalar						
Hat Boyu	Doğal afetler (Çığ;sel;sis vs.)	Doğal Afet	Atyapıda zarar / deray / Sınırlı Seyir modunda sürüş	5	8	5	200
Hat Boyu	Hava durumundan kaynaklanan kısıtlar	Doğal Afet	Trenin gecikmesi ya da iptali	6	8	5	240
Hat Boyu	Kısa devre; yıldırım düşmesi	İnsan Hatası/ Doğal Afet	İnsan ya da Hayvan ölmesi / yangın riski	3	10	6	180

Tablo 2’de puanlanan olma, fark edilme olasılığı ve hata sıklığı tehlike türüne göre alanında uzman kişiler tarafından puanlanması gerekmektedir. Ancak çalışmanın zamanında yürütülmesi ve sonuca direkt etkisinin olmaması nedeniyle değerler DB’nin (Deutsche Bahn) istatistiki verileri [11] ve ERA’nın (The European Union Agency for Railways) yayınladığı Demiryolu Güvenlik Raporu [10] temel alınarak yaklaşık olarak belirlenmiştir.

3.2. Veri Analizi ve Arıza Tiplerinin Sistematize Edilmesi

Data analizi ve arızaların sistematize edilebilmesi için 3 kıstas kullanılmıştır:

Demiryolu Mühendisliği

- Arızaların işletmeye olan etkileri
- ATO sistemini direkt etkileyen arızalar
- Arızanın sıklığı

Çünkü otonom trenlerde sürücü olmayacağı için ATO sistemi sürücünün görevlerini üstlenecektir. Bu nedenle ATO sistemini direkt etkileyen arızalar öncelikli olarak ele alınmıştır. Arızaların sıklığı ise işletmeye olan etkileri artırır. Tehirlere artarken, işletme kalitesini düşürür. Bu da otonom trenlerin amaçlarıyla çelişir.

Arızaların işletmeye olan etkilerini ölçmek için farklı nitel ve nicel metotlar vardır. Bazı modeller matematiksel veya deneysel veriler gerektirir. Olay Ağacı Analizi (ETA, İng. Event Tree Analysis), Hata Ağacı Analizi (FTA, Fault Tree Analyse), Güvenilirlik (R)-Kullanılabilirlik (A)- Sürdürülebilirlik (M) ve Emniyet (S) (RAMS-Reliability, Availability, Maintainability, Safety) veya Hata modu ve etki analizi (FMEA Failure Mode and Effects Analysis) bunlara birkaç örnektir [12] [13].

FMEA bu çalışmada analiz metodu olarak kullanılmıştır. Bu metot hata kaynaklarını ve hataların tesirlerini inceleyen bilinen güvenilirlik analiz metodudur. Hatanın ne tür bir arıza olduğunu, neden kaynaklandığını ve sonuçlarını analiz eder. Temel olarak 3 ana bilgiye ihtiyaç vardır: olma olasılığı, fark edilme olasılığı ve hatanın sıklığı. Her bir bilgi 1-10 arası bir rakam ile değerlendirilir. Rakamsal değerlendirme multidisipliner uzmanlar tarafından yapılır. Bu üç bilginin değerlendirme puanı çarpılarak “risk katsayısı” elde edilir (Bkz. Tablo 2). Bu değer arızanın veya hatanın risk düzeyini belirlemek için kullanılır. Risk katsayısını anlamlandırmak için aşağıda belirtilen ölçütler kullanılır (Bkz. Tablo 3):

- Kabul edilebilir risk : Hiçbir önlem gerektirmez.
- Az riskli : Ek ikaz bilgileri gerektirir.
- Yüksek Risk : Tamamlayıcı ve ek koruyucu önlemler gerektirir.
- Kabul edilemez risk : Yapısal önlemler kesinlikle gereklidir. [13]

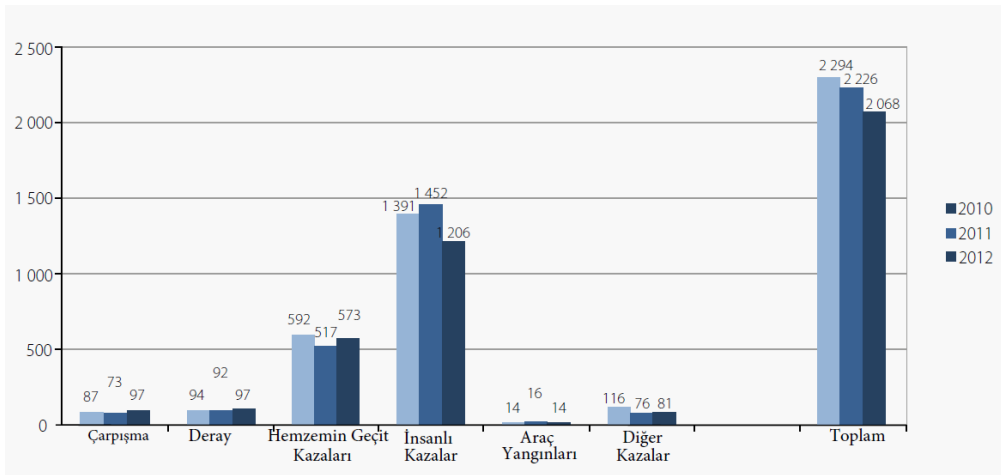
Tablo 3: FMEA analizi değerlendirme ölçütleri [13]

Olma olasılığı	Fark edilme olasılığı		Hatanın sıklığı		Risk Katsayısı				
Vahim hatalar	10	Fark edilemez	<90 %	10	Yüksek	1/10	10	1 < RK < 100	Kabul edilebilir risk
Ağır hatalar	8	Çok az	>90 %	9	Çok	1/50	8	100 < RK < 125	Az riskli
Orta ağırlıkta hatalar	7	Az	>98 %	6-8	Az	1/100	7	125 < RK < 250	Yüksek Risk
Anlamsız hatalar	6	Çok	>99,7 %	2-5	Çok az	1/200	6	250 < RK < 1000	Kabul edilemez risk
İhmal edilebilir	5	Yüksek	>99,99 %	1	Olası olmayan	1/500	5		
	4					1/1000	4		
	3					1/2000	3		
	2					1/20000	2		
	1					≈0	1		

Demiryolu Mühendisliği

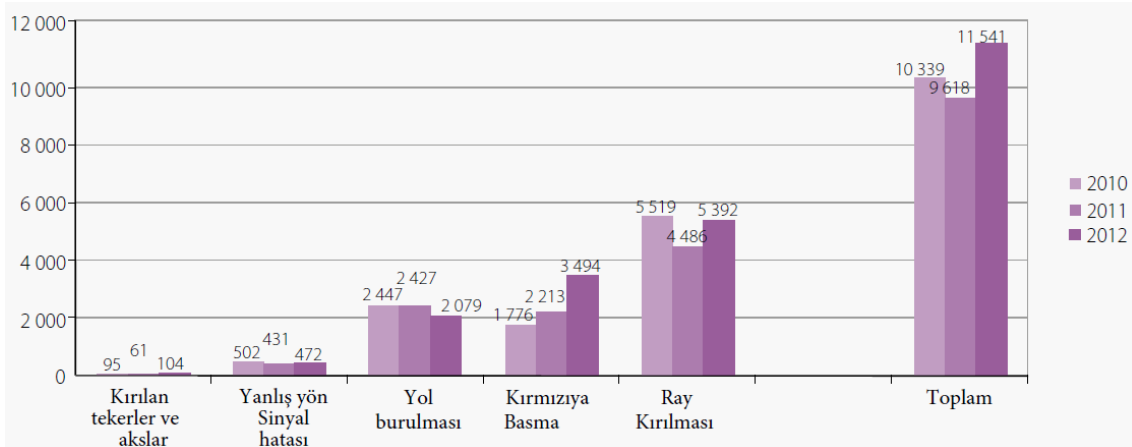
Çalışmada bu metodun seçilmesinde aşağıdaki sebepler etkili olmuştur [13]:

- Çok bilinen bir metod olması ve kolay anlaşılabilmesi
- Matematiksel değerlendirme metodu içermesi
- Çok derin bir uzmanlık bilgisi gerektirmemesi
- Çok fazla matematiksel hesaplama içermemesi
- Nicel bir değerlendirme sunmasının sonuçlara daha fazla güven duyulmasına sebep olması
- Tümevarım sistemi olması (olaydan etkilerine gitmesi)



Şekil 2: Avrupa Birliği bünyesinde 2010-2012 yılları arası yaşanan kazalar [8]

Sık yaşanan arızalar işletmeyi olumsuz yönde etkilediğinden değerlendirmede önem arz etmektedir. Avrupa Demiryolu Ajansı tarafından 2 yılda bir yayımlanan Demiryolu Güvenlik Performans Raporunda [10] gösterilen istatistikler de bu durumu desteklemektedir (Bkz. Şekil 2 ve 3). Almanya da 2015 yılında yaşanan kazalara bakıldığında 806 insanlı kaza, 411 çarpışma, 238 deray vakası ve 160 hemzemin geçit kazası yaşanmıştır [14]. Bütün bu rakamlar gösteriyor ki yaşanan arızaların sıklığı işletme üzerinde büyük etkilere sahiptir.



Şekil 3: Avrupa Birliği bünyesinde 2010-2012 yılları arası yaşanan kazaların sebepleri

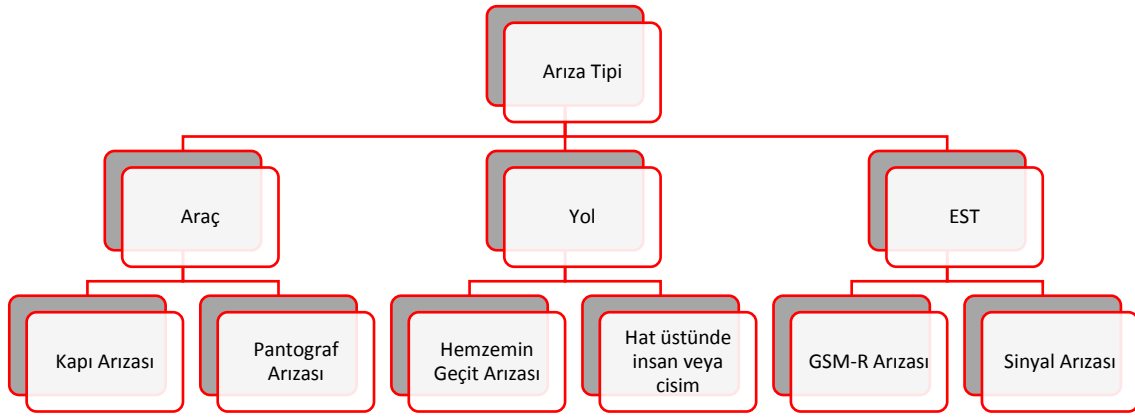
Demiryolu Mühendisliği

Otonom trenlerde ATO'nun ana görevlerinden biri de arızaların tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınmasıdır. Ama ilk başta da belirtildiği gibi sayısız hata kaynaklarından ATO'yu direkt olarak etkileyenlerin seçilmesi çalışmanın amacına hizmet edecektir. Örnek olarak kontrol merkezinde üzerinde yaşanan bir arıza ATO tarafından tespit edilmeyeceği gibi; raylar üzerinde yürüyen bir insan ATO tarafından tespit edilip acil fren yapılması gerekir.

3.2. Arıza Seçimi

Yukarıda yapılan değerlendirmeler neticesinde incelenmek üzere aşağıda belirlenen arıza tipleri seçilmiştir:

- Altyapı için : Hemzemin geçit ve hat üzerinde cisim veya insan bulunması
- Araç için : Kapı arızası ve Pantograf arızası
- EST (Elektrifikasyon – Sinyalizasyon – Telekomünikasyon) için : GSM-R arızası ve sinyal arızası.



Şekil 4: Seçilen arızalar

4. Demiryolu İşletmeciliğinde Arıza Yönetimi

Yedek Sistem (İngilizce Fallback): Birincil sistemin arıza yapması durumunda tüm sistemin çökmesini engellemek ve işletmenin minimum kapasitede sürdürülebilmesi için tasarlanan ikincil (yedek) bir sistem veya önlemler bütünüdür.

Aşağıda incelenen yedek Sistem yönergeleri DB 408.21-27 numaralı makinist yönetmeliğinin yardımı ile hazırlanmıştır [15].

Tanımlar

Sinyal Türü	Anlamı
ZP1 (Zugpersonal) sinyali	Uyarı düdüğü
Zp5 sinyali	Trende olağandışı bir durum olduğunda fren yapıp ve yardım istemek için kullanılır
Sh3 sinyali (Schutzsignal)	Acilen durma sinyali
Sh5 sinyali	Hemen dur! (Sh 3 verilemediyse ya da duyulmadıysa)

Demiryolu Mühendisliği

Komut 2	Kırmızıya basma ya da kırmızı da geçme durumu
Komut 8	Bir ya da birden fazla arızalı hemzemin geçitte durma komutu
Komut 12	Sınırlı Seyir modunda azaltılmış hız ile devam et!
Komut 12.1	Ek olarak yolun sürüş için güvenli olup olmadığını bildir.
BÜ 0 / So 16b (BÜ: Bahnübergang / So: Sonstige Signale)	Hemzemin geçitten önce dur. Güvenlik sağlandıktan sonra devam et.
BÜ 1 / So16a	Hemzemin geçit sürüş için uygundur.
BÜ 2 / So15	Kontrol sinyali bekleniyor.
BÜ 3 / So14	Hemzemin geçit kapatma sensörü.
T_NVCONTACT	DB'nin GSM-R için belirlediği kontrol sinyali süresi (40 saniye)
NE 14 Sinyali (Nebensignale)	ETCS SR modundaki trenler için durma noktası

4.1. Hemzemin Geçit Arızası (Yönetmelik 408.2671)

Karayolu ile rayların kesiştiği yerlere hemzemin geçit denir. Dolayısıyla her iki taraftan gelen araçlar için de potansiyel risk oluşturur. Bu sistemde trenlerin önceliği vardır. Bu nedenle her tren geçişinde hemzemin geçit korunmalıdır. Bu durum DB 208.2671 no'lu yönetmelik ile düzenlenir:

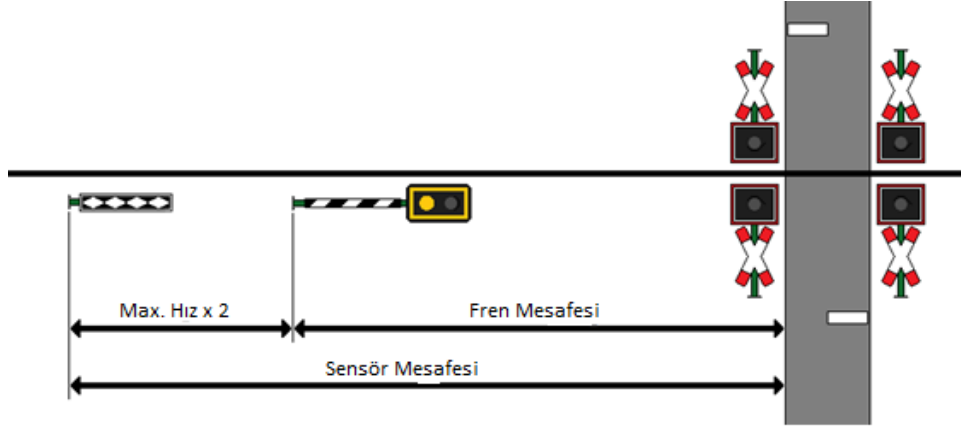
Eğer sürücü açık ya da yarı açık bariyer durumu fark ederse; uyarı düdüğü (ZP1) çalar. Eğer hemzemin geçit üzerinde olası bir çarpışma olasılığı görürse hemen acil fren yapmalıdır ve bu durumu dispeçere rapor etmelidir.

Eğer sürücü aşağıdaki durumlarla karşılaşarsa hemzemin geçit güvenliğini almalıdır:

- Hemzemin geçit güvenliği “Komut 8” ile düzenlendiyse;
- Tren Bü 2 ve Bü 3 sinyalleri arasında ise ya da en az 20 km/s ile gidiyorsa -İstisna: Bü 2 ile Bü 3 arasında bir durak/istasyonda durması veya Bü 2 / Bü 3 sinyali arasında kırmızıda durması

Arka arakaya olan hemzemin geçitlerde bazı sensörler tüm geçitleri düzenler. Bu durumda sürücü hangi hemzemin geçit için hangi sensörün olduğunu işaret ve km tabelalarından takip etmelidir.

Eğer sürücü bariyer ile hat arasında bir insan ya da araç görürse treni durdurup bariyeri açıp güvenliği sağlayıp tekrar kapatmakla yükümlüdür. (Açıp kapatmak için sürücü de özel anahtar bulunur. Sistem anahtarsız ise dispeçer kontrol odasından kontrol edilir.)



Şekil 5: Hemzemin Geçit

Hemzemin geçidin güvenliğinin sağlanabilmesi teknik olarak sensörler ile sağlanır. Sensörün olmadığı durumlarda sürücünün anahtar ile devreye soktuğu yardımcı sistem vardır. Eğer hemzemin geçidin güvenliğinin sağlanması teknik olarak mümkün değilse veya sensör/yardımcı sistem yoksa sürücü araçları ve yayaları ZP 1 sinyali ile uyarır. Sonra geçidi kesen karayolunun ortasına kadar “yürüme hızı” ile gelir ve hızlıca hemzemin geçidi terk eder. Düzensizlikler mutlaka dispeçere bildirilmelidir.

4.2. Hat Üstünde İnsan ya da Cisim Bulunması (Yönetmelik 408.2581 ve 408.2541)

Hattın veya rayların üstünde insan veya cisim bulunması durumunda çarpışma veya can kaybıyla sonuçlanabilir. Bu işletmede en istenmeyen durumlardan biridir. Bu durum yönetmelik 408.2581 ve 408.2541 ile düzenlenir:

Eğer sürücü bir tehlike sezerse ya da karşılaşırsa onu bertaraf etmek ya da etkisini azaltmak için sorumluluğu altında her şeyi yapmalıdır. Sürücü arızayı tanımlamalı ve yandaki hattı etkileyip etkilemediğini tespit etmelidir. Eğer etkiliyorsa Sh 5 sinyali gerektiğinde “Acil Duruş Emri” vermelidir. Acil duruş emrini sözlü olarak telsizle direkt diğer sürücülere iletebilir. Eğer LZB (Linienzugbeeinflussung) (trenlerin seyirinin kesintisiz otomatik kontrolü) ile donatılmış tren ise LZB-Acil-Duruş çağrısı yapabilir. Diğer tren sürücüleri çağrıyı alır almaz hızını maksimum 40 km/s düşürmeli ve Sınırlı Seyir modunda sürmelidir. Sonra sürücü dispeçer ile kontağa geçip acil durumun detaylarını bildirmelidir.

Sürücü hattı gözetlemeli ve yaklaşan trenleri Sh 3 gerekirse Sh 5 ile uyarmalıdır. Yola devam etmek dispeçerin onayı ile mümkündür. Dispeçer sürücüdün yönetmelik 408.2541’e göre hattın keşfini isteyebilir.

Yönetmelik 408.2541

Eğer kötü hava koşulları ya da tehlikeli durumlar (Fırtına, buzlanma, aşırı kar, sel, yangın, hayvan vs.) hattın güvenliğini tehdit ediyorsa; sürücü bu durumu inceleyip dispeçere bildirmelidir. Acil durum merkezi durumun raporlandığı bölgeden geçen trenlere hat boyunca kontrol yaptırmalıdır. Dispeçer bu tren sürücülerine Komut 12 ve 12.1 ile sınırlı seyir emri vererek, hattın trafiğe uygun olup olmadığını sormalı ve sonuçlarını istemelidir. İş saatleri dışında ise yolcusu olmayan tren ile bu işlem yaptırılmalıdır.

Demiryolu Mühendisliği

Sürücü buzlanmış oluklu ray veya hemzemin geçitlerde dingil basıncı hakkında dispeçeri bilgilendirmelidir. Eğer dingil basıncı 16t'dan az ise Komut 12 ile maksimum 30 km/s hızla geçebilir. Buz sarkıtları ile dolu tünellerde ise sürücü Komut 12 ile sürmeli ve tüm tehlikeli durumları rapor etmelidir. Dispeçer uygun gördüğünde hızı maksimum 80 km/s ile sınırlandırabilir.

4.3. Açık Kapı Arızası (Yönetmelik 408.2552 und 494.0251)

Kapı arızası durumunda yolcular trenden düşebilir. Bu nedenle kapı arızası yolcuların güvenliği için önemlidir. Bu durum yönetmelik 408.2552 ve 494.0251 ile düzenlenir:

Tren Hazırlanması Sırasında

Sürücü bütün kapıları kontrol eder ve bir ya da birden fazla kapının arızalı olduğunu görürse kapıyı el ile kapatır ve arızalı sinyal döngüsünden çıkarır. Ayrıca tüm treni adımlayarak kapıya cisim ya da canlı sıkışıp sıkışmadığını kontrol eder. Arızalı kapılar için içerden ve dışardan görülecek şekilde kâğıt asar. Daha sonra "Sürücü defteri" ve Trafik Cetveline yazar. Hareket edebilmek için baypas anahtarına basar. Kapı arızası ışığına rağmen hareket eder. Bu durumu dispeçere bildirir.

Sürüş Esnasında

Eğer perondan çıkmamışsa hemen seri fren yapar ve yukarıdaki işlemleri uygular. Perondan çıkmışsa yolcuların kapıdan uzak durmasını anons eder ve bir sonraki planlı duruşa kadar gider ve yukarıdaki işlemleri uygular.

4.4. Katener Arızası (Yönetmelik 408.4851)

Katener arızası trenin durmasına sebep olur. Doğru zamanda alınacak önlemler olmazsa yangın, çarpılma gibi yan felaketselere sebep olabilir. Bu sebepten alınacak önlemler yönetmelik 408.4851 ile belirlenmiştir:

Bozuk kaldırılmış pantograf veya dalgalanan katener teli arızası fark edildiğinde Yönetmelik 408.2541 hükümleri uygulanır. Sürücü durumu dispeçere rapor eder ve tren dispeçerin kararına göre yola devam eder.

Eğer sürüş sırasında yemekli vagonun pantografının kalkmış olduğu fark edilirse tren hemen durmalı ve pantograf indirilmelidir. Eğer indirilemez ise bir sonraki istasyonda yemekli vagon kesilmelidir.

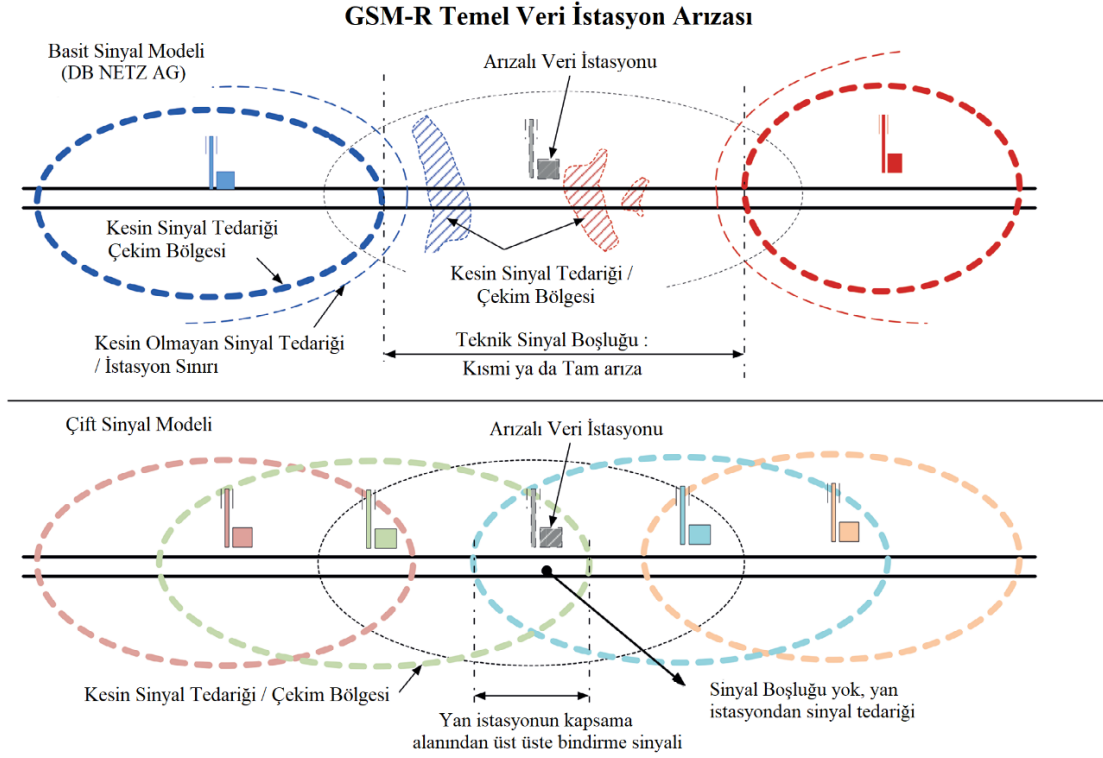
4.5. Sinyal Sönük ya da Açık Şekilde Görülmüyor, Sinyal Arızalı (Yönetmelik 408.2661)

Tren, sinyal arızası durumunda trenin yan bloğa girmesine buna bağlı olarak iki trenin çarpışmasına, deray vb. neden olabilir. Ayrıca bir sürü plansız gecikmelere sebebiyet verir. Bu durum yönetmelik 408.2552 ve 494.0251 ile düzenlenir:

Eğer sinyal kısmi ya da tam arızalı ise veya ışığı yanmıyorsa sürücü dispeçere bilgi vermelidir. Sürücü ışığı tam olarak görmeli ve anlamalıdır. Eğer bu şart sağlanmazsa en katı önlemler alınır. Sinyal kırmızıymış gibi fren yapılır.

4.6. GSM-R Arızası (Yönetmelik 408.2661)

GSM-R demiryoluna özel bir mobil iletişim sistemidir. ETCS sisteminin alt sistemi olan GSM-R ile haberleşme sağlanır ve sürüş bilgileri taşınır. Trenin kesintisiz takibi için en önemli bileşenlerden biridir. Bu sisteme meydana gelen arızanın işletmeye çok ciddi etkileri vardır.



Şekil 6: GSM-R Sinyal Modelleri

Radyo ağı öyle planlanmalıdır ki, arıza durumunda hiçbir şekilde sinyal boşluğu olmamalıdır (Bkz. Şekil 6). Böylece kumanda merkezi ile irtibat kopmamalıdır. Ancak buna rağmen birden çok istasyon aynı anda arıza yapabilir ve bir sinyal boşluğu oluşabilir. Bu arızanın düzenlenmesi yönetmelik 408.2661 ile yapılır:

Çıkış istasyonunda arıza durumu

Tren sefere hazırlanırken bu durum fark edilirse dispeçere bilgi verilir ve gerekli önlemler alınır.

Sefer sırasında arıza durumu

Eğer sürüş sırasında sinyal bağlantısı 40 sn. (T_NVCONTACT) boyunca koparsa bu durum GSM-R arızası olarak kabul edilir. Bu durumda sürücü derhal durmalı ve dispeçer ile irtibata geçmelidir. Ancak tren frenleme esnasında bağlantıyı tekrar kurarsa yeni sürüş bilgilerini alır ve yoluna devam eder.

Eğer sürücü durduktan sonra GSM-R ile kumanda merkezi ile irtibat kuramazsa P-GSM (normal cep telefonu ya da roaming) veya telsiz ile iletişimi dener.

Demiryolu Mühendisliği

Bildirimden sonra dispeçer sürücüye kendi sorumluluğunda (Staff Responsible) sürüş izni verebilir veya beklemesini başka önlemlerin alınacağını belirtir. Bunun için arızanın 15 dakikadan az mı çok mu olacağını kestirmeye çalışır.

Eğer 15 dakikadan kısa ise sistemin geri gelmesi beklenmeli ve trenin kontrolünün kumanda merkezine geçmesi beklenir. Eğer 15 dakikadan fazla ise sistem “arızalı sinyal alanında sürüş” moduna alınmalıdır. Bu mod bu bölge için dispeçer ve sürücü tarafından sisteme girilir ve aktif edilir. Aksi takdirde tren 40 sn. sinyal alamayacağı için her 40 sn. bir frenlemek zorunda kalır. Dispeçer bu arızaya takılan trenlerden birini keşif treni olarak belirler. Bu tren sonraki NE 14 tabelasına kadar maksimum 40 km/h ile gider. Sürücü tüm durumları dispeçer ile paylaşır (Arızanın sınırları).

Keşif sürüşü sırasında tren sistem ile bağlantı kurup sürüş bilgilerini alabilir. Bu durumda sinyal boşluğunu hemen terk etmelidir ve FS (Full Supervision-otomatik sürüş) moduna geçmelidir.

Sinyalsiz bir alandan geçmek

Keşif treninin verdiği bilgiler ışığında kumanda merkezi sinyalsiz alanın sınırlarını belirlemelidir. Bu alan genişletilmelidir. Başlangıç olarak sinyalsiz alanın başlangıcından önceki NE 14 tabelası veya ana sinyal alınmalıdır. Bitişi ise bir sonraki NE 14 tabelası veya ana sinyal (en az 1000m uzakta) olmalıdır. Bu belirlenen alan sisteme girilmelidir. Sinyalsiz alanda sürüş yapacak tren bu alana girmeden önce son sürüş bilgilerini almalıdır. Bu paket:

- Maksimum hız 160 km/h
- Arızalı sinyal alanında sürüş modu
- “Dur” balisesinin aktif olduğu bilgilerini içerir.

Tren sinyalsiz alanın girişinden çıkışa yaklaşıncaya kadar GSM-R ile bağlantı kurmaya çalışmaz. Kumanda merkezi ile irtibat kurunca yeni sürüş bilgilerini alır ve yoluna devam eder.

5. ATO Sisteminde Arıza Yönetimi

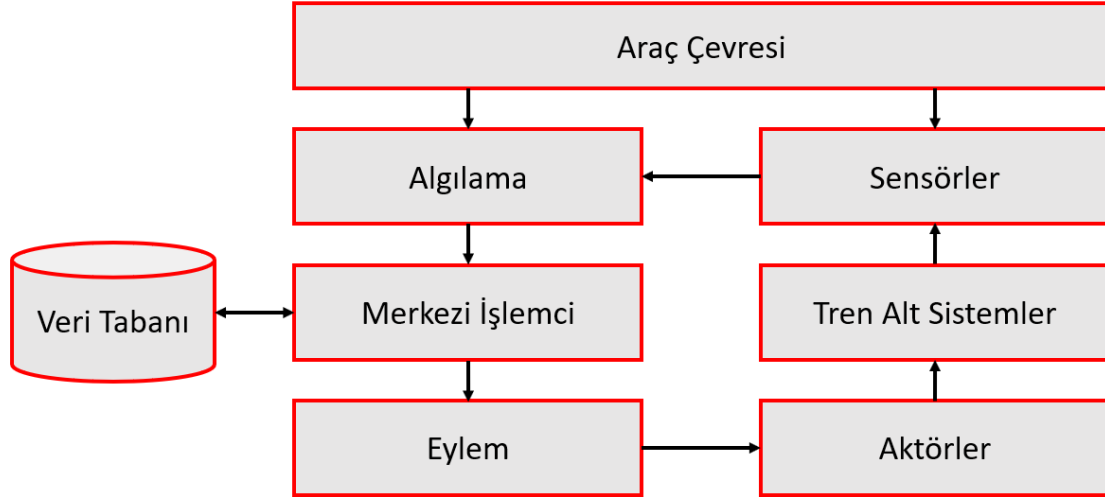
GoA 4 ile yukarıdaki yönetmeliklerde belirtilen önlemlerin hepsinin ATO tarafından yapılması gerekir. Bunun anlamı trende sürücü ya da tren şefi bulunmaz. Bu durumun çözümü için bazı teknik gereksinimlere ihtiyaç vardır.

Sistemsel Gereksinimler

Önceki bölümde de açıkça görüldüğü gibi sürücü arıza yönetiminde aktif bir role sahiptir. Özellikle bilgi birikimi ve içgüdüsel deneyimleri tehlikeyi önleyebilme gibi bir yeteneğe sahiptir. Kapı arızası ya da hemzemin geçit arızasında olduğu gibi sürücü kabinini terk etmesi gereken durumlar da söz konusudur. Bütün bu insani özelliklerin ATO sistemine aktarılması gerekmektedir. İnsanın görsel algılama yeteneğinin sensörler ile sisteme aktarılması elzemdir. Algılama ve çözümleme algoritmaları ile (resim ya da video algoritması) sensörük veriler işlenmelidir. İşlenen verilerden tehlikeli bir durum olduğunun anlaşılması için bir veri tabanına ihtiyaç vardır. Merkezi işlemci durumu algıladıktan sonra yapılacak eylemi (acil fren, Sh 1 sinyali vs.) ilgili aktöre (fren sistemi, GSM-R vs.) iletir. Ayrıca ATO'nun uygulanabilmesi için ETCS L2 temel gereksinimdir. (Bkz. Şekil 7)

Demiryolu Mühendisliği

Bu çalışma şekilde gösterilen sistem bileşenlerinin sistemselsel olarak var olması üzerine kurulmuştur. Gelecek bölümlerde arızalar ve alınacak önlemler ATO sistemine göre algoritmik olarak tanımlanacaktır.



Şekil 7: ATO'nun uygulanması için sistem mimarisi

Günümüzde dispeçer ile iletişim konuşma dili ile yapılmaktadır. Konuşma dili dokümanları belirsizdir, çünkü konuşma dillerinin söz dizimi ve anlamsal tanımları her zaman yorum için yer bırakır. Bu durumun çözümü ATO sistemi içinde “yapay zekâ” kullanımı ile mümkündür. Konuşma dilinin aksine, bilgisayarlar biçimsel dillere göre çalışır. ATO sistemini doğru ve benzersiz bir şekilde tanımlamanın tek yolu, mantıksal yönelimli, biçimsel matematiksel tanımlama dillerini kullanmaktır. Bu çalışmada algoritmik tanımlamalar için UML ve karar tabloları kullanılmıştır. Algoritmanın anlaşılması için bazı durumlar biçimsel dil ile örneklendirilmiştir (Bkz. Tablo 4).

Message_ID : Mesaj içeriği ile ilgili başlık

Status_ID : Bu ID ile ilgili sistemin hakkında ya da dış tehlikeyi tanımlama

Failure_ID : Araç içinde bulunan veri tabanında tanımlanan arıza kodu

Tablo 4: Mesaj Kodları ve tanımlamaları

Mesaj_ID'si	Tanımlama	Örnek
msg_dest	Mesaj alıcısı	msg_dest_Frankfurt_KM
msg_source	Mesaj Göndericisi	msg_source_Tren_14253
f_msg	Arıza Mesajı	f_msg_LC_Ariza_HemzeminG123
status_msg	İlgili alıcının durum bilgisi mesajı	status_msg_kapı_açık
MA_msg	Sürüş bilgileri (MA) mesajı	MA_msg_sürüş_izni_SR
emergency_msg	Acil durum Mesajı	emergency_msg_acil_durma_x,y,z
high_priority_msg	Öncelikli Mesaj	high_priority_msg_arızalı_sinyal_alanında_sürüş

Demiryolu Mühendisliği

5.1. ATO Sisteminde Hemzemin Geçit Arızası

Bölüm 4.1'deki yönetmeliğe göre sürücünün en önemli görevi yolu gözleme ve tehlikeyi tanımlama olarak anlatılmıştır. ATO sisteminde bu görevi Sensörler üstlenir.

Tablo 5: Hemzemin geçit arızası için karar tablosu

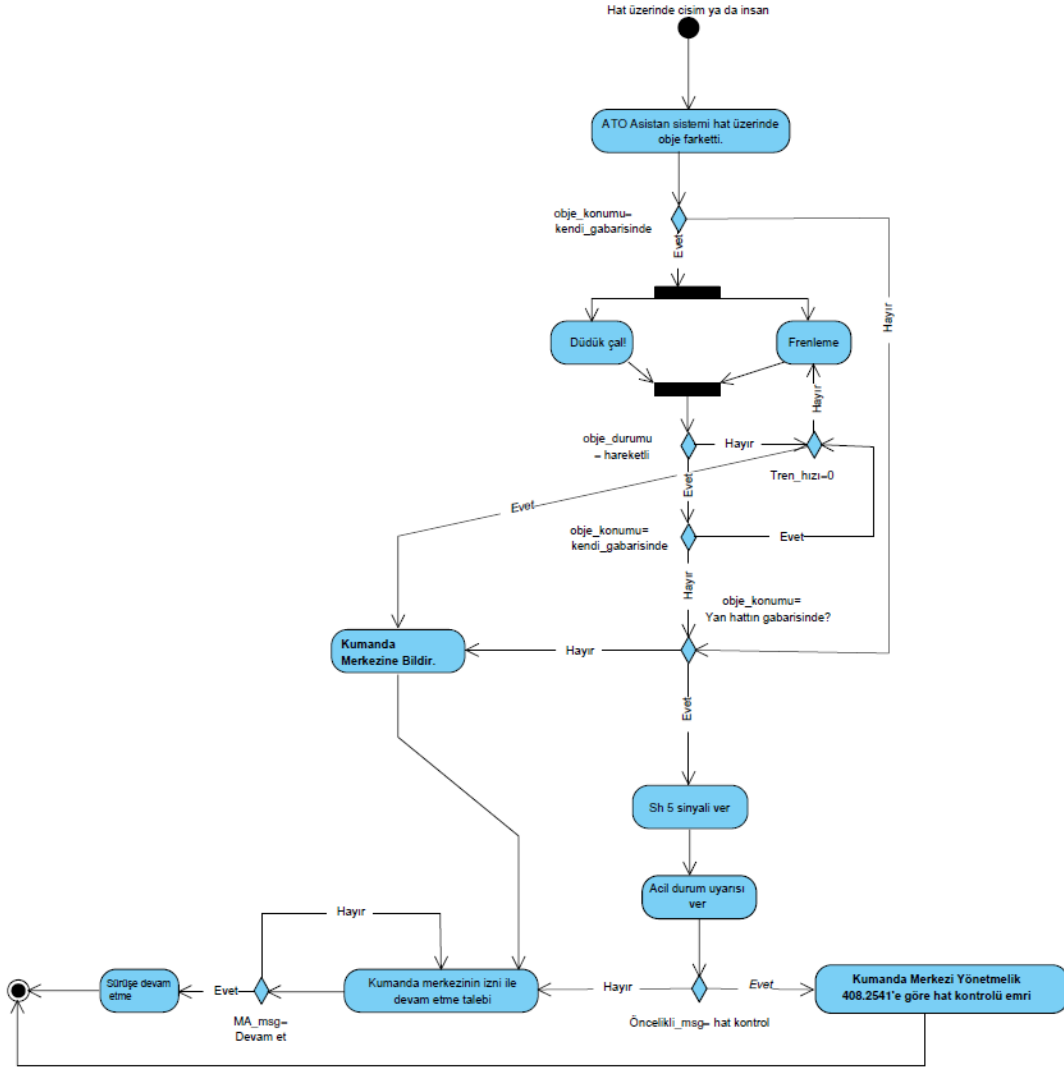
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
B1	BÜ3 Balisesini geçti mi?	E									
B2	BÜ3 ve BÜ2 arasında duruş var mı?		E								
B3	Trenin hızı 20 km/h az mı?			E							
B4	Otomatik kapatma sensörü arızalı mı?					E					
B5	Hemzemin Geçit Cadde sinyali kırmızı mı?						E	E / H			
B6	Bariyerler inik mi?						E	H / E			
B7	Hat üzerinde araç ya da insan var mı?								E		
B8	Kayıt defterinde Komut 8 ya da uyarı var mı?									E	
B9	Kapanmamış Bariyer var mı?										E
B10	BÜ2 ve BÜ arasında duruş var mı?				E						
A1	Hemzemin geçit kapanmaya başlar	X									
A2	Teknik güvenlik gerekli değildir.		X	X	X						
A3	Hemzemin geçit geçiş için güvenlidir.						X				
A4	BÜ 2 Kontrol sinyali bekleniyor.							X			
A5	BÜ1: hemzemin geçit geçişe uygundur.						X				
A6	Bü 0: hemzemin geçitten önce dur! Geçiş güvenliği sağlandıktan sonra git.								X	X	
A7	Zp 1 sinyali ver!					X					X
A8	Yürüyüş hızında sür.					X					
A9	Komut 12 ve 12.1 ile sür!										X
A10	Düzensizlikleri dispeçere bildir.					X			X		X
A11	Acil fren yap.								X		X
A12	BÜ geçişe uygun değildir.					X		X	X		X
A13	Hemzemin geçidi güvene al. Araç ya da insanı dışarı çıkardıktan sonra devam et.								X		

Teknik olarak Sensörler 10^{-9} hata oranına sahipken insanda bu oran 10^{-3} 'e düşer [12]. Sensörler hatayı tanımlama da insana göre zaman ve mesafe olarak daha iyi olsalar da bazı dezavantajları vardır. Sensörün yanlış algılaması durumunda merkezci işlemci en sert önlemleri alır. Bu durumda gereksiz acil duruşlara ve işletmenin sık sık aksamasına neden olur.

Demiryolu Mühendisliği

Komuta merkezi ile sürücünün alınacak önlemlerde anlaşması için gerekli süre 310 sn. [29] iken bu rakam yarısından daha az süre içinde gerçekleşir. Algılama, reaksiyon ve tepki süreleri de Sensörler ile ciddi anlamda düşer. Özetle ATO sisteminin şimdiki sisteme göre avantajları çok olsa da yatırım maliyetleri çok yüksektir. Ayrıca sensörlerin bakım masrafları da ciddi rakamlar tutacaktır.

5.2. Hat Üstünde İnsan ya da Cisim Bulunması



Şekil 8: Hat üstünde insan ya da cisim arızası ATO UML algoritması

Bu arıza tipinde en büyük risk cismin tanımlanmasındadır. ATO sisteminde bunun için resim veya video işleme algoritmaları vardır. İşlenen veri veri tabanı ile karşılaştırılır ve uygun olana göre önlem alınır. Ancak sistem veri ile ilgili bir bilgi eşleşmesi yapamazsa en sert önlemleri (acil fren gibi) alır. Bu noktada sürücünün olması büyük avantajdır. İnsan algısı ile tehlikenin büyüklüğünü ve önceliklerini (insan, hayvan, cisim vs.) tahmin edebilir.

ATO sisteminde tanımlanan bir tehlike alanı (Gabari gibi) sistemin işleyişini kolaylaştırır. Sürücünün yolu gözetlemesi hatta yan hatta meydana gelen tehlikeyi sezmesi bu alan

Demiryolu Mühendisliği

yardımları ile yeni sisteme aktarılabilir. Hatta sistemde geliştirilecek bir “Engel tanıma sistemi” uzaklık, zaman ve güvenlik olarak daha avantajlıdır. Ancak bu tür hala geliştirme sürecinde olup maddi olarak çok masraflıdır. Ayrıca tehlike alanının içine girip çıkan cisimlerinde (kuş gibi) sistemi meşgul etmemesi gerekir.

Arıza süresi ise aşağıda ki faktörlere bağlıdır:

- Objenin üstünden geçildi.
- Objenin üstünden geçilmedi, ancak hala hattın üzerinde,
- Objenin üzerinden geçilmedi ve obje hat üzerinde değil.

İlk durum için saatler süren bir süreç gerekebilir çünkü acil durum eylem planının devreye girmesi gerekir. Ancak bu durum ATO tarafından ilgili kumanda merkezine iletilmelidir. Diğer iki nokta için ise ATO'nun değerlendirme sistemi içine girer ve olay gerçekleşmeden önce önlemleri alır, gerekli merkezleri bilgilendirir.

5.3. Açık Kapı Arızası

Tablo 6: Kapı arızası için karar tablosu

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
B1	Kapı arızası sinyali?	E	E	E	E	E	E	E
B2	Tren peronda mı?		E	E	H	E	E	E
B3	V=0?		H	E	H	E	E	E
B4	Kapı kod durumu kırmızı?					E		
B5	Kapı kod durumu kapalı?						E	
B6	Kapı kod durumu turuncu?							E
A1	Kapı arızası	x	x	x	x	x	x	x
A2	Kumanda merkezine bildir					x	x	x
A3	Yolcuları kapının arıza olduğu hakkında bilgilendir.							x
A4	Bir dahaki istasyona kadar devam et.				x			
A5	Kapının kontrolü için yetkiliyi çağır.			x				
A6	Sefer iptal. Yolcuları bilgilendir.					x		
A7	Yolcuları kapıdan uzak durmaları konusunda uyar.				x			
A8	Fren yap.		x					
A9	Kumanda merkezinin izni ile devam et.		x					x

Bugünkü sistemle ATO arasındaki en önemli fark sürücünün kapı arızasını kontrol etmesidir. Ancak ATO sistemi arızayı sadece tanımlar ve durumu kumanda merkezine bildirir ve bir sonraki istasyona kadar gider. Oraya yönlendirilen yetkili biri kapıyı kontrol eder ve durumu merkeze bildirir. Kapalı, kırmızı ve turuncu ışık ile ifade edilen kapı durumu ATO sistemine kumanda merkezi tarafından bildirilir. Burada kapalı kod arızanın giderildiğini, turuncu kod arızanın giderilemediğini ancak kapının kilitlenerek kullanım dışı kaldığını ve kırmızı kod ise kapı arızasının giderilemediğini, kapının kapatılmadığını seferin iptal olması gerektiğini ifade eder. Turuncu kodda ATO kapı tabelasına “kapının arızalı olduğunu ve diğer kapıların kullanılması gerektiğini yansıtır. Kırmızı kodda ise

sefer iptal anonsu ile yolcuların treni boşaltması gerektiğini bildirir. Bu sistem çok fazla sensörük destek aldığından daha masraflıdır. Zamansal olarak ise yetkilinin kontrol etme hızına bağlıdır.

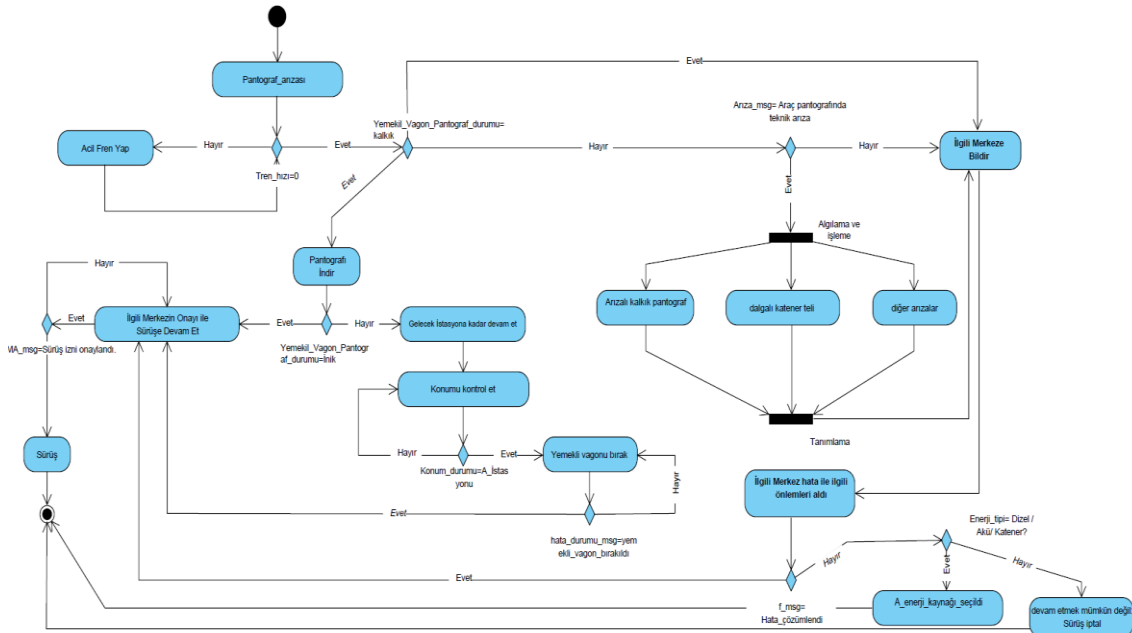
5.4. Pantograf Arızası

Arızanın tespiti sistem tasarımının en önemli kısmıdır. Bu görev yine Sensörler aracılığı ile sağlanır. Pantografin inik ya da kalkık olması kolayca tespit edilir ancak katener telindeki düzensizliklerin (keskin dalgalı olması gibi) tespiti için daha hassas Sensörler tasarlanmalıdır. Ancak arızanın fark edilmesi sonrasında teknik ekip arızanın giderilmesi için gerekli önlemleri alır ve kumanda merkezinin izni ile araç hareket eder. Gerekirse teknik ekipten önce kumanda merkezinin emri ile araç enerji kaynağını değiştirerek (dizel, akü vs.) arıza alanını terk eder ve yoluna devam eder. (Bkz. Şekil 5.2)

Yemekli vagonun çıkarılması konusunda ise istasyonda yetkili kişinin kontrolü ile yapılır ve kumanda merkezi ile trene bildirilir veya ikincil bir kontrol şalteri ile pantograf devre dışı bırakılır.

5.5. Sinyal Arızası

Bu sistemin kurulabilmesi için ön şartlardan biri ETCS L2 olduğundan dolayı sinyal arızası ATO sisteminde mevcut değildir. Çünkü ETCS L2’de sürüş bilgileri GSM-R sistemi üzerinden gelir. Ancak ATO sisteminin gelen elektronik verileri (Sürüş bilgileri) çözümleyememesi söz konusu olabilir.



Şekil 9: Pantograf arızası ATO UML algoritması

Bu durumda tren hemen durmalı, kumanda merkezi ile irtibata geçmeli sistemin verileri çözümleyebilmesi sağlanarak yola devam etmeli ya da OnSight (görerek sürme) modunda bir sonraki duruşa kadar gitmeli ve teknik ekibin müdahalesi ile çözüm üretilmelidir. Eğer bu mümkün değilse sefer iptal edilmelidir.

Demiryolu Mühendisliği

5.6. ATO Sisteminde GSM-R Arızası

GSM-R sistemi tren ile sürücü arasında iletişimi ve tren ile kumanda merkezi arasındaki sürekli bağlantıyı sağlar. Anlık sürüş bilgilerini kumanda merkezinden alır ve tren ile ilgili bilgileri kumanda merkezine iletir. Arıza durumunda 4.6’da incelendiği gibi sürücü bağlantının koptuğu durumlar için kumanda merkezi ile farklı iletişim kanallarından kontak kurarak arızanın çözümü için önlemleri uygular. Bunlardan biri de sürücünün kendi sorumluluğunda sinyal boşluğundan çıkıncaya kadar OnSight ile gitmesidir. Ancak SR modunun ATO sisteminde nasıl uygulanacağı muallaktır. Çünkü sinyal bağlantısının olmadığı ve sistemin rotayı, sürüş bilgilerini tanımlamadan SR modunda sürmesi için sistemin insancıl önseziyle sahip olması gerektiği öngörülmektedir.

Diğer yandan sinyalsiz alandan geçen bir tren için büyük riskler vardır. Örnek olarak tam olarak yaslanmamış bir makas için ya da tam güvenliği sağlanamamış hemzemin geçit için trenin durması gerekir. Böyle acil durumlar için belirli aralıklarla kurulan baliseler vardır. Ancak yeni sistemde bu baliselerin her saha elemanından (makas, hemzemin geçit vs.) önce kurulması gerekir ki ancak bu şekilde trenin güvenliği sağlanabilir. (Bu baliseler kablolu olmalıdır çünkü sinyal arızası durumu için tasarlanmıştır.) Bu durumda ETCS L2 sistemin ekonomik olması durumu ile ciddi olarak çelişir.

Trenin sinyal boşluğunda kalması veya araca teknik ekip gönderilmesi ise uzun bekleme sürelerine ve işletmesel akşamlara sebebiyet verir.

Tablo 7: GSM-R arızası için karar tablosu

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
B1	Bağlantı kopması 40 sn sürdü mü?	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
B2	Tren çıkış istasyonunda mı?		E	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
B3	40 sn süre içinde ya da acil fren durumunda tren GSM-R ile bağlantı kurdu mu?			H	E								
B4	Tren hızı 0?			H	H	E	E	E	E	E	E	E	E
B5	Tren dururken bağlantı sağlandı mı?					E	H	H	H	H	H	H	H
B6	Arıza >15 dk?							H	E	E	E	E	E
B7	Keşif treni modu aktif mi?								E	H	E	H	H
B8	Sinyal boşluğunda hala aktif sinyal var mı?										E		
B9	Sinyalsiz alandan geçme modu aktif mi?											E	E
B10	Sinyal boşluğunun başında mı?											E	
B11	Sinyal boşluğunun sonunda mı?												E
A1	GSM-R telefon arızası/ Sürüş bilgileri arızası/ iletişim kopukluğu	X	X	X	X	x	X	X	X	X	X	X	X
A2	Acil fren			X									

Demiryolu Mühendisliği

A3	Kumanda merkezinin izni ile devam etme		X			x							
A4	Önlemlerin alınması		X										
A5	Devam etme				X								
A6	GSM-R siteminin geri gelmesini bekleme							X		X			
A7	SR modu ile devam etme							X	X				
A8	ETCS kumanda merkezinin kontrolü devralması							X			X		X
A9	Sürüş modunu SR olarak değiştirme							X	X				
A10	SR modu ile bir sonraki NE 14 levhasına kadar devam etme								X				
A11	Hızlıca sinyal boşluğunu terketme										X		
A12	SR modu ile devam etme												
A13	Komut 12 ve 12.1 ile sürüşe devam etme								X				
A14	Sinyalsiz alanın içinden geçmek için sürüş bilgilerini alma											x	
A15	Sinyalsiz alanda GSM-R bağlantısını kapatma											X	
A16	Sinyalsiz alanda sürüş											X	
A17	Sinyalsiz alanda GSM-R bağlantısını açma												X
A18	Merkezi bilgilendirme		X	X	X	x	X	X	X	X	X	X	X
A19	ETCS kumanda merkezinin sinyalsiz alanda sürüş modunu aktif etmesi						X	X	X	X	X	X	X

5. Sonuç

Bu çalışma çerçevesinde demiryollarında olası arızalar sistematik olarak toplandı. Arızaların işletmeye olan etkileri FMEA-Analizi yardımı ile incelendi. Arızaların sıklık ve ATO sistemine direkt etki parametrelerine göre de ele alındıktan sonra örnek arızalar seçildi. Bu arızalara bugünkü yönetmeliklere göre alınacak önlemler incelendi. Daha sonra ATO sisteminde GoA4 uygulanacak olması durumunda sürücünün görevlerinin sisteme nasıl aktarılacağı araştırıldı. Olası çözümler ve kabuller UML-Diyagramları ve karar tabloları yardımı ile algoritmaları yapıldı.

Sonuç olarak yeni sistemin sürücünün görevlerini ATO üstleneceğinden birçok görsel ve işitsel sensöre ihtiyaç duyulacaktır. Bu sensörlerin kurulum ve bakım masrafları ciddi bir yekûn tutacaktır. Ayrıca sensörlerle elde edilen veriler düzgün işlenemez ya da işlenen veri doğru eşleştirilemez ise (gabariye giren kuş gibi) sistemde aksaklıklar meydana gelir.

Bu da kapasitenin düşmesine, istenmeyen beklemelere ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olur.

Uyum sürecinde yeni sistemin eski sistemlerle birlikte çalışması mümkün değildir. Sistem ya sürücü ile ya da sürücüsüz çalışmalıdır. Ancak yeni yapılan hatlarda veya diğer hatlardan izole biçimde çalışmayı gerektirir. Kısacası geçiş süreci kompleks ve masraflıdır.

Özetle sürücünün görevlerinin büyük bir kısmı Sensörler ile ATO sistemine aktarılabilir. Ancak çelişkili ve insana özgü deneyimlerin sisteme aktarılabilmesi için bir tür “yapay zekâ” algoritmaları kullanılarak yazılım geliştirilmelidir. Çalışmanın sonunda formüle edilen amaç ve hedeflere ulaşıldı. Seçilen arıza türleri için ön kabullerle birlikte oluşturulan diyagramlar bilgisayar programları ile simüle edilebilir. Gelecekte demiryollarında sürücüsüz trenler için yapılacak çalışmalara yol gösterecektir.

Kaynakça

- [1] Gralla, Christoph: Sind wir bereit für den fahrerlosen Verkehr im Nah- und Fernverkehr? Signal + Draht, 4/2016, s. 6-16
- [2] Zastrow, Kai Frederik, Dissertation - Analyse und Simulation von Entstörungsstrategien bei der Automatisierung von U-Bahnsystemen, TU Berlin, 2000, s. 2
- [3] Haas, Jürgen, Rückfallebenen für Streckenausrüstung ETCS Level 2 ohne Signale, SIGNAL + DRAHT 10/2015, s. 6-10
- [4] Aparna, S.; Sujatha Priyadharshini, A., Emergency Management of Urban Rail Transportation Using CBTC System, PRIST University, Thanjavur, India, März 2015
- [5] ERTMS/ETCS SUBSET-026-4, V. 3.6.0- System Requirements Specification Chapter 4 Modes and Transitions, ERA (European Railway Agency), 05/2016
- [6] Jazdi, N., Zuverlässigkeit und Sicherheit von Automatisierungssystemen, Uni-Stuttgart, 2015
- [7] Üyümez, Bilal, Bahnsystem und Bahntechnik, TU Darmstadt, 2017
- [8] FTA Analyse der türkischen Staatsbahn, Abteilung des Risiko- und Sicherheitsmanagement, Ankara, 2017
- [9] Günther, Oliver, Ril 420.9001, Kodierung der Zusatzverspätungen, Deutsche Bahn AG, 2014
- [10] Railway Safety Performance in the European Union, ERA (European Railway Agency), 2016
- [11] http://db-livemaps.hafas.de/bin/query.exe/dn?tpl=fullscreenmap&L=vs_baustellen&useZoomDependentPrio=false , Bakılma Tarihi 26.05.17
- [12] BS EN 50126-1, Railway applications The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), British Standards, Mai 2010
- [13] Braband, Jens; Brehmke, Bernd-E., et al. Die CENELEC-Normen zur Funktionalen Sicherheit, Hamburg, 2006
- [14] Eisenbahnunfalluntersuchung, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur , Bonn, 2016
- [15] Villioth-Ebert, Heike, Richtlinie 408.21 – 27, Fahrdienstvorschrift; Deutsche Bahn AG, 2016
- [16] <http://www.berliner-verkehrsseiten.de/u-bahn/Stellwerke/Zugsicherungstechnik/STAR/star.html> , Bakılma Tarihi 26.05.17
- [17] Börcsök, Josef, Funktionale Sicherheit, VDE Verlag, Berlin, 2015, S.479-485
- [18] Hermann Winner, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2012
- [19] Pascoe, Robert D., What is Communication-based Train Control?, IEEE Vehicular Technology Magazine, December, 2009, s.17-21

- [20] Befehle 1-14, Deutsche Bahn AG, http://www1.deutschebahn.com/file/fahrweg-de/10223642/gzU4Va4w7LuJDbVQDAQ6BK19Hs4/10228382/data/rw_302.3000V01.pdf Bakılma Tarihi 16.06.2017
- [21] <http://www.stellwerke.de/signal/deutsch/sp.html>, , Bakılma Tarihi 22.06.17
- [22] Hörksen, Dieter; Griese, Reinhard, Ril 494.0251, Technisch Einrichtungen am Zug bedienen Selbstabfertigung durch den Tf. (SAT), DB Regio, 2001
- [23] <http://www.omg.org/spec/UML/2.3/Infrastructure/PDF/>, , Bakılma Tarihi 14.07.17
- [24] http://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/62_Dokumentationstechniken/623_Entscheidungstabellen/entscheidungstabellen-node.html , Bakılma Tarihi 26.07.2016
- [25] Lemke, Oliver, Modellbasierte Anforderungsspezifikation sicherheitskritischer Systeme im Bahnbereich – Beschreibungsmittel und ihre Anwendung, Technischen Universität Carolo-Wilhelmina, 2010
- [26] http://www.schmidt-bernd.eu/philosophie/systemtheorie/kuenstliche_intelligenz/2_PECSAgent/PECSAgent.pdf , Bakılma Tarihi 10.08.17
- [27] Lindner, Tobias, et al., Betrachtungen zur Zuverlässigkeit des Triebfahrzeugführers, EI-Eisenbahningenieur, Januar 2014, s. 10-16
- [28] Lindner, Tobias, Entwicklung einer Methode zur Bewertung unterschiedlicher Rückfallebenen, SIGNAL + DRAHT, 5/2012, s. 37-39
- [29] Kämmerer, Florian Rudolf, Entwicklung eines Kennzahlensystems für Effektivität des Bahnbetriebs bei Abweichungen vom Regelbetrieb, Institut für Verkehr der TU Darmstadt FB Bahnsysteme, 2017

Özgeçmiş



Sinan Küçük

1 Aralık 1986 tarihinde Konya’da dünyaya geldi. Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği’nden mezun oldu. Üniversite eğitiminden sonra YLSY Programı ile TCDD adına bursiyer olarak Almanya Darmstadt Teknik Üniversitesi’nde yüksek lisans eğitimini tamamladı. Halen TCDD Genel Müdürlüğü Kapasite Yönetim Dairesi’nde çalışıyor. Çalışma alanları: ETCS Seviye 3, Otonom trenlerin arıza senaryoları ve EYS analizleri, Kapasite geliştirme analizleri ve Şebeke Bildirimi.