



Daha Emniyetli İşletme İçin Bağımsız Hemzemin Geçit Çözümü

Çağla ADALI^{*1,2}, Güray KERA²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Yapı Merkezi İDİS Mühendislik Sanayi ve Ticaret A.Ş., Araştırma ve Geliştirme Departmanı, İstanbul, Türkiye

*cagla.adali@ymidis.com.tr

(Alınış/Received: 12.03.2024, Kabul/Accepted: 26.04.2024, Yayınlama/Published: 31.07.2024)

Öz: Hemzemin geçitler, demiryolu emniyetinde kritik noktalar olup, dünyadaki demiryolu kazalarının çoğu hemzemin geçitlerde meydana gelmektedir. Bu konu Avrupa istatistiklerine kıyasla Türkiye’de daha kritiktir. Çoğu durumda karayolu araç sürücülere hemzemin geçitlerde kazalara neden olsa da, kaza olasılığını azaltmak için emniyet açısından geliştirilmiş hemzemin geçit sistemleri kullanımının faydası yadsınamayacak kadar fazladır. Bir hemzemin geçit sisteminin emniyet özelliklerini geliştirmek için bazı önemli noktaların tanımlanması gerekir. Bunlara ek olarak, SIL 4 uyumluluğunun sağlanması hem rastgele hem de sistematik arızaları azaltır. Bu çalışmada, yüksek emniyetli koruma sistemi sağlamak amacıyla bağımsız bir hemzemin geçit sistemi olan id-LX, sunulmuş; sırasıyla Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Hata Ağacı Analizi yapılmıştır. Bu sistem, yolboyu ekipmanlarını etkinleştirmek ve gösterge bilgilerini mantık ünitesine iletmek için SIL 4 uyumlu modülleri de dahil olmak üzere, SIL 4 sertifikalı PLC ve mantık ünitesi olarak yazılıma dayanan bir sistemdir. Bu arıza emniyetli sistem, acil durumlarda emniyetli durumu koruma kabiliyetine de sahiptir. SIL 4 uyumluluğu, hemzemin geçit ekipmanları arasındaki ortak nedenlere karşı koruma, sertifikalı bir mantık ünitesi ve sağlam bir makinist uyarı sinyalleri, hemzemin geçitlerde kaza potansiyelini azaltmak için önemli avantajlardır. Önerilen sistemin uygulamaya konması ile, Türkiye’deki yaygın emniyet hedeflerinin önemli ölçüde iyileştirilebileceği kanıtlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ortak nedenli arıza, Arıza emniyetli, Hemzemin geçit, Hemzemin geçit mantığı, Demiryolu emniyeti, Emniyet bariyeri

An Independent Level Crossing Solution For Safer Operation

Abstract: Level crossings are critical points in railway safety since most of the railway accidents in the world occur at level crossings. This issue is more critical in Türkiye when compared to European statistics. Even though in most cases, car drivers cause accidents at level crossings; the benefit of usage of safety-developed level crossing systems, to reduce the probability of accidents, is undeniable. To improve the safety characteristics of a level crossing system, certain crucial points must be identified. In addition, achievement of SIL 4 compliance reduces both random and systematic failures. In this study, id-LX, an independent level crossing system, is presented to provide a high safety protection system; Failure Modes and Effect Analysis and Fault Tree Analysis were performed respectively. This is a system based on SIL 4 certified PLC and software as a logic unit, including SIL 4 complaint modules for activating wayside equipment and for transmitting indication information to the logic unit. This fail-safe system is also capable in emergency situations to keep safe state. SIL 4 compliance, protection against common causes between level crossing equipment, a certified logic unit and a robust train driver warning signals are key advantages to reduce accident potential at level crossings. It has been proven that with the implementation of the proposed system, common safety targets in Türkiye can be significantly improved.

Keywords: Common cause failure, Fail-safe, Level crossing, Level crossing logic, Railway safety, Safety barrier

1. Giriş

Hemzemin geçit, ulaşımda emniyetli seyahat açısından önemli bir role sahiptir. Demiryolu kazalarının çoğu hemzemin geçitlerde meydana gelmekte ve kritik sonuçlar doğurmaktadır.

Atıf için/Cite as: Ç. Adalı, G. Kera, “Daha emniyetli işletme için bağımsız hemzemin geçit çözümü,” *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 20, ss. 31-40, Temmuz 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1451639

Literatürde de belirtildiği gibi hemzemin geçitlerde her dört kazada bir kişi ölmektedir [1]. Türkiye’de bu oranın çok daha yüksek olduğu kesindir. Bu kazaların sebepleri çoğunlukla yetersiz veya uygunsuz insan eylemleridir. Daha açık olmak gerekirse, kazaların %80-90’ı karayolu araç sürücülerinden kaynaklanmaktadır [2]. Ancak bazen bu kazaların yanlış demiryolu işletiminden kaynaklandığı da olmaktadır. İnsan hayatının önemi göz önünde tutulduğunda, riskleri azaltmak için ekstra emniyet önlemlerinin alınması gerektiği açıktır. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarında Tablo 1’de görüldüğü üzere 2010-2021 yılları arasında toplam demiryolu ölümlerinin %48,7’si hemzemin geçitlerde meydana gelmiştir [3][4]. Hemzemin geçit kazalarının sayısı diğer bazı kaza türlerine göre daha az olmasına rağmen hemzemin geçitlerde meydana gelen kazaların ölüm oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 1’e göre, Türkiye’deki hemzemin geçitlerde emniyet seviyelerinin iyileştirilmesinin acil bir ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Türkiye demiryolu kaza ve ölüm oranları

	Kaza		Ölüm	
	Toplam	Oran	Toplam	Oran
Tren çarpması/çarpışması	61	%5,0	20	%3,1
Raydan çıkma	275	%22,5	35	%5,4
İnsan kazası	460	%37,7	277	%42,4
Diğer	42	%3,4	3	%0,5
Hemzemin geçitte çarpma/çarpışma	382	%31,3	318	%48,7
Toplam	1220	%100,0	653	%100,0

Bu nedenle kaza sayısının azaltılması, ölümlerin ve hatta yaralanmaların önlenmesi amacıyla birçok ülkede hemzemin geçitlerle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Çek Cumhuriyeti’nde hemzemin geçitlerde araç sürücülerini, kişileri veya trenleri tespit etmek için uyarı işaretleri yeterli olmadığından, birçok kaza meydana gelmektedir; bundan dolayı, tehlikeli durumları önlemek için bütün hemzemin geçidi gören bir değerlendirme kamera sistemi kullanılmaktadır [5]. Tayvan Demiryollarında hemzemin geçit sistemi emniyeti konusunda yapılan çalışma göz önüne alındığında, kamera izleme sistemli hemzemin geçit geleneksel sisteme göre daha emniyetlidir [6]. Tao, kamera izleme sistemini içeren daha gelişmiş sistemin aksine Tayvan Demiryollarındaki mevcut hemzemin geçit sisteminin emniyetliğini, Hata Ağacı ve Markov Analizi kombinasyonu ile incelemiştir [6]. Ayrıca, Hindistan Demiryolları uygulamasında, hemzemin geçide yaklaşan trenleri tespit ederek hemzemin geçitlerdeki kazaları önlemek için Küresel Konumlama Sistemi (GPS) kullanılmaktadır [7]. Benzer bir çalışma Bangladeş Demiryolları’nda da yapılmıştır. Daha açık olmak gerekirse, trenlerin konumları sonar sensörler aracılığıyla GPS kullanılarak tespit edilir ve Google Map bağlantısının bulunduğu GSM üzerinden gönderilir [8]. Bir tren tespit edildiğinde, hemzemin geçitteki bariyerler açılmaya başlar; ancak, belirttikleri gibi, önerilen algılama sistemi ile ilgili olarak sistemin her şeyi bir tren gibi algılayabileceği şeklinde bir kısıtlama vardır [8]. Bu durum, tren işletimi açısından mutlak bir engeldir.

Durmuş ve ark. [9], sistem çalışırken hata ve arızaları tespit edebilecek nitelikte olan arıza emniyetli sinyalizasyon tasarımının kritiğini yapmıştır. Hata veya arıza tespit edildikten sonra, arıza emniyetli tasarım, sistemi bileşenlere göre farklılık gösteren önceden ayarlanmış emniyetli bir moda alarak bileşenleri korur; örneğin bariyerler kapalı olmaları gerektiği halde kapalı değilse arıza emniyetli tasarım sistemi emniyetli moda alacaktır. Bu arıza durumları meydana geldiğinde, bütün sistemin önceden ayarlanmış emniyetli moda geçmesi gerekir. Örneğin, bariyerin kapalı olmaması durumunda, karayolu araç sürücülerinin daha fazla dikkatini çekecek bir uyarı ve tren makinistleri için de sinyallerin kırmızıya çevrilmesi suretiyle bir uyarı olmalıdır [9]. Tren trafiği, karayolu trafiği, şerit sayısı ve hat sayısı; hemzemin geçitlerde kazaları etkileyen parametrelerden bazılarıdır.

Kore uygulamasında hemzemin geçitler, sinyalizasyon ekipmanına ve yapılan emniyet analizine göre sınıflandırılır [10]. Joung'a [10] göre, emniyet analizi hemzemin geçit kazalarını öngörmenin bir yoludur. Öngörüldükten sonra, meydana gelebilecek kazaları önlemek mümkündür. Örneğin, hataların bir Fransız hemzemin geçit sistemi üzerindeki etkilerini incelemek için Hata Ağacı Analizi (FTA) ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) uygulanmaktadır [11]. İlave emniyet ve risk analizi ile hemzemin geçit kazası olasılığını azaltmanın yanı sıra tren hızı ne kadar yüksekse (110 km/s üzerinde) kaza riskinin de o kadar yüksek olduğunu gösteren bir risk değerlendirme yöntemi gösterilmektedir [11].

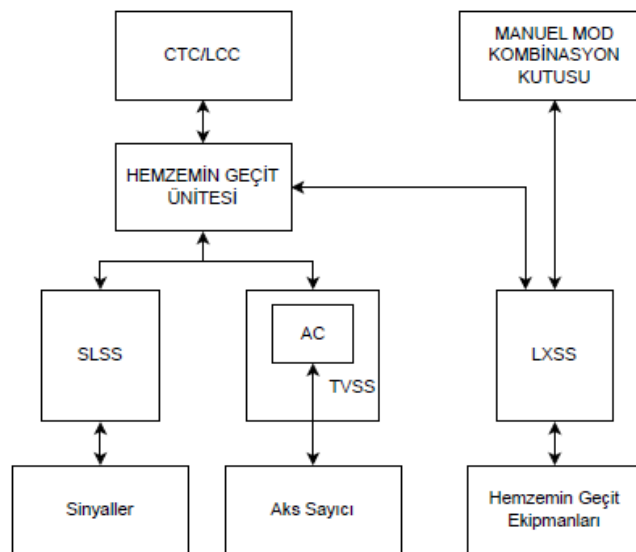
Bu makalede öncelikle ilgili çalışmalarla hemzemin geçit incelenmekte, gerekli emniyet hususları ele alınmakta ve bir düzenek üzerinden emniyetli bağımsız hemzemin geçit sistemi tanıtılmaktadır.

2. Metot

Türkiye'de bulunan konvansiyonel demiryolu hat kesimlerinde 2595 adet hemzemin geçit bulunmaktadır. Bunun 1404 adet lokasyonu pasif korumalı hemzemin geçitlerden oluşmaktadır. Hemzemin geçit sistemi ile korumanın olduğu kesişme yerlerinin büyük bir bölümü ise otomatik korumaya sahip değildir. Bu, hemzemin geçitleri kazalara yol açabilecek insan hatalarına açık hale getirmektedir. İnsan faktörlerini ortadan kaldırmak için sistemin otomatikleştirilmesi gerekir.

Bu çalışmada önerilen bağımsız hemzemin geçit sistemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu sistemde hemzemin geçit sistemi bir algoritma ile yönetilir ve çevresi hemzemin geçit birimi olarak etiketlenir. Her ikisi de SIL sertifikalıdır, böylelikle sadece derleme ve kodlama riskleri ortadan kaldırılamaz, aynı zamanda donanım/yazılım entegrasyon sorunları da ortadan kalkar. Önerilen bu hemzemin geçit sistemi, bağımsız olma özelliği ile başka bir sinyalizasyon sistemine entegre olma ve istenilen bir lokasyona kurulabilme kabiliyetlerine sahiptir.

Sistemin aktüatörleri, Sinyal Lambası Alt Sistemi (SLSS), Aks Sayıcı (AC) Hat Serbestliği Alt Sistemi (TVSS), engel algılayıcı dahil Hemzemin Geçit Sürücü Alt Sistemi (LXSS) olarak gösterilmiştir. Bu aktüatörlerin CENELEC standartları [12] uyarınca arıza emniyetli olması gerekmektedir. Aktüatörler, hemzemin geçit ünitesine geri bildirim gönderir, böylece sistemi emniyetli duruma geçmeye zorlayabilir.



Şekil 1. Önerilen bağımsız hemzemin geçit sistemi

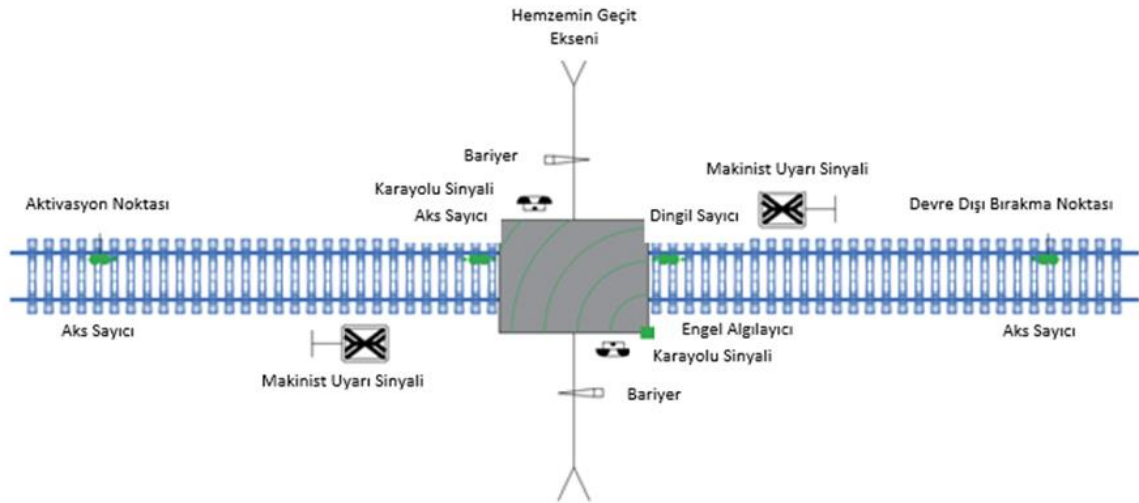
Aktüatörlerin en önemli bileşeni, yolboyu ekipmanlara komut veren ve durumlarını kontrol eden bir baskılı devre kartı olan Sinyal Kontrol ve Doğrulama (SCP - Signal Control and Prove) kartıdır. Aşırı akım ve aşırı gerilim koruması sağlayan çeşitli elektronik bileşenlerden oluşan arıza emniyetli bir bileşendir. Aşırı akım ve aşırı gerilim koruması önemli bir konudur, bu nedenle SCP'deki koruma tek başına yeterli değildir.

Saha Giriş Koruması (FIP - Field Input Protection) adı verilen bir baskılı devre kartı ile ayrıca sahadan da koruma sağlanır. FIP, çeşitli aşırı gerilim koruma cihazları ve sigortalar içerir. Bu bileşenler, ortak neden faktörlerini de azaltmaya yardımcı olur.

Önerilen sistem, işletmecinin ihtiyaçlarını karşılamak için esnekler. Hemzemin geçit trafiğinin yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda, işletmeci, sistemin alt sistemlerinin es geçilmesini isteyebilir. Yoğunluk/hemzemin geçit ilişkisi kuralları, TCDD'nin Hemzemin Geçitlerde Alınacak Tedbirler ve Uygulama Esasları Yönetmeliğinde belirtilmiştir [13].

Önerilen sistem, tam bariyerli bir sistemde bariyerlerin sıralı olarak kapanması gibi detaylı özelliklere de sahiptir. Bu sayede, ilk set bariyerler kapandıktan sonra geçitte sıkışan bir araba, demiryolundan kaçma fırsatı bulacaktır. Bariyerler arabaya çarpma durumunda içeriden kolayca kırılabilir, ancak sürücüler paniklediğinde zamanında harekete geçemeyebilir. Sıralı kapanma, sürücüye kapanıştan önce geçmesi gereken boş bir şerit gösterir ve kazaların çoğu önlenir.

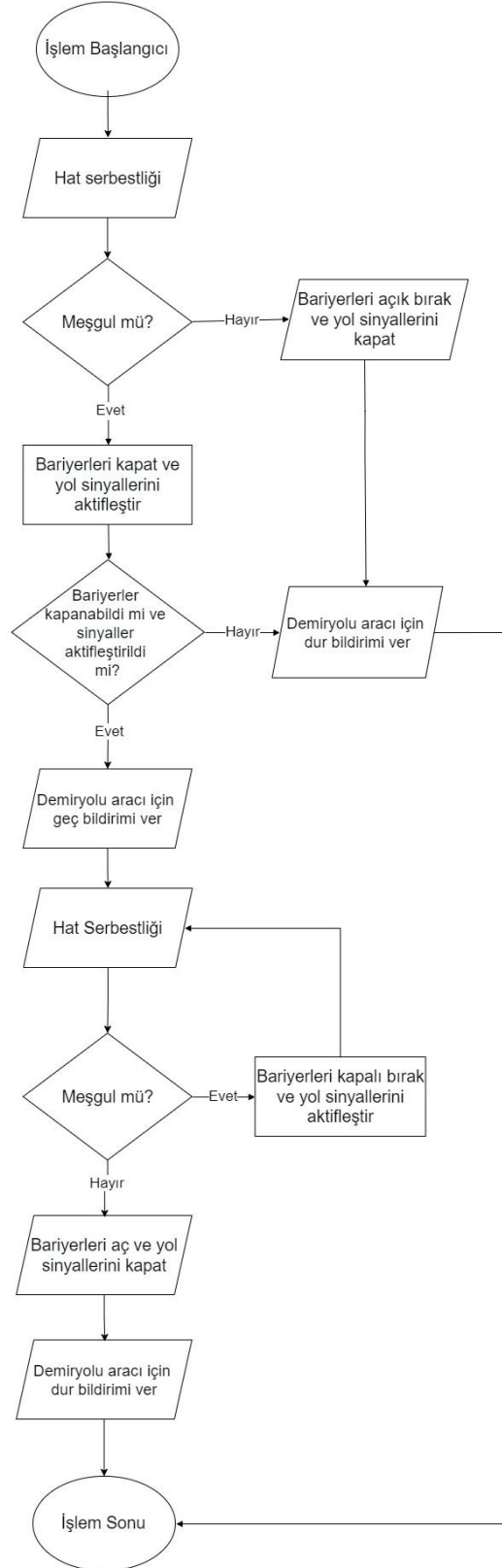
Şekil 2'de tipik bir hemzemin geçit yerleşim düzeni gösterilmektedir. Tren seyir yönünün soldan sağa doğru olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla, aktivasyon noktası en soldaki aks sayıcındadır.



Şekil 2. Hemzemin geçit yerleşim düzeni

Şekil 3'te gösterilen süreçte sistemin kendi mantığı ile çalışan ünite, hat kesiminin meşguliyeti ile başlar ve hemzemin geçit sisteminin aktifleştirilmesini başlatmakla sorumludur. Hemzemin geçit sistemi aktifleştirildiğinde, mantık ünitesi bariyerlerin kapanması, trafik ışıklarının (yol sinyalleri) yanıp sönmeleri ve çanın çalması komutu verir. Modüller, bu ekipmanların durum bildirimlerini mantık ünitesine geri gönderir. Durumları beklendiği gibiyse, makinist uyarı sinyali, devam et bildirimini olarak makiniste yeşil bildirim verir. Bu sinyal fren mesafesinin gerisindedir, böylece beklenmedik durumların meydana gelmesi durumunda, makinist hemzemin geçide ulaşmadan önce treni durdurabilir.

Tren, devre dışı bırakma hat kesiminden ayrıldığında süreç sona erer. Mantık ünitesi bu hat kesiminden serbest bildirimini aldığı anda, bariyerlerin açılması, trafik ışıklarının sönmesi ve çanın durması komutunu verir ve makinist uyarı sinyali için dur sinyali olarak kırmızı bildirim gösterir.



Şekil 3. Bariyer algoritmasının blok şeması

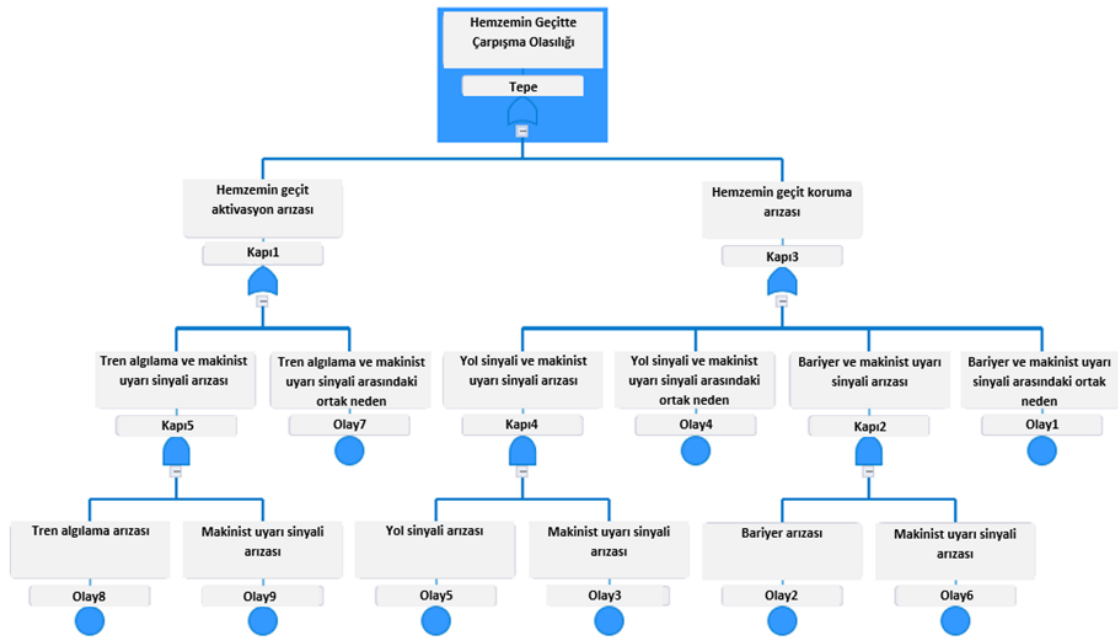
2.1. Emniyet analizi

Hata Türü ve Etkileri Analizi yapılmıştır. Hemzemin geçit sisteminin olası hata türlerini gösteren sonuçlar, Tablo 2’de verilmiştir. Demiryolu araçları için bir emniyet bariyeri olarak makinist uyarı sinyalleri, diğer ekipmanların tekli hatalarını önler. Bu emniyet bariyeri, bir tren, hemzemin geçit ile olan fren mesafesinden önceki makinist uyarı sinyallerine gelmeden önce ekipman arızası meydana gelirse çalışır.

Tablo 2.Önerilen sistemin hata türleri

Fonksiyon	Hata Türü	Emniyet ile ilgili mi?
Aktivasyon	1.1 Makinist uyarı sinyali yeşil yanıyor	2.1 ile ise
	1.2 Makinist uyarı sinyali kırmızı yanıyor	Hayır
	2.1 Tren tespit edilmedi	1.1 ile ise
	2.2 Gereksiz tren algılama	Hayır
Koruma	3.1 Bariyerler kapalı değil	1.1 ile ise
	3.2 Bariyerin gereksiz kapanması	Hayır
	4.1 Yol sinyalleri çalışmıyor	1.1 ile ise
	4.2 Yol sinyallerinin gereksiz aktifleşmesi	Hayır

Tipik bir hemzemin geçit sisteminin Hata Ağacı Analizi, Şekil 4’te gösterilmektedir. Arızanın, makinist uyarı sinyali olan geri dönüşü olmayan bir noktadan geçmeden önce meydana geldiğini varsayarsak, sistemin emniyetliğini etkileyen en önemli faktörler; tren algılama ve makinist uyarı sinyali arasındaki ortak nedenli arızalar, bariyer ve makinist uyarı sinyali arasındaki ortak nedenli arızalar ve yol sinyalleri ile makinist uyarı sinyali arasındaki ortak nedenli arızalardır. Ortak nedenli arızalar, IEC 61508 yöntemine göre 0,01 ile 0,1 arasında, Humphreys yöntemine göre 0,001 ile 0,3 arasında olabilir. VE kapıları arasındaki farklılık ve bunların ortak nedenli arıza değerleri dikkate alındığında, ekipman arızalarının ihmal edilebilir düzeyde olduğu ve başlıca faktörlerin ortak nedenli arızalar olduğu varsayılabilir. Bu nedenle, tasarım sırasında ortak nedenlerin azaltılmasına azami özen gösterilecektir [14] [15].



Şekil 4. Hemzemin geçit sistemi hata ağacı analizi

2.2. Arıza koşullarında sistemin davranışları

Sistemin arızada emniyetli olabilmesi için öncelikle sistemin arızaları tespit edebilmesi gerekmektedir. Beklenmedik bildirimler altında, sistemin mantık ünitesi hata üretecek ve hemzemin geçidi emniyetli duruma sokmak için makinist uyarı sinyalinin dur bildirimine çekecektir (TCDD kurallarına göre, makinist uyarı sinyalindeki dur bildirimini, tren hızının 25 km/sa'e indirilmesini işaret eder). Çeşitli arıza bildirimleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Arıza durumunda üretilecek hatalar

Hata	Açıklaması
Ray bölgesi veri bağdaşım hatası	Aks sayıcıdan kaynaklanan arıza nedeniyle bölgeden aynı anda meşgul ve boş bildirimlerinin gelmesi veya hiç bildirim gelmemesi üzerine üretilir.
Makinist uyarı sinyali bildirimsizlik hatası	Yandı bildirim alınmadığı durumda üretilir.
Yanlış makinist uyarı sinyali hatası	Lojik tarafından yakma komutu gönderilmemesine rağmen, ilgili sinyalden yandı bildirim gelmemesiyle üretilir.
Yanlış bariyer konumu bildirim hatası	<ol style="list-style-type: none"> Lojik tarafından bariyer aç komutu gönderildikten sonra, bariyerin açma süresi bitiminde, bariyerden "bariyer açık" bildirim alınmaması veya bu bildirim kaybedilmesi durumunda üretilir. Lojik tarafından bariyer kapa komutu gönderildikten sonra, bariyerin kapanma süresi bitiminde, bariyerden "bariyer kapalı" bildirim alınmaması veya bu bildirim kaybedilmesi durumunda üretilir.
Bariyer konumu veri bağdaşım hatası	Bariyerden aynı anda açık ve kapalı bildirimlerinin gelmesi veya hiç bildirim gelmemesi üzerine üretilir.
Kırık bariyer hatası	"Bariyer kırık değil" bildirim kaybedildiğinde üretilir.
Yol sinyali hatası	Araç trafiğini kontrol eden yol sinyaline yak komutu gönderildiğinde, sinyalden yandı bildirim alınmamasıyla üretilir.
Çift tetik hatası	Hattın her iki yönünden hemzemin geçit bölgesine tren girişi yapıldığında üretilir.

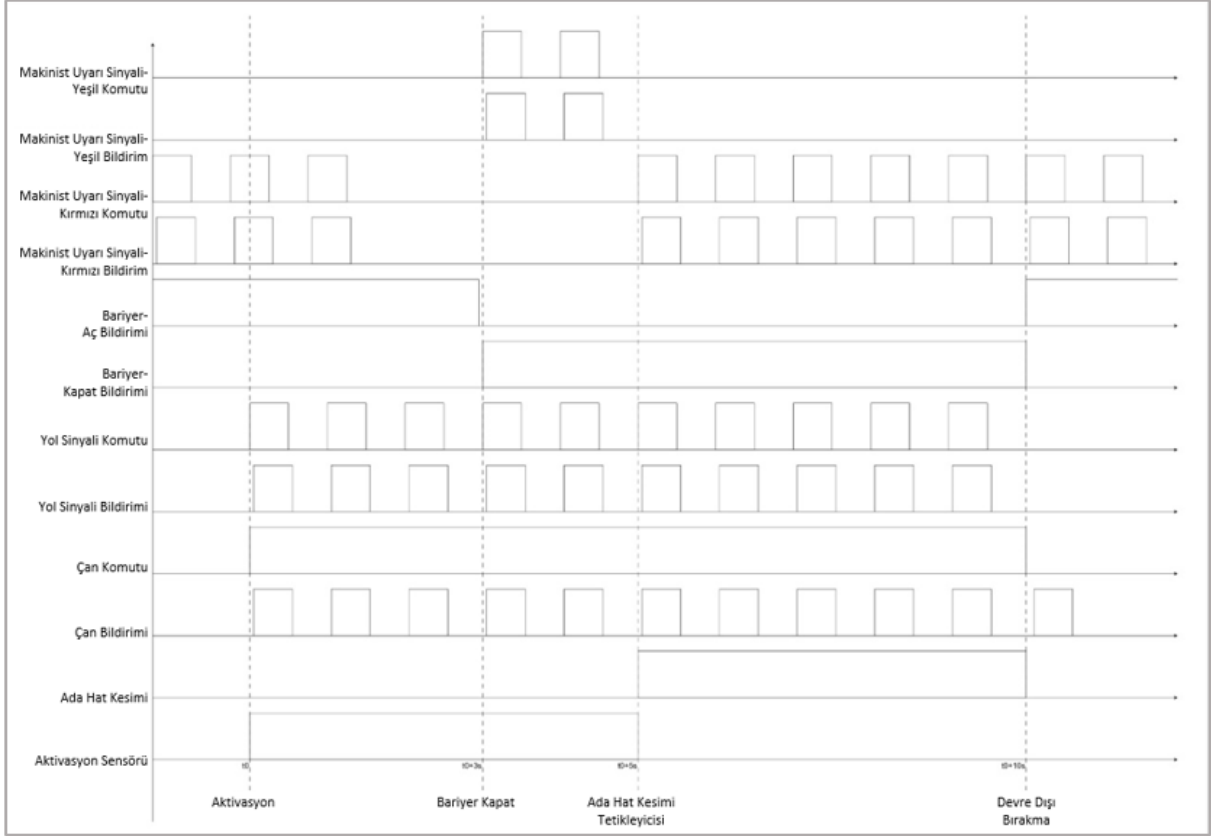
Sistem, arayüzlerden kaynaklanan ihmal edilebilir sürelerdeki kayıpların hata üretimine sebep vermemesi için zaman filtreleri kullanmaktadır.

3. Bulgular

Önerilen sistem, Şekil 2'de gösterildiği gibi, üç tekerlek dedektörü kurularak pratik bir şekilde atölye ortamında gerçekleştirilir. Birinci tekerlek dedektörü sistemin tetiklendiği aktivasyon noktasında, ikincisi ada hat kesiminin girişinde ve üçüncüsü ada hat kesiminin çıkışında olacak şekilde konumlandırılır. Bu tekerlek dedektörleri, hem PLC hem de kendi id-LX yazılımı ile iletişim halindedir. Hemzemin geçit modülü, mantık ünitesi ile yolboyu ekipmanı arasında arayüz sağladığından, komutların mantık ünitesinden yolboyu ekipmanına iletimi ve bildirimlerin yolboyu ekipmanından mantık ünitesine iletimi, hemzemin geçit modülü tarafından gerçekleştirilir.

İlk olarak, tekerlek dedektörleri bir plaka tarafından sıralı olarak tetiklenmiş ve her bir yolboyu ekipmanının davranışları osiloskop ile ölçülmüştür; ölçümler, Şekil 5'te voltaj değişimleri (ilgili ekipmanın aktifleşme durumu) olarak gösterilmektedir. Her bir kare dalga 500ms'lik bir zaman

aralığını temsil etmektedir. Aktivasyon sensörü t0'da tetiklendiğinde, çana ve yol sinyaline komut verilir. Sistemin komut gönderdikten sonra ekipmanlardan geri bildirim alması, $30\text{ms} \pm 5\text{ms}$ içinde gerçekleşir. Makinist uyarı sinyali, trenin bir hemzemin geçit kesimine ulaşabileceğini göstermek için bariyerler kapalı durumda iken, yeşil bildirim verir. Çan, bariyerler kapanmaya başladığı andan itibaren tamamen açıldığı ana kadar çalmaya devam eder. Ada hat kesimindeki tekerlek dedektörlerinin tetiklenmesi trenin hemzemin geçitte olduğunu gösterir ve makinist uyarı sinyali kırmızı bildirim verir. Tren, devre dışı bırakma noktasına geldiğinde bariyerler açılmaya başlar. Bariyerler tamamen açıldığında, çan ve yol sinyalleri durur.



Şekil 5. Sıralı olarak tetiklenmiş yolboyu ekipmanlarının davranışları

4. Sonuç

Hemzemin geçitler demiryolu emniyetinde önemli bir noktadır. İstatistikler, ölümlü kazaların çoğunun hemzemin geçitlerde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu kazaların meydana gelme olasılığını azaltmanın birçok yolu vardır. Bunlardan ilki, CENELEC uyumlu bir sistemin olmasıdır. Sistemin tasarım ve üretiminin CENELEC uyumlu olması, düşük arıza ve hata olasılıklı arıza emniyetli bir sistemin ortaya çıkmasını sağlar. Hemzemin geçit sisteminin SIL 4 uyumluluğu, hemzemin geçit sisteminde oluşabilecek hem rastgele hem de sistematik arıza ihtimalini azaltır. Sistemin elektrik korumasına sahip olması, sistem tasarımını korur ve ortak nedenli arıza olasılığını azaltır. Ayırma, karmaşıklık ve emniyet analizi gibi diğer hususlar da dikkate alınır. Ek olarak, emniyetli olduğu kanıtlanmış bir mantık ünitesi hemzemin geçitlerde emniyetli davranış sağlar. Bunu, hem kodlama ve derleme hem de yazılımın çalıştığı ortam sağlar. Ayrıca, demiryolu araçları için makinist uyarı sinyalleri, olası tehlikeler için bir emniyet bariyeri sağlar ve makinisti, tren geri dönüşü olmayan noktaya ulaşmadan önce hemzemin geçit sistemindeki arızaya karşı uyarır. Yapılan bu çalışmada, bağımsız bir hemzemin geçit sistemi anlatılmış ve emniyet açısından değerlendirilmiştir. Emniyetli seyahat için, Türkiye'deki

hemzemin geçitlerin mevcut durumu ışığında bağımsız bir hemzemin geçit sistemi çok önemli ve acil bir konudur.

Teşekkür

Bu çalışma, Yapı Merkezi İDİS (İzleme, Denetim ve İletişim Sistemleri) Mühendislik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul, Türkiye tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] E. Schöne, “A risk-based method for safety assessment of level crossings,” Ph.D. tezi, Technical University of Dresden, Dresden, 2013
- [2] E. Schöne, Q. Mahboob, *Handbook of RAMS in Railway Systems*. Boca Raton: CRC Press, 2018
- [3] T. C. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı (2010-2014), s.70
- [4] T. C. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı (2013-2017), s.67
- [5] P. Sikora, M. Kiac, ve M. K. Dutta, “Classification of railway level crossing barrier and light signalling system using YOLOv3,” in *43rd Int. Conf. on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Milano, İtalya, 2020, pp. 528-532
- [6] C. C. Tao, “A combinatorial approach to quantify stochastic failure of complex component-based systems the case of an advanced railway level crossing surveillance system,” in *4th Int. Conf. on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, Haikou, Çin, 2007, pp. 301-306
- [7] S. Banerjee, S. Mondal, A. Chakraborty, ve S. Chattaraj, “Global positioning system based automated railway level crossing,” in *Int. Conf. on Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE)*, Kolkata, Hindistan, 2020, pp. 1-4
- [8] K. R. Ahmed, M. A. Hossain, A. Akter, ve L. Akthar, “A Secure Automated Level Crossing and Train Detection System for Bangladesh Railway,” in *Int. Conf. on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE)*, Gazipur, Bangladeş, 2022, pp. 1-4
- [9] M. S. Durmuş, U. Yıldırım, A. Kurşun ve M. T. Söylemez, "Fail-safe signalization design for a railway yard: a level crossing case," in *10th International Workshop on Discrete Event Systems (WODES 2010)*, 2010, pp. 347-352
- [10] E. J. Joung. “Application of safety management process for the safety analysis of level crossing,” in *Int. Conf. on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Nanjing, Çin, 2005, pp. 2493-2497
- [11] C. Liang, and M. Ghazel. “A risk assessment study on accidents at french level crossings using bayesian belief networks,” *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, vol. 25, no. 2, pp. 162-72, Nisan, 2018. doi: 10.1080/17457300.2017.1416480
- [12] *Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling*, CENELEC EN 50129, 2020
- [13] *Railway Level Crossings and Application Principles Regulation*, Şubat, 2023
- [14] *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*, CENELEC EN 61508-6, 2010
- [15] R. A. Humphreys, “Assigning Numerical Value to the Beta Factor Common Cause Evaluation,” in *Proceedings: Reliability '87*, vol. 2C, 1987

Özgeçmiş



Çağla ADALI

İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden lisans derecesi ile mezun oldu. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Raylı Sistemler Mühendisliği yüksek lisansı yapmaktadır. Aynı zamanda Yapı Merkezi İDİS Ar-Ge departmanında Demiryolu Sinyalizasyon Mühendisi olarak çalışmaktadır. Daha önce DLH Marmaray'da Marmaray Projesi-CR3 Gebze-Halkalı Banliyö Hattı İyileştirme Projesinde stajyer olarak çalışmıştır. Şu anki araştırma konusu, daha yüksek emniyet standartlarına sahip hemzemin geçit sistemleridir.
E-posta: cagla.adali@ymidis.com.tr

**Güray KERA**

2008 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2011 yılında aynı bölümde yüksek lisans derecesi aldı.

2013 yılından bu yana demiryolu sektöründe çalışmaktadır. Halen YM İDİS Ar-Ge departmanında Emniyet Müdürü olarak görev yapmaktadır. Daha önce RAMS alanında çeşitli şirketlerde çalıştı. Şu anki araştırma konusu, hemzemin geçit sistemlerinde emniyeti arttırmaktır.

E-posta: guray.kera@ymidis.com.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Çağla ADALI: Metodoloji, Kaynaklar, Yazma-orijinal taslak hazırlama, İnceleme, Görselleştirme. Güray KERA: Kavramsallaştırma, Doğrulama, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme, Kontrol.