

## Demiryollarında Risk Analizleri

\*<sup>1</sup>Cahit Kaya ve <sup>2</sup>Hakan Güler

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya, Türkiye

### Özet

Türkiye’de ki demiryolu yatırımları dikkate alındığında gelecekte demiryolu ulaşımında önemli bir artışın yaşanacağı görülmektedir. Demiryollarındaki trafik ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak tren hızları artacaktır. Trafik yoğunluğu ve hızlarının artmasıyla birlikte işletmenin emniyetinde ise riskler artacaktır. Tren trafiğinin ve hızların yüksek olması demiryollarında bozulmaları hızlandıracak, buna bağlı olarak bakım ve yenileme çalışmalarının sayısı artacaktır. Bu çalışmalar işletmenin kesintiye uğramasına hatta hattın işletmeye kapatılmasına sebep olacaktır. İşletme altında yapılacak bakım ve yenileme çalışmaları sırasında tren işletmesinin ve hat üzerinde çalışanların emniyetini sağlamak için risk analizlerinin yapılması daha da önem kazanacaktır. Bu amaçla Avrupa Birliği EN 50126 ve EN 16704 numaralı standartları geliştirmiş ve uygulamaya almıştır. EN 50126, demiryollarında güvenilirlik, bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet ile (RAMS) ilgili kavramları; EN 16704 ise demiryolu hattında çalışan personelin emniyetini sağlamak için alınacak önlemlerle ilgidir. Bu çalışmada, EN 50126 ve EN 16704 numaralı standartlarına uygun olarak Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) için bakım yenileme çalışmalarının güvenilirlik ve risk analizleri yapılmış, öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Demiryolu Emniyeti, Demiryollarında Bakım ve Yenileme, Güvenirlik ve Risk analizi.

### Abstract

Considering the railway investments in Turkey, it is expected that there will be a significant increase in railway transportation. Train speeds will increase in parallel with train traffic in railways and improvements in train technology. With increased traffic intensity and train speeds, the risks for the operation safety will also increase. Train traffic and high speeds will accelerate the deterioration of the railways, which in turn will increase the number of maintenance and renewal works. These activities will cause the operation to be interrupted even more shut down the line for operation. During maintenance and renewal work under the operation, it will become even more important to take the necessary precautions and to carry out risk analyzes in order to ensure the safety of the train operation and workers on the line. For this purpose, the European Union has developed and implemented the standards EN 50126 and EN 16704. In this study, EN 50126 and EN 16704 were explained, reliability and risk analyzes were carried out for Turkish Republic State Railways (TCDD) in accordance with EN 50126 and EN 16704 standards.

**Keywords:** Railway safety, Maintenance and renewal of railways, Reliability and Risk analysis.

## 1. Giriş

Avrupa Birliği'nin 2004 yılında yayımladığı direktifle (2004/49/EC), Avrupa Birliği üyesi ülkelerde bulunan demiryolu işletmecilerinin ve demiryolu altyapı yöneticilerinin bir demiryolu Emniyet Yönetim Sistemi'ni (EYS) uygulamaya alması zorunlu hale getirilmiştir. Bu direktifle, demiryolu işletmelerinde ve altyapı yönetiminde yüksek bir emniyet standardına ulaşılması amaçlanmıştır. 2004/49/EC numaralı Avrupa Birliği direktifi demiryolu sistemi ile ilgili olup altyapı ve trafik yönetiminde emniyetle ilgili hususları kapsamaktadır [1].

Bir demiryolu sisteminin amacı belirli bir zaman aralığında belirli bir demiryolu trafiğini emniyetli bir şekilde sağlamaktır. Bu amaçla geliştirilen EN 50126 numaralı AB standardı, Avrupa Birliği içinde bulunan ülkelerin demiryolu organizasyonları ve demiryolu sanayisi için güvenilirlik, bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet (RAMS) konularının etkili bir şekilde yönetimine uygun bir yaklaşım sürecini sağlamak için geliştirilmiştir. [2]. EN 50126 ile birlikte dikkate alınan ve demiryollarında yazılım ve donanımla ilgili olarak EN 50128 ve EN 50129 numaralı standartlarında demiryollarında emniyeti sağlayan sistem ve donanımlarla ilgilidir. Demiryollarında yol emniyetiyle ilgili EN 16704 numaralı AB standardı, ray üzerinde veya yakınında çalışan personeli yaklaşan tren veya raylı araçlardan korumak için kullanılan Hat Uyarı Sistemleri'ne ait (TWS) gerekliliklerinin tanımlanmasıyla ilgilidir. EN 16704 standardı Hat Uyarı Sistemleri'ni; Gözcü Kontrollü Uyarı Sistemi (LOWS), Otomatik Hat Uyarı Sistemi (ATWS) ve Sinyal Kontrollü Uyarı Sistemi (SCWS) olmak üzere üçe ayırmaktadır [3].

Avrupa Birliği'nde demiryolu emniyet yönetim sistemi konusunda yapılan çalışmaları yakından takip eden Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları'nda da (TCDD) emniyet yönetim sistemi kurulması yönünde çalışmalar 2008 yılında başlamıştır. 2014 yılında TCDD Emniyet Yönetim Sistemleri Müdürlüğü kurulmuş ve emniyet personelinin görev tanımları yapılmıştır [4]. İlerleyen dönemlerde Demiryolu Düzenleme Kurulu (DDGM) tarafından Demiryolu Emniyet Yönetmeliği hazırlanmış ve 2015 yılında yayımlanmıştır [5]. Ulusal anlamda 2012 yılında iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili 6331 sayılı kanun yayımlanmıştır. Bu kanunun amacı; iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektir [6]. TCDD'de yol emniyetiyle ilgili olarak uzun süre yürürlükte olan 2701 sayılı emir bulunmaktaydı. Bu emir 2016 yılında güncellenerek 551 sayılı emir olmuştur ve demiryolu güzergahında yapılacak inşaat, bakım, onarım ve benzeri işlerde trenlerin trafik emniyetinin tehlikeye girmemesine ve çalışanların trenlere karşı korunmasına dair kuralları belirlemektedir [7 - 8].

## 2. Demiryolu Emniyeti İle İlgili Standartlar

Avrupa Birliği içinde bulunan ülkelerin demiryolu organizasyonları ve demiryolu sanayisi için güvenilirlik, bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve emniyet (RAMS) konularının etkili bir şekilde yönetimine uygun bir yaklaşım sürecini sağlamak için EN 50126 numaralı AB standardı geliştirilmiştir [2]. EN 50126 standardına adını veren RAMS'in her bir kısaltmasının kelime anlamı şu şekilde ifade edilir: **Güvenirlik (Reliability)**: Belirli bir zaman aralığında ve belli koşullarda bir öğenin gerekli fonksiyonları yerine getirebilme olasılığıdır. **Bulunabilirlik (Availability)**: Verilen bir zamanda veya bir zaman aralığında, verilen koşullar altında, gerekli

tüm kaynakları sağlanmış olan bir ürünün gereken bir fonksiyonu yerine getirebilmesi için bir konumda bulunabilme yeteneğidir. **Sürdürülebilirlik (Maintainability):** Belirlenen koşullar altında, belirlenen prosedürler ve kaynaklar kullanılarak bakım yapılması koşuluyla, belirli koşullar altında kullanımda olan bir öge için belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilebilecek belirli bir aktif bakım faaliyetinin olasılığıdır. **Emniyet (Safety):** Kabul edilemeyen risklerin zararlarından uzak olmak [2].

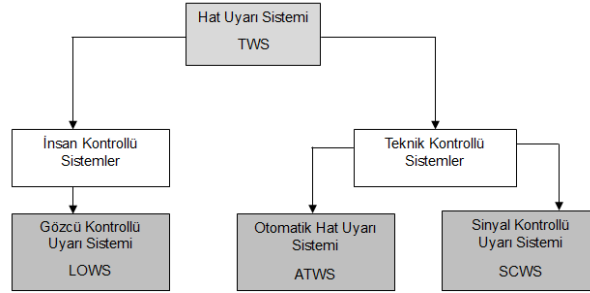
Demiryolu emniyetiyle ilgili hayati önem taşıyan yazılım ve donanımlarla ilgili EN 50128 ve EN 50129 numaralı standartlar bulunmaktadır. AB yasalarına göre demiryollarında hayati önem taşıyan yazılım ve donanımlar EN 50128 ve EN 50129 numaralı standartlara uygun üretilmelidir. Demiryollarında yol emniyetiyle ilgili EN 16704 numaralı AB standardı ise ray üzerinde veya yakınında çalışan personeli yaklaşan tren veya raylı araçlardan korumak için kullanılan Hat Uyarı Sistemleri'ne ait (TWS) gerekliliklerinin tanımlanmasıyla ilgilidir. EN 16704 standardı; "Demiryolu uygulamaları, Demiryolu hattı, Demiryolu hattı boyunca yapılan çalışmalarda emniyet tedbirleri" başlığı altında dört bölümden oluşmaktadır [3].

- **EN 16704-1:2016:** Sabit ve mobil çalışma alanlarının korunması için demiryolu riskleri ve ortak ilkeler.
- **EN 16704-3:2016:** Demiryolu hattı üzerinde veya yakınındaki çalışmalarda personel için yeterlilikler
- **EN 16704-2-1:2016:** Ortak çözümler ve teknolojiler. Hat Uyarı Sistemleri (TWS) için teknik gereklilikler
- **EN 16704-2-2:2016:** Ortak çözümler ve teknolojiler. Demiryolu bariyerler için gereklilikler

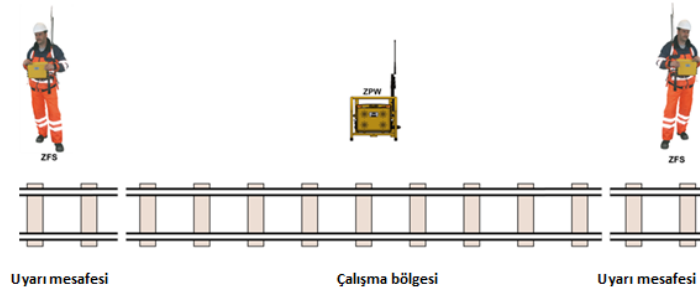
EN 16704 standardı Hat Uyarı Sistemlerini (TWS); Gözcü Kontrollü Uyarı Sistemi (LOWS), Otomatik Hat Uyarı Sistemi (ATWS) ve Sinyal Kontrollü Uyarı Sistemi (SCWS) olmak üzere üçe ayırmaktadır (Şekil 1) [9]. Gözcü kontrollü hat uyarı sistemlerinde (LOWS) tren geliyor bilgisi bir gözcü tarafından çalışma alanına iletilir (Şekil 2) [9]. Otomatik hat uyarı sisteminde (ATWS) çalışma bölgesine tren geliyor bilgisi raylara bağlanan detektörlerle verilir (Şekil 3) [9]. Teknik kontrollü hat uyarı sistemlerinden sinyal kontrollü uyarı sisteminde (SCWS) çalışma bölgesine tren geliyor bilgisi demiryolu sinyalizasyon sistemi ile birlikte verilir. Makasların açılıp kapatılmasını demiryolu sinyalizasyon sinyalleri ile kontrol eden anlaşılan sistemi, SCWS kontrol ünitesine aynı bilgiyi vererek çalışma bölgelerinde uyarının gerçekleşmesini sağlamaktadır (Şekil 4) [9]. Hat uyarı sistemlerinde kullanılacak olan cihazların mutlak suretle EN 50126, EN 50128 ve EN 50129 numaralı standartlara uygun olarak üretilmiş olması gerekmektedir [3].

Demiryollarında yol emniyetinde kullanılacak cihazların yüksek düzeyde bir emniyet sağlaması için tren algılama noktası ile uyarının gerçekleştiği bölgedeki cihazlar arasında sürekli bir bilgi akışının sağlanması gerekmektedir. EN 16704 numaralı standartta hat uyarı sisteminin bütünleşik emniyet düzeyinin (SIL) en az üç ve kabul edilebilir hata oranının (THR) ise minimum  $1.14 \times 10^{-8}$  1/sa olması gerektiği belirtilmektedir. Bütünleşik emniyet düzeyi (SIL) bir ürünün ya da sistemin çalışması ya da kullanımı sırasında güvenilirliği ile ilgili bir olasılık değeridir. SIL hesaplamaları ürünü ya da sistemi oluşturan bileşenlerin seri ya da paralel bağlı olma durumlarına göre her bir bileşen için ayrı ayrı hesaplanır ve sistemin toplam SIL değeri elde edilir [3]. Hat uyarı sistemlerinin uyarı amaçlı çıkarmış oldukları seslerin çalışanlar tarafından

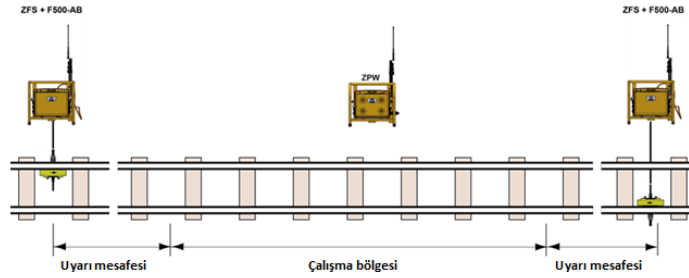
kolaylıkla anlaşılması için EN 16704 standardı en fazla üç farklı sesi öngörmektedir. Bu sesler Wa1, Wa2 ve Wa3 olarak isimlendirilmektedir. Wa1 ve Wa2 uyarı sistemlerinin olağan sesi, Wa3 ise acil uyarı sesi olarak dikkate alınmaktadır. TWS sisteminde bir arıza olması durumunda ise TWS sistemi olağan sesi (Wa1, Wa2) ile birlikte ışıklı uyarı vermelidir [3].



Şekil 1. Hat uyarı sistemleri (TWS)



Şekil 2. Gözcü kontrollü hat uyarı sistemleri (LOWS)



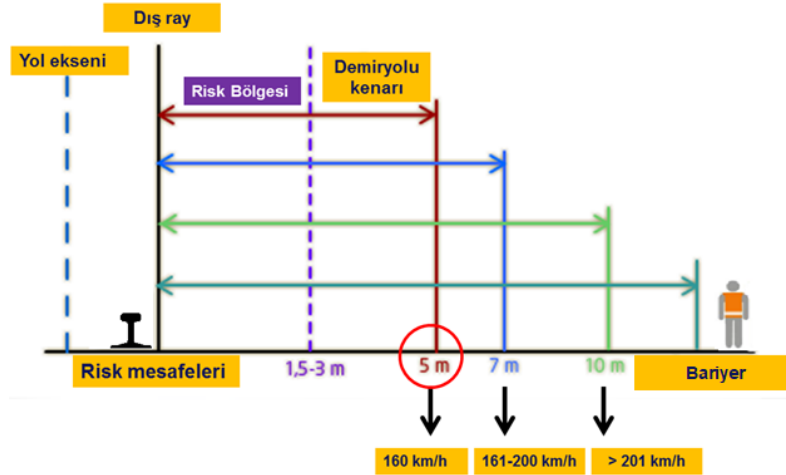
Şekil 3. Otomatik hat uyarı sistemleri (ATWS)



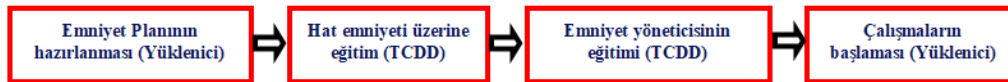
Şekil 4. Sinyal kontrollü uyarı sistemleri (SCWS)

### 3. Türkiye’de Demiryolu Emniyeti

TCDD yol emniyetiyle ilgili olarak uzun süre kullanılan 2701 sayılı emir bulunmaktaydı. Bu emir 2016 yılında güncellenerek 551 numaralı emir adını almıştır. Bu emirler, demiryolu güzergahında yapılacak inşaat, bakım, onarım ve benzeri işlerde trenlerin trafik emniyetinin tehlikeye girmemesine ve çalışanların trenlere karşı korunmasına dair kuralları belirlemektedir. 2701 ve 551 sayılı emirlerde tren hızlarına göre Şekil 5’te görüldüğü gibi risk bölgeleri ve risk mesafeleri belirlenmiştir [7 - 8]. 2701 ve 551 sayılı emirlerde Emniyet Yöneticisi, Emniyet Görevlisi ve Refakat Görevlisi gibi görev tanımları yapılmıştır. Emniyet planı tanımı ile yapılacak işin kapsamına göre; işi yapan yüklenici, 3. Şahıs ve diğer kurum ve kuruluş tarafından sunulacak, içerisinde işin tanımının, çalışma programının, çalışma alanının, emniyet yöneticisinin, emniyet görevlisinin ve çalışanların bilgilerinin, çalışma ve çalışma alanı ile ilgili tehlikelerin, tehlikelere göre alınacak önlemlerin, gerektiğinde risk analizlerinin, acil müdahale ve ilk yardım senaryolarının yer aldığı doküman ile demiryolu trafik emniyeti ile ilgili demiryolu tarafından belirlenen tedbirlerin yer aldığı bir doküman istenmektedir. Yüklenicilerin demiryolu hatlarında işe başlaması için Şekil 6’da sıralanan adımları gerçekleştirmeleri gerekmektedir [7 - 8].



Şekil 5. TCDD’de risk bölgeleri ve mesafeler



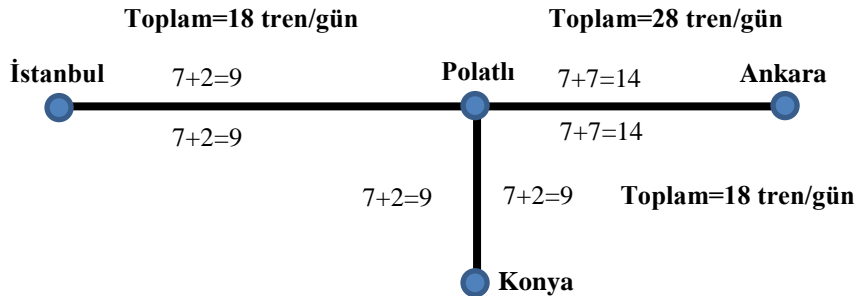
Şekil 6. Yüklenicilerin demiryolu hatlarında işe başlama süreçleri

2012 yılında yayınlanan 6331 sayılı ulusal kanun iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektedir. İşverenin çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlü olduğu bu kanunla güvence altına alınmıştır. İşverenin yükümlülüklerinin yerine getirilmesinde aşağıdaki ilkeler göz önünde bulundurulur [6]:

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

#### 4. TCDD Hatlarında Güvenirlik ve Risk Analizleri

Bu çalışma, işletme altında bulunan demiryolu hatlarında yapılan faaliyetlerde (Bakım, yenileme, kontrol vb.), çalışan personelin emniyetinin sağlanmasına yönelik yapılan güvenirlilik ve risk analizleri, TCDD'nin Ankara-İstanbul, Ankara-Konya ve İstanbul-Konya arasında bulunan yüksek hızlı demiryolu hatları için yapılmıştır. Ankara-İstanbul, Ankara-Konya ve İstanbul-Konya arasında bulunan yüksek hızlı demiryolu hatlarında bir günde çalışan trenlerin sayısı TCDD'den elde edilerek aşağıdaki Şekil 7'de gösterilmiştir [10].



Şekil 7. TCDD yüksek hızlı demiryolu hatlarında bir günde çalışan tren sayıları

Üstel, Poisson ve Weibull gibi dağılımları kullanarak güvenirlilik analizleri yapmak mümkündür. Bu çalışmada, güvenirlilik analizlerinde Poisson dağılımı kullanılmıştır. Poisson dağılımı eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$P(x) = \frac{(\lambda T_i)^x \cdot e^{-\lambda T_i}}{x!} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $P(x)$ : Verilen periyotta istenen tren sayısının geçme olasılığı,  $\lambda$ : İstenen periyotta geçen tren sayısı,  $T_i$ : İstenen periyot ve  $x$ : İstenen tren sayısı görülme olasılığı. Ankara, İstanbul ve Konya arasında çalışan tren sayıları günlük ve saatlik olarak tespit edilmiş ve

demiryolu hattı üzerinde bir saatte sıfır tren gelme olasılıkları hesaplanarak güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak  $i$ 'inci kesimden bir saatte geçen tren sayısı hesaplanmıştır.

$$\lambda_i = \frac{N_i}{t_i} \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $\lambda_i$ :  $i$ 'inci kesimden bir saatte geçen tren sayısı,  $N_i$ :  $i$ 'inci kesimde bir günde çalışan tren sayısı ve  $t_i$ :  $i$ 'inci kesimde saat olarak günlük işletme süresi.

Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak, çalışma kesimlerine bir saatte sıfır tren gelme olasılıkları hesaplanmış ve ilgili kesimin güvenilirlik oranları bulunmuştur. Tablo 1'te görüldüğü gibi yüksek hızlı demiryolu hatları üzerinde bir saat faaliyet yapılması durumunda emniyet açısından hattın güvenilirliğinin Ankara-Polatlı arası % 23, Polatlı-Konya arası % 39 ve İstanbul-Polatlı arası ise % 39 olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** Güvenirlik analizleri

No	Kesim	Tren Sayısı (Saat/Sayı) Gidiş	Tren Sayısı (Saat/Sayı) Dönüş	Toplam (Saat/Sayı)	Görülebiyecek Tren sayısı	$\lambda_i$	P(x)	Güvenirlik ( $r_i$ ) (%)
1	Ankara-Polatlı	0.737	0.737	1.474	0	1.474	0.2291	22.91
2	Polatlı-Konya	0.474	0.474	0.947	0	0.947	0.3878	38.78
3	İstanbul-Polatlı	0.474	0.474	0.947	0	0.947	0.3878	38.78

Yüksek hızlı demiryolu hattında gidiş ve dönüş yönünde telefon ve telsiz cihazların kullanan gözcülerle emniyet tedbirlerinin alınması ya da ilave önlemler alınarak hattın emniyetinin sağlanması durumunda hattın güvenilirliği aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$R_i = 1 - \prod_j^n (1 - r_{ij}) \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $R_i$ :  $i$ 'inci kesimin nihai güvenilirliği,  $r_{ij}$ :  $i$ 'inci kesimde  $j$ 'inci önlemin güvenilirliği ya da mevcut güvenilirlik,  $n$ : Alınan önlem sayısı,  $j$ : Önlem,  $i$ : Kesim.

Yapılan araştırmalarda telsiz ve telefon kullanarak demiryolu hattında faaliyet gösteren personelin uyarılmak istenmesi durumunda telsiz ve telefonun çeşitli sebeplerden dolayı çekmeme olasılığının % 20 olduğu tespit edilmiştir [11]. Bunun yanında yapılan işin tipine ve çevre koşullarına bağlı olarak telsiz ve telefonun görevli personel tarafından duyulmaması olasılığının ortalama % 5, ortalama bozulma olasılığının % 2, ortalama şarjının bitme olasılığının % 6 ve diğer sebeplerden dolayı telefonun fonksiyonunu yerine getirememe olasılığının ise % 1 olduğu öngörülmüştür. Özetle alınan tedbirin ya da tedbirlerin fonksiyonlarını yerine getirememesi olasılıkları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$O_t = 1 - \prod_j^k (1 - o_{tj}) \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $O_t$ : t'inci önlemin toplamda fonksiyonunu yerine getirememe olasılığı,  $o_{tj}$ : t'inci önlemin j'inci sebeple fonksiyonunu yerine getirememe olasılığı, k: Sebep sayısı, j: Sebep, t: Önlem.

İşletme altında bulunan demiryollarında emniyetin sağlanmasına yönelik olarak alınan tedbirlerin güvenilirliği ( $R_t$ ) ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$R_t = 1 - O_t \quad (5)$$

Tablo 2'de telefon ve telsiz kullanılması durumunda önlemin fonksiyonunu yerine getirememe olasılığı hesaplanmış ve gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Telefonun ve telsizin çalışma olasılıklarını etkileyen faktörler

Önlem	Çekmeme (%)	Duyulmama (%)	Bozulma (%)	Şarjının Bitmesi (%)	Diğer Sebepler (%)	$O_t$ (%)	$R_t$ (%)
Telefon	20	5	2	6	1	30.7	69.3

Tablo 2'de görüldüğü gibi telefon ve telsizin güvenilirlik oranı % 69 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde hatta faaliyet gösteren personelin uyarılmasında gözcülere düdük ya da borazan verilmesi durumunda çalışan personelin sesi duymama olasılığının en kötü koşullarda %40 olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda düdük ya da borazanın güvenilirliği % 60 hesaplanır. Düdük ya da borazanın çeşitli sebeplerle fonksiyonunu yerine getirememesi durumları (Bozulması, gözcü personelin dalgın olması vb.) dikkate alınırsa güvenilirlik değerleri % 60'ın altına düşecektir. Bu çalışmada sadece telefon ve telsiz kullanılması durumunda yüksek hızlı demiryolunun güvenilirliği hesaplanmış ve Tablo 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Sadece telefonun kullanılması durumunda güvenlik oranları

No	Kesim	İşletme ( $r_i$ ) (%)	Telef. ve Tels. ( $R_t$ ) (%)	$R_i$ (%)
1	Ankara-Polatlı	22.91	69.30	% 76.34
2	Polatlı-Konya	38.78	69.30	% 81.21
3	İstanbul-Polatlı	38.78	69.30	% 81.21

İşletme altında bulunan demiryolu hatlarının emniyetinin sağlanmasında teknik ve teknolojik cihazlar yani Otomatik Hat Uyarı Sistemi (ATWS) kullanılması durumunda ATWS sisteminin hata yapma olasılığı minimum 1/1,000,000'dir. Bu durumda sistemin güvenilirliği % 99.9999 olarak hesaplanır. Tablo 4'de, TCDD yüksek hızlı demiryolları hatlarında ATWS sistemi kullanılarak işletme altında bulunan demiryollarında yapılan çalışmaların emniyet altına alınması durumunda hattın emniyet açısından güvenilirliği hesaplanmıştır.



**Tablo 4.** ATWS kullanılması Durumunda Oluşan güvenilirlik Oranları

No	Kesim	$r_i$ (%)	ATWS (%)	$R_i$ (%)
1	Ankara-Polatlı	22.91	99.9999	99.9999229
2	Polatlı-Konya	38.78	99.9999	99.9999388
3	İstanbul-Polatlı	38.78	99.9999	99.9999388

#### 4.1.Risk Analizleri

İşletme altında bulunan demiryolu hatlarında yapılan faaliyetlerin risk analizleri için matris metoduna benzer bir yöntemle risk analizleri yapılmıştır. Risk Skor (RS) değerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$RS = O_i \cdot D$$

Yukarıdaki eşitlikte, RS: Risk skoru,  $O_i$ : i'inci önlemede kazanın olma olasılığı, D: Olayın derecesi (Felaket durumunda 100), i: Önlem.

Kaza olma olasılıklarının hesaplanmasında alınan önlemlerin güvenlik düzeyleri dikkate alınarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$O_i = 1 - R_i$$

Tablo 5'de alınan önlemlere gelen risk değeri gösterilmiştir. Tablo 5'de görüldüğü gibi ATWS dışında diğer durumların risk değerlerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Risk değeri birin üzerinde olan tüm önlemler için acil eylem planlarının hazırlanması gerekmektedir.

**Tablo 5.** Alınan Önlemlere Karşılık Gelen Risk Değerleri

Kesim	Kaza olma olasılığı			Şiddet	Risk Değerleri (F)		
	İşletme	Telefon-Telsiz	ATWS		İşletme	Telefon-Telsiz	ATWS
Ankara-Polatlı	0.77	0.24	0.01	100	77	24	1
Polatlı-Konya	0.61	0.19	0.01	100	61	19	1
İstanbul-Polatlı	0.61	0.19	0.01	100	61	19	1

## 5. Sonuç Ve Değerlendirmeler

TCDD yüksek hızlı demiryolu hatlarında işletme altında gerçekleştirilecek bakım, yenileme ve teftiş gibi faaliyetlerde hatta çalışan personelin ve işletmenin emniyeti için yapılan güvenilirlik ve risk analizlerinde en yoğun kesimin Ankara-Polatlı arası kesim olduğu ve emniyet açısından hattın % 23 güvenilir olduğu, telefon ve telsiz kullanarak güvenilirliğin ancak % 76 seviyesine

çıkarılabileceği görülmektedir. Otomatik hat uyarı sistemleri (ATWS) kullanılmasında ise güvenilirliğin % 100 dolaylarına çıkarılabileceği görülmektedir. Risk analizlerinde, risk skor değerinin ATWS dışındaki durum ve önlemlerde birin üzerinde olduğu ve acil eylem planlarının hazırlanması gerektiği görülmektedir. Türkiye’de ki demiryolu yatırımları dikkate alındığında yakın bir gelecekte tren işletmesinde önemli bir artışın yaşanacağı görülmektedir. Demiryolu ulaşımına olan talebin artmasıyla işletmenin kapatılması hatta kesintiye uğraması mümkün olamayacaktır. Aksi durumda demiryollarına olan talep gerileyecek, yapılan yüksek maliyetli altyapı yatırımları atıl kalacaktır. Mevcut durumda bulunan emirlerle demiryolu emniyetinin sağlanmak istenmesi durumunda ise çalışanların ve işletmenin emniyeti büyük bir risk altında kalacaktır. Daha verimli ve emniyetli bir demiryolu işletmesi için demiryollarında yol emniyeti EN 16704 numaralı standarda uygun olarak sağlanmalıdır. Ayrıca işletme altında bulunan demiryollarında veya yanında bulunan hatlarda ihale edilen inşaat işleri için yüklenicilerin EN 16704 standardına uygun emniyet tedbirleri alması sağlanmalıdır. Hali hazırda ulusal demiryolu emniyet mevzuatı ve 6331 sayılı kanun teknik gelişmelere uyum sağlanarak emniyetin sağlanması gerektiğini belirtmektedir.

## Kaynaklar

- [1] European Commission. Council Directive 2004/49/EC of 29 April 2004 on safety on the Community's railways and amending, Official Journal L 164, 30/4/2004, pp. 44–113.
- [2] EN 50126: 2001. Railway Applications—Specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 2001.
- [3] EN 16704-1: 2016. Railway applications. Track. Safety protection on the track during work. Railway risks and common principles for protection of fixed and mobile work sites.
- [4] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD). TCDD Emniyet Yönetim Sistemi El Kitabı. TCDD Yayınları, Ankara, 2017.
- [5] T.C. Resmi Gazete. Demiryolu Emniyet Yönetmeliği, 29537 sayılı Resmi Gazete, T.C. Resmi Gazete Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 19 Kasım 2015 Perşembe.
- [6] T.C. Resmi Gazete. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 28339 sayılı Resmi Gazete, T.C. Resmi Gazete Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 30 Haziran 2012 Cumartesi.
- [7] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD). TCDD 2701 Sayılı Emir. TCDD Yayınları, Ankara, 2016.
- [8] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD). TCDD 551 Sayılı Emir. TCDD Yayınları, Ankara, 2017.
- [9] <http://www.zoellner.de/>, 01.07.2017.
- [10] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD). Yüksek Hızlı Tren Saatleri, <http://www.tcdd.gov.tr/>, 09.07.2017.
- [11] Yeh, Yu-Shuan, and Stuart Schwartz. "Outage probability in mobile telephony due to multiple log-normal interferers." *IEEE Transactions on Communications* 32.4 (1984): 380-388.