



Makale / Research Paper

Farklı Karayolu Tünellerinin Tünel Özellikleri ve Sürücü Davranışları Açısından İrdelenmesi

Metin Mutlu AYDIN^{1*}, Emine ÇORUH², Hüseyin KALKAN³

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun/TÜRKİYE

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane/TÜRKİYE

³Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE

^ametinmutluaydin@gmail.com

Received/Geliş: 04.04.2020

Accepted/Kabul: 10.06.2020

Öz: Yüksek standartta hizmet verebilmek amacıyla yeni inşa edilen birçok tünel işletme ve tünel güvenliği açısından içerisinde birçok teknolojik altyapıyı barındırmaktadır. Özellikle son yıllarda inşa edilen tünellerden, düşük işletme maliyetine sahip olması, sürücüler için ekonomik olması, güvenli olması, kapsamlı kontrol ve yönetim sistemlerine sahip olması vb. birçok beklentiye cevap vermesi istenildiğinden tünel işletme ve güvenlik başarımlarının üst seviyede olması beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında, tünel sayısının oldukça fazla olduğu Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Gümüşhane ve Trabzon illeri arasındaki farklı karakteristik özellikte ve çoğunluğu yeni inşa edilen toplam 17 adet tünel, gidiş ve geliş yönü için ayrı ayrı güvenlik ve işletim özellikleri ile tünellerdeki sürücü davranışları açısından detaylı olarak irdelenmiştir. Böylece tünellerde mevcut olan güvenlik ve işletim problemleri ile tünellerdeki mevcut sorunların sürücü davranışı üzerindeki etkilerinin ortaya konulması hedeflenmiş; kazaların önlenmesi hususunda belirlenen hususlara dikkat çekilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'nin sadece tünellerin inşasında değil, güvenlik ve işletmesini sağlayan teknolojik altyapıların kullanılması ve uygulanması hususunda önemli aşamalar kaydettiği görülmüştür. Yapılan incelemelerden yeni teknolojik sistemlerin yeni inşa edilen tünellerin işletimini kolaylaştırdığı ve güvenliğini arttırdığı; buna rağmen bazı tünellerde halen güvenlik ve sürücü davranışları açısından farklı özellikte problemler olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında bu sorunlar detaylı olarak incelenerek sorunların çözümüne yönelik öneriler getirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tünel güvenliği, kontrol sistemleri, tünel işletmeciliği, sürücü davranışları, ortalama hız.

Examination of Various Highway Tunnels in terms of Tunnel Features and Driver Behaviors

Abstract: Many newly built tunnels contain many technological infrastructures in terms of management and tunnel safety to provide high-standard services. Tunnel management and tunnel safety are expected to be at a high level since tunnels, especially built in recent years, are required to meet many expectations such as having low operating costs, being economical for drivers, being safe, and having comprehensive control and management systems. Within the scope of this study, a total of 17 tunnels with different characteristic features between Gümüşhane and Trabzon provinces that are located in the Eastern Black Sea Region, where the number of tunnels is quite high, and including mostly new tunnels, were examined in detail and separately in terms of safety and operational features for the traffic directionally of tunnels and driver behaviors in tunnels. Thus, it was aimed to reveal the existing safety and operational problems in tunnels and the effects of existing problems in tunnels on driver behaviors, and attention was drawn to considerations for the prevention of accidents. According to the results obtained, it was observed that Turkey made significant progress not only regarding the construction of tunnels but also regarding the use and application of technological infrastructures that provide their safety and operation. Based on the examinations, it was determined that new technological systems facilitated the operation of newly built tunnels and increased their safety. However, there were still different

Bu makaleye atıf yapmak için

Aydın M. M., Çoruh E., Kalkan H., "Farklı Karayolu Tünellerinin Tünel Özellikleri ve Sürücü Davranışları Açısından İrdelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3); 1258-1274.

How to cite this article

Aydın M. M., Çoruh E., Kalkan H., "Examination of Various Highway Tunnels in terms of Tunnel Features and Driver Behaviors" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(3); 1258-1274.

ORCID: ¹0000-0001-9470-716X, ²0000-0002-3251-9179, ³0000-0003-2561-3738

problems in terms of safety and driver behaviors in some tunnels. Within the scope of the study, these problems were examined in detail, and suggestions were made for the solution of the problems.

Keywords: Tunnel safety, control systems, tunnel management, driver behaviors, average speed.

1. Giriş

Karayolu tünelleri yapısal özellikleri nedeniyle ile yol güvenliğinin ön planda olduğu yol kesimleridir. Türkiye gibi farklı bölgelerinde dağlık arazilerin yaygın olduğu ülkelerde, karayolu ulaşımını kesintisiz sağlayabilmek amacıyla arazi koşullarının yol inşasına uygun olmadığı yerlerde karayolu tünelleri inşa edilmektedir. Özellikle son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmelere bağlı olarak, Türkiye vb. gelişmekte olan ülkelerde yolcu ve yük taşımacılığında karayolu taşımacılığının büyük paya sahip olması nedeniyle yüksek standartlı karayolu inşaatlarına büyük bütçeler ayrılmaktadır [1]. Coğrafik yapısı nedeniyle son yıllarda Türkiye'deki birçok bölgede kesintisiz, etkin ve ekonomik bir karayolu ulaşım olanağının sağlanması amacıyla tünel inşasına büyük önem verilmiştir. 2003 yılına kadar 50 km uzunluğa sahip 83 tünel mevcut iken, 2019 yılı Karayolları Genel Müdürlüğü tünel envanterine göre 216 adet tek tüplü, 101 adet çift tüplü olmak üzere 356,8 km uzunluğunda toplam 317 adet tünel bulunduğu tespit edilmiştir. Bu rakamlar ülke genelinde tünel inşasına çok büyük bir önem verdiğini doğrulamaktadır [1, 2].

Karayolu tünelleri projelendirme aşamasından işletmeye açılıncaya kadar tüm aşamalarda farklı planlama ve inşa süreçlerine sahiptir. İnşa edilen yüksek standartlı birçok yeni tünel (Ovit tüneli, Gümüşhane çevreyolu tünelleri vb.), tünel inşasının eskisi gibi zor süreçler olmadığını ve içerisinde birçok yeni teknolojik altyapıyı barındırdığını göstermektedir. Günümüzde tünellerin işletmeye açılmasından sonra düşük işletme maliyetine sahip olması, sürücüler için ekonomik olması, güvenli olması, kapsamlı kontrol ve yönetim sistemlerine sahip olması vb. birçok talebe cevap vermesi beklenmektedir. Tünellerin güvenli olması ve efektif şekilde işletilmesi üzerinde birçok farklı parametre etkili olmaktadır. Tünel güvenliğini ve işletmesini olumsuz etkileyen faktörleri ve riskleri ortadan kaldırmak amacıyla tünellerde birçok teknolojik altyapı uygulamaları (otomatik havalandırma, hız kontrol, otomatik yangın söndürme, araç plaka tanıma, olay algılama vb. sistemler) uygulanmaktadır. Bu sistemler oldukça yüksek maliyetlere sahip olmakla birlikte, her bir sistem farklı birçok amaca da hizmet edebilmektedir [3]. Tünellerde uygulanan bu sistemlerdeki ana amaç ise tünelleri güvenli hale getirerek; tünel içi trafik kazalarını önlemek ve operatöre tünelleri sürekli kontrol etme olanağı sağlamaktır.

Mevcut araştırmalar, karayolu tünellerindeki kazaların yaklaşık olarak %95'inin insan kaynaklı sebeplerden meydana geldiğini ortaya koymaktadır [4-6]. Dolayısı ile insan faktörü, tünel güvenliğinin önemli bir parçası olarak gösterilebilmektedir [5, 7]. Mevcut bulgular tünellerde meydana gelen ölümlerin yaklaşık 2/3'ünün trafik kazaları ya da buna bağlı oluşan yangınlardan dolayı gerçekleştiğini göstermekte ve araştırmalarda bu duruma dikkat çekilmektedir [8]. Yapılan birçok çalışma tünellerdeki sürücü davranışı ve algısının farklı ortamlarda (farklı yol genişlikleri ve özellikleri, günün farklı zamanları, farklı aydınlık seviyeleri, farklı hava koşulları) farklı olduğunu göstermiş ve bu durumun kazalar üzerinde oldukça etkili olduğunu ortaya koymuştur [9-11]. Tünellerde bir kazanın meydana gelme olasılığı bir karayoluna nazaran daha az olmakla beraber oluşacak kazanın şiddeti ise maalesef tünel dışı yollara göre daha fazladır [12-16]. Dolayısı ile tünel içerisinde yaşanacak en küçük bir olumsuzluk durumunda oldukça kötü sonuçların meydana gelmemesi için tünel güvenliğine çok daha fazla önem verilmesi oldukça önemlidir [16]. Kaza istatistiklerine göre tünellerin giriş bölgesindeki kaza riskinin tünel içerisinden daha fazla olduğu görülmüş ve bu durum tünellere giriş ve çıkıştaki aydınlatmanın önemini ortaya koymuştur [17, 18]. Tünellerde birçok faktöre bağlı olarak kaynaklanabilecek kaza riskini azaltabilmek amacıyla tünel tasarımlarının, trafik düzenlemelerinin ve uygun tesislerin (havalandırma, aydınlatma, plaka tanıma,

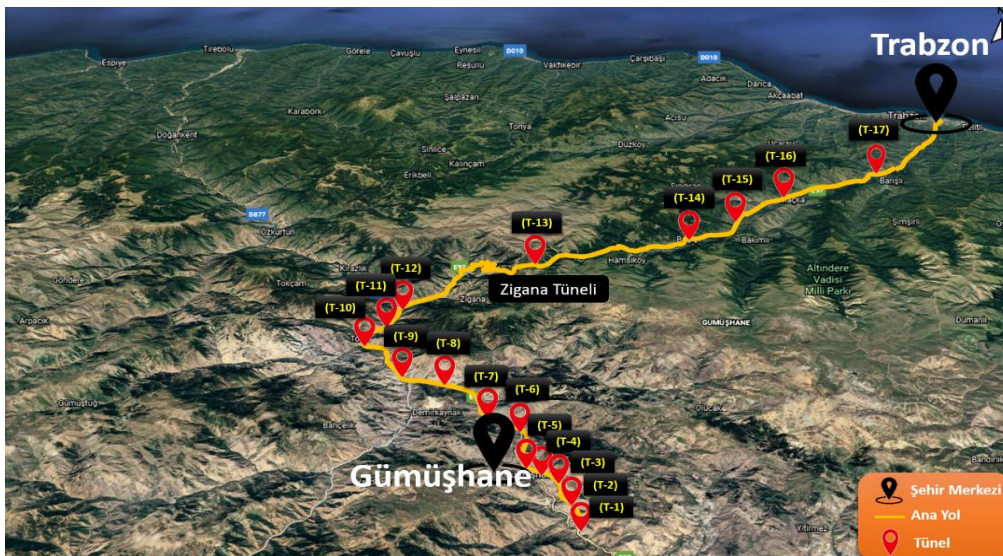
hava kirlilik ölçümü vb.) çok özenli şekilde planlanması, yangın vb. durumlar için ise en uygun acil durum tesislerinin ve yangına dayanıklı korunma-kaçma yapılarının tasarlanması gerekmektedir [19]. Tünelde trafik yoğunluğuna ve tünelin uzunluğuna bağlı olarak tasarımın sürücü için kabul edilebilir bir düzeyde olması gerekmektedir [16]. Özellikle uzun tüneller yaygınlaştıkça monotonluk ve sürücü gözlerinin hareketsizliği önemli bir sorun olmaya başlamakta ve bu tünellerde kaza riski daha da artmaktadır. Örneğin Norveç'te 24,5 km uzunluğundaki Laerdal Tüneli planlanırken, farklı aydınlatma türlerinin ve yapıların, monotonluk ve dikkat dağınıklığını nasıl etkilediğini araştırmak için simülatör çalışmaları yapılmış ve sonuç olarak tünel uzunluğuna bağlı olarak aydınlatmanın sürücülerin hem sürüş hem de bakış davranışını etkilediği açıklanmıştır [19-21]. Tünel içerisindeki aydınlatmanın kaza riski açısından son derece önemli olduğu görülmüş olup, tüneldeki aydınlatma miktarının tünel içerisindeki trafik yoğunluğuna, hız sınırına ve dış ortam koşullarına (gündüz/gece) bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir [16]. Elde edilen sonuçlara göre tünel içerisindeki her bir parametrenin tünel güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Mevcut literatür çalışmaları ve tünel uygulamalar incelendiğinde tünel güvenliği ve işletmesi üzerinde etkili olan birçok farklı parametre olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu parametrelerin sürücü davranışları, araç ve tünellerin karakteristik özelliklerine göre farklılık gösterdiği ise yadsınamaz bir gerçektir. Bu çalışma kapsamında, tünel sayısının fazla olduğu Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Gümüşhane ve Trabzon illeri arasındaki farklı karakteristik özellikteki toplam 17 adet tünel, güvenlik ve işletim özellikleri, tünellerdeki yapısal sorunlar ve tünellerdeki sürücü davranışları açısından incelenmiştir. Böylece tünellerde mevcut olan güvenlik ve işletim problemleri ile tünellerin sürücü davranışı üzerindeki etkilerinin ortaya konulması hedeflenmiş; kazaların önlenmesi hususunda çalışma kapsamında belirlenen hususlara dikkat çekilmiştir. Böylece bu çalışma, tünellerdeki işletme ve sürücü açısından zafiyetleri belirleyerek; bu sorunların giderilmesi hususunda yetkililere ve araştırmacılara rehber bir doküman olmayı amaçlamıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. İncelenen Pilot Tüneller

Bu çalışma kapsamında coğrafik yapısı nedeniyle, Türkiye'de farklı yapısal ve işletme özelliklerine sahip tünellerin yer aldığı bölgelerden birisi olan Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Gümüşhane ve Trabzon illeri arasındaki toplam 17 farklı tünel detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 1. İncelenen 17 farklı tünelin Gümüşhane-Trabzon arasındaki konumları.

Gümüşhane ve Trabzon illeri arasındaki bu yol tarihi İpekyolu (E-97) güzergâhı üzerinde yer aldığından, ağır araç ve normal araç etkileşiminin çok sayıda gözlemlendiği farklı büyüklükte ve özellikte çok sayıda tünele sahiptir [22]. Tablo 1’de bilgileri detaylı olarak verilen bu tüneller, çalışma kapsamında Gümüşhane istikametinden Trabzon istikametine doğru sırasıyla numaralandırılmış ve her iki yön (Gümüşhane-Trabzon ve Trabzon-Gümüşhane) içinde ayrı ayrı incelenmiştir.

Tablo 1. Gümüşhane çevreyolu ve Trabzon arasında incelenen tünellere ait karakteristik özellikler.

| Tünel Numarası | Tünel Adı | Tünel Uzunluğu (metre) <i>G-T</i> | Tünel Uzunluğu (metre) <i>T-G</i> | Tünelin Aydınlatma Tipi (Armatür) | Tünel Yol Türü | Tüneldeki Şerit Sayısı |
|----------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------|
| Tünel 1 | T-5 | 2564 | 2538 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 2 | T-4 | 2255 | 2245 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 3 | T-3 | 754 | 665 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 4 | T-2 | 900 | 956 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 5 | T-1 | 1725 | 1700 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 6 | Mescitli Varyant | 469 | 469 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 7 | Mescitli 1 | 201 | 226 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 8 | Taşocağı | 660 | 681 | LED | Tek Yön | 2 |
| Tünel 9 | Harmancık | 145 | 205 | Deşarj | Tek Yön | 2 |
| Tünel 10 | Torul | 1103 | 1061 | Deşarj | Tek Yön | 2 |
| Tünel 11 | Köprübaşı | 589 | 568 | Deşarj | Tek Yön | 2 |
| Tünel 12 | Kürtün Kavşak | 916 | 618 | Deşarj | Tek Yön | 2 |
| Tünel 13 | Zigana | 1702 | 1702 | Deşarj | Çift Yön | 1 |
| Tünel 14 | İsimsiz-1 | - | - | Flüoresan | Tek Yön | 2 |
| Tünel 15 | İsimsiz-2 | - | - | LED | Çift Yön | 1 |
| Tünel 16 | Yeni Maçka | - | - | Deşarj | Tek Yön | 2 |
| Tünel 17 | Şehit Eren Bülbül | 1360 | 1380 | LED | Tek Yön | 2 |

G-T: Gümüşhane’den Trabzon istikametini, *T-G*: Trabzon’dan Gümüşhane istikametini göstermektedir.

2.2. Tünellerin Yapısal Özellikleri

İncelenen tüneller işletme özellikleri açısından irdelendiğinde, yeni inşa edilen tünellerde kameralar ve tünel içerisinde yer alan sensörler aracılığı ile verileri toplayabilmek ve analiz edebilmek için kontrol ve yönetim sistemlerinin bulunduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen tünellerin birçoğunda kamera ve kayıt sistemleri bulunmakta ve tüneller bu sistemler aracılığı ile 7/24 kolaylıkta izlenebilmektedir (Şekil 2). Özellikle yeni tünellerde yer alan kameralar, 3 boyutlu hareket algılama yeteneği ile tüneller içerisinde yüksek hız, yavaş seyir, ters yönde giden araç vb. birçok olayı görüntü işleme teknolojisiyle inceleyebilmekte ve algılayarak merkezdeki operatörü uyarabilmektedir [1]. Bu yenilikçi sistemler, tünellerde güvenliği ve olası terör, hırsızlık vb. saldırıları önleyebilmekte; trafik kazası, araç bozulması veya yangın gibi olayları gözlemlenmede ve tünelde bulunan cihazların görsel kontrollerini sağlamada etkin görev alabilmektedir.

İncelenen tünellerden özellikle yeni yapılan tünellerin birçoğunda aydınlatma sistemi LED armatürdür. Bu aydınlatma sistemlerinin olduğu birçok tünelde geliştirilen kontrol sistemi yazılımı sayesinde; tünel giriş ve çıkışlarında oluşan ani ışık değişimlerinde sürücülerin gözlerinde meydana gelecek rahatsızlığı en aza indirmek amacıyla, dış ortam ve tünel içi ışık şiddeti luminansmetre ve luxmetre ile ölçülmektedir [1]. Ölçülen bu değerlere göre tünel giriş ve çıkışlarında en uygun aydınlatma seviyesi sistem tarafından otomatik olarak belirlenmektedir. Tünel içi aydınlatma kontrol sistemi tünel içerisinde acil bir durum algılandığında ise aydınlatma seviyesini otomatik olarak % 100 seviyesine getirmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2. İncelenen tünellerde (a) yenilikçi yönetim ve kontrol sistemi [23] ile (b-c) kamera ve kapalı devre televizyon sistemlerine ait örnek görseller.

Sisteme tanımlanan tünel aydınlatma seviyesi, tünel içerisinde olduğu gibi giriş ve çıkış bölgelerinde de sürücülere yeterli gündüz ve gece görünürlüğü sağlayabilmektedir (Şekil 3). Ayrıca bu tüneller için tanımlanan tahliye aydınlatmaları, tüneldeki kişilerin acil durumda tüneli yürüyerek kolay bir şekilde terk etmelerini sağlayacak özelliğe de sahiptir.



(a)



(b)

Şekil 3. Yeni inşa edilen led armatür özelliğe sahip tünellerdeki (a) tünel içi ve (b) tünel giriş/çıkış aydınlatma sistemleri.

Tünellerde mevcut olan bir diğer önemli sistem ise havalandırma sistemleridir. Özellikle uzun tüneller yapısal özellikleri nedeniyle araç egzozlarından çıkan zehirli gazları (CO, SO₂, toz partiküller, NO₂ vb.) dışarıdaki hava ile sirküle edememektedir. Dolayısıyla bu tür uzun tünellerdeki havalandırma sistemleri her bir zehirli gaz sensöründen gelen verilere (eşik değeri aştığı durumda) göre devreye girmekte ve sürücü için hayati öneme sahip temiz hava sirkülasyonu sağlamaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Tünellerde yer alan tünel içi havalandırma sistemleri.

İncelenen tünellerden uzun olan tünellerde kaza, yangın, araç arızası, tünel içi sistemlerden herhangi birinde veya birkaçında meydana gelen arıza vb. acil durumlarda sürücülerin ya da tünel içerisinde bulunan görevlilerin ana kumanda merkezi ile anında iletişime geçmeleri hayati öneme sahiptir. Uzun tünellerde tünel içerisi, tünel giriş ve çıkışlarında bu tür haberleşme sistemleri mevcuttur (Şekil 5).



Şekil 5. Yeni ve eski birçok tünelde mevcut olan (a) tünel içi ve (b) dışı haberleşme sistemleri.

Günümüzde inşa edilen eski ve yeni tünellerin birçoğunda tünel plaka okuma sistemleri mevcuttur. Bu sistemler bazen tünel dışındaki değişken mesaj sistemlerinin olduğu platformlarda bazen ise tünel giriş ve çıkışlarına yerleştirilen yüksek bir yerde bulunabilmektedir. Bu sistemler ile tünel giren/çıkan tüm araçların plakaları kesintisiz olarak okunabilmekte ve emniyet güçleri tarafından aranan araçlar var ise anında tespit edilebilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Tünellerde bulunan plaka tespit sistemleri.

Tünellerde bulunan diğer sistemler kadar tünellerdeki yangın algılama (Şekil 7) ve söndürme sistemleri ile soğuk bölgelerdeki tünellerin giriş ve çıkışlarında yer alan ve buzlanmayı önleyen buz önleme sistemleri de büyük öneme sahiptir (Şekil 8). Çalışma kapsamında incelenen tünellerden

özellikle yeni tünellerde, tünel içinde yangını algılayan doğrusal yangın algılama sistemi, optik duman detektörleri, sıcaklık algılama detektörleri ve alarm düğmeleri gibi farklı detektörler bulunmaktadır. Bu tünellerde bulunan sulu yangın söndürme sistemleri bünyesinde yedekli pompalar, su basıncını dengelemek için jokey pompa, hidrantlar ve yangın dolaplarını barındırmakta ve yangın anında bu sistemler işlevine göre otomatik ya da manuel olarak çalışabilmektedir.



Şekil 7. Tünellerdeki otomatik yangın söndürme sistemleri [24].



Şekil 8. Tünel giriş ve çıkışlarında yer alan otomatik buzlanma önleme sistemlerine ait görseller.

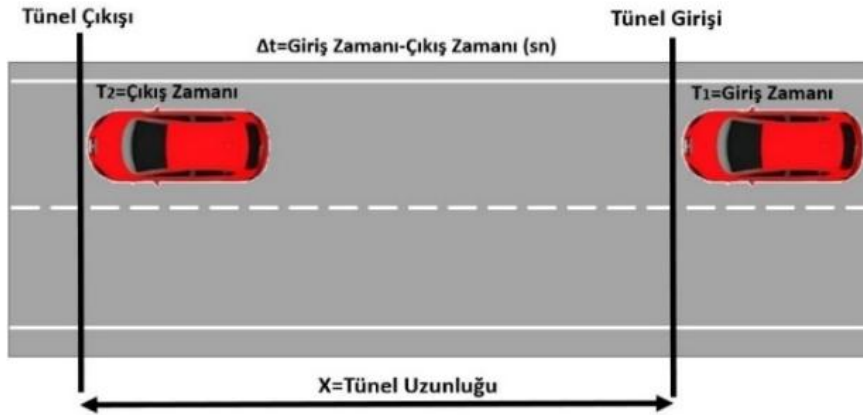
2.3. Tünellerdeki Ortalama Yol Yüzey Düzgünsüzlükleri ve Hızlar

Çalışma kapsamında tünellerdeki ortalama hızlar (v_{ort}) ve tünel içi ortalama tahmini yüzey düzgünsüzlük değerlerinin ($eIRI_{ort}$) belirlenmesi amacıyla Gümüşhane ve Trabzon arasında yaklaşık 100 km uzunluğundaki yolda 17 farklı tünelde farklı sürücülere ait sürücü davranışları incelenmiştir. 2019 yılı Ağustos-Aralık ayları arasında (4 ay) toplam 5 farklı sürücünün 6 farklı turdaki (3 gidiş yönü-3 geliş yönü) hareketleri incelenerek tünellerdeki ortalama sürüş hızları ve ortalama tahmini yol yüzey düzgünsüzlük değerleri belirlenmiştir (Şekil 9). Saha incelemeleri kapsamında ($eIRI_{ort}$) verilerinin toplanması amacıyla bir yazılım firması tarafından geliştirilen ve akıllı telefonların ivme ölçer, titreşim ölçer ve GPS özelliklerini kullanan bir cep telefonu uygulaması kullanılmıştır. Kullanılan uygulamanın GPS konumlarına düzgünsüzlük değeri ataması ve tünel içlerinde GPS erişimi olmadığı için tünel girişindeki son ve tünel çıkışındaki ilk GPS konumlarına atanan düzgünsüzlük değerlerinin ortalaması alınarak o tünel için bir düzgünsüzlük değeri hesaplanmıştır. Bu uygulama, detaylı tasarım parametreleri sayesinde farklı araç türleri, farklı hızlar ve farklı özellikteki akıllı telefonlar için efektif bir kalibrasyon işlemi sonrası araçların GPS konumlarına göre anlık hızını (km/sa) ve tahmini yol yüzey düzgünsüzlüğü verilerini ölçebilmektedir [25; 26; 22]. Bu akıllı telefon uygulaması tasarım özelliklerinde barındırdığı titreşim ölçme kabiliyeti ile kendi içerisine tanımlanan bağıntı ve hesap parametreleri ile tahmini bir Uluslararası Yol Düzgünsüzlük İndeksi $eIRI$ değeri hesaplamaktadır.



Şekil 9. Teknik ekipmanlar yardımıyla (a) ortalama hız ve (b) ortalama tahmini yol yüzey düzgünlük verilerinin toplanması.

Yapılan araştırmalara göre iyi bir kalibrasyon sonrası akıllı telefonlar ile hesaplanan $eIRI$ değerlerinin bilinen düzgünlük ölçüm cihazları ile yapılan ölçümler ile ortalama %70-80 benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [22, 25-28]. Bu tür akıllı telefon uygulamalarının çok kolay ve hızlı şekilde araç hızı ve düzgünlük verisi toplama özelliği, bu uygulamaların farklı yol kesimlerindeki yol yüzeylerinde meydana gelen deformasyonların ön tespiti çalışmalarında sıklıkla kullanımını sağlamaktadır. Bu uygulamaların birçok farklı araçta aynı anda kullanılması ile birlikte istenilen tüm yol ağlarında anlık olarak yol yüzey düzgünlükleri tespit edilerek ihtiyaç olan bölgelerde gerekli iyileştirmeler yapılabilmekte ve istenilen her türlü veri toplanabilmektedir. Çalışma kapsamında incelenen yol kesiminde, hareket eden pilot araçların ortalama hız (v_{ort}) verilerinin elde edilmesi amacıyla, hareket doğrultusunda yer alan tünellere araçların giriş ve çıkış süreleri ile tünel uzunlukları kullanılarak ortalama hız değerleri hesaplanmıştır (Denklem 1).



Şekil 10. İncelenen tünellerde ortalama hızlar ve ortalama tahmini yüzey düzgünlük değerlerinin belirlenmesi.

$$v_{ort} = \left(\frac{X}{\Delta_t}\right) \times 3,6 \quad (1)$$

Burada;

- v_{ort} : Tünel içerisindeki ortalama taşıt hızı (km/sa),
- X : Tünel uzunluğu (m),
- Δ_t : Tünele giriş-çıkış arasında geçen süre (sn).

3. Analizler ve Bulgular

3.1. Yüzey Düzgünlükleri ve Ortalama Hızlar

Çalışmada tünele giriş ve çıkış sürelerinin belirlenmesinde kullanılan kronometre yardımıyla incelenen tünellerde hesaplanan ortalama hız (v_{ort}) ve akıllı telefon uygulaması ile elde edilen tünel ortalama tahmini yüzey düzgünlük değerleri ($eIRI_{ort}$) ve bu değerlere ait standart sapma değerleri Gümüşhane-Trabzon yönü için Tablo 2’de, Trabzon-Gümüşhane yönü için Tablo 3’te verilmiştir. Tünellerdeki ortalama hız ve ortalama tahmini düzgünlük değerlerinin her iki yön içinde karşılaştırılmış hali ise Şekil 11’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Tünel öncesi ve tünel girişindeki ortalama hız ve ortalama tahmini yol yüzey düzgünlük değerlerine ait sayısal bilgiler (Gümüşhane-Trabzon Yönü).

| Tünel No | Tünel Adı | Hız (km/sa) | | | Düzgünlük | | |
|----------|-------------------|-------------|------------|----------|--------------|------------|----------|
| | | v_{ort} | Std. Sapma | Sıralama | $eIRI_{ort}$ | Std. Sapma | Sıralama |
| Tünel 1 | T-5 | 94.3 | 27.5 | 13 | 1.2 | 0.2 | 2 |
| Tünel 2 | T-4 | 96.7 | 25.3 | 10 | 1.3 | 0.2 | 3 |
| Tünel 3 | T-3 | 101.5 | 30.2 | 8 | 1.1 | 0.1 | 1 |
| Tünel 4 | T-2 | 107.8 | 33.8 | 7 | 1.3 | 0.1 | 3 |
| Tünel 5 | T-1 | 110.7 | 35.9 | 3 | 1.3 | 0.2 | 3 |
| Tünel 6 | Mescitli Varyant | 94.8 | 17.2 | 11 | 1.5 | 0.3 | 5 |
| Tünel 7 | Mescitli 1 | 108.3 | 33.0 | 6 | 1.4 | 0.3 | 4 |
| Tünel 8 | Taşocağı | 111.2 | 28.3 | 2 | 1.5 | 0.4 | 5 |
| Tünel 9 | Harmancık | 109.7 | 30.1 | 5 | 1.4 | 0.3 | 4 |
| Tünel 10 | Torul | 98.4 | 23.4 | 9 | 1.5 | 0.2 | 5 |
| Tünel 11 | Köprübaşı | 112.7 | 35.4 | 1 | 1.4 | 0.3 | 4 |
| Tünel 12 | Kürtün Kavşak | 94.7 | 23.2 | 12 | 1.6 | 0.4 | 6 |
| Tünel 13 | Zigana | 77.8 | 19.1 | 14 | 2.3 | 0.9 | 7 |
| Tünel 14 | İsimsiz-1 | - | - | - | 1.5 | 0.4 | 5 |
| Tünel 15 | İsimsiz-2 | - | - | - | 1.6 | 0.3 | 6 |
| Tünel 16 | Yeni Maçka | - | - | - | 1.4 | 0.2 | 4 |
| Tünel 17 | Şehit Eren Bülbül | 110.6 | 32.3 | 4 | 1.3 | 0.3 | 3 |
| | Ort. (Σ) | 102.2 | 28.2 | - | 1.5 | 0.3 | - |

Ortalama hızlar yüksekte düşüğe; ortalama düzgünlükler ise düşüğe yükseğe doğru sıralanmıştır. 14, 15 ve 16 numaralı tünellerin uzunlukları yetkililer tarafından belirtilmediğinden bu tüneller için herhangi bir hız değeri hesaplanamamıştır.

Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde, Gümüşhane-Trabzon ve Trabzon-Gümüşhane yönü üzerinde yer alan tünellerde ortalama hızların tünellere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Her iki yön içinde en yüksek ortalama hız Köprübaşı tüneli (Tünel 11), en düşük ortalama hız ise mevcut Zigana tüneline (T-13) hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama hız değerlerinden de görüldüğü üzere tünellerdeki ortalama hızlar tünel içerisindeki aydınlatma, kurb varlığı, boyuna eğim, trafik yoğunluğu, ağır araç oranı, platform sayısı vb. faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Yapılan ortalama hız ölçümlerinden, Köprübaşı tüneline (Tünel 11) sürücülerin yüksek hızlarda hareket etmesine olanak sağladığı görülmektedir. İncelenen 17 tünelden sadece tek platformlu (tek gidiş-tek geliş) olan mevcut Zigana tüneline ortalama hızların her iki yön içinde tünel içerisindeki yüksek araç yoğunluğu, düşük yüzey düzgünlüğü ve aydınlatma koşullarına sahip olmasının bu tünelde en düşük ortalama hıza neden olduğu söylenebilmektedir. Ortalama yol yüzey düzgünlükleri incelendiğinde ise en düşük (daha düzgün) ortalama düzgünlük değerinin Gümüşhane-Trabzon yönü için T-3 (Tünel-3) tüneline, Trabzon-Gümüşhane yönü içinse T-2 (Tünel 4) tüneline olduğu belirlenmiştir.

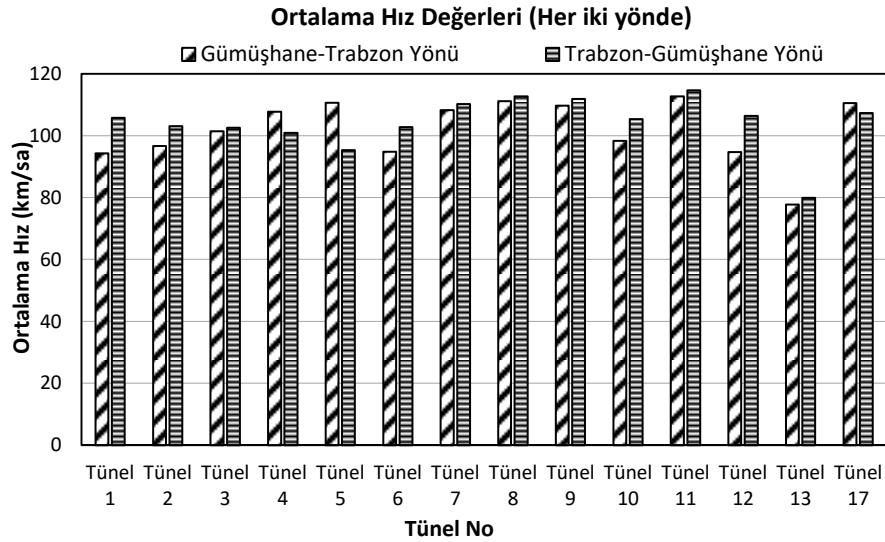
Tablo 3. Tünel öncesi ve tünel girişindeki ortalama hız ve ortalama tahmini yol yüzey düzgünlük değerlerine ait sayısal bilgiler (Trabzon-Gümüşhane Yöntü).

| Tünel No | Tünel Adı | Hız (km/sa) | | | Düzgünlük | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------|------------|----------|--------------|------------|----------|
| | | v_{ort} | Std. Sapma | Sıralama | $eIRI_{ort}$ | Std. Sapma | Sıralama |
| Tünel 1 | T-5 | 105.8 | 29.7 | 7 | 1.2 | 0.2 | 2 |
| Tünel 2 | T-4 | 103.1 | 27.7 | 9 | 1.3 | 0.1 | 3 |
| Tünel 3 | T-3 | 102.6 | 28.4 | 11 | 1.2 | 0.1 | 2 |
| Tünel 4 | T-2 | 100.9 | 26.7 | 12 | 1.1 | 0.2 | 1 |
| Tünel 5 | T-1 | 95.4 | 24.4 | 13 | 1.3 | 0.2 | 3 |
| Tünel 6 | Mescitli Varyant | 102.8 | 23.4 | 10 | 1.5 | 0.3 | 5 |
| Tünel 7 | Mescitli 1 | 110.3 | 31.2 | 4 | 1.4 | 0.3 | 4 |
| Tünel 8 | Taşocağı | 112.7 | 32.7 | 2 | 1.4 | 0.3 | 4 |
| Tünel 9 | Harmancık | 111.9 | 29.7 | 3 | 1.3 | 0.3 | 3 |
| Tünel 10 | Torul | 105.4 | 26.2 | 8 | 1.4 | 0.2 | 4 |
| Tünel 11 | Köprübaşı | 114.7 | 31.4 | 1 | 1.6 | 0.3 | 6 |
| Tünel 12 | Kürtün Kavşak | 106.4 | 24.7 | 6 | 1.7 | 0.4 | 7 |
| Tünel 13 | Zigana | 79.9 | 14.4 | 14 | 2.3 | 1.0 | 8 |
| Tünel 14 | İsimsiz-1 | - | - | - | 1.4 | 0.3 | 4 |
| Tünel 15 | İsimsiz-2 | - | - | - | 1.6 | 0.3 | 6 |
| Tünel 16 | Yeni Maçka | - | - | - | 1.3 | 0.2 | 3 |
| Tünel 17 | Şehit Eren Bülbül | 107.4 | 30.4 | 5 | 1.3 | 0.3 | 3 |
| Ort. (Σ) | | 104.5 | 43.1 | - | 1.4 | 0.3 | - |

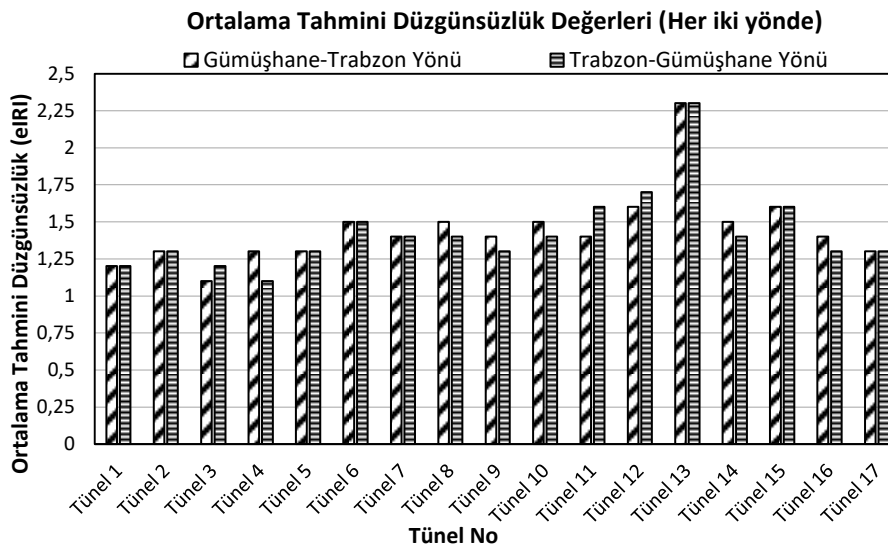
Ortalama hızlar yüksekten düşüğe; ortalama düzgünlükler ise düşükten yükseğe doğru sıralanmıştır. 14, 15 ve 16 numaralı tünellerin uzunlukları yetkililer tarafından belirtilmediğinden bu tüneller için herhangi bir hız değeri hesaplanamamıştır.

En yüksek ortalama düzgünlük değerleri incelendiğinde ise her iki yön içinde en büyük ortalama düzgünlük değerlerinin mevcut Zigana tüneline olduğu ölçülmüştür. İncelenen tüneller içinde en eski tünel olan mevcut Zigana tüneline, ortalama tahmini yol yüzey düzgünlüğü açısından da diğer tünellere göre daha kötü bir yol yüzey düzgünlüğüne sahiptir. Zigana tüneline hariç diğer tüm tünellerdeki ortalama tahmini düzgünlük değerlerinin FHWA tarafından yüksek işletme hızına sahip yollar için önerilen eşik değeri olan 2 değerinin altında olduğu ve yol yüzey düzgünlük kalitesinin iyi olduğu görülmüştür [29]. Yine mevcut Zigana tüneline de tek platformlu (tek gidiş-tek geliş) ve daha düşük işletme hızına sahip yollar için önerilen 3,5 eşik değerinden daha düşük bir ortalama tahmini düzgünlük değerine sahip olduğu ve kendi yol türüne göre iyi bir düzgünlük değerine sahip olduğu söylenebilir [29].

Şekil 11a detaylı olarak irdelendiğinde tünellerde, her iki yöndeki ortalama hız değerlerinin birbirine yakın olduğu çok büyük hız farklarının olmadığı görülmektedir. Tünellerde her iki yöndeki ortalama hızlar arasındaki farkın en fazla ($\Delta v_{ort}=15,3$ km/sa) olduğu tünel, T-1 tüneline (Tünel 5) olduğu tespit edilmiştir. Bu tüneline diğer tünellere göre yönler arası ortalama hız değerinin daha büyük çıkması üzerindeki ana sebep olarak tüneline mevcut olan yüksek boyuna eğim değeri gösterilebilmektedir. Şekil 11b detaylı incelendiğinde T-2 (Tünel 4) ve Köprübaşı (Tünel 11) tünellerinde ortalama tahmini yol yüzey düzgünlük değerleri arasındaki farkın en büyük ($\Delta eIRI_{ort}=0,2$) olduğu belirlenmiştir. Bu fark değerinin oldukça küçük olması, tünellerde yönler göre yüzey düzgünlükleri arasında önemli bir farklılığın söz konusu olmadığını göstermiştir.



(a)

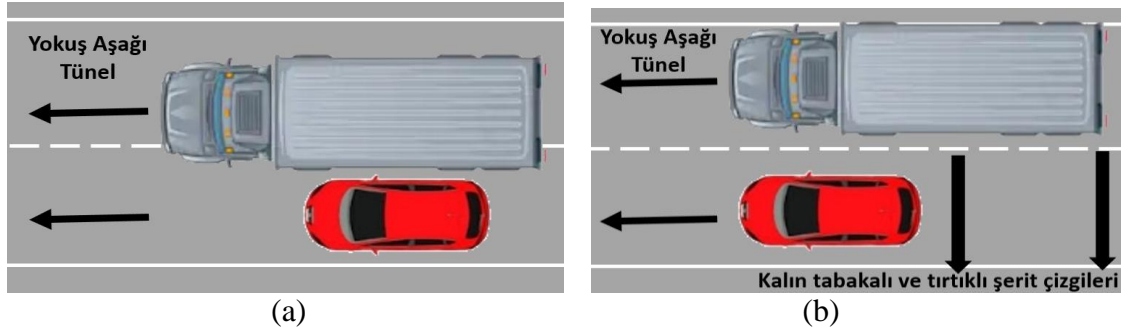


(b)

Şekil 11. İncelenen tünellerdeki (a) ortalama hızlar ve (b) ortalama tahmini yol yüzey düzgünlük değerlerinin yönlere göre dağılımı.

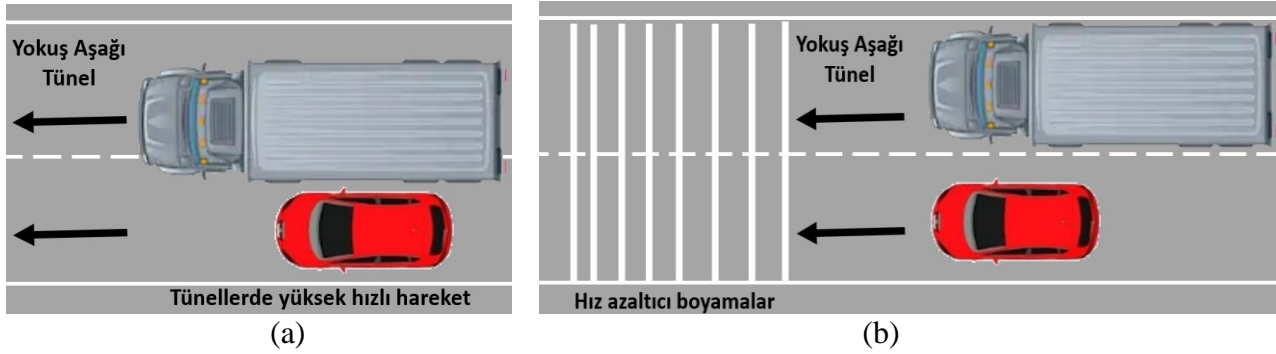
3.2. Gözlemlenen Tehlikeli Durumlar ve Çözüm Önerileri

Tünellerde yapılan saha incelemelerinden, sürücü açısından gözlemlenen ve tehlike arz eden problemlerden birisi rampa aşağı tünellerde özellikle tünel giriş/çıkışlarında yüksek hızla giden ağır araçlar ile normal araçların yana gelmesi durumunda ağır araçların şerit disiplinine riayet etmemesidir. Özellikle rampa aşağı olan tünellerde hızlanan ağır araç sürücüleri, önündeki araçları sollamak için aniden şerit değiştirebilmekte ve bu arada boş şeritten hızlı şekilde gelen otomobilleri fark etmeyerek tehlikeye sebep olabilmektedir (Şekil 12a). Belirtilen bu tehlikenin önüne geçebilmek ve her iki yöndeki sürücülerin şerit disiplinine riayet etmesini sağlayabilmek amacıyla taşıtlarda titreşim oluşturarak sürücülerini uyararak kalın tabakalı ve tırtıklı şerit çizgileri kullanılmalıdır (Şekil 12b).



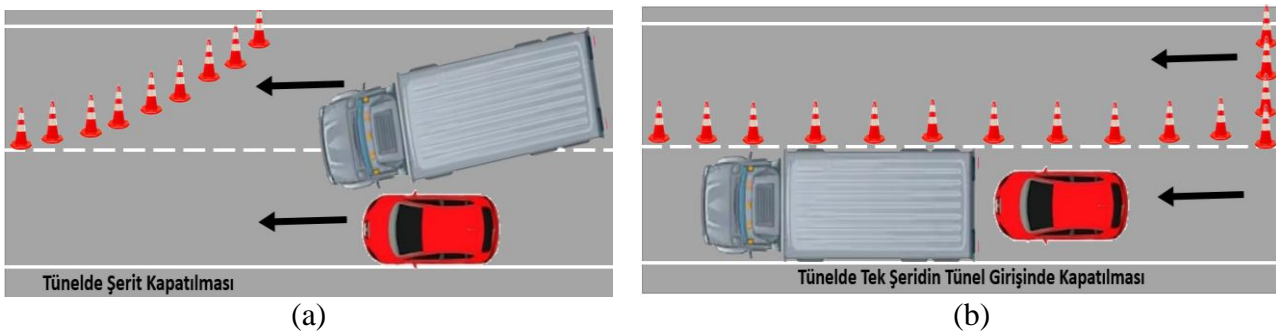
Şekil 12. Tünellerdeki (a) şerit disiplinsizliği problemleri, (b) kalın tabakalı ve tırtıklı şerit çizgileri ile sorunun çözümü.

Yine incelenen tünellerin birçoğunda ve özellikle rampa aşağı yönlü tünellerde normal ve ağır taşıtlar yüksek hızlara erişebilmekte ve bu hızlarda hareket ederek yol ve tünel güvenliğini olumsuz etkileyerek tehlikeli durumlar oluşturabilmektedir (Şekil 13a). Belirtilen bu sorunun önüne geçilebilmesi amacıyla tünel giriş/çıkışlarına ve uzun tünellerde tünel içerisinde aşırı hızlanmanın olduğu bölgelere uyarıcı ve hız azaltıcı kalın tabakalı yanal yönde yatay yol işaret boyamaları yapılmalıdır (Şekil 13b).



Şekil 13. Tünellerde (a) araçların aşırı hızlı hareket etmesi, (b) uyarıcı ve hız azaltıcı kalın tabakalı yanal yönde yatay yol işaret boyamaları ile sorunun çözümü.

Tünellerde gözlemlenen bir diğer problem ise tünel içerisinde ya da tünel çıkışlarında bakım onarım vb. sebepler ile bir şeridin kapatılması problemidir (Şekil 14). Özellikle iki şeritli tünellerde tünel içerisinde birlikte hareket eden araçlar açık olan tek şeride önce geçmek amacıyla hızlarını arttırabilmektedir. Bu durum açık olan tek şeride aynı anda gelmelerine sebep olmakta ve önce geçme karmaşasına neden olarak kazalara sebep olabilmektedir. Bu sorunun çözümü ve tünel içerisinde bu karmaşanın engellenmesi amacıyla her ne nedenle olursa olsun uygulanacak şerit kapatma işlemi tünel girişi öncesinde sürücülerin rahatlıkla görebileceği uygun bir mesafede olmalıdır.



Şekil 14. Tünellerde uygulanan şerit kapama nedeniyle (a) önce geçme karmaşası, (b) tünel girişi öncesinde şerit kapatma ile sorunun çözümü.

3.3. Tünellerde Yapısal Bazı Problemler ve Çözüm Önerileri

Çalışma kapsamında incelenen 17 tünelin giriş ve çıkış portallarında, Doğu Karadeniz Bölgesinin engebeli arazi yapısı nedeniyle sürekli ve farklı boyutlarda kaya parçaları düşme riski mevcuttur (Şekil 15a). Bu nedenle tüm tünellerin üst kısımlarındaki yamaçlara herhangi bir cismin düşmesini engelleyici çit (tel örgü) uygulamasının yapılması gerekmektedir (Şekil 15b).



Şekil 15. Engebeye bağlı giriş ve çıkış portallarında yaşanan (a) kaya parçası düşme riski, (b) gerekli tüm tünellerde uygulanması gereken çözüm.

Saha araştırmaları kapsamında incelenen tünellerden Led armatür özelliğe sahip tüneller dışındaki tünel giriş ve çıkışlarında oluşan ani ışık değişimleri sürücülerin gözlerinde ışık kamaşmasına neden olarak kaza oluşumuna sebep olabilmektedir (Şekil 16a). Bu sorunu önlemek amacıyla tüm tünellerin giriş ve çıkışlarına dış ortam ve tünel içi ışık şiddetini luminansmetre ve luxmetre ölçerek en uygun aydınlatma seviyesini kendisi belirleyen aydınlatma sistemleri kurulmalıdır (Şekil 16b).



Şekil 16. Tünel giriş/çıkışlarında yaşanan (a) ışık farklılığı durumu, (b) otomatik aydınlatma sistemleri ile sorunun çözümü.

Mevcut birçok yeni ve uzun tünel içerisine yerleştirilen yangın dolapları ve acil durum telefonları tünel içerisinde, şeritlere yakın çıkıntılı şekilde yerleştirilmiştir. Tünel içerisinde meydana gelebilecek herhangi bir kaza ya da kasa kapağı açılan bir kamyon ile araçların yoldan çıkarak korumasız durumda bulunan yangın dolaplarına çarpması sonucu sistemdeki çok yüksek basınçta sahip su gereksiz yere tünel içerisine boşalarak tünel güvenliğini olumsuz şekilde etkileyebilecektir. Bu sistemlerin inşası esnasında beton kabuk içerisine niş yapılarak inşa aşamasında yerlerinin ayrılması gerekmektedir. Benzer şekilde tünel giriş/çıkış ve içerisinde bulunan acil durum telefon sehpaları da korumasız şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 17). Bu nedenle dış müdahalelere oldukça açıktır. Bu sistemlerin tünel içerisinde beton kabuk içerisine gömülmesi ve etrafına koruyucu bir profil konulması hem bu telefonları kullanan sürücülerini hem de telefon düzeneğini koruyacaktır.



Şekil 17. (a) Yangın dolapları ve (b) acil telefon sehparının uygun olmayan şekilde yerleştirilmesi.

Çalışma kapsamında gözlemlenen bir diğer problemde giriş ve çıkışlarda buzlanma riski olan tünellerin giriş/çıkışlarına uygulanan buzlanma önleme sistemlerinin dış müdahaleye ve her türlü etkileşime açık ve korunaksız olmasıdır (Şekil 18). Özellikle sistemin ana omurgasını oluşturan solüsyon taşıyıcı ana borular korumasız ve açıktan geçirilmiştir. Sisteme ait bu boruların doğrudan dış etmenlerden etkilenecek kısa sürede deforme olmasını engellemek amacıyla kapalı ve yalıtımlı kanallardan geçirilmesi gerekmektedir. Böylece sistem sürekliliği sağlanarak ihtiyaç olduğunda içerisindeki solüsyonları yol yüzeyine püskürterek işlevini her zaman gerçekleştirebilecektir.



Şekil 18. Buzlanma önleme sistemlerinin korunaksız olmasına ait örnek görseller [1].

İnşa edilen bazı tüneller arasında bulunan viyadüklerde bariyer yüksekliklerinin az olması nedeniyle yerleşim yeri olan bölgelerde yayaların (özellikle çocuklar) viyadüklerden aşağıya düşme riski mevcuttur (Şekil 19). Bariyerlerin üst tarafının belirli bir yükseklikte çitle çevrilmesi yayaların viyadüklerden aşağı düşme riskini azaltabilecektir.



Şekil 19. Tüneller arasında bulunan viyadüklerdeki bariyer yüksekliğinin yetersizliği [1].

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Çin'in son yıllarda büyük önem verdiği tarihi İpekyolu üzerinde yer alan (E-97) ve Doğu Anadolu bölgesini, Doğu Karadeniz bölgesine bağlayan en önemli geçiş güzergâhı üzerinde yer alan Gümüşhane ve Trabzon illeri arasındaki 17 farklı tünel, işletim, yapısal özellikleri, güvenlik ve sürücü davranışları (ort. hız) açısından irdelenmiştir. Bölgenin İpekyolu (E-97) üzerinde yer alması ve sürekli ağır nakliye araçları tarafından kullanılması sebebiyle engebeli ve dağlık arazinin neden olduğu olumsuz koşulları azaltmak amacıyla yetkililer tarafından bu yolu kullanan araçlara daha güvenli ve konforlu bir karayolu ulaşım olanağı sağlamak amaçlanmaktadır. Bu kapsamda yol üzerindeki engebeli kesimlerde farklı boyutlarda ve yapısal özelliklerde birçok tünel inşa edilmiş olup yeni yapılan tünellerle birlikte tünel sayısında her geçen yıl sürekli bir artış gözlenmektedir. Çalışma kapsamında incelenen güzergâh dâhil Türkiye'de her yıl inşa edilen onlarca yeni tünel, ülkenin sadece tünel inşasında değil işletim, yönetim ve güvenlik konularında da gelişim göstermesini tetiklemiştir. Özellikle son yıllarda inşa edilen yeni tünellerde uygulanan otomatik aydınlatma sistemlerinden, kamera ile takip sistemlerine, çeşitli olay ve durum algılama sistemlerinden uyarı sistemlerine kadar birçok teknolojik gelişme ve altyapı yaşanan bu teknolojik gelişmeleri doğrulamaktadır. Çalışma kapsamında incelenen 17 tünel gidiş ve geliş yönü için ayrı ayrı yapılan inceleme ve ölçümlere göre güvenlik ve işletim özellikleri ile tünellerdeki sürücü davranışları açısından detaylı olarak irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre:

- Yeni tünellerde uygulanan kamera takip, plaka tanıma, 3 boyutlu hareket algılama yeteneği ile tüneller içerisinde yüksek hız, yavaş seyir, otomatik havalandırma, aydınlatma, yangın söndürme, bulanma önleme vb. sistemler tünellerin operatör tarafından kolaylıkla takibini ve müdahalesine olanak sağlayarak işletme başarımlarını arttırmaktadır. Bu yenilikçi sistemler, tünellerde güvenliği ve olası terör, hırsızlık vb. saldırıları önleyebilmekte; trafik kazası, araç bozulması veya yangın gibi olayları gözlemlene ve müdahalede bulunma olanağı sağlamaktadır.
- İncelenen tünellerdeki ortalama hızlara bakıldığında, sürücülerin mevcut Zigana tüneli hariç diğer tüm tünellerde araçların önerilen ortalama hız limitlerinin çok üstünde (>80 km/sa) hareket ettiği belirlenmiştir. Bu durum üzerinde mevcut tünel standartlarının tünellerde yüksek hıza olanak sağladığı ve sürücülerinde herhangi bir cezai yaptırım olmaması nedeniyle yüksek hızda hareket etme eğiliminde olduklarını göstermiştir.
- Yine tünellerde akıllı telefon uygulaması ile yapılan ortalama tahmini yol yüzey düzgünsüzlük analizlerine göre mevcut Zigana tüneli hariç diğer tüm tünellerdeki ortalama tahmini düzgünsüzlük değerlerinin FHWA tarafından yüksek işletme hızına sahip yollar için önerilen eşik değer olan 2 değerinin altında olduğu ve yol yüzey düzgünsüzlük kalitesinin iyi olduğu görülmüştür. Mevcut Zigana tünelinin ise daha düşük işletme hızına sahip yollar için önerilen 3,5 eşik değerinden daha düşük bir ortalama tahmini düzgünsüzlük değerine sahip olduğu ve kendi yol türüne göre iyi bir düzgünsüzlük değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

- Çalışmada bazı tünellerde (rampa aşağı tünellerde) şerit disiplinsizliği ve yüksek hızlı hareketler gözlemlenmiş ve bu sorunlara sırasıyla kalın tabakalı ve uyarıcı (tırtıklı) şerit çizgileri ile uyarıcı ve hız azaltıcı kalın tabakalı yanıl yol işaret boyamaları ile çözüm önerilmiştir. Ayrıca tünel içerisinde yapılan şerit kapatmalarının da araçlar arasında önce geçme karmaşasına neden olduğu ve bu kapatmaların tünel öncesinde uygun bir görünür mesafeden yapılması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Yapılan incelemelerden tünellerdeki mevcut tünel inşa, işletim, yönetim ve güvenlik başarımlarının iyi bir seviye de olduğu söylenece de incelenen tüneller içerisinde farklı özellikte problemler olduğu tespit edilmiştir. Dik ve engebeli bir bölgede yer alan bu tünellerin bazılarının giriş ve çıkış portallarına kaya parçalarının düşme riski tespit edilmiş ve üst kesimlere çit çekilerek önlem alınması gerektiği belirlenmiştir. Yine bazı aydınlatma düzeyinin düşük olduğu tünellerin giriş ve çıkışlarında ışık farklılığı ile sürücülerde göz kamaşması olduğu ve otomatik aydınlatma sistemlerine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Ayrıca birçok tünelde yangın dolapları ve haberleşme sistemlerinin korumasız şekilde yerleştirildiği ve bunlara projelendirme aşamasında korunaklı olacak uygun yerlerin tahsis edilmesi gerektiği görülmüştür. Benzer şekilde buzlanma önleme sistemlerinin de çevresel faktörlere karşı korumasız olduğu tespit edilmiş ve korunaklı hale getirilmeleri tavsiye edilmiştir. Çalışma ile tünellerde tespit edilen tüm bu sorunlar detaylı olarak incelenerek sorunların çözümüne yönelik öneriler getirilmiştir. Böylece her geçen gün daha da gelişen tünel işletme ve yönetim başarımlarının daha da ileriye götürülebilmesi amacıyla mevcut sorunlara dikkat çekilerek çözüme kavuşturulmasına yönelik aydınlatıcı bilgiler sunulmuştur.

Teşekkür

Yazarlar çalışmaya olan desteklerinden dolayı İnşaat Müh. İhsan KAPUCU, Elektrik Teknisyeni Ertan ÇAKIR, Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Trabzon Tünel Bakım İşletme Şefliği'ne, Mc Sistem Elektronik Elektrik Mühendislik İnşaat Taahhüt Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ve Roadroid AB'ye teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- [1]. Aydın, M.M. ve Kalkan, H., Türkiye'de Farklı Karakteristik Özelliklerdeki Tünellerin Güvenlik ve İşletim Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. 2. Ulusal Tünelcilik ve Yer Altı Yapıları Kongresi ve Sergisi. 4-5 Aralık 2019, 189-203, Ankara- Türkiye.
- [2]. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 2019. Köprü ve Tünel Bilgileri, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/KoprueTunelBilgileri/tunelenvanterbilgileri.pdf>, (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2019).
- [3]. Arends, B. J., Jonkman, S. N., Vrijling, J. K., van Gelder, P. H. A. J. M., Evaluation of tunnel safety: towards an economic safety optimum. *Reliability Engineering & System Safety*, **2005** 90 (2-3), 217-228.
- [4]. Fridolf, K., Nilsson, D., Frantzich, H., Fire evacuation in underground transportation systems: A review of accidents and empirical research. *Fire Technology*, **2011** 49(2), 451-475.
- [5]. Gandit, M., Kouabenan, D. R., Caroly, S., Road-tunnel fires: Risk perception and management strategies among users. *Safety Science*, **2009** 47(1), 105-114.
- [6]. Astra Tunnel Task Force, Schlussbericht (Final Report), 2000, Bern, Switzerland.
- [7]. Kinatader M, Ronchi E, Gromer D, Müller M, Jost M, Nehfischer M, Mühlberger A, Pauli P., Social influence on route choice in a virtual reality tunnel fire. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, **2014** 26,116 – 125.
- [8]. Beard, A.N., Tunnel safety, risk assessment and decision-making. *Tunn Undergr Space Technol*, **2010** 25(1):91-94.
- [9]. Hu, Y.Q., Liu, H.X., Zhu, T., Influence of spatial visual conditions in tunnel on driver behavior: Considering the route familiarity of drivers. *Adv. Mech. Eng.*, **2019** 11, 1-9.

- [10]. Manseer, M., and Riener, A., Evaluation of driver stress while transiting road tunnels. In: Proceedings of the 6th adjunct international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications, Seattle, WA, 17 September **2014**, pp.177–182. New York: ACM Press.
- [11]. Calvi, A., Blasiis, M.R.D., Guattari, C., An empirical study of the effects of road tunnel on driving performance. *Procedia*, **2012** 53: 1098–1108.
- [12]. Leitner, A., The fire catastrophe in the Tauern tunnel: experience and conclusions for the Austrian guidelines. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **2001** 16 (3), 217–223.
- [13]. Kirkland, C.J., The fire in the channel tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **2002** 17 (2), 129–132.
- [14]. Carvel, R., Marlair, G., A history of fire incidents in tunnels. In: Beard, A.N., Marlair, G. (Eds.), *The Handbook of Tunnel Fire Safety*. Thomas Telford Limited, London, **2005** pp. 3–41,.
- [15]. Nussbaumer, C., Comparative analysis of safety in tunnels. In: *Young Researchers Seminar 2007*, Brno.
- [16]. Kircher, K., Ahlstrom, C., The impact of tunnel design and lighting on the performance of attentive and visually distracted drivers, *Accident Analysis & Prevention*, **2012** 47, 153-161.
- [17]. Amundsen, F.H., Studies of driver behaviour in Norwegian road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **1994** 9 (1), 9–15.
- [18]. Amundsen, F.H., Engelbrektsen, A., *Studies on Norwegian Road Tunnels II. An Analysis on Traffic Accidents in Road Tunnels 2001–2006*. Vegdirektoratet, Roads and Traffic Department, Traffic Safety Section, Oslo, **2009**.
- [19]. Jenssen, G.D., Evaluation of interior design in the world’s longest road tunnel. In: *First International Conference: Long Road and Rail Tunnels*, 1999, Basel, Switzerland.
- [20]. Kvaale, J., Lotsberg, G., Measures against monotony and phobia in the 24.5 km long Laerdal tunnel in Norway. In: Krokeborg, J. (Ed.), *Strait Crossings 2001: Proceedings of the Fourth Symposium on Strait Crossings*, Bergen, Norway. Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, **2001**. The Netherlands.
- [21]. Flø, M., Jenssen, G.D., Drivers’ perception of long tunnels. In: *Proceedings of the 4th International Conference—Traffic and Safety in Road Tunnels*, 25–27 April **2007**, Hamburg, Germany.
- [22]. Aydın, M.M. ve Çoruh, E., Tünel inşaatlarının taşıt hareketleri ve yol güvenliği üzerindeki etkilerinin araştırılması: Yeni Zigana tüneli örneği”, *Karayolu 4. Ulusal Kongresi*, 28-29 Kasım **2018**, 67-80, Ankara-Türkiye.
- [23]. URL-1. <https://www.isbak.istanbul/tunel-yonetim-sistemleri/scada/> Erişim Tarihi: [18/02/2020].
- [24]. URL-2. <https://www.isbak.istanbul/tunel-yonetim-sistemleri/yangin/> Erişim Tarihi: [18/02/2020].
- [25]. Forslöf, L. and Jones, H., Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring With Smart Phones, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, **2015** vol:9, pp:485-496.
- [26]. Aydın, M. M., Yıldırım, M. S., & Farslöf, L., The use of smart phones to estimate road roughness: A case study in turkey. *Engineering Sciences*, 2018 13(3), 247-257.
- [27]. Guideline, **2013**, R., Quick start ver 1.2.1., Sweden,.
- [28]. Forslöf, L. and Jones, H., Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring With Smart Phones, In *IRF 17th World Meeting and Exhibition*, **2013** Vol:24, pp:1-11.
- [29]. Gamage, D., Pasindu, H.R., and Bandara, S., Pavement Roughness Evaluation Method for Low Volume Roads, *Proc. of the Eighth Intl. Conf. on Maintenance and Rehabilitation of Pavements*, **2016** pp:1-10.