

Sürücülerin Tünel İşletim ve Güvenliği Algısı Üzerine Bir Araştırma

Burak KOÇHAN¹, Emine ÇORUH², Metin Mutlu AYDIN^{3*}

^{1,2}Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun

¹<https://orcid.org/0000-0002-8121-5075>

²<https://orcid.org/0000-0002-3251-9179>

³<https://orcid.org/0000-0001-9470-716X>

*Sorumlu yazar: metinmutluaydin@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.01.2022

Kabul tarihi: 18.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Tünel Güvenliği

İşletim Özelliği

Karayolu Tüneli

Sürücü Özellikleri

Tünelcilik

Tünel, sürücülerin karşılaştıkları arazi kaynaklı engelleri konforlu, güvenli ve kısa sürede aşabilmelerine olanak sağlayan karayolu sanat yapılarından birisidir. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de gün geçtikçe karayollarında yer alan tünellerin sayısında belirgin bir artış görülmektedir. Tünellerin sayısı arttıkça bu tür yol kesimlerinde, efektif tünel işletimi ve güvenliği daha da önemli hale gelmekte ve tünellerde, teknolojik gelişmelere bağlı olarak farklı özellikteki tünel uygulamaları ve işletim özellikleri görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de en fazla tünel bulunan Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer alan ve tarihi İpekyolu üzerinde bulunan Gümüşhane-Trabzon karayolundaki 19 adet tünel incelenmiştir. Çalışmada, sürücülerin tünel işletim ve güvenlik özellikleri hakkındaki bakış açılarını araştırabilmek amacıyla seçilen tünelleri efektif olarak kullanan sürücüler ile yüz yüze anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasında, sürücülerin tüneller hakkındaki düşünceleri ve tünellerdeki sürüş davranışları yöneltilen sorular ile farklı kaza senaryoları altında incelenmiştir. Yapılan anketlerin değerlendirmesinde faktör analizi, güvenilirlik analizi, Ki Kare ve Bartlett testleri uygulanarak bağımsız değişkenler (cinsiyet, meslek, eğitim, yaş, güzergâh kullanım sıklığı) ile bağımlı değişkenler (katılımcıların acil durumlar karşısındaki bilgi, davranış ve hareket etme kabiliyetlerini ölçmeye yönelik hazırlanan anket soruları) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tünel kullanım sıklığının artması ile sürücü aşinalığının arttığı ve tünel geçişlerinde araç hızı düşürme oranının azaldığı belirlenmiştir. Yine sonuçlardan, cinsiyet ile tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissi arasında anlamlı bir ilişki olduğu, kadınların erkeklere kıyasla daha fazla tedirginlik hissettiği ve acil bir durum karşısında aracı terk etme ile cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ($P<0,10$) belirlenmiştir. Kadın sürücülerin daha yüksek oranlarda aracı bırakarak tüneli terk etme eğiliminde oldukları ve yaşanacak kazalar karşısında, sürücü davranışlarının şeklinin cinsiyete göre farklılık gösterdiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen bulgular ile tünel inşa ve işletmesinde iyi bir bilgi birikimine sahip olan ülkemizin, bu konuda Dünya’da daha iyi bir noktada olması hususunda katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

A Study on Drivers' Perception of Tunnel Operation and Safety

Research Article

Article History:

Received: 29.01.2022

Accepted: 18.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

ABSTRACT

Tunnels are one of the highway structures that allow drivers to overcome the land-based encountered obstacles comfortably, safely and in a short time. As in the rest of the world, there is a significant increase in the number of tunnels on highways in Turkey, day by day. As the number of tunnels increases, effective tunnel operation and safety become more important in

such road sections, and tunnel applications and operating characteristics with different characteristics are seen in tunnels depending on technological developments. Within the scope of this study, 19 tunnels on the Gümüşhane-Trabzon highway, located on the historical Silk Road and located in the Eastern Black Sea Region with the most tunnels in Turkey, were examined. In the study, a face-to-face survey was conducted with the drivers who use the selected tunnels effectively in order to investigate the drivers' perspectives on tunnel operation and safety features. In the survey study, the thoughts of the drivers about the tunnels and their driving behaviors in the tunnels were examined under different accident scenarios with the conducted questionnaire. In the evaluation of the questionnaires, factor analysis, reliability analysis, Chi-Square and Bartlett tests were applied. The relation between independent (gender, occupation, education, age, frequency of route use) and dependent variables (a questionnaire prepared to measure the participants' knowledge, behavior and ability to act in the face of emergencies) were investigated. According to the obtained results, it was determined that with the increase in the frequency of tunnel use, driver familiarity increased and the rate of vehicle speed reduction in tunnel passages decreased. Again, it was determined from the results that there was a significant relationship between gender and the feeling of uneasiness experienced during tunnel passages, that women felt more uneasy than men, and that there was a statistically significant relationship between leaving the vehicle in the face of an emergency and gender ($P < 0.10$). It has been concluded that female drivers tend to leave the tunnel by leaving the vehicle at higher rates and that the type of driver behavior differs according to gender in the face of accidents to be experienced. With the help of obtained findings, it has been tried to contribute to the fact that Turkey, which has a good knowledge in tunnel construction and operation, is in a better place in the world in this subject.

To Cite: Koçhan B., Çoruh E., Aydın MM. Sürücülerin Tünel İşletim ve Güvenliği Algısı Üzerine Bir Araştırma. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 493-516.

1. Giriş

Karayolu tünelleri, karayollarında kesintisiz bir ulaşım imkân sağlayan önemli birer sanat yapılarıdır. Tüneller, dağlık alanların kolaylıkla geçilmesine imkân vermeleri, çevresel zararlı etkilerinin az olması, zamanı ve ulaştırma maliyetlerini aynı anda en aza indiren kısa trafik bağlantıları oluşturmaları nedeniyle hem şehir içi hem de şehirlerarası yollar için hayati bir öneme sahiptir (Ntzeremes ve Kirytopoulos, 2019). Son yıllarda karayolu tünel yapım teknolojisinin gelişmesi ve karayolu geometrik standartlarının artmasıyla birlikte ülkemizde ve dünyada karayolu tünel sayısında ciddi bir artış meydana gelmiştir. Bu artışlarla birlikte, özellikle Avrupa'nın bazı ülkelerinde meydana gelen karayolu tünel kazaları sonucu yaşanan toplu can kayıpları, kaza sonucu ulaşımın aksaması ve onarım çalışmalarının yüksek maliyetleri gibi sebeplerden dolayı karayolu tünel güvenliği konusu gündeme sıkça gelmeye başlamıştır (Koçhan, 2021).

Yapılan araştırmalar karayollarında sürücü davranışı ve algısının, farklı ortamlarda (kavşaklar, farklı yol genişlikleri, yollardaki farklı geometrik özellikler, günün farklı zamanları, farklı aydınlık seviyeleri, farklı hava ve hatta çevrede ağaçlar da dâhil olmak üzere ufak değişikliklerin olması vb.) farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur (Kircher ve Ahlstrom, 2012; Yeung ve ark., 2013). Özellikle karayolu tünelleri gibi etrafı tamamen kapalı bir yol ortamının farklı sürücü davranışlarıyla sonuçlanması olağan bir durum olabilmektedir. Yine yapısal karmaşıklık ve sınırlı iç alanları

nedeniyle tünel içerisindeki ortam, açık etrafı tamamen açık yollardan tamamıyla farklılık gösterebilmektedir. Tünellerin bu özelliklerinin daha düşük sürüş hızları ve yanal konumlanmalardaki (tünel duvarına mesafe) farklılıklarla ilişkili olarak, artan görsel, zihinsel iş yüküne ve çokça strese neden olduğu bildirilmiştir (Hu ve ark., 2019; Manseer ve Riener 2014; Calvi ve ark., 2012). Bu güvenlik kaygısıyla harcanan çabanın doğal olarak zihinsel yükü ve stresi de arttırdığı belirlenmiştir. Yeung ve ark. (2013) bu durumu inceleyen çalışmalarında tünellerin insanlarda rahatsız edici duygulara ve açık yollara göre daha fazla algılanan riske neden olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar tünellerde mesafenin uzamasına bağlı olarak monotonluk ve bunun sonucunda da dikkat dağınıklığına neden olduğu ve bu durumda sürüşün açık yollara göre daha fazla strese neden olduğunu göstermiştir (Jenssen, 1999; Kvaale ve Lotsberg, 2001; Flø ve Jenssen, 2007). Örneğin Norveç'te yar alan Dünya'nın en uzun tek tüplü karayolu tüneli (24,5 km) olan Laerdal Tüneli planlanırken aydınlatma türü ve yapılarının monotonluk, dikkat dağınıklığı ve stres üzerine nasıl etkileyeceğini önceden bilerek; çözüm geliştirebilmek amacıyla bir simülasyon çalışması yapılmış ve bu duruma göre tünel işletim planı geliştirilmiştir (Koçhan, 2021). Bir başka çalışmada ise tünel geçişlerinde yatay ve düşey işaretlemelerin sürücü algısı ve davranışı üzerine etkisi yine araç simülasyonu yardımıyla incelenmiştir. Bu amaçla Manser ve Hancock (2007) çalışmasında, kullanılan işaretlemelerin genişliği ve uyandırdıkları hisse bağlı olarak sürücülerin hızlarını azalttıkları veya arttırdıkları sonucuna ulaşmıştır. Karayolu tünellerinin kapalı ortamlar oluşu, özellikle karanlıktan aydınlığa ve aydınlıktan karanlığa geçişlerin yaşanmasına ve doğal olarak sürücüler üzerinde baskı ve strese neden olmaktadır. Bu stres, sürücüler üzerinde olumsuz etkiler oluşturabildiği gibi sürücünün dikkatinin artırması gibi olumlu etkiler de gösterebilmektedir. Bu durumu incelemek için Calvi ve De Blasiis (2011) sanal gerçeklikte ileri sürüş simülasyonu teknolojilerini kullanarak tünel etkisinin sürüş performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, sürüş simülasyonunda altı adet (her biri çift tüplü) tüneli olan İtalya'daki otoyolun gerçek bir bölümü (8500 m'lik) yeniden simüle edilmiştir. Simülasyon çalışmasına; yaş aralıkları 23-36 arasında değişen ve sürüş deneyimi olan 20 kişi tabii tutulmuştur. Sürüş testlerine başlamadan önce sürücülere simülasyon hakkında 20 dakikalık eğitim verilmiş ve simülasyonda her bir sürücü üzerinde iki senaryo belirli aralıklar ile gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda simüle edilen düz yol kesitinde sürüş, ikinci senaryoda ise aynı yol kesitinde belirli aralıklarda yerleştirilen tünellerin de bulunduğu güzergâhta sürüş gerçekleştirilmiştir. İki senaryoda kayıt altına alınarak 20 sürücünün hızı, ivmesi ve yanal konumu kaydedilmiştir. Sonuç olarak; sürücülerin tünel içinden geçerken sağ tünel duvarından yanal olarak uzaklaştıkları ve biraz yavaşladıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca tünel içinde, sürücülerin dikkat seviyesinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Benzer bir çalışmada ise Calvi ve D'Amico (2013), ileri sürüş simülasyonu teknolojilerini kullanarak sürüş performansı ve güvenliği üzerinde tünel etkilerini incelemiştir. Çalışmada, mevcut üç farklı otoyolun sekiz bölümünden oluşan bir otoyol senaryosu, sürüş simülasyonunda canlandırılmıştır. Senaryo üzerindeki tüneller mevcut olan tünellerle (İtalya) aynı geometrik standartları sağlayacak şekilde simüle edilmiştir. Simülasyon uygulamalarına katılan her bir

sürücü, aynı güzergâhta tünellerin bulunduğu ve bulunmadığı iki senaryoda ayrı ayrı sürüş yapmışlardır. Böylelikle iki senaryoda kaydedilen hızlar, ivme ve yanal pozisyon farkları ile karayolu tünellerindeki sürücü performansı hakkındaki verilere ulaşılmıştır. Sonuç olarak çalışmada, sürücülerin bir tünelden geçtiklerinde sürüşün, şerit içerisinde değiştiği ve tünel yan duvarından yol merkezine doğru yöneldiği görülmüştür. Ayrıca tünel içerisinde, yavaşlamaların olduğu ve sürücü dikkatinin arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Mevcut bu çalışmalar karayolu güzergahlarında, artan tünel sayısı ve uzun mesafeli tünellerden dolayı daha fazla dikkat edilmesi ve bu kesimlerdeki sürücü davranışlarının daha detaylı olarak irdelenmesi gerektiği ön plana çıkmıştır (Calvi ve ark., 2012; Aydın ve ark. 2020).

Mevcut çalışmalara göre tünel kullanım sıklığının, sürücüler üzerinde gösterdiği etkiler üzerinde yapılan çalışmalarda; tünellerde sürüşün, açık yollara göre daha fazla stresli olduğu bulunmuştur (Koçhan, 2021). Bu stresin, yol güvenliği üzerinde olumsuz etkisi olan zihinsel iş yükünü artırdığı açıklanmıştır. Bu çalışmaların çoğu, yüksek zihinsel iş yüküyle, sürüş performansının kötüleştiğini, reaksiyon sürelerinin arttığını, görsel algılamının bozulduğunu, yol taramasının azaldığını ve sert fren olaylarının sayısının arttığını göstermiştir (Cantin ve ark., 2009; Harbluk ve ark., 2007; Lee ve ark., 2007; Recarte ve Nunes, 2002; Stinchcombe ve Gagnon, 2010). Yeung ve ark. (2013), tünellerde sürücülerin davranışlarını incelemiş, normal karayollarına göre araç takip aralıklarının, tünel içerisinde daha fazla bırakıldığını bulmuş ve sürücülerin tünel içerisinde daha temkinli davrandıklarını açıklamışlardır. Bunun yanı sıra tünel kullanım sıklığının, olumlu bir etki oluşturmadığını ve tünel ortamındaki ilk izlenimlerin zamanla korunduğu ve değişmediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, kapsamlı araştırmalar, farklı ülkeler ve kültürler arasında sürücü tutumlarında farklılıklar olduğunu göstermiştir (Yeung ve ark., 2013). Bir diğer çalışmada Hu ve ark. (2019) rota aşinalığının, sürüş sırasında farklı mekânsal- görsel koşullara sahip karayolu tünellerinin giriş bölgelerinde sürücülerin göz hareketleri ve sürüş hızlarını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Çalışmada aynı karayolu üzerinde bulunun ve farklı mekânsal ve görsel koşulları olan iki karayolu tüneline seçmişlerdir. Test için seçilen tünellere aşina olan 16 tanıdık sürücü (en az 3 yıllık sürüş deneyimi olan 8 kadın ve 8 erkek) dâhil olmak üzere toplam 32 (16 kadın ve 16 erkek) katılımcı çalışmaya dâhil edilmiştir. Başa takılan göz izleme sistemi, göz hareketlerini izlemek için kullanılmıştır. Deney aracı olarak beş kişilik otomatik şanzımanlı bir otomobil kullanılarak karayolu tünellerinin girişinde yol testleri yapılmıştır. Sonuçlar; rota aşinalığının, sürücülerin görsel özelliklerini ve hızını etkilediğini göstermiştir. Tünel girişinden geçerken, rota aşinalığı az olan sürücülerin, görsel özelliklerinin etkilendiği mesafe, rota aşinalığı yüksek oranlı sürücülerden daha fazla olarak bulunmuştur. Bu sonuç tünellerdeki yolculuklarda rota aşinalığının stres ve sürücü davranışı üzerinde ne kadar etkili olduğunu net bir şekilde ortaya koymuştur.

Mevcut çalışmalar tünellerde bir kazanın meydana gelme riskinin, etrafı açık bir karayoluna nazaran daha az olacağını fakat oluşacak kazanın şiddetinin maalesef açık yola göre daha fazla olacağına net şekilde ortaya koymuştur (Amundsen, 1994; Amundsen ve Ranes, 2000; Lemke, 2000; Leitner, 2001;

Kirkland, 2002; Mashimo, 2002; Carvel ve Marlair, 2005; Kircher ve Ahlstrom, 2012). Dolayısı ile yaşanacak en küçük bir olumsuzluk durumunda kötü sonuçlar almamak için tünellere, çok daha fazla önem verilmesi gerektiği ön plana çıkmaktadır (Kircher ve Ahlstrom, 2012). Tünellerdeki mevcut kaza istatistiklerine bakıldığında tünellerin giriş bölgesinde kaza riskinin, tünel iç kesimlerine oranla daha fazla olduğu belirlenmiş; (Yan ve ark., 2008) ister iki yönlü ister tek yönlü trafik olan tünellerde, en yüksek kaza oranlarının giriş ve çıkış alanlarında olduğu rapor edilmiştir (Nussbaumer ve Nitsche, 2008). Yine yapılan bir araştırmadan iki yönlü trafiğe sahip tünellerde yaralanma veya ölme olasılığının, tek yönlü trafiğe sahip tünellerle kıyaslandığında %19 oranında daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Robatsch ve Nussbaumer, 2004).

Tünellerde meydana gelen kazalar sonucu ortaya çıkan bir diğer olumsuz durumda tünel içi yangınlardır. İnsanların ciddi şekilde yaralanmasına ve ölmesine neden olan tünellerde meydana gelen yangınların bazılarının; Azerbaycan, İngiltere, Fransa, İtalya, Japonya, Kanada, Avusturya ve ABD’de meydana geldiği bilinmektedir (Haack, 2002). Örneğin, 1999 yılında Fransa’da Mont Blanc tüneline 39 ve Avusturya’da Tauern tüneline 12 kişinin ölümü ile sonuçlanan iki yangın meydana gelmiştir. Mont Blanc tünelineki yangın 53 saat sürmüştür; ölen 39 kişiden 29’u araçlarında, dokuz tanesi ise tünel içinde veya yeterli koruma sağlamayan güvenlik odalarında bulunmuştur. Bu olaydan sadece iki ay sonra 6400 m uzunluğundaki Tauern tüneline de bir yangın meydana gelmiştir. Daha sonra 2001 yılında her ikisi de tek yönlü iki yönlü trafiğe sahip olan, Avusturya’daki 8,3 km uzunluğundaki Gleinalm tüneline ve İsviçre’de yaklaşık 17 km’lik Gotthard tüneline yangın felaketleri meydana gelmiştir. İki olayda da kafa kafaya çarpışma ile meydana gelen kazalar sonucunda tünellerde yangınlar başlamıştır (Haack, 2002). Yapılan araştırmalardan özellikle son 15 yılda, ciddi tünel yangınlarında, önemli bir artış olmuş ve maalesef birçoğunun ölümüyle sonuçlandığı belirlenmiştir. Bu durum muhtemelen yıllar boyunca trafikteki araç sayısında ve özellikle tünellerden geçen ağır taşıt trafiğindeki artış ile ilgilidir. Yine araştırmalardan tünellerde meydana gelen ölümlerin 2/3’ünün trafik kazalarıyla ve çoklu ölümlerin ise yangınlarla ilişkili olduğu görülmüştür. Karayolu tünel yangınlarındaki ölümlerin, ağır yük taşıtları ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ve Avrupa’daki tünel yangınlarındaki ölümlerin yaklaşık %71’inin ağır taşıt içeren yangınlardan kaynaklı olduğu açıklanmıştır (Beard, 2010). Almanya’daki Elbe Tüneli kaza istatistiklerine göre, kamyonların daha yüksek yangın riskine sahip olmalarının yanı sıra kazalara aşırı orantılı katılımları nedeniyle otomobillerden daha fazla tehlikeli oldukları görülmüş ve bu hususa dikkat çekilmiştir (Beard, 2010). Tünel işletimi ve güvenliği üzerine yapılan araştırmalar irdelendiğinde, tünellerin etkin işletimi için tünel güvenliği ve işletimi planlamalarının oldukça önemli olduğu açıkça görülmektedir. Mevcut çalışmalardan özellikle tünellerde birçok farklı nedenden kaynaklı trafik kazalarının meydana geldiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu araştırmalar irdelendiğinde, daha çok tünellerdeki mevcut durumun (kaza istatistikleri, güvenlik altyapısı, tünel karakteristikleri, kaza sonrası durum vb.) irdelendiği görülmüş; tünel güvenliğine sürücülerin bakışı ve sürücü beklentilerine yönelik bir çalışmanın mevcut olmadığı belirlenmiştir. Bu kapsamda çok kısa mesafe aralıklara art arda bulunan ve içerisinde uzun tünellerin

bulunduğu bir yol ağı üzerinde yer alan tünellerde, tünel güvenliği ve işletimi sürücülerin bakış açısından incelenmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda sürücülerin tünel güvenliğine bakışı ve acil durumlarda tünellerde sürücü davranışlarının nasıl olacağı, sürücü beklentileri ve sürücülerin bakış açılarına gerekli olan özellikler seçilen 19 tünel özelinde detaylı olarak incelenmiştir. Bu amaçla incelenen tünelleri kullanan 447 sürücü ile yüz yüze bir anket çalışması yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Böylece, farklı özellikte sürücü karakteristiklerine ulaşılarak literatürde bu alandaki önemli bir boşluk doldurulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, Trans Avrupa Karayolu Ağı'nın Türkiye sınırları içerisinde kapsadığı ağı parçası olan ve tarihi İpek Yolu üzerinde yer alan Trabzon-Gümüşhane karayolu üzerinde bulunan ve Şekil 1'de güzergâhı verilen 19 adet tünelin bulunduğu yol kesimi incelenmiştir. Trabzon-Gümüşhane uluslararası karayolu (E-97, D885), Trabzon ve Gümüşhane illerini birbirine bağlamakta ayrıca Doğu Karadeniz ve Kafkasları, Ortadoğu ve İran'a bağlayan Tarihi İpek Yolunun yaklaşık 100 km'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. Ulaşım süresi, araçla yaklaşık 1 saat 30 dakika sürmektedir. Özellikle son yıllarda artan nüfus, sosyo ekonomik-kültürel gelişim ve artan ticari ilişkiler Trabzon-Gümüşhane karayolunun önemini daha da artırmaya başlamıştır. Karadeniz bölgesinin arazi yapısının zorlu özelliği olarak, yol güzergâhı eğimli ve oldukça fazla kurplu kesimleri bünyesinde barındırmaktadır. Son yıllarda tüneller alanında kazanılan deneyim sonrası, ülke genelinde artan tünel sayısına paralel olarak Trabzon-Gümüşhane karayolundaki tünel sayısında da artış yaşanmıştır.



Şekil 1. Trabzon-Gümüşhane karayolu ulaşımında kullanılan 19 adet tünelin konumları
Trabzon-Gümüşhane karayolu, üstyapı satış durumu olarak tamamı bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamalı olup Trabzon-Maçka ve Torul-Gümüşhane arası 2x2 bölünmüş yol standardındadır. Karayolunun BSK olarak neredeyse tamamı aşınma tabakası seviyesinde tamamlanmıştır. Dünyadaki

pek çok ülke gibi Türkiye’de de tünelli geçişler artmaya başlamıştır. Bu çalışmada arazinin topoğrafik zorluklardan dolayı tünellerin en çok tercih edildiği güzergâhlardan biri olan Trabzon-Gümüşhane karayolu ve üzerinde yer alan 19 adet tünel seçilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. İncelenen tünellere ait yapısal özellikler

No	Tünelin adı	Bulunduğu yolun adı	Kontrol Kesim No	Başlangıç Km.	Tüp Adedi	Uzunluğu (m) Sol/Sağ	Yapım Yılı
1	Şehit Eren Bülbül Tüneli (Deliklitaş)	Trabzon-Gümüşhane (Trabzon-Erzurum)	885-01	3+880	2	1283 / 1330	2013-2016
2	Yeni Maçka Tüneli	(010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn.	885-01	25+800	2	2783 / 2837	2018
3	Bağışlı Tüneli	(010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn.	885-01	31+600	1	760	2019
4	T1 Tüneli (Maçka)	(010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn.	885-01	31+750	1	1480	2018
5	T2 Tüneli (Maçka)	(010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn.	885-01	34+230	1	1100	2019
6	Zigana Tüneli	(010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn.	885-02	2+000	1	1702	1988
7	Kürtün Kavşağı Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	18+500	2	916 / 618	2013
8	Köprübaşı Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	20+600	2	589 / 568	2013
9	Torul Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	24+200	2	1103 / 1061	2013
10	Harmancık Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	27+500	2	145 / 205	1995-2015
11	Taşocağı Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	35+400	2	660 / 680	2015
12	Mescitli-1 Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	36+500	2	201 / 226	1995

13	Mescitli Varyant2 Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	38+600	2	1660 / 285	2016
14	Mescitli-2 Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	39+100	1	395	1995
15	K3 Kolu Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	40+200	1	202	2016
16	Hacıemin-1 Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	41+800	1	84	1997
17	Hacıemin-2 Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	42+647	1	141	1995
18	Hacıemin-3 Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	43+150	1	210	1995
19	Gümüşhane Tüneli	Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A	885-02	44+800	1	323	1992

Not: D.Y.A: Devlet Yol Ayrımı, İl Sn.: İl Sonu

Tablo 1’de özellikleri verilen 19 adet tüneli kullanan sürücülerin, tünel içerisindeki sürüş davranışlarını ve beklentilerini inceleyebilmek amacıyla yüz yüze anket çalışması yürütülmüştür. Böylece incelenen tünelleri kullanan sürücülerin davranışları ve beklentilerine yönelik detaylı bilgilere ulaşılmış olacaktır. Anket çalışması kapsamında doğru hedef kitleye ulaşılması amacıyla ankete katılan kişiler incelenen tünelleri kullanan ve bu tünellere aşına olan sürücüler arasından seçilmiştir. Yapılan anket çalışması ile öncelikle sürücülere ait karakteristik özellikler belirlenmiştir. Sonrasında ise sürücülere tünel güvenliği ve tünellerde karşılaşılabilecekleri durumlarda nasıl davranacaklarına yönelik sorular yöneltilmiştir. Bu kapsamda sürücüler üzerinde, “Karayolu tünellerinde sürücü davranışı ve acil durumlar (trafik kazası, yangın) karşısında sürücülerin bilgi ve hareket etme kabiliyetlerini ölçmeye yönelik anket” başlıklı bir anket çalışması yapılmıştır. Anket için belirlenen sorular, karayolu tünel kullanıcısı olan sürücülerin algı, davranış ve hareket etme kabiliyetini belirleyecek şekilde gözlemlenen sorunlar düşünülerek hazırlanmıştır. Yapılan anketlerin değerlendirmesinde faktör analizi, güvenilirlik analizi, Ki Kare ve Bartlett testleri uygulanarak gruplar arası anlamlılık ilişkileri araştırılmıştır. Anket çalışmasının örneklem büyüklüğü ise Denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$n = \frac{t^2 * p * q}{d^1} \quad (1)$$

Burada;

- p : İncelenecek olayın görülme sıklığı,
 q : İncelenecek olayın görülmemeye sıklığı,
 t : Belirlenmiş bir anlamlılık düzeyi ile t tablosundan elde edilen teorik değer,
 d : Olayın görülme sıklığına göre kabul edilen örnekleme hatasıdır.

Dağılım homojen olmadığı için $p= 0,50$, $q= 0,50$ alınmıştır. %95 güven aralığı için teorik t değeri 1,96 olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Denklem 1 yardımıyla minimum örneklem büyüklüğü $n=384$ kişi olarak hesaplanmış ve bu sayıya uygun şekilde yeterli örnekleme ulaşılmıştır.

Anket çalışması kapsamında veriler 2019 ekim ve 2020 şubat ayları arasında toplanmıştır. Gümüşhane ve Trabzon arası seyahat eden ve bu yol güzergâhında yer alan tünelleri kullanan 491 kişi üzerinde anket yapılmış ve tüm sorulara eksiksiz cevap verilen toplam 447 adet anket değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmada bağımsız değişkenlerin (cinsiyet, yaş, eğitim, meslek ve güzergâh kullanım sıklığı vb.) bağımlı değişkenler (belirlenen anket soruları) ile istatistiksel açıdan anlamlılık ilişkileri güvenilirlik, Ki-Kare (χ^2) ve Bartlett testleri yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

3. Analiz ve Bulgular

Tanımlayıcı İstatistikler

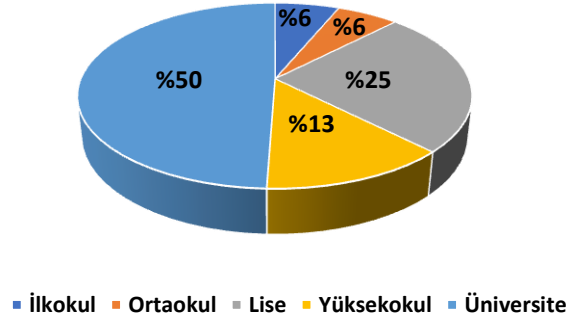
Analizler kapsamında Trabzon-Gümüşhane karayolunu kullanan sürücüler üzerinde yapılan anket çalışması ile toplanan saha verileri detaylı olarak incelenerek analiz edilmiştir. Değerlendirmeye alınan 447 ankete göre, katılımcıların cinsiyet dağılımı 343 erkek (%77) ve 104 kadın (%23) olarak elde edilmiştir. Anket gerçekleştirilen sürücülerin, yaş dağılımları ise Tablo 2’de verilen şekilde elde edilmiştir.

Tablo 2. İncelenen katılımcıların (sürücülerin) Cinsiyet-Yaş gruplarına göre dağılımı

Cinsiyet	Yaş Grupları				Toplam (Σ)
	18-30	31-45	46-65	65 üstü	
Erkek	155	145	42	1	343
Kadın	56	37	9	2	104
Toplam (Σ)	211	182	51	3	447

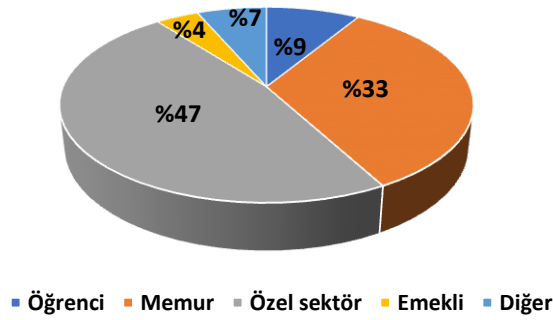
Tablo 1’de verilen sonuçlar irdelendiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunun TÜİK (2020) istatistiklerinde verilen ve mevcut durumdaki sürücü çoğunluğunun sahip olduğu 18-45 yaş (%88) aralığında dağıldığı ve cinsiyet dağılımının da ülkemizdeki oranına yakın olduğu görülmektedir (TÜİK, 2020). Ankete katılan sürücülerin eğitim durumları ve meslek dağılımları incelendiğinde ise Şekil 2’de verilen sonuçlara ulaşılmaktadır.

Eğitim Durumu Dağılımı



(a)

Meslek Durumuna Göre Dağılım

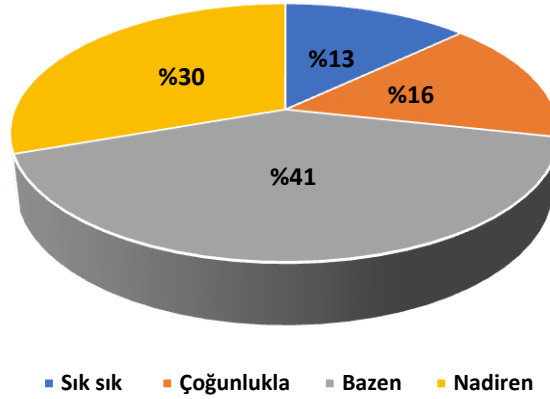


(b)

Şekil 2. Katılımcıların (a) eğitim ve (b) meslek durumlarına göre dağılımları (%)

Şekil 2’de verilen sonuçlara göre katılımcıların yaklaşık olarak yarıya yakınının niversite mezunu olduğu (227 kişi) belirlenmiştir. Yine şekilden elde edilen bulgulara göre katılımcıların büyük çoğunluğunun özel sektörde çalıştığı (%47) sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın en önemli amaçlarından birisi olan karayolu tünellerine sürücülerin bakış açılarını etkin şekilde belirleyebilmek amacıyla, sürücülere tünellerin yer aldığı bu gzerghi kullanım sıklığı sorusu yöneltilmiş ve Şekil 3’te verilen sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3’e göre katılımcıların tamamının belirtilen gzerghi farklı sıklıklarda olsa da kullandıkları görülmüştür. Yine Şekil 3 detaylı olarak irdelendiğinde katılımcıların yaklaşık olarak 1/3’ünün tünellerin olduğu bu gzerghi etkin şekilde kullandıkları belirlenmiştir.

Güzergâh Kullanım Sıklığı Dağılımı



Şekil 3. Katılımcıların incelenen güzergâhı kullanım sıklığının dağılımı (%)

3.1. Güzergâh Kullanım Sıklığı ile Tünellerdeki Hız Arasındaki İlişki

Çalışmanın en önemli hedeflerinden birisi olan güzergâh kullanım sıklığının sürücülerin tünel geçişlerindeki hız üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığını araştırmak amacıyla anket sonucu elde edilen verilere Ki-Kare testi yapılarak irdelenmiştir. Analiz sonucunda Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,030$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050'den küçük olması, güzergâh kullanım sıklığının tünel geçişlerindeki araç hızı üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişkisi olduğunu göstermiştir. Tablo 2'de farklı güzergâh kullanım sıklığına sahip katılımcıların “Soru-1: karayolu tünel girişine yaklaştığınızda araç hızını düşürüyor musunuz” sorusuna verdikleri cevaplar ile tünellerde araç kullanım hızlarına ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3'te verilen yanıtlara göre güzergâh kullanım sıklığının artması, sürücülerin tünellere olan aşinalığını artırdığı ve dolayısıyla tünel geçişlerinde araç hızını düşürme oranının azaldığı görülmüştür.

Tablo 3. Sürücülerin “Tünel girişlerine yaklaştığınızda araç hızını düşürüyor musunuz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

Hız Azaltma Sıklığı	Güzergâh Kullanım Sıklığı				Toplam (Σ)
	Günde bir kez veya daha fazla	Haftada birkaç kez	Ayda birkaç kez veya daha az)	Yılda birkaç kez veya daha az	
Hiçbir zaman	4	3	4	5	16
Arada bir	4	12	8	11	35
Bazen	9	16	26	21	72
Çoğu zaman	20	14	67	39	140
Her zaman	21	24	79	60	184
Toplam (Σ)	58	69	184	136	447

3.2. Cinsiyet ile Tünel Geçişlerindeki Tedirginlik Hissi Arasındaki İlişki

Karayolu tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissinin cinsiyet ile anlamlı bir ilişkisinin olup olmadığını araştırmak için anket sonucu elde edilen veriler yine Ki Kare testi yapılarak incelenmiştir. Analiz sonucunda Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,004$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050'den küçük olması; cinsiyet ile tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissi arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişkisi olduğu sonucunu göstermiştir. Tablo 4'te kadın ve erkek katılımcıların "Soru-2: Tünel girişine yaklaştığınızda tedirginlik hissediyor musunuz?" sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir. Tablo 4'ten de görüldüğü üzere kadın sürücülerin (%31) erkek sürücülere (%28) göre tünel geçişlerinde daha fazla tedirginlik hissettiklerini bildirdikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4. Sürücülerin "Tünel girişine yaklaştığınızda tedirginlik hissediyor musunuz?" sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

Cinsiyet	Tedirginlik Hissetme Durumu					Toplam (Σ)
	Kesinlikle Hissetmiyorum	Hissetmiyorum	Kararsızım	Hissediyorum	Kesinlikle hissediyorum	
Kadın	12	48	12	26	6	104
Erkek	96	132	18	84	13	343
Toplam (Σ)	108	180	30	110	19	447

3.3. Açık Karayolundan (Aydınlıktan), Tünele (Karanlığa) ve Tünelden (Karanlıktan), Açık Karayoluna (Aydınlığa) Geçişlerdeki Görüş Problemleri İlişkisi

Katılımcıların, açık karayolundan (aydınlık kesimden), tünele (karanlığa) ve tünelden (karanlıktan), açık karayoluna (aydınlık kesime) geçişlerde, görüş problemlerini incelemek üzere ordinal (sıralama) ölçekli değişkenlerin (1-Hiçbir zaman, 2-Arada bir, 3-Bazen, 4-Çoğu zaman, 5-Her zaman) ölçülmek istenen olguyu başarılı şekilde ölçüp ölçmediğini araştırmak için güvenilirlik analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Cronbach' Alpha katsayısı 0,808 olarak bulunmuş ve değer 0,700'den büyük olması kullanılan ölçeğin güvenilir olduğunu göstermiştir. Tablo 5'te ise farklı yaş gruplarındaki katılımcıların "Soru-3: Açık karayolundan (aydınlık kesimden), tünele (karanlık kesime) geçişlerde görüş problemi yaşıyor musunuz?" sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir.

Tablo 5. Katılımcıların "Aydınlık kesimden karanlık kesime (tünele) geçişlerde görüş problemi yaşıyor musunuz?" sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

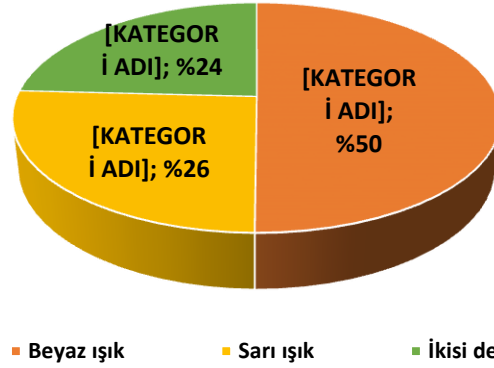
Yaş Dağılımı	Görülme Sıklığı					Toplam (Σ)
	Hiçbir zaman	Arada bir	Bazen	Çoğu zaman	Her zaman	
18-30	58	54	64	24	11	211
31-45	38	45	59	21	19	182
46-65	24	6	17	4	0	51
65 üstü	2	0	0	0	1	3
Toplam (Σ)	122	105	140	49	31	447

Mevcut literatür çalışmalarına göre karayolunda açık kesimlerden (aydınlıktan), tünele (karanlığa) geçişlerde, tünelden (karanlıktan), açık karayoluna (aydınlığa) geçişlere oranla daha fazla görüş problemi yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır (Liu, 2005; Wenga ve ark., 2017). Tablo 5’te verilen analiz sonuçlarına göre literatür sonuçlarına uygun olarak, açık karayolundan (aydınlıktan) tünele (karanlığa) geçişlerdeki görüş probleminin, tünelden (karanlıktan) açık karayoluna (aydınlığa) geçişlere nazaran daha fazla yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla tünel aydınlatma tasarımlarında, giriş kısmına daha fazla dikkat edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

3.4. Tünel Aydınlatmasında Kullanılan Işık Renk Tercihi

Katılımcıların, tünel aydınlatması hakkındaki görüşlerini belirlemek amacıyla, “Soru-4: Aydınlatmada hangi renkte ışık kullanılması sizi güvende hissettirir?” sorusu yöneltilerek elde edilen bulgular Şekil 4’te verilmiştir. Katılımcılardan, 224 kişi (%50) beyaz ışık, 115 kişi (%26) sarı ışık ve 108 kişi (%24) de her iki renkte de kendilerini güvende hissettiklerini belirtmişlerdir. Bu cevaplardan hareketle; tünel aydınlatmasında kullanılan ışık renginin beyaz olması, literatürde de tavsiye edilen (Liang ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2020) açık renk tonunun artmasının, sürücülerini daha güvende hissettirdiği sonucu ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla tünellerde yeni nesil açık renkli LED sistemlerin kullanılmasının sürücülere daha güvenli görüş sağlayacağı kanısına varılmış ve bu hususun önemine sürücüler tarafından dikkat çekilmiştir.

Tünel Aydınlatmasındaki Renk Tercihleri

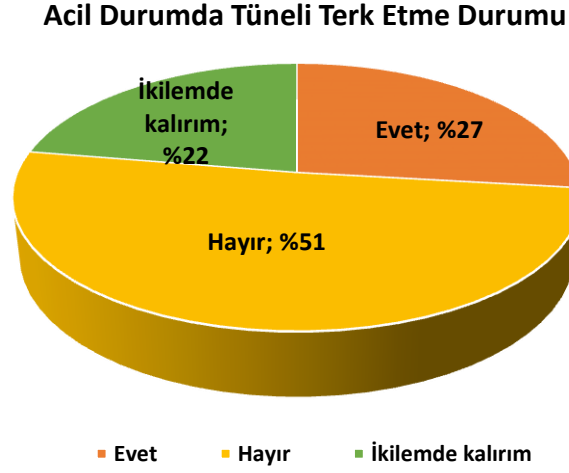


Şekil 4. Sürücülerin tünel aydınlatmasındaki tercihlerinin dağılımı

3.5. Acil Durumlar Karşısında Sürücü Davranışları

Anket çalışması kapsamında bu bölümde, sürücülerin özellikle acil durumlardaki (yangın ve kaza için) davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, sürücülerin kaza ve yangın durumundaki davranışları farklı parametreler altında aşağıdaki sorular yöneltilerek belirlenmeye çalışılmıştır.

Kaza veya yangın durumlarındaki davranışlar: Şekil 5’te görüldüğü üzere katılımcılara yöneltilen “Soru-5: Tünellerde yaşanabilecek kaza ve yangınlarda aracınızı bırakarak tüneli terk eder misiniz” sorusuna 227 kişi (%51) hayır, 120 kişi (%27) evet ve 100 kişi (%22) ise ikilemde kalacağı yönünde cevap vermiştir. Katılımcıların, yarısından fazlasının araçlarını bırakmak istemediği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5. Sürücülerin acil durumlarda tüneli terk etme durumunun dağılımı

Ayrıca acil durumlarda aracı bırakarak tüneli terk etme ile cinsiyet arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını araştırmak için Ki Kare testi yapılarak Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050’den küçük olması, cinsiyet ile aracı bırakma arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Tablo 6’da görüleceği üzere acil durumlarda kadın sürücülerin (%36) erkek sürücülere (%24) kıyasla daha yüksek oranda araçlarını bırakarak tüneli terk etme eğiliminde oldukları belirlenmiştir.

Tablo 6. Katılımcıların cinsiyetlerine göre “Acil durumlarda aracınızı bırakarak tüneli terk etmek ister misiniz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

Cinsiyet	Katılımcı Yanıtları			Toplam (Σ)
	Evet	Hayır	İkilemde kalırım	
Kadın	37	35	32	104
Erkek	83	192	68	343
Toplam (Σ)	120	227	100	447

Düşük şiddetli araç yangınları karşısındaki davranışlar: Tünel geçişlerinde düşük şiddetli araç yangınlarında sürücülerin doğru davranış bilgisine sahip olup olmadığını belirlemek için katılımcılara, “Soru-6: Tünel içerisinde aracınızda düşük şiddetli bir yangının meydana gelmesi durumunda ne yaparsınız” sorusu yöneltilmiştir. Tablo 7’den görüleceği üzere katılımcılardan, sadece 57 kişinin

(%13) doğru davranış biçimi olan aracı tünel dışına sürerek, tünel çıkışı motoru tamamen kapatırım seçeneğini işaretledikleri görülmüştür. Ayrıca düşük şiddetli araç yangını karşısındaki davranış ile eğitim seviyesi arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını araştırmak için Ki Kare testi yapılarak Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050'den küçük olması, eğitim ile istenilen doğru davranış arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Tablo 7. Katılımcıların “Aracınızda düşük şiddete bir yangın meydana gelmesi durumunda ne yaparsınız?” soruna ait yanıtlarının dağılımı

Eğitim Durumu	Sürücü Davranışı				Toplam (Σ)
	Hemen durdurup, motoru tamamen kapatırım.	Tünel içerisindeki sığınma cebinde aracı durdurup, motoru tamamen kapatırım	Aracı tünel dışına doğru sürer, tünel çıkışı motoru tamamen kapatırım	Yoluma devam ederek tünelden çıkmaya çalışırım	
İlkokul	4	16	0	8	28
Ortaokul	4	14	6	3	27
Lise	22	70	12	9	113
Yüksekokul	10	37	6	5	58
Üniversite	62	118	33	8	221
Toplam (Σ)	102	255	57	33	447

Trafik kazası veya yangın ile karşılaşmanız durumundaki davranışlar: Katılımcılara “Soru-7: Araçlarınız ile tünel içerisinde bir kaza veya yangın ile karşılaşmanız durumunda davranışınız ne olur” sorusu sorulmuştur. Tablo 8’de görüldüğü üzere katılımcılardan, 331 kişi acil çağrıda bulunmayı, 78 kişi yangına müdahale etmeyi, 22 kişi kaçmaya çalışmayı ve 16 kişi de arabada kalmayı tercih edeceklerini bildirmişlerdir. Ayrıca cinsiyet ile davranış arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek üzere Ki Kare testi yapılarak Pearson Chi-Square anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050’den küçük olması, cinsiyet ile davranış arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Tablo 8. Katılımcıların “Bir kaza veya yangın ile karşılaşmanız durumunda davranışınız ne olur?” sorusuna ait yanıtları

Cinsiyet	Sürücü Davranışı				Toplam (Σ)
	Arabada Kalırım	Kaçmaya Çalışırım	Acil Çağrı Yaparım	Yangına Söndürmek için Müdahale Ederim	
Kadın	7	14	75	8	104
Erkek	9	7	257	70	343
Toplam (Σ)	16	21	332	78	447

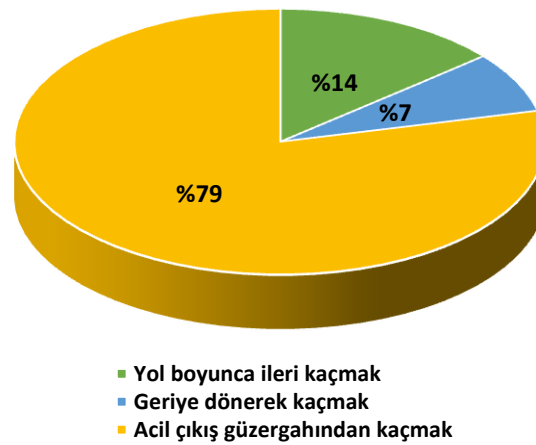
Cinsiyet ile kaza durumundaki hareket arasındaki ilişki: Karayolu tünelleri geçişleri esnasında, sürücülerin bir kaza yaşanması durumunda nasıl hareket ettiği ve cinsiyetin hareket etme şekli ile anlamlı bir ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Araştırmada Ki Kare analizi yapılarak Pearson Chi-Square anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değerin 0,050'den küçük olması, cinsiyetin bir kaza durumunda hareket etme şekli üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi olduğunu göstermiştir. Tablo 9'da kadın ve erkek katılımcıların “Soru-8: Tünellerde yaşayabilecekleri bir trafik kazası olayında nasıl hareket edersiniz?” sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir.

Tablo 9. Katılımcıların “Tünellerde yaşayabileceğimiz trafik kazası durumunda nasıl hareket edersiniz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

Cinsiyet	Sürücü Davranışı					Toplam (Σ)
	Güvenlik önlemi almaya çalışırım	Cep telefonundan yardım çağırırım	Tüneli terk ederim	Yardım ekipleri gelinceye kadar araçta beklerim	Diğer	
Kadın	41	41	4	14	4	104
Erkek	237	75	7	15	9	343
Toplam (Σ)	278	116	11	29	13	447

Katılımcıların acil durumlardaki kaçış güzergâhları: Şekil 6'da görüldüğü üzere katılımcılara, “Soru-9: Tünellerde yaşanabilecek kaza ve yangın gibi acil durumlar karşısında kaçış güzergâhınız ne olur?” sorusu sorulmuştur. Katılımcılardan, 352 kişi (%79) acil çıkış güzergâhından, 62 kişi (%14) yol boyunca ileri ve 33 kişi (%7) de geriye dönerek kaçma tercihinde bulunacağını ifade etmiştir.

Tünelden Kaçmak İstediginizde Kaçış Güzergâhınız Ne Olur?



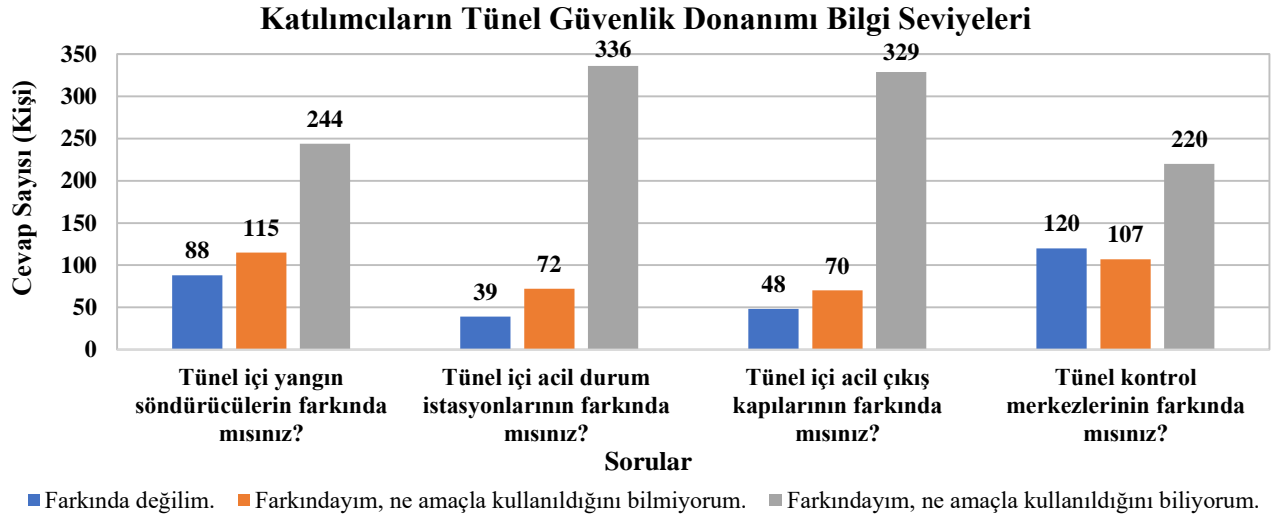
Şekil 6. Sürücülerin tünelden kaçmak istediğinde kaçış güzergâhının ne olacağını dağılımı

Mevcut literatür çalışmaları, acil durumda sürücülerin acil çıkış kapı seçiminin çevresel koşullara (mesafe, görünürlük vb.), sosyal etkileşimlere ve yolcuların tünel geometrisi bilgilerine bağlı olduğunu

göstermiştir (Frantzich ve Nilsson, 2004). Yine bu çalışma sonuçlarına göre kullanıcıların genel olarak, en yakın çıkışlara doğru gitmek istedikleri belirlenmiştir. Ancak, tünelde yangın olması durumunda, acil çıkışlar tünelin kendi giriş-çıkışında daha caydırıcı gelebileceği ve ilk defa kullanılacağı için tercih edilemeyebileceği sonucuna da ulaşılmıştır (Ronchi ve Kinsey, 2012). Çıkış yeri kararında, kullanıcıların yangınla ilgili koşulları, çıkışlara aşinalıklarını ve çıkış görünürlüğünü de dikkate alarak hareket edeceği görülmüştür (Ronchi ve Kinsey, 2012). Yürütülen bu çalışmada da sürücü yanıtlarının literatür çalışmalarını destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

Katılımcıların acil durumlar için tünel güvenlik donanımı hakkındaki bilgi seviyesi: Çalışmada, katılımcıları acil durumlarda karayolu tünel güvenlik bilgilerini ölçmek amacıyla nominal (sınıflama) değişkenleri kullanılarak (1-Farkında değilim, 2-Farkındayım ne amaçla kullanıldığını bilmiyorum, 3-Farkındayım ne amaçla kullanıldığını biliyorum) Şekil 6’da verilen sorular yöneltilmiştir. Bu soruların faktör analizine uygunluğunu belirlemek amacıyla Kaiser Meyer Olgin (KMO) değeri araştırılarak 0,736 bulunmuştur. KMO değerinin 0,600’den büyük çıktığı ($0,736 > 0,600$) ve verilerin faktör analizi için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca yapılan Bartlett testi sonucunda *P* değeri 0,010 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,050’den küçük oluşu ($0,010 < 0,050$) değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Kullanılan ölçeğin güvenilirliği belirlemek için güvenilirlik analizi yapılarak Cronbach’ Alpha katsayısı 0,767 bulunmuş ve bu değer 0,700’den büyük olması faktör analizinde belirlenen ölçeğin güvenilir olduğunu göstermiştir.

Şekil 7’de faktör analizi gruplamasına göre, katılımcıların tünel güvenlik donanımı hakkındaki soruya verdikleri cevaplar görülmektedir. Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere katılımcıların büyük çoğunluğunun güvenlik donanımlarının farkında olduğu ancak farkında olmayan veya farkında olmasına karşın ne amaçla kullanıldığını bilmeyen katılımcıların da olduğu görülmüştür. Daha güvenli sürüş ve tünel geçişleri için, tünel güvenlik donanımlarının; sürücüler tarafından fark edilebilmesini artırmak, daha fazla dikkat çekici hale getirmek ve bu donanımların ne amaçla kullanıldığı konusunda bilgilendirici çalışmalar (broşür, reklam vb.) yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 7. Katılımcıların tünel güvenlik donanımı bilgi seviyelerinin ölçülmesi

Cinsiyet ile acil durumlar karşısındaki yeterlilik hissi arasındaki ilişki: Karayolu tünel geçişleri esnasında yaşanabilen veya karşılaşılan acil durumlar karşısında, sürücülerin kendilerini yeterli görüp görmemesinin cinsiyet ile anlamlı bir ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Araştırmada Ki Kare analizi yapılarak Pearson Chi-Square anlamlılık değeri $P=0,004$ bulunmuştur. Bulunan bu değer $0,050$ 'den küçük olması; cinsiyet ile tünellerde görülebilecek acil durumları karşısındaki yeterlilik hissi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Tablo 10'da kadın ve erkek katılımcıların, "Soru-10: Tünellerde yaşanabilecek bir trafik kazası veya yangın olayına karşı nasıl hareket edilmesi konusunda kendinizi yeterli görüyor musunuz" sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir. Tablo 10'dan da görüleceği üzere kadın sürücülerin erkek sürücülere oranla acil durumlar karşısında kendilerini daha az yeterli gördükleri sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 10. Katılımcıların "Tünellerde yaşanabilecek kaza veya yangın olaylarında nasıl hareket edilmesi konusunda kendinizi yeterli görüyor musunuz?" sorusuna ait yanıtlar

Cinsiyet	Katılımcı Görüşü				Toplam (Σ)
	Tamamen Yetersiz Görüyorum	Kısmen Yeterli Görüyorum	Büyük Ölçüde Yeterli Görüyorum	Tamamen Yeterli Görüyorum	
Kadın	18	57	21	8	104
Erkek	27	167	93	56	343
Toplam (Σ)	45	224	114	64	447

4. Mevcut Tünel İşletim Performansının İncelenmesi ve Değerlendirme

Trabzon-Gümüşhane karayolu üzerinde incelenen 19 adet tünelin işletim özellikleri açısından incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmış ve bu sonuçlara göre değerlendirme yapılmıştır:

- D885-02 nolu kontrol kesiminde bulunan Kürtün Kavşak, Köprübaşı, Torul, Taşocağı ve Mescitli Varyant tünellerine ait kontrol merkezleri mevcuttur. D 885-02 nolu kontrol kesiminde bulunan tünellerin hiçbirinde ne yazık ki tünel kontrol merkezi bulunmamaktadır.
- Trabzon-Gümüşhane karayolunun D885-02 nolu kontrol kesiminde bulunan Kürtün Kavşak, Köprübaşı ve Torul tünelleri, tek bir alt kontrol merkezine sahiptir. Bu tünellere ait ana kontrol merkezi 101. Şube Şefliği bünyesinde yer almaktadır. Alt kontrol merkezi ile ana kontrol merkezi arasında izleme sistemi için fiber optik hat henüz çekilmediğinden ana kontrol merkezinden bu tüneller izlenememektedir. Birimler arasındaki koordinasyonun sağlıklı yapılabilmesi için gerekli çalışmalar yapılarak bahsi geçen tüneller ana kontrol merkezinden izlenmelidir.
- Trabzon-Gümüşhane karayolunun D885-01 nolu kontrol kesim noktasının 31+360 km'sinde yer alan ve 760 m uzunluğundaki Bağışlı tünelinin aydınlatması oldukça yetersiz durumdadır. Bu durum, özellikle aydınlıktan karanlığa geçişlerde adaptasyon süresini uzatmakta ve bu süre zarfında sürücülerin tünel içerisinde bulunabilecek araç ve cisimleri görememesine neden olmaktadır. Trabzon-Gümüşhane karayolunun D885-01 nolu kontrol kesim noktasının 31+360 km'sinde yer alan ve 760 m uzunluğundaki Bağışlı Tüneli'nin, Trabzon istikametinde bulunan tünel çıkışına güneş ışıkları oldukça geç düşmektedir. Dolayısıyla kış aylarında tünel çıkışında gizli buzlanma meydana gelmektedir.
- Trabzon-Gümüşhane karayolunda bulunan tünellerden, herhangi birinde yaşanan acil durumda, ilgili tünel hangi il veya ilçe sınırları içerisinde kalıyorsa, tünele öncelikle o ilin veya ilçenin acil müdahale ekipleri intikal edecektir. Bu bağlamda;
 - Şehit Eren Bülbül Tüneli'ne Trabzon Belediyesi,
 - Yeni Maçka Tüneli ile Eski Zigana Tüneli arası tünellere Maçka Belediyesi,
 - Eski Zigana Tüneli ile Torul Tüneli arası tünellere Torul Belediyesi,
 - Torul Tüneli ile Gümüşhane Tüneli arasındaki tünellere Gümüşhane Belediyesi
 İtfaiye ekiplerince müdahalede bulunulacaktır. Tünellerde yaşanan kaza olaylarına ilk olarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından müdahalede bulunulmakta ancak AFAD'ın yetersiz kaldığı durumlarda sorumlu belediye ekiplerine ait itfaiye birimleri yardıma gidecektir.
- Trabzon-Gümüşhane karayolu ulaşımında kullanılan 19 adet tünelin azami hız sınırları 50, 60 ve 70 km/s arasında değişiklik göstermektedir. Aydın ve ark. (2020), Trabzon-Gümüşhane il sınırları arasındaki tünellerde; ortalama araç hızlarını ve ortalama tahmini yol yüzey düzgünlük değerlerini ölçmüşler ve yapılan ortalama hızların, tünel azami hız sınırlarının üzerinde olduğunu belirlemişlerdir. Dolayısıyla bu sonuç, tünellerdeki işletim hızlarının limitler dahilinde kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, Türkiye’de sık şekilde tünelli geçişleri bünyesinde barındıran (19 adet tünel) ve Trans-Avrupa Karayolu Ağının yaklaşık 100 km’lik kısmını oluşturan Trabzon-Gümüşhane karayolu güzergâhı, sürücülerin düşünce, bilgi ve davranışları anket çalışması ve farklı olası kaza senaryoları altında incelenmiştir. Bu amaçla 491 adet anket yapılmış ve 447 anket değerlendirmeye alınmıştır. Gruplar üzerinde faktör ve güvenilirlik analizleri yapılarak kullanılan ölçeğin güvenilirliği araştırılmıştır. Ki Kare ve Bartlett testleri yapılarak bağımsız değişkenler (cinsiyet, meslek, eğitim, yaş, güzergâh kullanım sıklığı) ile bağımlı değişkenler (katılımcıların acil durumlar karşısında ki bilgi, davranış ve hareket etme kabiliyetlerini ölçmeye yönelik hazırlanan anket soruları) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda;

- Tünel kullanım sıklığının artması ile sürücü aşinalığının arttığı ve tünel geçişlerinde araç hızı düşürme oranının azaldığı ve bu sonucun Hu ve ark. (2019) çalışmasında bulunan sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür.
- Cinsiyet ile tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissi arasında anlamlı bir ilişki olduğu, kadınların erkeklere kıyasla daha fazla tedirginlik hissettiği,
- Literatüre de (Kircher ve Ahlstrom, 2012; Yeung ve ark., 2013) uygun olarak kullanıcıların en çok açık karayolundan (aydınlıktan) tünele (karanlığa) geçişlerde görüş problemi yaşadığı,
- Kullanıcıların daha güvende hissetmek için tünel aydınlatmasında kullanılacak ışık rengi olarak beyazı seçtikleri,
- Tünelde yaşanacak acil bir durum karşısında aracı terk etme ile cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ($P < 0,10$) ve kadın sürücülerin daha yüksek oranlarda aracı bırakarak tüneli terk etme eğiliminde oldukları,
- Eğitim düzeyi arttıkça, tünellerde acil durum altında ve normal sürüş durumunda doğru karar verme arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunduğu,
- Tünellerde yaşanacak kazalar karşısında sürücü davranışlarının cinsiyete göre farklılık gösterdiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yapılan saha gözlemlerinden tünellerin işletim güvenliği için madde taşımacılığı konusunda bazı önlemlerin alınmasının yangına karşı güvenlik için gerekli olduğu görülmüştür. İncelenen Trabzon-Gümüşhane yol güzergâhı üzerinde yapımı devam eden ve Avrupa’nın en uzun tüneli olacak olan Yeni Zigana Tüneli’nin ulaşım kazandırılması ile söz konusu güzergâh tehlikeli madde taşımacılığı ve tünel güvenliği açısından daha da önemli hale getirecektir. Bu tünelin uzun bir tünel olması nedeniyle incelenen güzergahta inşası devam eden Yeni Zigana tüneli de dahil olacak şekilde uzunluğu ≥ 1000 m olan tüneller için alternatif güzergâhlar belirlenmiştir. Bu kapsamda Şehit Eren Bülbül Tüneli, Yeni Maçka Tüneli, Yeni Zigana Tüneli ve Torul Tüneli için eski yol güzergâhları, tehlikeli madde taşımacılığı için önerilen alternatif güzergâhlar olarak belirlenmiştir. Yine saha incelemelerinden Bağışlı Tüneli’nin aydınlatması oldukça yetersiz bulunmuştur. Bu durumun özellikle

aydınlıktan karanlığa geçişlerde adaptasyon süresini uzattığı ve bu süre zarfında sürücülerin, tünel içerisinde bulunabilecek araç ve cisimleri görememesine neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca söz konusu tünelin Trabzon istikametinde tünel çıkışına güneş ışıklarının geç düştüğü, dolayısıyla kış aylarında oluşan gizli buzlanmanın, kazalara neden olabileceği bu durumun önlenmesi amacıyla otomatik buz önleme sisteminin kurulması gerektiği düşünülmektedir. İncelenen tünellerdeki hız limitlerine göre tünellerdeki hızlar 50, 60 ve 70 km/s arasında değişiklik göstermektedir. Fakat yapılan incelemeler neticesinde bu azami hız değerlerinin çok üzerinde bir trafik hızının olduğu görülmüştür. Bu nedenden dolayı sürücülerin hız sınırlarına uymasında etkili olabilecek denetim mekanizmaları (radar vb.) yerleştirilmeli ve/veya denetimler sıklaştırılmalıdır. Buna ek olarak koridor hızı ihlal tespit sistemleri, tünel yaklaşım bölgelerine belirli mesafelerde yerleştirilerek sürücülere hızlarının yüksek olduğu bilgisi verilerek/uyarılarak farkındalık artırılmalıdır.

Bu çalışma belirli bir güzergâh ve sınırlı sayıda örneklem büyüklüğü ile yapılmış olup farklı bölgelerdeki farklı sürücüler ile yapılacak anketler ile daha da geliştirilebilecektir. Özellikle sürücülerin farklı senaryolara göre öngördükleri davranışlarının incelenen tünellerdeki kaza istatistikleri ile ilişkilendirilmesinin çalışmayı daha da ileriye taşıyarak hangi sürücü davranışlarının kazaları daha fazla tetikleyebileceği öngörülebilecektir. Böylece elde edilecek bulgulara göre tünellerde alınacak önlemler ile tünel güvenliği daha iyileştirebilecek; operasyonel anlamda daha etkin tüneller inşa edilebilecektir. Ayrıca sürücü eğitimlerinde tünel güvenliği konusunda bir eğitim vermesinin tünellerde güvenli sürüş için farkındalık oluşturabileceği düşünülmektedir. Böylece tünelleri kullanan sürücüler, tüneller konusunda önceden elde ettikleri bilgiler ya da kazandıkları tecrübeler ışığında tünel kesimlerindeki riskli durumları düşünerek, sürüş karakteristiklerini bu duruma göre düzenleyecektir. Böylece kontrollü ve temkinli sürüş davranışları ile tünellerde meydana gelebilecek kazalar en aza indirebilecektir. Çalışma elde edilen bulguların efektif bir tünel işletimi için gerekli olan tüm hususlar konusunda yetkililere yol göstereceği; etkin ve güvenli bir tünel işletimi için önemli yol gösterici bir rehber olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Amundsen FH. Studies of driver behaviour in Norwegian road tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology 1994, 9(1): 9–15.

- Amundsen FH., Ranæs G. Studies on traffic accidents in Norwegian road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2000; 15: 3-11.
- Aydın MM., Çoruh E., Kalkan H. Farklı karayolu tünellerinin tünel özellikleri ve sürücü davranışları açısından irdelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* 2020; 7(3): 1258-1274.
- Beard AN. Tunnel safety, risk assessment and decision-making. *Tunn Undergr Space Technol* 2010; 25(1): 91–94.
- Calvi A., Blasiis MRD., Guattari C. An empirical study of the effects of road tunnel on driving performance. *Procedia* 2012; 53: 1098–1108.
- Calvi A., D’Amico F. A study of the effects of road tunnel on driver behaviour and road safety using driving simülator. *Advances in Transportation Studies an international Journal* 2013; 30(30): 59-76.
- Calvi A., De Blasiis MR. How Long is really a road tunnel? application of driving simulator for the evaluation of the effects of highway tunnel on driving performance. 6th International Conference ‘Traffic and Safety in Road Tunnels’, Hamburg, 2011.
- Cantin V., Lavalliere M., Simoneau M., Teasdale N. Mental workload when driving in a simulator: Effects of age and driving complexity. *Accident Analysis and Prevention* 2009; 41: 763-771.
- 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, 3–41.
- Flø M., Jenssen GD. Drivers’ perception of long tunnels. In: *Proceedings of the 4th International Conference-Traffic and Safety in Road Tunnels 2007*; Hamburg, Germany, 25–27.
- Frantzich H., Nilsson D. Evacuation experiments in a smoke filled tunnel. In: *Human Behaviour in Fire, Proceedings of the Third International Symposium*, Belfast, UK 2004: pp. 229–238.
- Haack A. Current safety issues in traffic tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2002; 17(2): 117–127.
- Harbluk JL., Noy YI., Trbovich PL., Eizenman, M. An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers’ visual behavior and braking performance. *Accident Analysis and Prevention* 2007; 39: 372-379.
- Hu YQ., Liu HX., 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.
- Jenssen GD. Evaluation of interior design in the world’s longest road tunnel, In: *First International Conference: Long Road and Rail Tunnels*, Basel, Switzerland, 1999.
- 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.
- Kirkland CJ. The fire in the channel tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2002; 17(2): 129–132.

- Koçhan B. Karayolu tünel güvenliği ve meydana gelen kazalar: Trabzon-Gümüşhane karayolu örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2021; 187 s. Gümüşhane, Türkiye.
- 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, The Netherlands, 2001.
- Lee YC., Lee JD., Boyle LN. Visual attention in driving: The effects of cognitive load and visual disruption. *Human Factors* 2007; 49: 721-733.
- 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.
- Lemke K. Road safety in tunnels. *Transportation Research Record* 2000; 1740(1): 170-174.
- Liang B., He S., Tähkämö L., Tetri E., Cui L., Dangol R., Halonen L. Lighting for road tunnels: The influence of CCT of light sources on reaction time. 2019, <https://research.aalto.fi/en/publications/lighting-for-road-tunnels-the-influence-of-cct-of-light-sources-o>.
- Liu HY. Design criteria for tunnel lighting. 2005, <http://eng-gate.net/content/uploads/2015/07/7810144939269.pdf>.
- Manseer M., 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.
- Manser MP., Hancock PA. The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control: tunnel wall characteristics and influences. *Accident Analysis & Prevention* 2007; 39(1): 69-78.
- Mashimo H. State of the road tunnel safety technology in Japan. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2002; 17(2): 145-152.
- Ntzeremes P., Kirytopoulos K. Evaluating the role of risk assessment for road tunnel fire safety: A comparative review within the EU. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* 2019; 6(3): 282-296.
- Nussbaumer C. Nitsche P. Safety in tunnels on motor-and expressways. Department of Transport and Mobility Austrian Road Safety Board, International Conference 'Tunnel Safety and Vantilation', Austria, 2008.
- Recarte MA., Nunes L. Mental load and loss of control over speed in real driving, Towards a theory of attentional speed control. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 2002; 5: 111-122.
- Robatsch K. Nussbaumer C. Tunnels mit Gegenverkehr und Richtungsverkehr/ tunnels with uni- and bi-directional traffic, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr, Wien, 2004.

- Ronchi E. Kinsey M. Evacuation models of the future. Insights from an online survey on user's experiences and needs. In: Capote J et al. (eds) Advanced research workshop evacuation and human behaviour in emergency situations EVAC11, Santander 2012; pp 145–155.
- Stinchcombe A., Gagnon S. Driving in dangerous territory: Complexity and road-characteristics influence attentional demand. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 2010; 13: 388-396.
- TÜİK. Trafik İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, 2020, Ankara (Erişim Tarihi: 04.06.2021). [https:// data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112&dil=1](https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112&dil=1)
- Wenga J., Dua F., Hua Y. Caia X. Dark adaptation time study on road tunnel daytime lighting based on visual performance method. *Chemical Engineering Transactions* 2017; 59: 691-696
- Yan W., Kong LQ., Guo ZY. Alignment design at tunnel entrance and exit zone based on operating safety. *J Highw Transp Res Dev Chin Ed.*, 2008; 25: 134–138.
- Yeung JS., Wong YD., Xu H. Driver perspectives of open and tunnel express-ways. *J. Environ. Psychol.*, 2013; 36: 248–256.
- Zhao EZ., Dong LL., Chen Y., Lou Q. Xu WH. The impact of led color rendering on the dark adaptation of human eyes at tunnel entrances. 2020; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7084632/>.