



Araştırma Makalesi

Journal of Innovative Engineering
and Natural Science

(Yenilikçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi)

<https://dergipark.org.tr/en/pub/jiens>

Trafik olaylarının çevresel etkileri: İstanbul O2 (TEM) otoyolu örneği

ID Fatih Kerem Boz^{a,*} ve ID Halit Özen^b^aYalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova, 77200, Türkiye.^bYıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, İstanbul, 34220, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Geliş 23 Mayıs 2024

Düzeltilme 10 Temmuz 2024

Kabul 22 Temmuz 2024

Çevrimiçi mevcut

Anahtar Kelimeler:

İstanbul O2 Otoyolu

Trafik olayı

Çevresel etkiler

VISSIM

ÖZET

Karayolu kapasitesindeki olağandışı azalmalar veya talepteki beklenmedik artışlar (örneğin, araç arızaları ve trafik kazaları) trafik olayı olarak tanımlanmaktadır. Trafikte yaşanan gecikmelerin yaklaşık %25'i bu tür olaylardan kaynaklanmaktadır. Bu olaylar, kapasiteyi doğrudan (örneğin, şeritlerin kısmen veya tamamen kapanması) ya da dolaylı olarak (sürücülerin kazayı izlemek amacıyla yavaşlaması) etkileyerek, gecikmelerin ve seyahat sürelerinin uzamasına, yakıt tüketiminin artmasına ve çevreye zararlı gaz emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, trafik olaylarının çevresel etkilerini incelemektir. Bu bağlamda, İstanbul O2 (TEM) Otoyolu üzerinde meydana gelen bir trafik kazasının çevresel etkileri (CO, NOx, VOC ve yakıt tüketimi) VISSIM mikro ölçekli trafik benzetim programı kullanılarak analiz edilmiştir. Beklenildiği gibi, trafikte meydana gelen olayların karayolu işletmesi performans ölçütleri üzerinde olumsuz etkileri tespit edilmiştir. Ayrıca, benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilen bu analize dayanarak trafik olaylarının çevresel etkilerini azaltmak için çeşitli önerilerde de bulunulmuştur.

Environmental effects of traffic incidents: example of Istanbul O2 (TEM) highway

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 May 2024

Received in revised form 10 July 2024

Accepted 22 July 2024

Available online

Keywords:

Istanbul O2 Motorway

Traffic incident

Environmental impacts

VISSIM

ABSTRACT

Unusual decreases in road capacity or unexpected increases in demand (for example, vehicle breakdowns and traffic accidents) are defined as traffic incidents. Approximately 25% of traffic delays are caused by such incidents. These incidents affect capacity directly (for example, partial or complete lane closure) or indirectly (drivers slowing down to observe the accident), causing delays and travel times to increase, fuel consumption to increase, and environmentally harmful gas emissions to rise. The purpose of this study is to examine the environmental effects of traffic incidents. In this regard, the environmental effects (CO, NOx, VOC and fuel consumption) of a traffic accident that occurred on the Istanbul O2 (TEM) Highway were analysed using VISSIM microsimulation program. As expected, traffic incidents were found to have negative effects on highway operation performance measures. In addition, based on this analysis performed using the simulation model, various suggestions have also been made to reduce the environmental impacts of traffic incidents.

I. GİRİŞ

Yol kapasitesinde meydana gelen olağandışı azalmalar veya beklenmedik talep artışları, genellikle trafik olayları olarak tanımlanır. Bu tür olaylar arasında araç arızaları ve trafik kazaları öne çıkmaktadır [1]. Trafik gecikmelerinin yaklaşık %25'i bu tür olaylardan kaynaklanmaktadır [2]. Bu olaylar, yol kapasitesini doğrudan etkileyebilir; örneğin, şeritlerin kısmen veya tamamen kapanması gibi durumlar söz konusu olabilir. Ayrıca, sürücülerin olayı gözlemlemek amacıyla yavaşlaması gibi dolaylı etkiler de görülebilir. Trafik olayları, genellikle

*Sorumlu yazar. Tel.: +90-226-815-6360; e-mail: fatihkerem.boz@yalova.edu.tr

trafik gecikmelerinin artmasına, seyahat sürelerinin uzamasına, yakıt tüketiminin yükselmesine ve çevreye zararlı gaz emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu durumlar hem günlük trafik akışını hem de çevresel sürdürülebilirliği önemli ölçüde etkileyebilir.

Ulaştırma sektöründe performans ölçütleri, diğer sektörlerde olduğu gibi, büyük önem taşımaktadır. Ulaşımın temel ilkeleri, örneğin kapasite analizi, bu ölçütlere dayanmaktadır. Trafik mühendisliğinin temel parametreleri olan yoğunluk, hız ve hacim değerleri de performans ölçütlerinde kilit bir rol oynamaktadır. Gerçek zamanlı trafik bilgisi için bu ölçütlerin dikkate alınması, sürücüler ve yolcular için önemlidir.

Performans ölçütleri, mevcut ulaşım planlarının ve programlarının yönetimi, uygulanması ve geliştirilmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olup, genellikle başarılı projelerin ve programların belirlenmesi ve değerlendirilmesine de katkıda bulunmaktadır.

Karayolu işletiminde performans değerlendirmesi, duruş sayısı, gecikme, seyahat süresi, çevresel etkiler (NOx, CO emisyonu ve VOC emisyonu) ve yakıt tüketimi gibi belirli performans ölçütleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu ölçütlerin planlanan seviyelerde görülmesi durumunda karayolu işletim performansının başarılı olarak değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Ancak, kapasitede beklenmedik bir azalma veya talepte ani bir artışa yol açan olağandışı durumlar (örneğin, araç arızaları veya kazalar) kapasitenin azalmasına neden olarak bu ölçütlerin istenen düzeylerde tutulmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, bu tür olaylar sırasında karayolu performansının değerlendirilmesinde yukarıda belirtilen performans ölçütlerinin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle karayollarının işletiminde performans değerlendirmesinde kullanılan performans ölçütlerine değinilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, literatürde yer alan çalışmalar incelenerek, benzetim modelleri, olay yönetimi süreçleri ve aşamaları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmanın amacı ve sınırları belirtilmiştir. Bir sonraki bölümde çalışmada kullanılan yöntem ele alınmıştır. Bu bölümde, İstanbul O2 (TEM) Otoyolu üzerinde meydana gelen bir trafik olayının trafik üzerindeki çevresel etkileri VISSIM paket programı yardımıyla incelenmiştir. Oluşturulan her iki benzetim modeli için de olayın trafik akımı üzerine etkisi kontur grafiği üzerinde gösterilmiştir. Son bölümde, çalışmanın sonuçları sunulmuş ve önerilerde bulunulmuştur.

II. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Karayolu projelerinin analiz edilmesinde inşaat, arazi, proje geliştirme, bakım, işletme ve onarım, finansman, sosyal ve ekonomik maliyetler gibi çeşitli maliyetler bulunur ve bunlar oldukça yüksektir. Bu maliyetlerin yüksek olması nedeniyle genellikle trafik benzetim (simülasyon) modeli kullanılmaktadır. Trafik benzetim modelleri, bu maliyetlerin bazılarını minimize etmeye yardımcı olabilir. Özellikle proje planlama aşamasında farklı senaryoları test ederek en verimli ve düşük maliyetli çözümü bulmak mümkündür. Böylece, fiziksel inşaat başlamadan önce potansiyel problemler belirlenip çözülebilir ve gereksiz maliyetler önlenir. Benzetim modelleri, gerçek dünya koşullarının benzerini yaratır ve planlama aşamasında doğru kararlar alınmasını sağlar. Bu modeller, değiştirilebilen girdilerle olayın karayolu performansı üzerindeki etkilerini tespit eden düşük maliyetli bir yaklaşım sunmaktadır. Böylelikle, trafikte meydana gelen olaylardan kaynaklanan gecikmeler, yakıt tüketimi, araçların durma sayısı, ortalama hızlar, seyahat süreleri, zararlı gaz emisyonları gibi birçok farklı ölçüt temin edilebilmektedir [3, 4]. Mikroskobik benzetim modelleri ile kontrollü bir ortamda farklı senaryoları kolay bir şekilde tanımlamak ve değerlendirmek mümkün olmaktadır [5]. Olay ve olay yönetimi etkilerinin

değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda AIMSUN [3, 6], PARAMICS [7], VISSIM [8-10], SUMO ve CORSIM [11] gibi farklı benzetim modelleri kullanılmıştır. Trafik benzetim programlarının, özellikle de mikro ölçekli trafik benzetim programlarının (örneğin, VISSIM, SUMO) ortaya çıkışıyla birlikte, bazı araştırmacılar bu benzetim araçlarını trafik kazalarının etkisini modellemek ve analiz etmek için kullanmayı önermiştir [12, 13]. Benzer şekilde, birçok yazar çevresel emisyonların hesaplanması ve değerlendirilmesinde VISSIM, AIMSUN gibi paket programlardan yararlanmış [14-21]. Emisyonları hesaplamak için kullanılan EnViVer yazılımı ile VISSIM paket programı ilişkilendirilerek bir yol kavşağı değerlendirilmiş ve başarılı bulunmuştur [14]. Trafik simüle etmek ve geometrik olarak farklı kavşaklardaki emisyonları tahmin etmek için kullanılan VISSIM paket programının sonuçları, doymuş trafik koşullarında sinyalizasyon kavşakların, iki şeritli ve turbo kavşaklara kıyasla %50'ye kadar daha düşük emisyon neden olduğunu ve geometrik değişimin etkisinin, sıfır emisyonlu araçların etkisinden daha önemli olduğunu göstermiştir [15]. VISSIM mikro ölçekli trafik benzetim paket programı kullanılarak farklı kavşaklardaki taşıt emisyonları değerlendirilmiş ve kavşakların geometrik-ışlevsel olarak değiştirilmesinin emisyonlarda %30'a kadar azalmaya olanak sağladığı görülmüştür [16]. Araç emisyon tahminlerinde trafik benzetim modellerinin uygulanabilirliği VISSIM paket programı ile incelenmiştir [17]. Utah'da gerçekleştirilen bir çalışmada sinyal zamanlamalarını optimize etmek, yakıt tüketimini ve CO2 emisyonlarını en aza indirmek için VISSIM paket programından yararlanılmıştır [18]. Trafik bozuklukları veya bu tür olayların tetiklediği sıkışıklıklardan kaynaklanan CO2 emisyonlarındaki artışı tahmin etmek için tasarlanmış istatistiksel bir yaklaşım sunan ve farklı durumlarda kaza yönetiminin değişen düzeylerinin etkisinin değerlendirildiği çalışmada, trafik hacmi, araç türleri, olay süreleri ve otoyol şerit sayıları gibi çeşitli faktörleri birleştiren bir trafik modelleme paket programı olan VISSIM kullanılmış ve kaza süresi, araç karışımı ve trafik hacmi gibi değişkenlerin farklı şerit konfigürasyonlarındaki CO2 emisyonları üzerindeki etkisini verimli bir şekilde yansıttığı görülmüştür [19]. Bir dönel kavşağın trafik güvenliğini değerlendirmek için VISSIM paket programından yararlanılmış ve karayolu özelliklerinin kapasite ve trafik talebi ile gerçekçi bir şekilde benzetilmesine ve dengelenmesine yardımcı olma açısından önemli olduğu belirtilmiştir [20]. VISSIM paket programı, farklı sayıda kapalı şerit, trafik hacmi ve trafik kazası süresi altında otoyol trafik kazasını benzetmek ve analiz etmek için kullanıldı. Benzetim sonucunda, kapasitenin kapatılan şerit sayısı ile bir ilgisi olduğunu ancak trafik kazasının yeri ile hiçbir ilgisi olmadığı tespit edilmiştir [21].

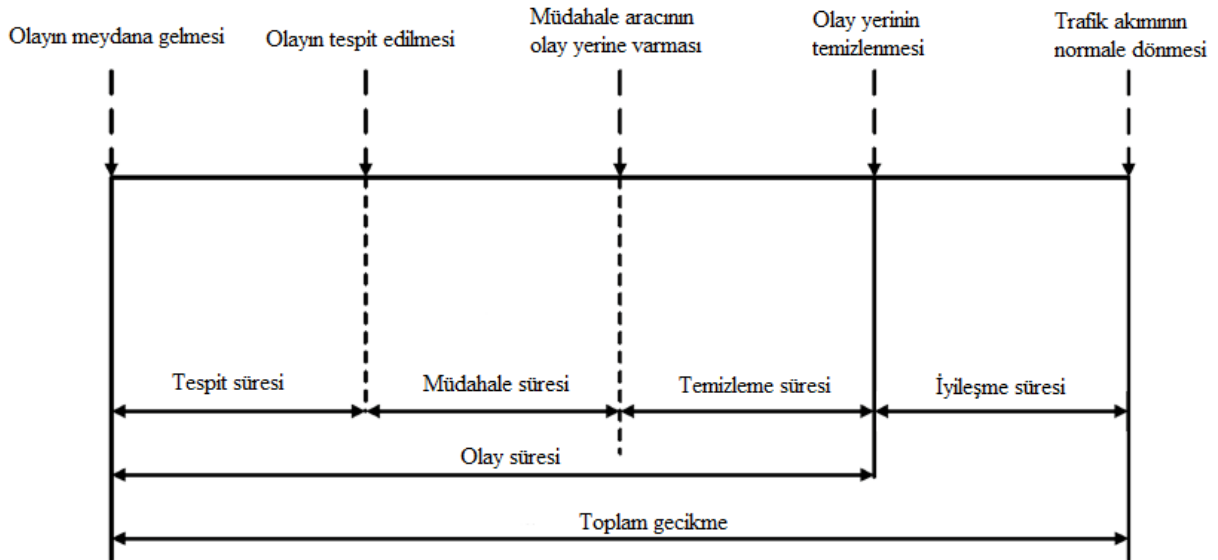
PTV Group tarafından geliştirilen mikro ölçekli trafik benzetim programı olan VISSIM hem şehir içi hem de şehirler arası yolların detaylı analizini yapmaya olanak tanımaktadır. Benzetim programı sayesinde, tüm yol kullanıcılarının (yayalar, taşıtlar ve toplu taşıma araçları gibi) trafik düzenleri mikro ölçekte dijital olarak yeniden üretilir. Bilimsel temelli benzetimler ve senaryo yönetiminin yardımıyla trafiğin verimliliğini arttırmak, trafik sıkışıklığını azaltmak ve güvenliği sağlamak için ideal bir araçtır [22].

Mikro ölçekli trafik benzetim programı olan VISSIM paket programında tıkalı bir otoyol incelenmiş ve çalışma programının sürücü davranışı parametreleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Karmaşık etkileşimler içeren bir otoyol çalışmasında VISSIM paket programının çok uygun olduğu görülmüştür [23]. Amerika Birleşik Devletleri'nde mecburi yolculuk gerçekleştirenlerin (örneğin, evden işe veya işten eve) trafik tıkanıklığı sebebiyle 10,6 milyar litre yakıt ve 4,2 milyar saat zaman kaybettikleri belirlenmiştir [24]. Daha önce gözlemlenen olayların gecikmelerinin öngörülmesi amacıyla, makroskobik ve mikroskobik benzetim modelleri (FREEVAL ve CORSIM) kullanılmıştır [25]. Kısa süreli kapanmalar için benzetim modeli kullanmanın uygun olduğu görülmüştür [26].

Bir olay sonrasında Birmingham şehrinin otoyol ağında en uygun yönetim stratejisinin belirlenmesi amacıyla benzetim modellerinin kullanımı incelenmiştir [27]. Rutgers Olay Yönetim Sistemi (RIMS) yazılımı [28] aracılığıyla gerçekleştirilen trafik ve olay benzetimleri ile olay yönetimi stratejileri ve teknolojilerinin faydaları değerlendirilmiştir [29]. Trafikte meydana gelen kazaların etkilerini analiz etmek için kuyruk ve benzetim modelleri birleştirilmiştir. Trafik kazalarının neden olduğu gecikmeleri tahmin etmek amacıyla kuyruk modeline dayalı bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemin sonuçları benzetim modeli sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır ve kuyruk modelinin sonuçlarının benzetim modeliyle uyumlu olduğu gözlemlenmiş ve dolayısıyla olay yönetimi bağlamında kuyruk modelinin etkili bir alternatif olarak düşünülebileceği vurgulanmıştır [30].

Trafik olayları, beklenmedik karayolu durumları olup normal trafik akışını engeller veya etkiler. Bu durumlar, ikincil kazaların meydana gelme olasılığını artırır ve müdahale ekipleri ile yolculuk gerçekleştiren bireylerin güvenliğini tehdit eder. Bu olaylar, seyahat güvenilirliğini, ticareti ve ulaşım sistemlerinin performansını etkileyebilir. Ulaşım ve kamu güvenliğinden sorumlu kurumların, trafik olaylarının güvenli ve hızlı bir şekilde çözülmesini sağlama sorumluluğu sebebiyle trafik olaylarının süresini ve etkisini azaltmak için insan, kurum, mekanik ve teknik kaynakların sistematik, planlı ve koordineli bir şekilde kullanılması önem arz etmektedir. Bu yönetim yaklaşımına trafik olayı yönetimi adı verilir [31].

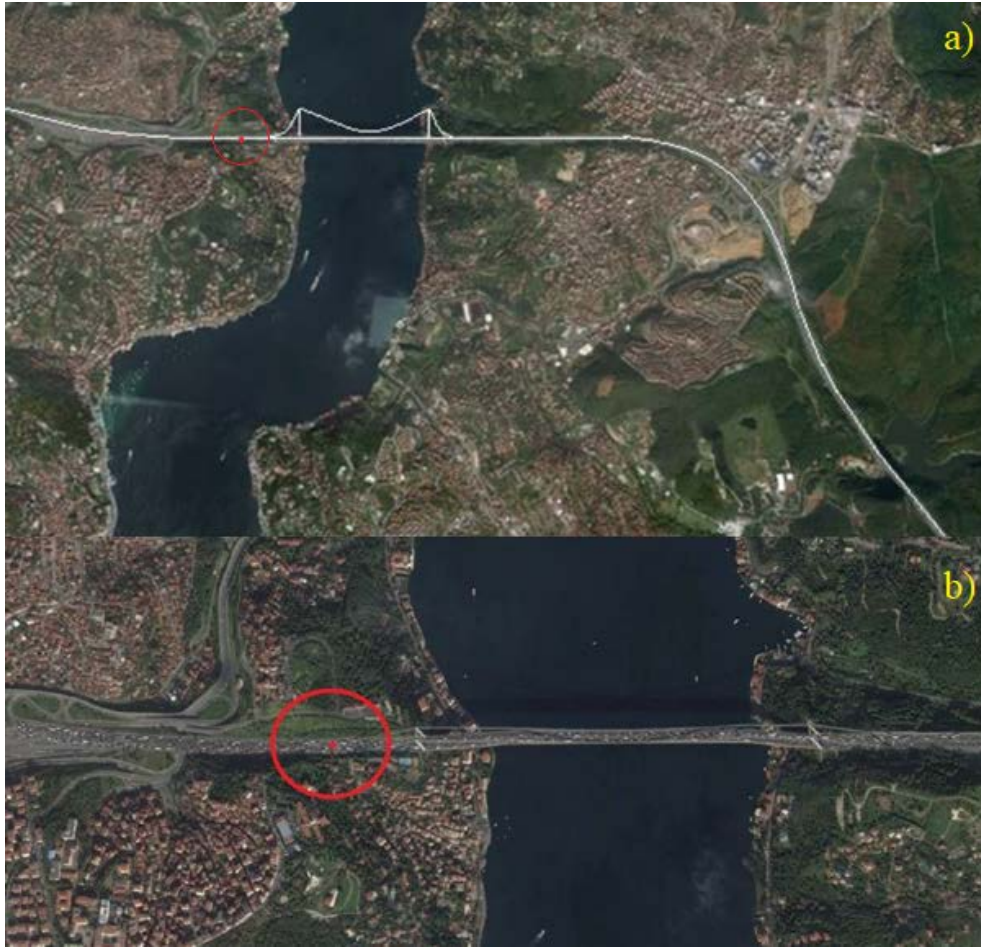
Genel olarak bir trafik olayının süreci Şekil 1'de görüldüğü gibi olayın meydana gelmesi, olayın tespit edilmesi, müdahale biriminin olay yerine gelişi, olayın temizlenmesi ve trafik akımının normale dönmesi olmak üzere beş noktada analiz edilmektedir. Bu noktalar arasındaki aralıklara sırasıyla algılama süresi, tepki süresi, temizleme süresi ve iyileşme süresi adı verilmektedir. İlk üç aralığın toplamı toplam olay süresini verirken, tüm aralıkların toplamı ise olayın neden olduğu toplam gecikme olarak tanımlanmaktadır [32, 33].



Şekil 1. Trafik olayı yönetimi aşamaları

III. ÇALIŞMANIN AMACI VE SINIRLARI

Bu çalışmanın amacı, trafik olaylarının çevresel etkilerini incelemektir. Bu bağlamda, İstanbul O2 (TEM) Otoyolu üzerinde meydana gelen bir trafik olayı ele alınacaktır. Avrupa ile Asya kıtalarını birbirine bağlayan Fatih Sultan Mehmet (FSM) Köprüsü'nün Avrupa yakası çıkış noktasında gerçekleşen trafik kazasının çevresel etkilerinin değerlendirilebilmesi için çalışma sınırları olarak Şekil 2a'da belirtilen karayolu ağı seçilmiştir. Benzetim programında çalışmanın sınırları Molla Gürani Viyadüğü ile FSM Köprüsü Avrupa çıkışı arasında yaklaşık 7,5 km uzunluğunda oluşturulmuştur. Şekil 2b'de görülen FSM Köprüsü Avrupa çıkışında 5 Mart 2014 Çarşamba günü saat 14:51'de bir kamyon ile tırın çarpışması sonucunda meydana gelen trafik olayının kaldırılması 2 saat 9 dakikada tamamlanmış ve trafiği olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 2. (a) Çalışma sınırları ve (b) Olay yeri

IV. YÖNTEM

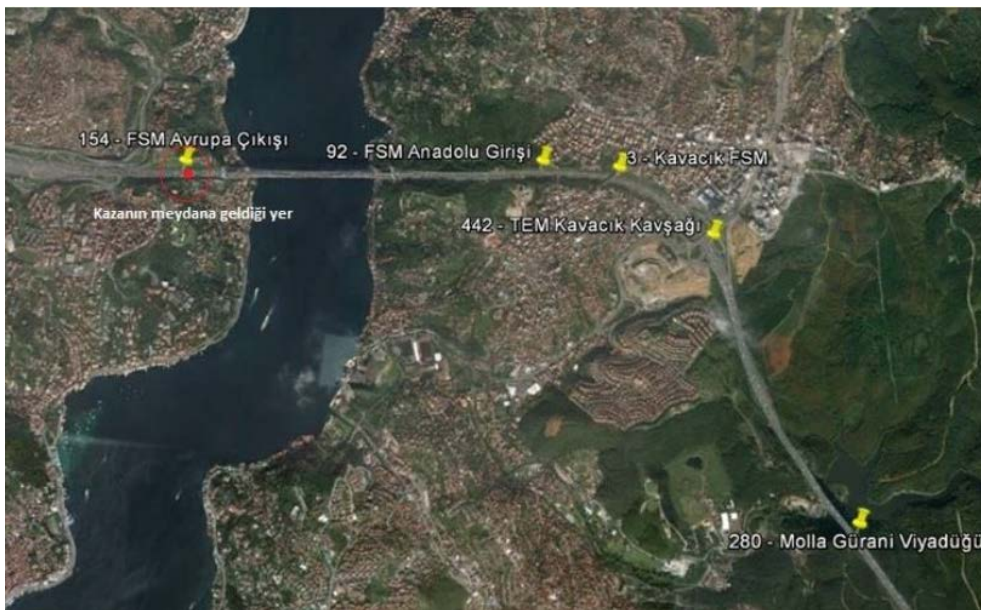
FSM Köprüsü Avrupa çıkışında 5 Mart 2014 Çarşamba günü saat 14:51'de yaşanan trafik kazasının etkilerini değerlendirmek için, aynı çalışma sınırları içerisinde olayın olmadığı bir gün ile karşılaştırma yapmak amaçlanmıştır. Trafikte meydana gelen bir olayın etkilerinin daha net bir şekilde anlaşılabilir ve analiz edilebilmesi için aynı şartlarda olayın meydana gelmediği bir günün seçilmesi, normal trafik koşullarının daha doğru temsil

edilebilmesi için önem arz etmektedir. Olayın meydana gelmediği gün seçilirken, hava durumuna, mevsime, aya ve hafta içi trafiğin yoğun olduğu pazartesi ve cuma günleri hariç olmak üzere bilhassa çarşamba veya perşembe günü olmasına dikkat edilmiştir. Benzer şekilde, bazı günler ve özellikle bazı etkinliklerin veya toplumsal açıdan önemli durumların olduğu günlerin seçilmemesi hususuna da özen gösterilmiştir. Olayın gerçekleştiği gün ile benzer koşullar altında, olayın meydana gelmediği bir günün seçilmesi, istatistiksel olarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Bu durum, normal trafik akışının nasıl etkilendiğini ve alternatif senaryoların nasıl değerlendirilebileceği konusunda daha doğru bir şekilde yardımcı olur. Benzer şekilde, gerçek olayın meydana geldiği gün ile benzer koşullarda olayın gerçekleşmediği bir gün seçilmesi, analiz sonuçlarının daha objektif ve karşılaştırılabilir olmasını sağlar. Bu da daha sağlıklı kararlar alınmasına olanak tanır.

Tek bir trafik olayı üzerinde yoğunlaşarak, böyle belirgin bir olayın çevresel etkilerinin ayrıntılı olarak incelemesini sağlamak, genelleştirilmiş sonuçlardan ziyade spesifik ve derinlemesine bilgiler ortaya koyabilir. Bu tür durumlarda, tek bir örneğin detaylı analizi, benzer gelecekteki vakalar için yol gösterici olabilir ve bu vakadan elde edilen çıkarımlar, daha geniş uygulamalara ışık tutabilir.

Bu amaç doğrultusunda, 6 Mart Perşembe günü 14:00 ile 21:00 saatleri arasında trafik olayı olmadığı için bugünün trafik sayım verileri ile 5 Mart Çarşamba gününe ait trafik sayım verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü'nden alınmıştır.

Öncelikle, çalışma sınırları üzerindeki Mikrodalga Radar Sensör Trafik (RTMS-Remote Traffic Microwave Sensor) ölçüm dedektörleri belirlenmiş ve bu dedektörlerden 2'şer dakikalık aralıklarla 7 saat süre boyunca araç sayım, hız ve işgalie bilgileri tedarik edilmiştir. Çalışma sınırları içerisinde 154-92-3-442-280 numaralı 5 RTMS'ten hız, taşıt sayısı ve işgalie bilgileri sırasıyla 5 Mart trafik kazasının gerçekleştiği gün ve 6 Mart trafik olayının meydana gelmediği gün için Microsoft Excel'de 10'ar dakikalık olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. 5 Mart Çarşamba günü, FSM Köprüsü Avrupa çıkışında, 154 numaralı RTMS noktasında tır ile kamyonun çarpışması sonucu yaralanmalı trafik kazası meydana gelmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Asya-Avrupa yönü rtms noktaları

Ulaşım ağının benzetim modelinde hazırlanması aşamasında, çalışma alanı üzerinde bulunan RTMS'lere ait trafik hacim verileri ele alınarak trafik akımı 5 ve 6 Mart günleri için VISSIM paket programı kullanılarak modellenmiştir. Almanya merkezli PTV Grup tarafından geliştirilen bir mikro benzetim trafik modelleme yazılımı olan VISSIM, trafik akışının ve ulaşım sistemlerinin detaylı bir şekilde benzetimini gerçekleştirmek için kullanılır. Sadece araçların hareketini değil, yayaların, yolcuların hareketlerini de gerçekçi bir şekilde benzetimini gerçekleştirerek, bu yazılım programını kullananlara trafik yönetimi, planlama ve optimizasyon süreçlerinde yardımcı olur. VISSIM paket programı çok güçlü ve maliyetli bir program olup [34, 35], diğer yazılımlara göre daha esnek kullanım imkânı vermektedir [36]. Trafik akışını, araçları ve yayaları detaylı bir şekilde modellemeyi sağlayan bu paket program sayesinde, araç takip modelleri (Wiedemann 74 ve 99) gerçekleştirilebilir [37]. Benzer şekilde, şerit değiştirme modelleri (zorunlu ve serbest), yaya hareket modelleri (Social Force ve Agent-Based) ve kavşak modelleri (sinyalize, dönel ve kontrolsüz) de VISSIM paket programı sayesinde uygulanabilir [38].

Çalışma sınırları içerisinde olan seçilen 5 RTMS cihazından temin edilen veriler hem olayın gerçekleştiği gün olan 5 Mart günü hem de olayın gerçekleşmediği gün olan 6 Mart günü için VISSIM paket programı yardımıyla modellenmiştir.

4.1 Trafik Olayı Meydana Gelmeyen Günü Benzetim Modelinin Kalibrasyonu

Karayolu ulaşım sistemlerindeki yenilikleri test etmek için benzetim modeline ihtiyaç vardır. Bu model, önerilen seçeneklerin sonuçlarını öngörüp karşılaştırmaya olanak tanır. Sonuçların doğruluğu, gerçek trafik durumunu ne kadar iyi yansıttığına bağlıdır. RTMS'lerden elde edilen trafik verileri ile benzetim modelinin sonuçlarının uyumlu olması için kalibrasyon yapılması gerekir. Kalibrasyon, model parametrelerinin gerçek durumu yansıtacak şekilde ayarlanmasını sağlar [36]. Benzetim modellerinin kalibrasyonu, tekrarlı bir yaklaşımla mevcut duruma ulaşmayı gerektiren zorlu bir süreçtir [39]. VISSIM paket programında yapılan çalışmada, hız-akım ilişkisi kullanılarak kalibrasyon yapılmış ve bu yöntemin sadece hız veya hacim verilerini incelemekten daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [40].

VISSIM paket programını kalibre etmek ve doğrulamak amacıyla saha verileri benzetimden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Trafik performansı, model sonuçlarının saha gözlemleriyle karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Çalışma, VISSIM paket programının kentsel ulaşım sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonunda güvenilir bir araç olduğunu, ancak saha gözlemleri ve doğru verilerle desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır [41]. Modelin kalibrasyonu için kuyruk uzunluğu kullanılmış ve modelin şok dalgası yayılma hızlarını ve kuyruk uzunluğunu doğru şekilde gösterebildiği doğrulanmıştır, bu da trafik olay yönetimi stratejileri geliştirmek için kullanılabileceğini göstermiştir [42].

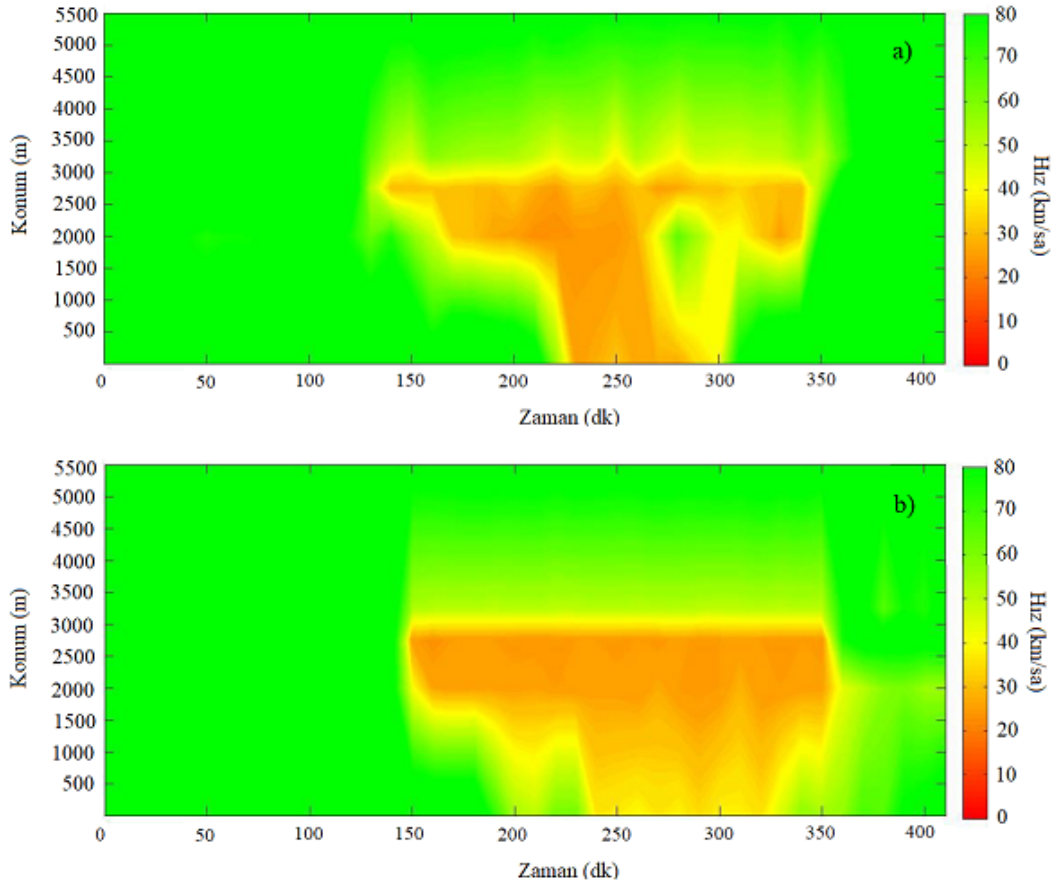
FSM Köprüsü'nde ev-iş ve iş-ev saatlerinde trafikteki yoğunluk nedeniyle ek şerit uygulaması yürütülmektedir. Sabahları Anadolu Yakası'ndan Avrupa Yakası'na, akşamları ise Avrupa Yakası'ndan Anadolu Yakası'na geçişler için 1'er ek şerit uygulaması yapılmaktadır. Buna istinaden, 6 Mart Çarşamba günü trafik olayının meydana gelmediği günün benzetimi, saat 14:00'de başlatılıp saat 17:00 ile 21:00 arasında Avrupa kıtasından Asya kıtasına olan yolculuklar için ek şerit uygulaması göz önünde bulundurularak çalıştırılmıştır. Trafik kazasının ortadan kaldırılması 2 saat 9 dakika sürmüştür ve bu kazanın benzetim modelinin analizi için toplam duruş sayısı (taşıtların otopark ve durak harici yaptıkları duruş-kalkış hareketlerinin toplamı), toplam gecikme, toplam seyahat süresi,

NO_x, CO ve Uçucu Organik Bileşiklerin (Volatile Organic Compounds-VOC) emisyonu ve yakıt tüketimi incelenmiştir.

Uygulanan alternatif senaryoların doğruluğu, iyi kalibre edilmiş bir benzetim modeli ile değerlendirilebilir. Bu çalışmada, hız ve hacim arasındaki ilişki kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Gerçek duruma ait 10 dakikalık hız ve hacim verileri ile benzetim modelinden elde edilen veriler karşılaştırılarak sapma oranları hesaplanmıştır. Bu sapmalar dikkate alınarak, modelde gerekli parametreler (istenen hız) ayarlanarak modelin gerçek duruma daha yakın olması sağlanmıştır.

Trafik olayı meydana gelmeyen günün benzetim modelini kalibre etmek ve tüm senaryoların çıktısını almak için benzetim modeli 54 kez çalıştırılmıştır. 6 Mart Çarşamba günü gerçek trafik durumunu yansıtmıyorsa benzetim modelini kontrol etmek amacıyla, 5 RTMS'e (154-92-3-442-280) ait hız verileri kullanılarak MATLAB ile gerçek ve benzetim durumu için kontur grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerde yatay eksen zaman, dikey eksen ise konum olarak ayarlanmıştır.

Taşıtların hızları renklendirilerek gösterilmiştir. Şekil 4a'da trafik olayı gerçekleşmeyen güne ait gerçek hız verileri, Şekil 4b'de ise benzetim modelinden elde edilen veriler ile oluşturulan kontur grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 4a'daki grafikte, saat 17:00'de Avrupa kıtasından Asya kıtasına geçiş için ek şerit uygulaması faaliyete girdiği için hızların düştüğü gözlemlenmektedir. Kavacık ayrımı ve katılımı da akşam iş çıkışı saatlerinde hız düşüşlerine sebep olmaktadır. Taşıtlar 17:00'ye kadar ortalama 78 km/s hızla seyrederken, ek şerit uygulaması ile hızlar 20:00'ye kadar ortalama 34 km/saate kadar düşmüştür.

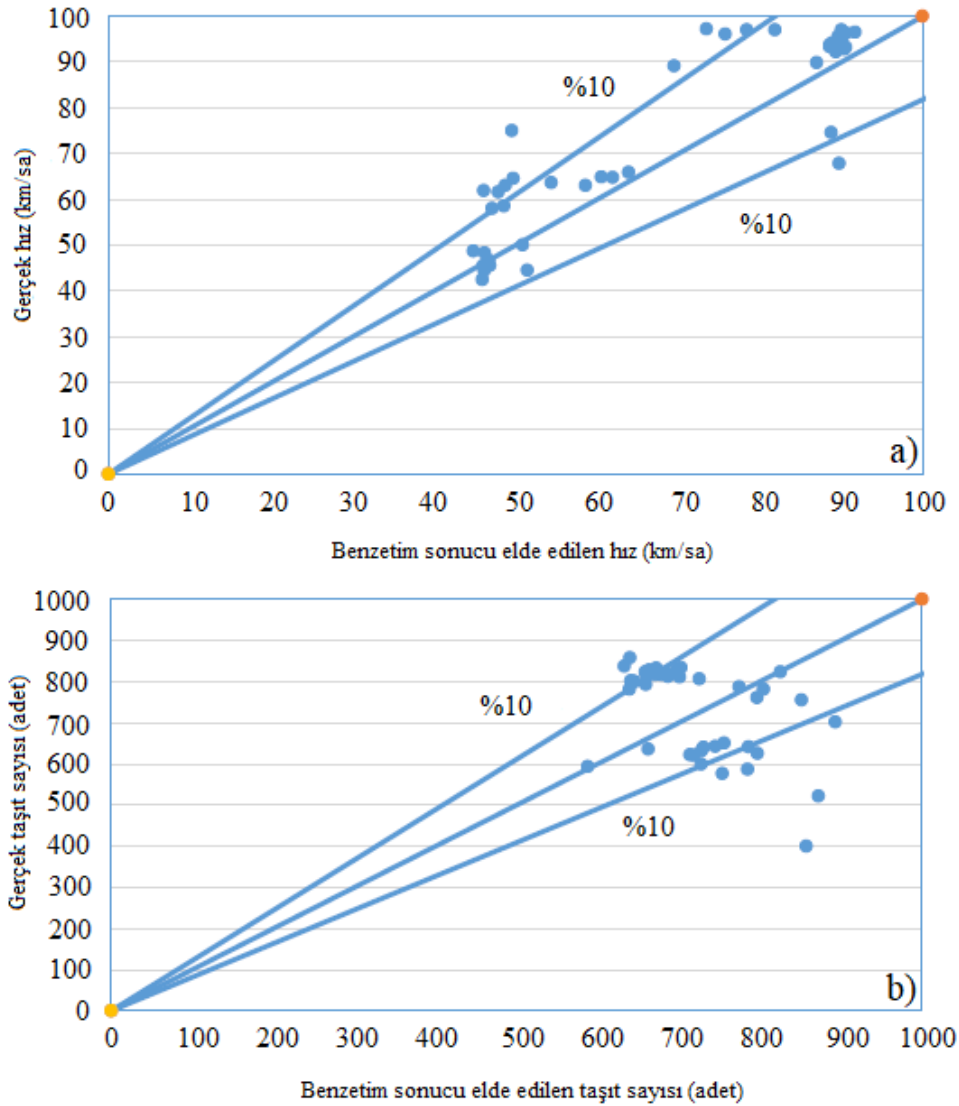


Şekil 4. Normal güne ait (a) gerçek ve (b) benzetim modelinden elde edilen hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği

Benzetim modeliyle analiz edilen normal duruma ait kontur grafiği Şekil 4b'de gösterilmiştir. Bu grafiğin, gerçek hız verileriyle oluşturulan kontur grafiğine benzerliği, kalibrasyonun doğru yapıldığını kanıtlamaktadır.

Gerçek ve benzetim modelinden temin edilen hız ve hacim verilerinin tutarlılığını değerlendirmek amacıyla Ortalama Kareler Hatası (RMSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5a'da, 6 Mart trafik olayının meydana gelmediği günün gerçek ve benzetim durumuna ait hız dağılım grafiği gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, hız verilerinin RMSE değeri 11,4 km/sa ve MAPE oranı %11,56 olarak hesaplanmıştır. Hız verilerinin %10 eğrisine yakınlığı Şekil 5a'da gösterilmiştir.

6 Mart gününe ait gerçek ve benzetim modelinden elde edilen hacim verileri dikkate alınarak aynı analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5b). RMSE ve MAPE analizlerine göre, elde edilen değerler sırasıyla 157 taşıt/sa ve %19,97 olarak belirlenmiştir. Benzetim modelinin geçerliliği, 5 RTMS'e ait hız ve hacim verileri ile yol ağında benzer noktalara yerleştirilen detektörlerden elde edilen verilerin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir.



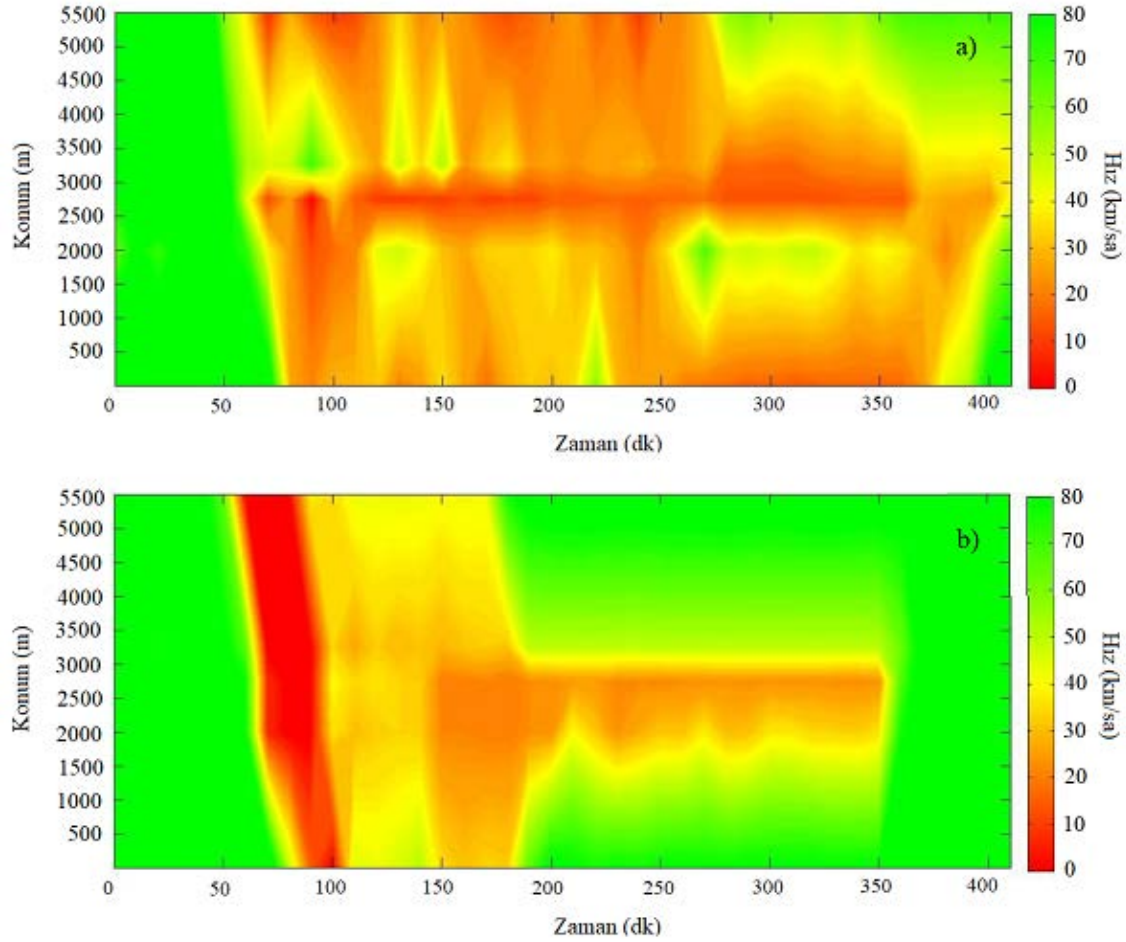
Şekil 5. Normal günün (a) gerçek ve (b) benzetim durumunun hız ve taşıt sayısı dağılım grafiği

V. ANALİZ SONUÇLARI

6 Mart Perşembe günü, normal trafik akışının aksine, 5 Mart Çarşamba günü saat 14:51'de meydana gelen trafik kazasının 2 saat 9 dakika sürede temizlenmesi nedeniyle trafikte uzun kuyruklar oluşmuş ve ek şerit uygulaması yapılmamıştır. Bu sebeple, kazanın yaşandığı gün, benzetim modeli ek şerit uygulaması olmadan hazırlanmıştır.

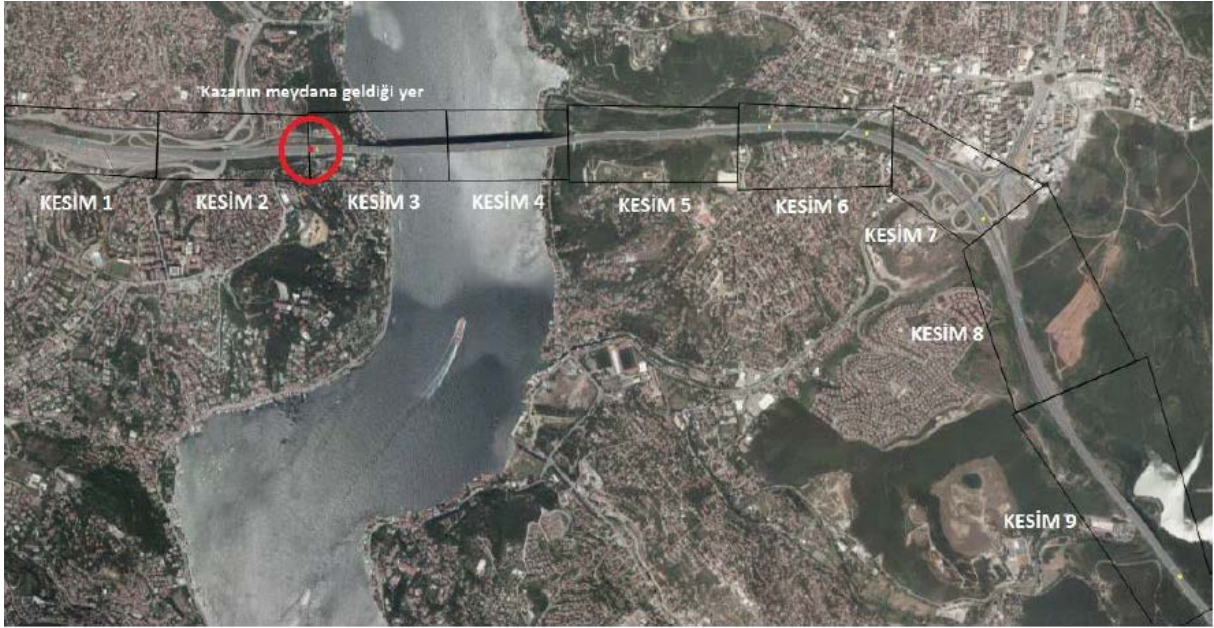
FSM Köprüsü Avrupa çıkışında gerçekleşen kazada, şeritler 40 dakika boyunca polis ve otoyol servis ekipleri tarafından kapatılmıştır. Saat 15:31'de en sağdaki iki şerit trafiğe açılmıştır ve trafik, saat 17:00'ye kadar 2 şerit olarak ilerlemiştir. Kaza, saat 17:00'de temizlenerek tüm şeritler trafiğe açılmıştır. Çalışma sınırları içerisindeki 5 RTMS'ten alınan gerçek hız verileri ile Şekil 6a'da görülen kontur grafiği, benzetim modelinden elde edilen veriler ile de Şekil 6b'de görülen kontur grafiği oluşturulmuştur.

Kazanın saat 14:51'de meydana gelmesi nedeniyle, 50 ile 51. dakikalar arasında yüksek hızlarla geçen araçlar, ortalama hızı 50 ile 60. dakikalar arasında artırmıştır. Bu durum, kazanın bir sonraki 10 dakikalık dönemde gerçekleştiği kontur grafiğinde açıkça görülmektedir.



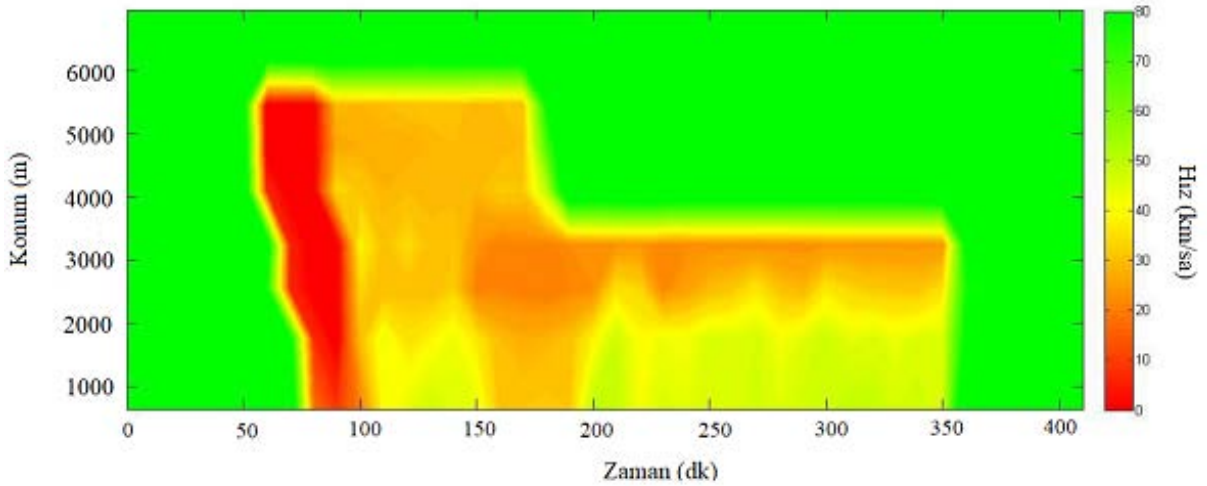
Şekil 6. Olaylı duruma ait (a) gerçek ve (b) benzetim modelinden elde edilen hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği

Kazanın etkisini daha iyi gözlemlemek için yol ağı, VISSIM paket programında 9 bölüme ayrılmış ve her bölümün ortasına bir dedektör yerleştirilerek hız ve hacim verileri toplanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. İncelenen yol ağındaki kesimler

9 dedektörden gelen hız verileriyle oluşturulan kontur grafiği, Şekil 8'de görülebilir. Grafiğe bakıldığında, kaza yerinden kesimin sonuna kadar kuyruk uzunluğunun etkisi görülmektedir. Saat 17:00'de oluşan kuyruk, Kavacık katılımlı ve ayırımının etkisiyle saat 20:00'ye kadar devam etmiştir.



Şekil 8. Dedektörden alınan hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği

Tablo 1'de normal bir gün ile olaylı güne ait benzetim modeli çıktıları performans ölçütleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Çevresel etkilerin beklenildiği gibi olayın meydana geldiği günde normal güne kıyasla daha yüksek olduğu yapılan analiz sonucunda görülmektedir. Saat 17:00'de sürücüler için faaliyete alınan ek şerit uygulamasından ötürü performans ölçütlerinden olan toplam gecikme ve seyahat süresinin normal günde yüksek olduğu bulunmuştur.

Tablo 1. Normal bir gün ile olaylı güne ait benzetim modeli çıktıları performans ölçütleri

	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
5 Mart 2014 Olaylı Gün	481136	5632	8479	202	1040	241	3930
6 Mart 2014 Normal Gün	415870	10712	13685	179	920	213	3477

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul O2 (TEM) Otoyolu üzerinde meydana gelen bir trafik kazası incelenmiş ve trafik kazasının çevresel etkileri VISSIM paket programı yardımıyla analiz edilmiştir.

FSM Köprüsü'nde meydana gelen bir trafik olayının çevresel etkileri benzetim modeli yardımıyla analiz edilmek için ilk olarak çalışma sınırları içerisinde, belirlenen saatlerde, trafik olayı meydana gelmeyen güne ait taşıtların hız ve hacim verileri dikkate alınarak mevcut durumun benzetim modeli kalibre edilmiştir. FSM Köprüsü'nde trafik yoğunluğu nedeniyle sabah işe gidiş ile akşam eve dönüş saatlerinde ek şerit uygulaması yapılmaktadır. Sürücüler, ek şerit uygulamasından sabahları Anadolu Yakası'ndan Avrupa Yakası'na, akşamları ise Avrupa Yakası'ndan Anadolu Yakası'na geçerken faydalanmaktadır.

6 Mart Çarşamba trafik olayının meydana gelmediği günün trafiğinin benzetimi ek şerit uygulaması ile değerlendirilmiştir. Benzetim modeli, ek şerit uygulaması 17:00 ile 21:00 saatleri arasında Avrupa kıtasından Asya kıtasına olacak şekilde oluşturularak 7 saat süre ile çalıştırılmıştır. Trafik kazası 2 saat 9 dakika sürmüştür. Trafik kazasının değerlendirilmesi için karayolu performans ölçütleri olarak duruş sayısı (taşıtların otopark ve durak harici yaptıkları duruş-kalkış hareketlerinin toplamı), toplam gecikme, toplam seyahat süresi, NOx, CO ve Uçucu Organik Bileşiklerin (Volatile Organic Compounds-VOC) emisyonu ve yakıt tüketimi dikkate alınmıştır.

VISSIM paket programı kullanılarak gerçekleştirilen bu analize dayanarak trafik olaylarının çevresel etkilerini (CO, NOx, VOC ve yakıt tüketimi) azaltmak için çeşitli önerilerde bulunulabilir:

- Etkin olay yönetimi stratejilerin sayesinde, trafik kesintilerinin süresi en aza indirilebilir, böylece uzun süreli trafik sıkışıklığından kaynaklanan sera gazı emisyonları ve gürültü kirliliği azaltılabilir.
- Trafikte meydana gelen olayların çevresel etkilerini daha iyi anlamak için veri toplama yöntemlerinin geliştirilmesine ve simülasyon modellerinin iyileştirilmesine odaklanılabilir.
- Ulaşım sistemlerinin karbon ayak izini azaltmayı amaçlayan karar alma süreçlerine katkıda bulunabilecek bilgiler sunarak bu çevresel etkilerin değerlendirilmesinde etkili bir araç olarak mikro ölçekli trafik benzetim programı olan VISSIM kullanılabilir.
- Trafikte meydana gelen olayların yol açtığı gürültü kirliliği de önemli bir çevresel sorundur. Trafik kazalarının gürültü kirliliği üzerindeki etkileri ve bu etkilerin analizi de irdelenebilir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, trafik olaylarının önemli çevresel etkilerini ve çevresel hususların ulaşım planlaması ve yönetim süreçlerine entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

TEŞEKKÜR

Kaza görüntüsü ve veri temini aşamasındaki yardımlarından dolayı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 1. Bölge Müdürlüğü'ne ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Trafik Kontrol Merkezi'ne çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Saracoglu A, Ozen H (2022) Estimation of Traffic Incident Duration: A Comparative Study of Decision Tree Models. Arab J Sci Eng 45:8099–8110. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04615-2>
2. Cambridge Systematics Inc. (2005) An Initial Assessment of Freight Bottlenecks on Highways. <https://www.fhwa.dot.gov/policy/otps/bottlenecks/>.
3. Dia H, Gondwe W (2008) Evaluation of Incident Impacts on Integrated Motorway And Arterial Networks Using Traffic Simulation, 31st Australasian Transport Research Forum (ATRF), 563-575.
4. Akiva M B, Cuneo D, Hasan M, Jha M, Yang Q (2003) Evaluation of Freeway Control Using a Microscopic Simulation Laboratory. Transportation Research Part C 11:29–50.
5. Dia H, Cottman N (2006) Evaluation of Arterial Incident Management Impacts Using Traffic Simulation. IEE Proceedings - Intelligent Transport Systems 153(3):242-252.
6. Barceló J, Ferrer J, Casas Pla J R, Montero L, Perarnau J (2002) Microscopic simulation with AIMSUN for the assessment of incident management strategies. In E-safety congress & exhibition= E-safety congrès & exposition: IT solutions for safety and security in intelligent transport: solutions en faveur de la sécurité et de la sîreté dans les transports intelligents: 16-18 september Lyon, France/ERTICO, ITS France (pp. 1-10).
7. Fries R (2007) Evaluating The Impacts of Accelerated Incident Clearance Tools and Strategies by Harnessing The Power of Microscopic Traffic Simulation. A Dissertation Presented to the Graduate School of Clemson University.
8. Tasic I (2012) Using Microsimulation to Evaluate Traffic Incident Responses for Traffic Operations Center Decision Making, Master of Science, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Utah.
9. Zhoua H, Tian Z (2012) Modeling Analysis of Incident and Roadway Clearance Time. Procedia - Social and Behavioral Sciences 43:349 – 355.
10. Saka AA, Jehani M, James PA (2008) Estimation of Traffic Recovery Time for Different Flow Regimes on Freeways Final Report 2008. Department of Transportation and Urban Infrastructure Studies School of Engineering Morgan State University Baltimore.
11. Pulugurtha SS, Nambisan SS, Dangeti M, Kaseko M (2002) Simulating and analyzing incidents using CORSIM and VISSIM traffic simulation software. In Applications of Advanced Technologies in Transportation 811-818. [http://dx.doi.org/10.1061/40632\(245\)102](http://dx.doi.org/10.1061/40632(245)102)
12. Chien SIJ, Goulias DG, Yahalom S, Chowdhury SM (2002) Simulation-based estimates of delays at freeway work zones. Journal of Advanced Transportation 36(2):131-156.
13. Karioti E, Basbas S, Mintsis E, Mintsis G, Taxiltaris C (2017) Traffic and environmental impacts of traffic incidents on Thessaloniki's inner ring road. Transportation research procedia 24:288-295.
14. Tenekeci G (2019) Computation and Assessment of Environmental Emissions Resulting from Traffic Operations at Roundabouts. European Journal of Science and Technology Special Issue, 130-145, <https://doi.org/10.31590/ejosat.637594>
15. Šarić A, Sulejmanović S, Albinović S, Pozder M, Ljevo Ž (2023) The Role of Intersection Geometry in Urban Air Pollution Management. Sustainability 15, 5234. <https://doi.org/10.3390/su15065234>
16. Mądział M, Campisi T, Jaworski A, Kuszewski H, Woś P (2021) Assessing Vehicle Emissions from a Multi-Lane to Turbo Roundabout Conversion Using a Microsimulation Tool. Energies, 14, 4399. <https://doi.org/10.3390/en14154399>
17. Song G, Yu L, Zhang Y (2012) Applicability of traffic microsimulation models in vehicle emissions estimates: case study of VISSIM. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2270:132-141.
18. Stevanovic A, Stevanovic J, Zhang K, Batterman S (2009) Optimizing Traffic Control to Reduce Fuel Consumption and Vehicular Emissions: Integrated Approach with VISSIM, CMEM, and VISGAOST. Transportation Research Record 2128(1):105-113. <https://doi.org/10.3141/2128-11>
19. Wang Y, Lv C, Nie Q, Liu H (2024) Analyzing the Impact of Road Accidents on Carbon Dioxide Emissions in Freeway Traffic: A Simulation and Statistical Modeling Approach. Sustainability 16, 2168. <https://doi.org/10.3390/su16052168>

20. Wondimu F M (2019) Modeling of Traffic Accident and Safety Assessment Using Vissim and Ssam Case Study: Kolfe-Keranio Sub city. M.Sc. Thesis, Addis Ababa Science and Technology University, Department of Civil and Architectural Engineering, Addis Ababa, Ethiopia.
21. Shi JQ, Cheng L (2012) Simulation and Analysis of Highway Traffic Accident Based on VISSIM. In *Applied Mechanics and Materials* 253–255:1682–1685. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.253-255.1682>
22. PTV VISSIM Multimodal Traffic Simulation Software, <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim> Erişim 3 Temmuz 2024
23. Gomes G, May A, Horowitz R (2004) Calibration of VISSIM for a Congested Freeway. California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2004-4.
24. US Department of Transportation (1996) Innovations in Transportation and Air Quality: Twelve Exemplary Projects. USDOT Publication FHWA-PD-96-016.
25. Hadi M, Xiao Y, Wang T (2013) Use of the HCM Freeway Facility Analysis and Microscopic Simulation Models as Part of Real-Time Management Decision Support Systems. *Procs of 92nd Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington DC, USA, 13-17 Jan. 113
26. Berdica K, Andjic Z, Nicholson AJ (2003) Simulating Road Traffic Interruptions: Does it Matter What Model we Use?”, M.G.H, Bell, Y. Lida (Eds.), *The Network Reliability of Transport*, Elsevier Science, Oxford, UK, ss.353-368.
27. Gale C, Spiers J (2001) Urban Traffic Management and Control Report 4 (Network monitoring, modelling and management): Project summary and evaluation. MVA Report UTMC-04, Dept for Transport, London, UK.
28. Daganzo CF (1993) The cell transmission model: a dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transportation Research B* 28B(4):269–287.
29. Ozbay K, Xiao W, Jaiswal G, Bartin B, Kachroo P, Gursoy M B (2009) Evaluation of incident management strategies and technologies using an integrated traffic/incident management simulation. *World Review of Intermodal Transportation Research* 2, no. 2 (2009): 155-186. <https://doi.org/10.1504/WRITR.2009.023305>
30. Gursoy MB, Xiao W, Duan Z, Ozbay K (2006) Delay Estimation for Traffic Flow Interrupted by Incidents. 86th Annual Transportation Research Conference, Washington D.C., 2006.
31. U.S Department of Transportation Federal Highway Administration Traffic Incident Management (2024) <https://ops.fhwa.dot.gov/tim/> Erişim 9 Şubat 2024
32. Chang HL, Chang TP (2013) Prediction of freeway incident duration based on classification tree analysis. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 10:1964-1977. <https://doi.org/10.11175/easts.10.1964>
33. Ozen H, Saracoglu A (2019) Multi-Step Approach to Improving Accuracy of Incident Duration Estimation: Case Study of Istanbul. *Tehnički vjesnik* 26(6):1777-1783. <https://doi.org/10.17559/TV-20170104093330>
34. Can O (2005) Development of a Control Strategy for Urban Traffic Management System of Istanbul. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
35. Ergün G, Avrenli K A, Harman M M, Pehlivan E (2006) Arterial Signal Coordination and Optimization: Methodology and Applications Handbook, Report Prepared for ISBAK Inc., Boğaziçi University, Department of Civil Engineering, Istanbul
36. Koç H (2010) Eşdüzey Kavşaklardan Katlı Kavşaklara Geçiş Örnekler ve Uygunluklarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
37. Data model: Algorithms for car following/lane change behavior, <https://support.ptvgroup.com/en-us/knowledgebase/article/KA-05301> Erişim 20 Mart 2024
38. Or S (2024) Realistic Traffic Simulation: Driving Behavior is Key. <https://blog.ptvgroup.com/en/modelling-and-simulation-technology/realistic-traffic-simulation-driving-behavior-is-key/> Erişim 13 Nisan 2024
39. Dia H, Cottman N (2004) Evaluation of Incident Management Benefits Using Traffic Simulation. Presented at Workshop on Traffic Simulation (Bridging Theory and Practice), Customs House, Brisbane, Queensland, 5-6 August, 2004.
40. Menneni S, Sun C, Vortisch P (2008) Microsimulation calibration using speed-flow relationships. *Transportation Research Board*, 2088:1–9.
41. Hafam SM, Valeryb S, Hasimb AH (2023) Calibrating and Validation Microscopic Traffic Simulation Models VISSIM for Enhanced Highway Capacity Planning. *IJE TRANSACTIONS B: Applications* 36(08):1509-1519.
42. Rompis SYR, Habtemichael FG (2019) Calibration of Traffic Incident Simulation Models Using Field Data. *International Journal of Sustainable Transportation Technology* 2:(1):19-26.