

Araştırma Makalesi | Research Article

Trafik Kazalarının İş Zekâsı Aracı ile Analizi: Sakarya İli Örneği

Hüseyin Serdar Geçer^{1*}, Erman Coşkun²

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sapanca Meslek Yüksekokulu, Sakarya, Türkiye.

² Bahçeşehir Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

Öz

Karayolu ulaşımı, bireylerin günlük yaşamındaki hareketliliğin yanı sıra ticaret, sağlık ve eğitim gibi birçok temel sektörün sürekliliğinde kritik rol oynamaktadır. Ancak motorlu taşıt sayısındaki artış, trafik yoğunluğu ve buna bağlı kaza risklerini yükseltmekte, trafik güvenliğini küresel ölçekte önemli bir halk sağlığı sorunu haline getirmektedir. Bu çalışma, Sakarya ilinde 2013–2019 yılları arasında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarını Microsoft Power BI iş zekâsı aracı ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu ile çok boyutlu olarak analiz etmektedir. Emniyet Genel Müdürlüğü'nden (EGM) temin edilen, kaza tarihi, yeri, saati, hava ve yol koşulları, araç ve sürücü özelliklerini içeren 18 değişken; Çekme-Dönüştürme-Yükleme (Extract-Transform-Load, ETL) süreciyle temizlenmiş, SQL Server veri ambarına aktarılmış ve çevrimiçi analiz işleme (Online Analytical Processing, OLAP) küpleriyle incelenmiştir. Bulgular, kazaların %84'ünün yerleşim yerlerinde, çoğunlukla otomobil (%55) ve ağır taşıtların (%18) karıştığı, iki araçlı ve yandan/arkadan çarpma türlerinin baskın olduğunu göstermektedir. Mekânsal yoğunluk haritaları, şehir merkezindeki kavşaklar ile ana arterlerde riskin yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar, şehir içi hız yönetimi ve otomatik denetim sistemleri, ağır taşıtların çevre yollarına yönlendirilmesi, kavşaklarda dönele kavşak ve akıllı sinyalizasyon uygulamaları, yerleşim içi hız düşürücüler, yol aydınlatması ve yüzey uyarıcıları gibi politika önlemlerinin önemini vurgulamaktadır. Gelecek çalışmaların yapay zekâ (Artificial Intelligence, AI) ve makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri, çok kaynaklı veri entegrasyonu ve mobil/nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) tabanlı izleme sistemlerini içermesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sakarya, trafik kazaları analizi, iş zekâsı

Analysis of Traffic Accidents with Business Intelligence Tool: Example of Sakarya Province

Abstract

Road transportation plays a critical role not only in the daily mobility of individuals but also in ensuring the continuity of key sectors such as trade, healthcare, and education. However, the increase in the number of motor vehicles has intensified traffic congestion and the associated risk of accidents, making road safety a major global public health concern. This study analyzes fatal and injury traffic accidents that occurred in Sakarya province between 2013 and 2019 using the Microsoft Power BI business intelligence tool integrated with Geographic Information Systems (GIS) for multidimensional assessment. Data obtained from the General Directorate of Security—covering 18 variables such as accident date, location, time, weather and road conditions, vehicle type, and driver characteristics—were cleaned through ETL processes, loaded into a SQL Server data warehouse, and examined via OLAP cubes. Findings indicate that 84% of accidents occurred in residential areas, with automobiles (55%) and heavy vehicles (18%) being the most involved. Two-vehicle collisions, particularly side and rear-end crashes, were predominant. Spatial density maps revealed high-risk areas concentrated at intersections and main arterial roads in the city center. The results highlight the importance of policy measures such as urban speed management and automated enforcement systems, rerouting heavy vehicles to bypass roads, implementing roundabouts and intelligent signal control at intersections, deploying traffic calming measures, improving road lighting, and using surface warning devices. Future research is recommended to incorporate AI and machine learning-based predictive models, multi-source data integration, and mobile/IoT-based monitoring systems.

Keywords: Sakarya, traffic accidents analysis, business intelligence

* İletişim / Contact: Hüseyin Serdar Geçer, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sapanca Meslek Yüksekokulu, Sakarya, Türkiye, 54600; e-posta: serdargecer@subu.edu.tr

Gönderildiği tarihi / Date submitted: 15.05.2025, Kabul edildiği tarih / Date accepted: 23.09.2025

Alıntı / Citation: Geçer, H. S., & Coşkun, E. (2025). Trafik kazalarının İş Zekâsı aracı ile analizi: Sakarya ili örneği. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 86–104. <https://doi.org/10.38002/tuad.1700081>

Trafik Kazalarının İş Zekâsı Aracı ile Analizi: Sakarya İli Örneği

1. Giriş

Ulaşım sistemleri, yalnızca bireylerin günlük yaşantısındaki hareketliliği sağlamakla kalmayıp; aynı zamanda ticaret, sağlık, eğitim ve üretim gibi birçok temel sektörde sürdürülebilirliğin sağlanmasında kritik rol oynamaktadır. Küresel ölçekte yaşanan nüfus artışı, kentleşme oranlarındaki yükseliş ve ekonomik büyüme gibi dinamikler, yolcu ve yük taşımacılığına olan talebi her geçen gün daha da artırmaktadır. Artan taşıt sayısı ve ulaşım altyapılarının yoğun kullanımı, karayolu trafiğinde çeşitli olumsuzluklara zemin hazırlamaktadır. Bunlar arasında trafik sıkışıklığı, zaman kaybı, çevresel zararlar ve en önemlisi trafik kazaları öne çıkmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) verilerine göre, dünya genelinde her yıl 1.3 milyondan fazla insan trafik kazaları nedeniyle yaşamını yitirmekte, yaklaşık 50 milyon kişi ise çeşitli derecelerde yaralanmaktadır (DSÖ, 2021). Bu kazalar yalnızca bireyler düzeyinde fiziksel ve psikolojik travmalara neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda ülkelerin sağlık sistemlerine, sigorta yapılarına ve ekonomik üretkenliklerine de ciddi yükler getirmektedir. Trafik kazalarının önemli bir bölümü önlenemez olmasına karşın, politika ve denetim mekanizmalarındaki yetersizlikler bu kazaların yüksek sıklıkla tekrarlanmasına zemin hazırlamaktadır. Bu bağlamda trafik kazaları, yalnızca bireysel güvenlik sorunu olmanın ötesinde, acil çözüm gerektiren kritik bir halk sağlığı ve sürdürülebilir kalkınma meselesi olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye özelinde de karayolu trafik kazaları ciddi bir toplumsal ve ekonomik sorun oluşturmaktadır. Özellikle büyükşehirlerin çevresinde yoğunlaşan kentleşme, düzensiz yapılaşma ve yetersiz ulaşım altyapısı, kazaların sıklığını ve şiddetini artıran temel unsurlar arasında yer almaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2013–2019 yılları arasında ülkemizde her yıl ortalama 170 binin üzerinde ölümlü ve yaralanmalı trafik kazası meydana gelmiş, bu kazaların yaklaşık %70'i şehir içi yol ağlarında gerçekleşmiştir (TÜİK, 2021). Ayrıntılı veriler Tablo 1'de sunulduğu üzere, 2013 yılında 161.306 olan ölümlü ve yaralanmalı kaza sayısı 2019 yılında 174.896 olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde şehir içi kazalar, her yıl toplam kazaların büyük çoğunluğunu oluştururken; 2015

yılından itibaren ölü sayılarında görülen artış, trafik kazasında yaralanıp sağlık kuruluşuna sevk edilen kişilerden kazanın etkisiyle 30 gün içerisinde hayatını kaybedenlerin de istatistiklere dâhil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, bu düzenleme sonrası yıllar içinde ölü sayılarında kademeli bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

Tablo 1. 2013–2019 yılları arasında Türkiye'de ölümlü ve yaralanmalı trafik kazaları (TÜİK, 2021)

Yıl	Toplam Ölümlü ve Yaralanmalı Kaza Sayısı	Yerleşim yeri Kaza Sayısı	Yerleşim Yeri Dışı Kaza Sayısı	Ölü Sayısı	Yaralı Sayısı
2013	161.306	120.095	41.211	1.372	274.829
2014	168.512	126.537	41.975	1.243	285.059
2015	183.011	137.311	45.700	3.671	304.421
2016	185.128	138.716	46.412	3.527	303.812
2017	182.669	135.853	46.816	3.613	300.383
2018	186.532	139.922	46.610	3.129	307.071
2019	174.896	132.683	42.213	2.598	283.234

Sakarya ili, Türkiye'nin en yoğun ulaşım akslarından biri üzerinde yer almaktadır. Ayrıca İstanbul ile Ankara gibi iki büyükşehri birbirine bağlayan stratejik bir geçiş güzergâhı olma özelliğini de taşımaktadır. Bu konum, il genelindeki karayolu trafik hacmini artırmakta ve trafik güvenliği sorunlarının daha sık ve karmaşık biçimde yaşanmasına zemin hazırlamaktadır. Sanayi bölgeleri, üniversiteleri, hızlı nüfus artışı ve canlı ticaret hacmi hem kent içi hem de şehirlerarası taşımacılığı sürekli yoğun tutmakta; artan araç sayısı ve yolculuk talebi, trafik kazalarının sıklığını yükseltmektedir. Yüksek ağır taşıt oranı, kentsel–kırsal alan çeşitliliği ve sanayi–lojistik taşımacılığın yoğunluğu, farklı yol tipleri ve kaza profillerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Türkiye'de trafik kazalarının analizi, büyük ölçüde basit istatistiksel raporlar ve kapsam bakımından sınırlı mekânsal değerlendirmelerle yapılmaktadır. Resmî istatistiklerin mevcut sunum biçimleri, karar vericilerin kaza nedenlerini derinlemesine incelemesine, mekânsal kümelenmeleri tespit etmesine ve zamansal eğilimleri ayrıntılı biçimde görmesine yeterince imkân tanımamaktadır. Oysa uluslararası örnekler, iş zekâsı tabanlı sistemlerin trafik güvenliği alanında daha hızlı, çok boyutlu ve dinamik analiz imkânı sunduğunu göstermektedir. Bu durum, ulusal düzeyde literatürde önemli bir boşluğa işaret etmektedir. Bu bağlamda çalışma, Sakarya ili özelinde ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının

mekânsal ve zamansal boyutlarını bütüncül biçimde analiz eden, karar destek niteliğinde bir iş zekâsı tabanlı sistem geliştirmektedir. Ayrıca mekânsal dağılımlar, zamansal eğilimler ve kaza nedenlerine ilişkin çok boyutlu görselleştirmeler sunarak hem akademik literatüre katkı sağlamayı hem de yerel yönetimler ve politika yapıcılar için uygulanabilir çözüm önerileri geliştirmeyi hedeflemektedir.

1.1. Temel Kavramlar ve Literatür Taraması

İş zekâsı (Business Intelligence, BI), farklı kaynaklardan toplanan verilerin veri ambarlarında bütünleştirilerek, analiz ve görselleştirme araçları yardımıyla karar vericilere anlamlı bilgiler sunulmasını sağlayan bütünleşik süreç ve teknolojiler bütünü olarak tanımlanmaktadır (Eren ve Kaya, 2019, 2021). BI sistemleri, veri madenciliği, OLAP ve etkileşimli görselleştirme gibi tekniklerle, büyük veri setlerinin düzenlenmesi, analizi ve yorumlanması süreçlerinde önemli bir rol oynar. Bu araçlar, işletmelerin stratejik karar alma süreçlerinde performans ve değer yaratma potansiyelini artırmakta ve farklı sektörlerde etkin biçimde kullanılmaktadır.

Veri ambarı ise farklı ve günlük veri kaynaklarından elde edilen verilerin temizlenip dönüştürülerek merkezî bir depoda saklandığı, sorgulama ve analiz süreçlerine optimize edilmiş bir veri yönetim sistemidir. Operasyonel sistemlerden farklı olarak, veri ambarları geçmişe dönük verileri uzun süreli olarak saklayarak karar destek sistemleri için güvenilir bir temel oluşturur (Inmon, 2005). Veri ambarı işleyişinde veriler, ETL süreçleri ile kaynak sistemlerden çekilir, standart formata dönüştürülür ve merkezî depoya yüklenir. Bu yapı, büyük veri setleri üzerinde hızlı, tutarlı ve çok boyutlu analizler yapılmasına olanak tanır. BI teknolojileri ile entegre bir veri ambarı, verilerin tek bir doğruluk kaynağından beslenmesini sağlar ve çok boyutlu analiz ile görselleştirme yeteneklerini güçlendirir. Böylece karar vericiler farklı senaryoları test edebilirler, eğilimleri inceleyebilirler ve stratejik kararları destekleyebilirler (Eren ve Kaya, 2019, 2021).

Ülkemizde BI uygulamalarına yönelik araştırmalar genellikle iki ana ekseninde ilerlemektedir: (i) karar destek süreçlerinde araç seçimi ve mimari tasarım ve (ii) sektörel uygulamalar. Araç seçimi odaklı çalışmalarda, Ayçin ve Aşan (2021), Türkiye bağlamında BI uygulaması seçim kriterlerini tam tutarlılık yöntemi (Full Consistency Method, FUCOM) ile değerlendirmişler ve “farklı

platformlarda kullanım kolaylığı”, “uyarlama maliyeti” ve “arayüz etkileşimi” gibi kriterlerin önem sırasını belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Çetinyokuş ve Özdil (2015) BI yazılım alternatiflerini kriterler arası korelasyon yoluyla kriterlerin önem tespiti (Inter-criteria Correlation, CRITIC) yöntemiyle ideal çözümlere benzerliğe göre sıralama tercihi tekniğini (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions, TOPSIS) karşılaştırarak karar vericilere sistematik bir seçim süreci önermişlerdir.

Mimari boyutta ise Çelebi ve Çakmak (2019), veri ambarı projelerinde ETL performansını etkileyen faktörleri belirleyerek veri bütünleştirme ve yenileme sıklığı gibi tasarım kararlarının verimlilik üzerindeki etkilerini tartışmışlardır. Ayrıca, Ayvaz (2017) iş zekâsının stratejik maliyet yönetimindeki rolünü inceleyerek karar vericilere maliyet optimizasyonu ve rekabet avantajı sağladığını göstermiştir.

Sektörel uygulamalar açısından, sağlık alanında Özen (2020), Türkiye’deki kamu hastanelerinde 2016 yılı ayaktan hasta verilerini QlikView BI aracıyla analiz ederek, Merkezî Hekim Randevu Sistemi’nin (MHRS) muayene öncesi bekleme sürelerine etkisini ve bölgesel farklılıkları ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Damar (2024) sağlık verilerinin analizi ve hizmet kalitesinin artırılması amacıyla BI, makine öğrenmesi ve AI entegrasyonunu değerlendirmiştir. Eğitim sektöründe Ülker (2020), yükseköğretimde BI ve iş analitiği uygulamalarına yönelik “üniversite analitiği” yaklaşımını geliştirerek Türkiye’deki 12 üniversitenin mevcut durumunu incelemiş ve bu alandaki eksiklikler ile çözüm yollarını ortaya koyan bir model önermiştir. Perakende ve pazarlama alanında Akgül ve arkadaşları (2018), satış verilerini BI sistemleri ile analiz ederek müşteri alışkanlıklarını tespit etmişlerdir. Kamu yönetimi alanında Damar ve Karaman (2021), İstanbul Büyükşehir Belediyesi dava verilerini BI teknolojileri ile analiz ederek kamusal veri yönetiminde şeffaflık ve etkinlik ortaya koymuşlardır. İnsan kaynakları alanında Çetin ve Tanrıöver (2020), bir kamu kurumunda personel memnuniyetini ölçmek amacıyla veri ambarı, OLAP küpleri ve veri madenciliği yöntemlerini Power BI platformunda uygulamışlardır.

Bu sektörel örnekler, BI teknolojilerinin yalnızca kurumsal ve yönetimsel süreçlerde değil, kamu güvenliği gibi toplumsal önemi yüksek alanlarda da etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Nitekim trafik güvenliği bağlamında BI, kazalara ilişkin çok boyutlu verilerin sistematik biçimde analiz

edilmesine olanak tanıyarak kaza nedenlerinin belirlenmesi, riskli bölgelerin tespit edilmesi ve eğilimlerin ortaya konulmasını mümkün kılmaktadır. Türkiye’de bu alanda BI kullanımına yönelik çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, uluslararası literatürde gerçekleştirilen araştırmalar, BI araçlarının trafik kazası verilerinin görselleştirilmesi ve yorumlanmasında önemli kolaylıklar sağladığını ve karar vericilere somut faydalar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, son yıllarda trafik güvenliği alanında BI ve veri görselleştirme teknolojilerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Türkiye literatüründe, Ülker ve Coşkun (2015) trafik kazalarının analizi için hızlı ve pratik bir BI modeli önermişler, ancak mekânsal ve zamansal analiz kapasitesi açısından sınırlı kalmışlardır. Geçer (2021) ise Sakarya ili özelinde geliştirdiği BI temelli model ile mekânsal ve zamansal analizleri karar vericilere sunmuştur. Bunun yanında, Özen ve Zorlu (2018) ile Özen (2018), Türkiye’deki karayolu kazalarını istatistiksel ve mekânsal açıdan incelemişler; ancak dinamik, etkileşimli ve çok boyutlu analiz altyapısına odaklanmamışlardır.

Bu noktada, ulusal düzeyde sınırlı olan çalışmaların aksine, uluslararası literatürde BI teknolojilerinin trafik güvenliğine yönelik kullanımına dair geniş ve çeşitlendirilmiş uygulama örnekleri bulunmaktadır. Örneğin, Madnira ve arkadaşları (2023), Florida’daki trafik kazalarını analiz ederek, BI araçlarının kaza sebeplerini hızlı bir şekilde belirleyip kullanıcı dostu görsel panolar oluşturmada oldukça etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde, Awad ve arkadaşları (2022), Birleşik Arap Emirlikleri’nde trafik kazalarını BI araçlarıyla analiz ederek, karar vericilere etkili ve bilinçli politika oluşturma imkânı sağlamışlardır. Verilerin merkezî bir veri ambarında bütünleştirilmesi ve çok boyutlu analizler yapılabilmesi açısından BI teknolojilerinin önemi de çeşitli çalışmalarda vurgulanmaktadır. Mudongo ve arkadaşları (2021), Botswana’da gerçekleştirdikleri çalışmada, trafik kazası verilerini BI ve veri ambarı teknolojilerini kullanarak merkezî bir sistemde birleştirmişler ve OLAP küpleri yardımıyla verileri analiz etmişlerdir. Bu çalışma, trafik güvenliği politikalarının oluşturulmasında BI sistemlerinin kritik rolünü açıkça göstermektedir. Türkiye bağlamında ise Ülker ve Coşkun (2015), hızlı ve pratik analiz yeteneğine sahip bir trafik kaza analiz modeli önermişler; bu model, trafik kazalarının ekonomik ve sosyal maliyetlerini düşürmeyi amaçlayarak kaynakların verimli kullanımını desteklemektedir.

Veri görselleştirme yöntemleri de trafik kazalarına yönelik analizlerde sıklıkla kullanılan ve karar alma süreçlerini destekleyen önemli araçlardır. Chand ve arkadaşları (2024), Hindistan’daki kazaları inceleyerek sürücü kaynaklı faktörlerin (örneğin alkol kullanımı, cep telefonu kullanımı gibi) önemini veri görselleştirme teknikleriyle ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Rabbani ve arkadaşları (2021), Pakistan’ın Peşaver bölgesindeki trafik kazası verilerini, verimli bir ön işleme ve filtreleme süreci sonrası çeşitli görsel araçlar kullanarak açık ve anlaşılır hâle getirmişlerdir. Veri görselleştirme yöntemlerinin trafik kazalarını azaltmada kritik rol oynadığına ilişkin diğer çalışmalar da bulunmaktadır. Rababah ve arkadaşları (2022), Maryland eyaletindeki trafik ihlallerini analiz ederek, 20–29 yaş arası genç erkeklerin trafik kazalarında en fazla can kaybının yaşandığı grup olduğunu ortaya koymuşlardır. Benzer bir yaklaşımla, Tayland’da Sunkpho ve Wipulanusat (2020), Tableau yazılımını kullanarak trafik kazalarını görselleştirmişler ve görsel analizlerin trafik güvenliği stratejilerinin geliştirilmesinde oldukça faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Nusa ve arkadaşları (2023), Malezya’nın Cameron Highlands bölgesindeki dağlık yollarda trafik kazalarını analiz ederek, özellikle küçük hacimli (251 cc altı) motosikletlerin sıkça kazalara karıştığını görselleştirme yöntemleriyle ortaya çıkarmışlardır.

Etkileşimli veri görselleştirme araçlarının trafik kazası analizindeki etkinliğini vurgulayan çalışmalardan biri de Birleşik Krallık’tan Sakib ve arkadaşları (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Microsoft tarafından geliştirilen bir BI ve veri görselleştirme aracı olan Power BI kullanılmış; 2014–2016 yıllarına ait trafik kazası verileri analiz edilerek, kullanıcıların farklı kriterlere göre filtreleme ve detay inceleme yapabildiği etkileşimli bir gösterge paneli oluşturulmuştur. Benzer bir yöntem, Şili’de 2017–2023 yıllarına ait trafik kazası verilerinin analiz edilmesinde de kullanılmıştır (Córdova ve ark., 2025). Zhu ve arkadaşları (2021) ise Güvenlik Analizi Görselleştirme ve Değerlendirme Aracı (Safety Analysis Visualization and Evaluation Tool, SAVE-T) adlı çevrimiçi bir güvenlik analitiği ve görselleştirme aracı geliştirmişler ve bu aracın, büyük veri setleriyle çalışan kuruluşlar için etkili ve alternatif bir çözüm sunduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan literatür taraması, Türkiye’de BI kavramına ilişkin teorik çerçeve ve çeşitli sektörlerdeki

uygulamalar üzerine çok sayıda çalışma bulunduğunu; ancak bu çalışmaların büyük bölümünde mekânsal ve zamansal analiz kapasitesinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Özellikle BI ile CBS'nin entegre edilerek trafik kazalarının çok boyutlu, etkileşimli ve dinamik panolar üzerinden analiz edildiği kapsamlı araştırmaların sayısı oldukça azdır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmak amacıyla, BI ve CBS entegrasyonunu esas alan metodolojik bir yaklaşım geliştirmekte ve elde edilen çıktılarla karar vericilere trafik güvenliği politikalarının oluşturulmasında somut katkılar sunmayı hedeflemektedir.

1.2. Mevcut Durum ve Çalışmanın Amacı

Son yıllarda yapılan araştırmalar, trafik kazalarının analizinde BI araçları ve veri görselleştirme tekniklerinin etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır. Yurt dışında yapılan çalışmalar, BI ve görselleştirme temelli yaklaşımların karar vericilere somut katkılar sağladığını göstermektedir (Awad ve ark., 2022; Madnira ve ark., 2023; Chand ve ark., 2024; Rababah ve ark., 2022; Sunkpho ve Wipulanusat, 2020). Ancak Türkiye'de, BI temelli araçlar kullanılarak karayolu trafik kazalarının detaylı analiz sonuçlarının sunulduğu kapsamlı bir çalışmaya literatürde rastlanmamaktadır.

Mevcut durumda, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ve EGM gibi kurumlar, trafik kazalarına ilişkin verileri toplamakta ve belirli istatistiksel raporlar yayımlamaktadır. Ancak bu sistemler çoğunlukla statik ve özet raporlara dayalı olup, kullanıcılara gerçek zamanlı, etkileşimli ve çok boyutlu analiz imkânı sunmamaktadır. Ayrıca mevcut raporlama altyapılarının mekânsal analiz kabiliyeti ve kullanıcı dostu görselleştirme olanakları sınırlıdır. Örneğin, riskli bölgelerin harita üzerinde yoğunluk bazlı olarak görüntülenmesi, kaza türü–hava durumu–yol durumu gibi değişkenlerin aynı anda incelenebilmesi veya geçmiş yıllarla karşılaştırmalı analizlerin yapılabilmesi mevcut sistemlerde mümkün olmamaktadır.

Bu tablo araştırma problemini açıkça ortaya koymaktadır: Türkiye'de karar vericilere hızlı, görsel ve bütüncül bilgi sunan; veri entegrasyonu güçlü ve etkileşimli bir analiz altyapısına ihtiyaç vardır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, Sakarya ilinin polis bölgesinde meydana gelen trafik kazalarını BI ve CBS temelli bir yaklaşımla analiz etmektir. Böylece karar vericilere etkileşimli ve çok boyutlu bir karar destek altyapısı sunulmaktadır.

Araştırma sorusu şu şekilde tanımlanmıştır: Sakarya ilinde meydana gelen trafik kazalarının mekânsal ve zamansal boyutlarını BI aracı ile analiz ederek, karar vericilere etkin yol güvenliği politikaları geliştirmede destek olmak mümkün müdür?

Çalışma, mevcut sistemlerdeki mekânsal analiz, çok boyutlu veri sorgulama ve görsel raporlama sınırlılıklarını azaltmayı amaçlamaktadır. Böylece riskli bölgelerin tespiti, kaza nedenlerinin belirlenmesi ve önleyici stratejilerin geliştirilmesi süreçlerine somut katkı sağlanacaktır. Sonuç olarak, hem metodolojik açıdan Türkiye literatürüne katkı yapılacak hem de trafik güvenliği alanında veri odaklı politika geliştirme süreçleri için referans olabilecek bir model sunulacaktır.

2. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan veriler, Sakarya ilinin polis sorumluluk bölgesinde 2013–2019 yılları arasında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarını kapsamaktadır. Veriler EGM'den resmî yazışma yoluyla elde edilmiştir. İlgili dönemde toplam 16.454 trafik kazası gerçekleşmiştir. Veri seti; kaza tarihi, saati, koordinatları, hava durumu, yol durumu, ışık durumu, araç türü, sürücü yaşı ve cinsiyeti, kaza türü, ölü ve yaralı sayısı gibi çok boyutlu 18 değişkenden oluşmaktadır. Veriler tamamen içsel kaynak niteliğinde olup, çalışmada herhangi bir dış veri seti kullanılmamıştır.

Çalışma dönemi olarak 2013–2019 yıllarının seçilmesinde, trafik kazası verilerinin sınıflandırılması ve raporlanmasında bu dönemde sağlanan standartlaşma, yedi yıllık verinin sunduğu istatistiksel güvenilirlik ve koronavirüs hastalığı (Coronavirus disease, COVID-19) öncesindeki olağan trafik koşullarını temsil etmesi etkili olmuştur.

Çalışmada trafik kazalarının kapsamlı, çok boyutlu ve dinamik biçimde analiz edilebilmesi için bir BI aracı olan Microsoft Power BI kullanılmıştır. Bu BI aracının tercih edilmesinde çeşitli avantajlar etkili olmuştur. Bunlar arasında büyük veri setlerini hızlı işleme kapasitesi, interaktif görselleştirme olanakları, CBS ile entegrasyon kabiliyeti ve kullanıcı dostu arayüz sayılabilir. Literatürde Power BI'nin özellikle kamu güvenliği, sağlık ve ulaşım alanlarında giderek daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca bu alanlarda farklı ölçeklerde başarılı uygulama örnekleri rapor edilmiştir (Sunkpho ve Wipulanusat, 2020; Madnira ve ark., 2023).

Ayrıca çalışmada kullanılan ETL süreci, ham verilerin hatalardan arındırılması, standart formatlara dönüştürülmesi ve analiz ortamına verimli biçimde aktarılması için kademeli olarak tasarlanmıştır. OLAP küp mimarisi ise kazaların zaman, konum, kaza türü ve araç türü gibi farklı boyutlarda eş zamanlı incelenmesine olanak tanıyarak derinlemesine karşılaştırmalı analiz yapılmasını mümkün kılmaktadır (Kimball ve Ross, 2013). Bu amaç doğrultusunda izlenen adımlar şu şekildedir:

1. Veri Temini ve Ön İşleme: EGM Trafik Başkanlığı'ndan alınan kaza verilerinin temizlenmesi, kodlama tutarsızlıklarının düzeltilmesi, eksik değerlerin giderilmesi ve tarih/saat formatlarının standartlaştırılması.

2. Veri Modelleme ve Entegrasyon: Temizlenmiş veriler, yıldız şema mimarisi kullanılarak tasarlanan merkezî veri ambarına aktarılmış; "Traffic_Accidents" olgu tablosu ile zaman, konum, sürücü, araç ve hava durumu boyut tabloları oluşturulmuştur. Veri ambarı tasarımı, Microsoft SQL Server üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3. BI Analiz Süreci: Microsoft Power BI kullanılarak kazalara ilişkin istatistiksel veriler, çevresel faktörler, karayolu geometrik özellikleri ve sürücü özelliklerine göre etkileşimli gösterge panellerinde sunulmuştur. Panolar, kullanıcıların kriter bazlı filtreleme yapmasına ve yıllar arası karşılaştırma gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır.

4. Mekânsal Analiz (CBS Entegrasyonu): Veri setinde yer alan "konum" alanı, il-ilçe-mahalle bazında kodlanmış olup, CBS ortamında (ArcGIS for Power BI) mekânsal katmanlarla eşleştirilmiştir. Bu sayede kazaların mekânsal dağılımı harita üzerinde görselleştirilmiş, yoğunluk haritaları oluşturulmuş ve kaza oluş türlerine göre riskli bölgeler konumsal olarak belirlenmiştir.

5. Sonuçların Yorumlanması: Elde edilen görsel ve istatistiksel çıktılar üzerinden kazaların temel nedenleri belirlenmiş, riskli bölgeler için önleyici strateji önerileri geliştirilmiştir.

Bu yöntem, karar vericilere eş zamanlı ve çok boyutlu bilgi akışı sağlayarak hem kaza verilerinin detaylı incelenmesine hem de trafik güvenliği politikalarının daha etkili şekilde planlanmasına olanak tanımaktadır.

2.1. Veri Hazırlık Süreci ve ETL İşlemleri

Analiz süreci, veri setinin güvenilirliğini ve bütünlüğünü sağlamak amacıyla veri kalitesi değerlendirmesi ile başlamıştır. Bu aşamada, eksik alan oranları, kodlama tutarlılığı, tarih-saat format uyumu, konum bilgisi doğruluğu ve değişkenler arası mantıksal bütünlük kriterleri dikkate alınmıştır. Sonrasında, üç temel adımdan oluşan ETL süreci uygulanmıştır:

- Çekme (Extract): EGM Trafik Başkanlığı'ndan temin edilen ham veriler, Microsoft Excel ortamında ön inceleme işleminden geçirilmiş, ardından Güç Sorgusu (Power Query) aracı ile çalışma ortamına aktarılmıştır.

- Dönüştürme (Transform): Bu aşamada veri setindeki eksik, hatalı veya tutarsız kayıtlar düzeltilmiş ve analiz öncesi standart hale getirilmiştir. Örneğin;

- Tarih-saat verileri, uluslararası standart olan yyyy-mm-dd hh:mm:ss formatına dönüştürülmüştür.

- Mükerrer kayıtlar, araç ID'si, zaman damgası ve konum bilgisi eşleşmesiyle tespit edilerek veri setinden çıkarılmıştır.

- Kategori kodları (kaza türü, araç türü, ışık durumu, yol durumu vb.) için kodlama standardizasyonu sağlanmış, farklı adlandırmalar tek tip forma dönüştürülmüştür.

- Veri tipi dönüşümleri yapılmış; metin formatında kaydedilmiş sayısal alanlar uygun veri tipine çevrilmiştir.

- Konum bilgileri, il-ilçe-mahalle düzeyinde ayrıştırılarak mekânsal analizlere uygun hale getirilmiştir.

- Yükleme (Load): Temizlenmiş ve analiz amacına uygun şekilde yeniden yapılandırılmış veriler, yıldız şema mimarisi ile tasarlanan veri ambarına Microsoft SQL Server 2017 ortamında aktarılmıştır. Bu işlem, SQL Server Entegrasyon Hizmetleri (SQL Server Integration Services, SSIS) aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri ambarında "Traffic_Accidents" olgu tablosu ile zaman, konum, sürücü, araç ve hava durumu boyut tabloları oluşturularak sonraki OLAP analizlerine hazır hale getirilmiştir.

zaman boyutundaki veriler yıllara göre bölümlendirme yöntemiyle bölünmüş ve analizlerde yoğun kullanılan göstergeler için önceden hesaplanmış özet tablolar tanımlanmıştır. Bu optimizasyonlar sayesinde kullanıcı sorgularının yanıt süreleri kısalmış, dinamik analiz performansı ve kullanıcı deneyimi önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

2.4. Gösterge Panelleri ve Görselleştirme

Elde edilen analiz çıktıları, etkileşimli veri görselleştirme ve karar destek aracı olan Microsoft Power BI Desktop ortamında dört tematik gösterge paneli olarak yapılandırılmıştır. Bu paneller, kullanıcıların trafik kazalarını farklı boyutlardan inceleyebileceği, dinamik filtreleme, ayrıntıya inme ve karşılaştırma olanakları sunan interaktif bir analiz altyapısı sağlamaktadır.

- Çevresel Faktörler Paneli: Hava durumu, yol yüzeyi koşulları ve günün aydınlık durumu gibi çevresel etmenlerin kazalar üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Yoğunluk haritaları ve dağılım grafikleri ile riskli hava/yol koşullarının zamansal ve mekânsal örüntüleri ortaya konmuştur.
- Karayolu Geometrisi Paneli: Yol eğimi, kavşak türü, aydınlatma durumu ve yol bölünmüşlüğü gibi

yapısal unsurların kazalarla ilişkisini görselleştirmektedir. Bu sayede, altyapı iyileştirmeleri için öncelikli bölgeler belirlenebilmektedir.

- Sürücü Özellikleri Paneli: Sürücülerin yaş grupları, cinsiyetleri, alkol etkisi durumu ve ehliyet türleri gibi demografik ve davranışsal değişkenlerin kazalara etkisini çok boyutlu olarak değerlendirmektedir.

- Genel Zaman ve Mekân Paneli: Yıllara, aylara, haftanın günlerine ve saat dilimlerine göre kaza dağılımlarını; araç türü ve konum bilgileriyle birlikte inceleme olanağı sunmaktadır. Bu panel, özellikle zamansal trendlerin ve mekânsal yoğunluk bölgelerinin birlikte analizini mümkün kılmaktadır.

Bu paneller, Microsoft SQL Server Raporlama Hizmetleri (Microsoft SQL Server Reporting Services, SSRS) entegrasyonu sayesinde kurum içi kullanım için hem tablo hem de grafik tabanlı özet raporlar üretebilmektedir. Tüm bu metodolojik süreç ve işlem sırası, Şekil 2’de şematik olarak sunulmuştur. Model, Türkiye’de trafik kazalarına yönelik BI tabanlı analizlerde örnek bir referans çerçevesi oluşturmaktadır.



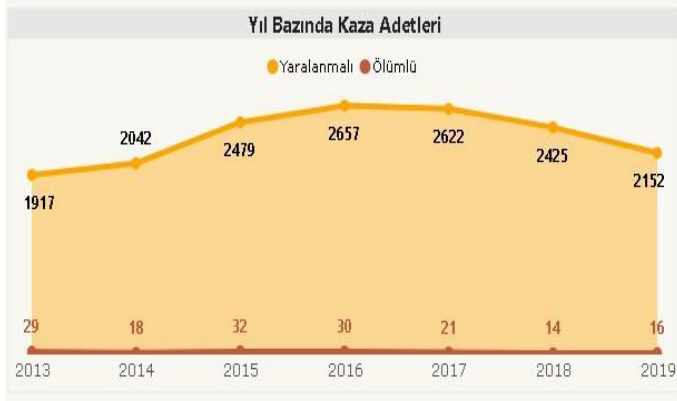
Şekil 2. Metodolojik işlem sırası

Bu çalışmanın metodolojik yaklaşımı, tanımlayıcı analiz üzerine kurgulanmıştır. Sakarya ili için trafik kazalarının mekânsal ve zamansal boyutlarını BI ve CBS entegrasyonu aracılığıyla çok boyutlu, etkileşimli ve kullanıcı dostu bir gösterge paneli üzerinden ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu

kapsamda ileri analitik yöntemler (örneğin regresyon ve makine öğrenmesi) çalışmanın kapsamına dâhil edilmemiş, ancak ileride yapılacak tahmine dayalı analizler için yöntemsel bir zemin hazırlanmıştır.

3. Bulgular

EGM tarafından sağlanan verilere göre Sakarya ilinin polis sorumluluk alanında 2013-2019 yılları arasında toplam 16.454 trafik kazası gerçekleşmiştir. Bu kazaların 160'ı ölümlü, geriye kalan 16.294'ü ise yaralanmalı trafik kazası olarak kayıtlara geçmiştir. Kazaların yıllık bazda dağılımı Şekil 3'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3. Yıl bazında ölümlü/yaralanmalı kaza istatistiği

Bu trafik kazalarında toplamda 27.182 araç, 3.336 yaya ve 6.979 yolcu yer almıştır. Kazaların yerleşim durumlarına göre dağılımına bakıldığında ise yaklaşık %84'ünün yerleşim alanları içinde, %16'sının ise yerleşim alanları dışında meydana geldiği belirlenmiştir. Bu kazalar sonucunda toplam 199 kişi hayatını kaybetmiş, 26.329 kişi ise yaralanmıştır. Hayatını kaybeden ve yaralanan kişilerin dağılımı ise Şekil 4'te gösterilmiştir.

Kazalarda yer alan araçların türlerine göre yapılan incelemede, kazaya karışan araçların yarısından fazlasının (%55) otomobil olduğu görülmektedir. Araçların yaklaşık %18'i ağır taşıt kategorisinde değerlendirilirken, motosiklet ve bisikletler %17'lik bir oranla dikkat çekmektedir. Ticari taşıtlar kazaların %5'inde yer alırken, kalan araçlar ise diğer

araç türleri içerisinde sınıflandırılmıştır. Araç sayısı açısından bakıldığında ise kazaların yaklaşık %52'sinin iki araç arasında gerçekleştiği, %42'sinin ise tek araçlı kazalar olduğu belirlenmiştir. İki araçlı kazalar özelinde yapılan analizde, otomobillerin bu kazaların %55'inde bulunduğu ve diğer aracın genellikle kamyon, kamyonet, motosiklet veya bisiklet türlerinden biri olduğu ortaya çıkmıştır.

Toplam Ölüm	Sürücü Ölüm	Yolcu Ölüm	Yaya Ölüm
199	75	84	40

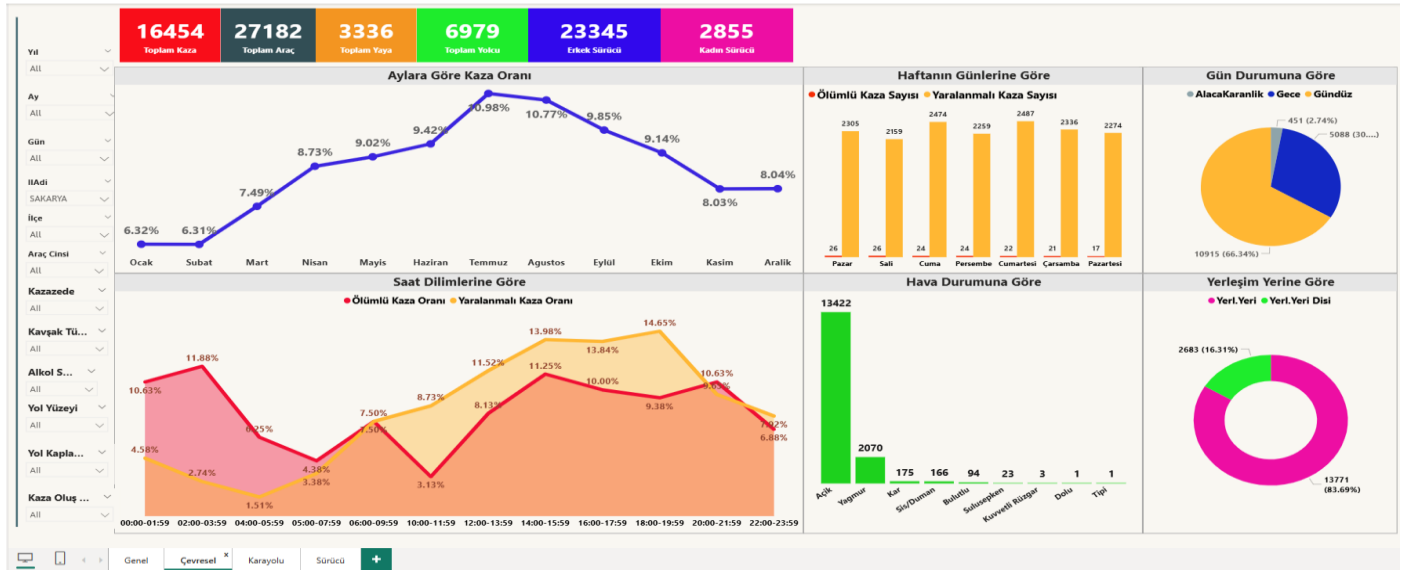
Toplam Yaralı	Sürücü Yaralı	Yolcu Yaralı	Yaya Yaralı
26329	11334	11456	3539

Şekil 4. Ölü/yaralı dağılım istatistiği

3.1. Çevresel Özellikler Göstergesi Paneli Sonuçları

2013–2019 döneminde Sakarya ilinde gerçekleşen toplam 16.454 kazanın %83,69'u yerleşim yeri içinde, %16,31'i ise yerleşim yeri dışında meydana gelmiştir. Yerleşim yeri dışındaki kazalar, genellikle daha yüksek hız limitine sahip kesimlerde olduğundan, ölümcül olma olasılığı daha yüksektir.

Hava durumu verileri incelendiğinde, kazaların %81,57'si açık hava koşullarında (13.422 kaza), %12,58'i yağmurlu havada (2.070 kaza) meydana gelmiştir. Daha düşük oranlarda ise kar (%1,06), sis/duman (%1,01), bulutlu (%0,57), sulu kar (%0,14) ve kuvvetli rüzgâr (%0,02) koşulları görülmüştür. Dolu ve tipi koşullarında meydana gelen kaza sayıları ise oldukça düşüktür.



Şekil 5. Çevresel özellikler gösterge paneli

Gün durumu açısından bakıldığında, kazaların %66,34'ü gündüz, %30,92'si gece, %2,74'ü ise alacakaranlık döneminde meydana gelmiştir. Bu dağılım, gece koşullarında kaza oranının daha düşük olmasına rağmen, özellikle aydınlatması yetersiz kesimlerde çarpışma şiddetinin yüksek olabileceğini göstermektedir.

Saat dilimleri incelendiğinde, ölümlü kazaların en yüksek oranı 02.00–03.59 diliminde (%11,88) görülmektedir. Bu saat aralığını %10,63 ile 00.00–01.59 ve %10,00 ile 16.00–17.59 takip etmektedir. Yaralanmalı kazalar ise en yoğun 18.00–19.59 diliminde (%14,65) meydana gelmiş, bunu %13,98 ile 14.00–15.59 ve %13,84 ile 16.00–17.59 izlemiştir. Bu bulgular, gece saatlerinde düşük trafik hacmine rağmen yorgunluk, dikkat azalması ve hız eğiliminin ölümlü kaza riskini artırdığını; öğleden sonra ve akşamüstü saatlerinde ise yüksek trafik yoğunluğunun yaralanmalı kaza oranını yükselttiğini ortaya koymaktadır.

Haftanın günlerine göre dağılımda yaralanmalı kazaların en yüksek olduğu gün cuma (2.474 kaza) olurken, ölümlü kazalar açısından en yüksek değer pazar günü (26 kaza) kaydedilmiştir. Bu durum, hafta sonlarında özellikle şehirlerarası yolculukların artması ve sürücülerin daha uzun süre direksiyon başında kalmasıyla ilişkilendirilebilir.

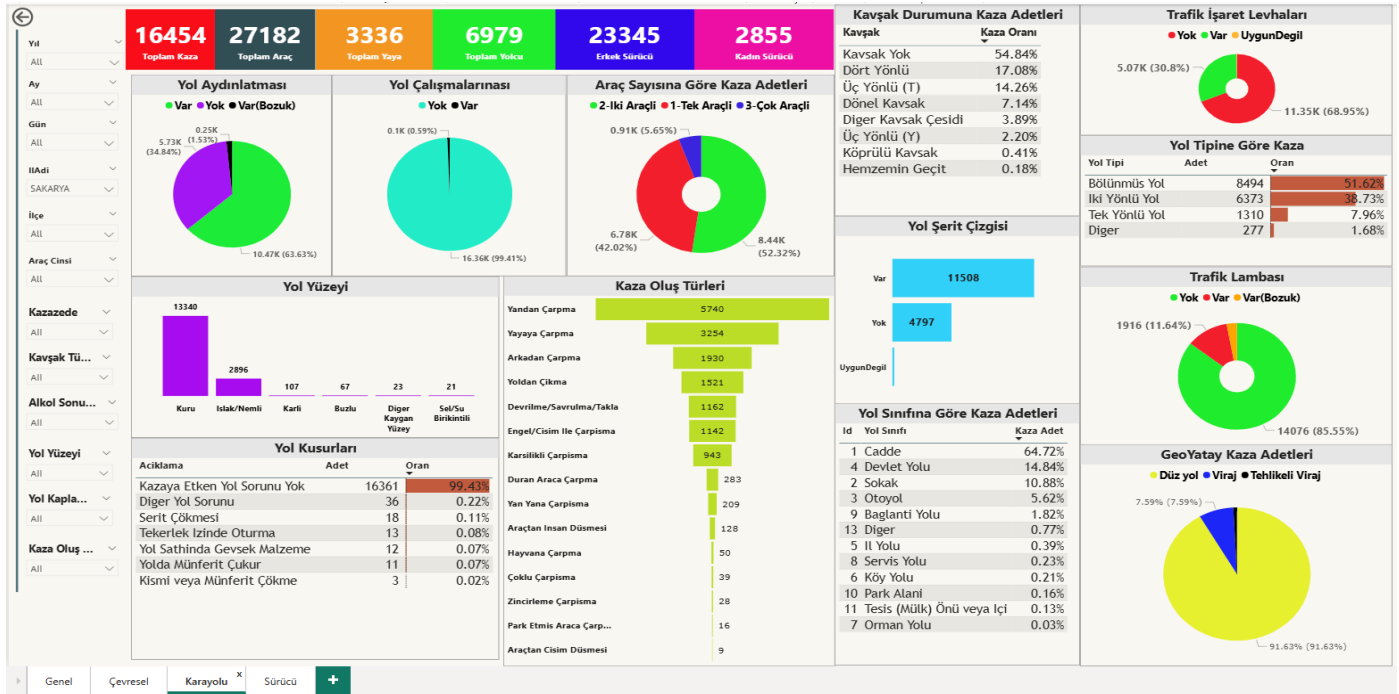
Tüm bu bulgular, çevresel özellikler gösterge paneli üzerinden detaylı biçimde analiz edilmiş olup Şekil 5'te görselleştirilmiştir.

3.2. Karayolu Geometrisi Gösterge Paneli Sonuçları

2013–2019 döneminde Sakarya ilinde meydana gelen trafik kazalarının büyük çoğunluğunda (%99,43) kazaya etken bir yol kusuru tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, kalan küçük orandaki vakalarda diğer yol sorunları (%0,22), şerit çökmesi (%0,11), tekerlek izinde oturma (%0,08) ve yolda münferit çukur (%0,07) gibi kusurlar kaydedilmiştir.

Yol yüzeyi bakımından kazaların %80,99'u kuru zeminde (13.340 kaza), %17,60'ı ıslak/nemli yüzeyde (2.896 kaza) gerçekleşmiştir. Kış koşullarına bağlı kar (%0,65) ve buz (%0,41) kaynaklı kazalar düşük bir orana sahiptir. Sel/su birikintili yüzey (%0,13) ve diğer kaygan yüzey (%0,41) koşullarında meydana gelen kazalar ise oldukça sınırlıdır.

Yol aydınlatması verileri incelendiğinde, kazaların %63,63'ünde aydınlatma bulunmakta, %34,84'ünde ise hiç aydınlatma yer almamaktadır. Aydınlatma bulunmasına rağmen bozuk durumda olan kesimlerdeki kaza oranı %1,53'tür. Yol çalışmaları açısından ise kazaların %99,05'i çalışma bulunmayan kesimlerde meydana gelmiştir. Kaza oluş türleri dağılımında ilk sırada yandan çarpma (%34,89) yer almakta, bunu yayaya çarpma (%19,78), arkadan çarpma (%11,73), yoldan çıkma (%9,24) ve devrilme/savrulma/takla (%7,06) izlemektedir. Karşılıklı çarpışmalar %5,73 oranındadır.



Şekil 6. Karayolu geometrisi gösterge paneli

Araç sayısına göre kaza türleri incelendiğinde, kazaların %52,32'si tek araçlı, %42,02'si iki araçlı, %5,65'i ise çok araçlı çarpışmalardır. Kavşak durumu açısından ise kazaların %54,84'ü kavşak bulunmayan kesimlerde, %17,08'i dört yönlü, %14,26'sı üç yönlü (T) ve %7,12'si dönel kavşaklarda gerçekleşmiştir.

Yol tipi dağılımına bakıldığında, kazaların %51,62'si bölünmüş yollarda, %38,73'ü iki yönlü yollarda, %7,96'sı ise tek yönlü yollarda meydana gelmiştir. Yol sınıfına göre ise kazaların %64,72'si cadde üzerinde, %14,84'ü devlet yolu, %10,88'i sokak ve %5,62'si otoyol kesimlerinde kaydedilmiştir.

Trafik işaret levhaları %68,95 oranında mevcutken, %30,8'inde bulunmamaktadır. Trafik lambası verilerine göre, kazaların %85,55'i sinyalizasyon olan kesimlerde, %11,64'ü sinyalizasyon bulunmayan noktalarda meydana gelmiştir.

Geometrik yol eğriliği (GeoYatay) açısından, kazaların %91,63'ü düz yolda, %7,59'u virajlarda, %0,78'i ise tehlikeli virajlarda meydana gelmiştir. Bu bulgular, düz yollarda hız limitinin aşılması ve dikkatsizlik gibi faktörlerin, virajlarda ise görüş mesafesi kısıtlılığı ve sürücü hız adaptasyonu yetersizliğinin kazalarda etkili olabileceğini göstermektedir. Bu veriler, karayolu geometrisi

gösterge paneli aracılığıyla kapsamlı şekilde analiz edilmiş olup Şekil 6'da görselleştirilmiştir.

3.3. Sürücü Özellikleri Gösterge Paneli Sonuçları

2013–2019 döneminde Sakarya ilinde meydana gelen trafik kazalarının sürücü profili incelendiğinde, toplam 23.345 erkek sürücü ve 2.855 kadın sürücü kazaya karışmıştır. Cinsiyete göre ehliyet sınıfı dağılımında her iki cinsiyette de en yüksek oran B sınıfı sürücü belgelerinde görülmektedir (erkeklerde %61, kadınlarda %9). Erkek sürücülerde E sınıfı (%25) ve A2 sınıfı (%7) öne çıkarken, kadın sürücülerde E sınıfı (%25) ikinci sırada yer almaktadır.

Yaş gruplarına göre dağılım incelendiğinde, kazaya karışma oranı en yüksek olan grup 26–40 yaş aralığı (%36,93) olup, bunu 41–55 yaş grubu (%23,34) ve 18–25 yaş grubu (%18,73) takip etmektedir. 65 yaş ve üzeri sürücüler kazaların %5,01'inde yer almakta, 18 yaş altı sürücülerin oranı ise %7,66'dır. Bu durum, özellikle genç ve orta yaş grubundaki sürücülerin kaza istatistiklerinde baskın olduğunu göstermektedir. Sürücü kusurları incelendiğinde, en yüksek oran araç hızını yol, hava ve trafik şartlarına uydurmak (%37,47) olarak kaydedilmiştir.

Bunu kavşak, geçit ve kaplamanın dar olduğu yerlerde geçiş önceliğine uymamak (%9,75), şerit izleme ve değiştirme kurallarına uymamak (%6,84)

ve arkadan çarpma (%5,46) izlemektedir. Ayrıca dönüş kurallarına uymamak (%5,11) ve trafik güvenliği ile ilgili diğer kurallara uymamak (%1,50) da kayda değer oranlara sahiptir.

Alkol durumu bakımından, sürücülerin büyük çoğunluğu alkolsüz olup, alkol etkisinde kaza yapan sürücü oranı düşüktür. Emniyet kemeri kullanımı verilerinde ise tespit edilemeyenler (%90,27) dışında, kemer takılı olanların oranı %3,77, takılı olmayanların oranı %0,64'tür. Kask kullanımı motosikletli sürücülerde %0,52 oranında belirlenmiş, kask takmayanların oranı ise %0,35'tir.

Kaza sonrası sürücü durumları incelendiğinde, 11.334 sürücünün yaralandığı, 1.103 sürücünün araç park halinde olduğu ve 75 sürücünün yaşamını yitirdiği görülmektedir. Olay yeri terk eden sürücü sayısı ise 28'dir.

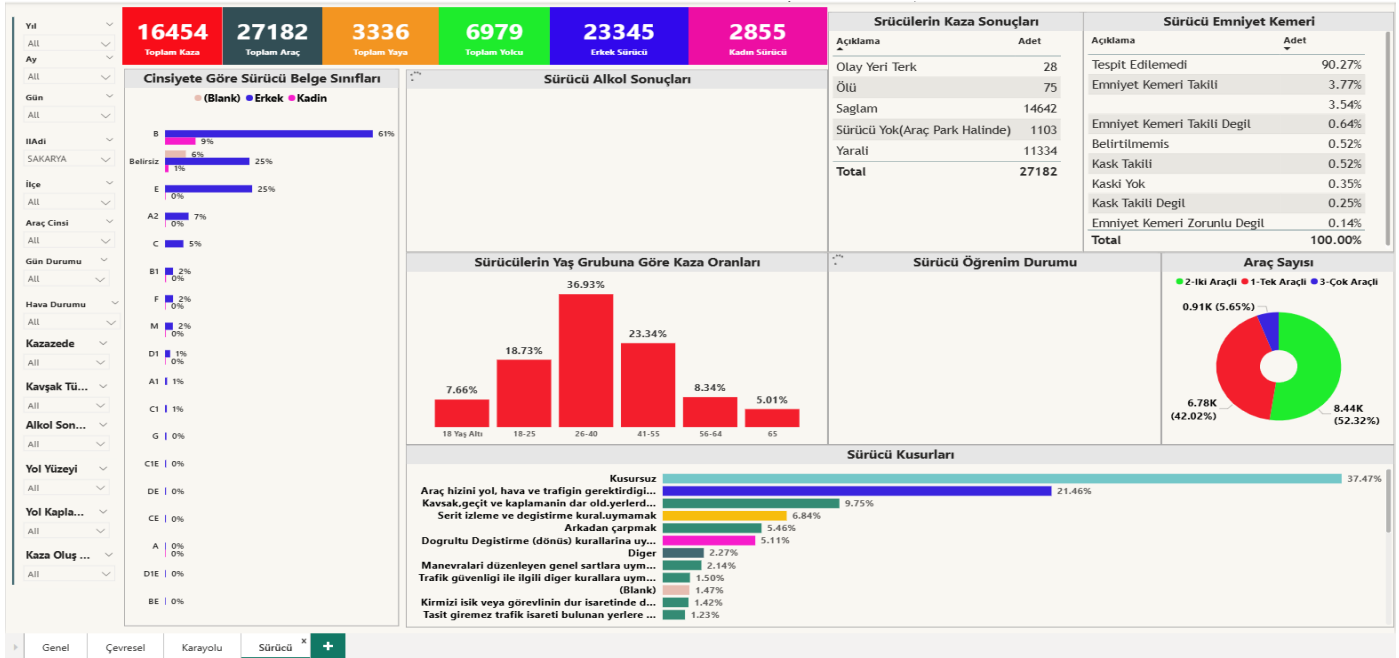
Elde edilen bu bulgular, sürücülerin demografik özellikleri, ehliyet sınıfları, kusur türleri, alkol ve güvenlik ekipmanı kullanımı açısından risk profillerinin ortaya konmasına olanak sağlamaktadır. Analiz sonuçları sürücü özellikleri gösterge paneli

üzerinde ayrıntılı olarak sunulmuş olup Şekil 7'de görselleştirilmiştir.

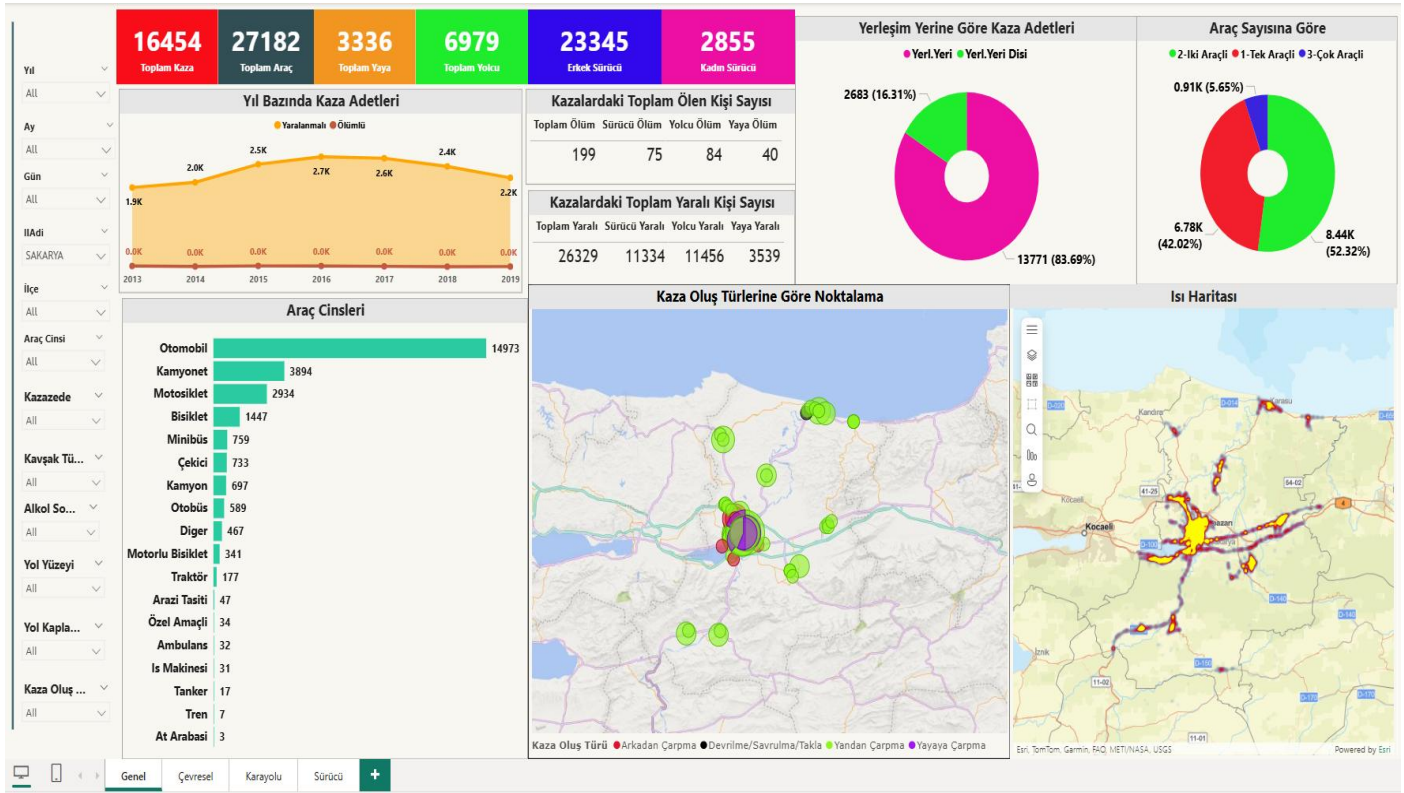
3.4. Genel Zaman ve Mekân Gösterge Paneli Sonuçları

Genel zaman ve mekân gösterge paneli (Şekil 8), kazaların yıllara, araç sayılarına, yerleşim yeri durumuna ve mekânsal dağılımına göre analiz edilmesini sağlayarak hem zamansal eğilimlerin hem de mekânsal yoğunluk alanlarının bütüncül bir şekilde değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

2013–2019 döneminde toplam 16.454 kaza kaydedilmiş olup, bu kazalarda 27.182 araç, 3.336 yaya ve 6.979 yolcu yer almıştır. Kaza yerleşim durumu incelendiğinde, kazaların %83,69'u yerleşim yeri içinde (13.771 kaza), %16,31'i (2.683 kaza) ise yerleşim yeri dışında meydana gelmiştir. Araç sayısına göre dağılımda iki araçlı kazalar %52,32 ile en yüksek orana sahip olurken, tek araçlı kazalar %42,02 ve çok araçlı kazalar %5,65 oranında gerçekleşmiştir.



Şekil 7. Sürücü özellikleri gösterge paneli



Şekil 8. Genel zaman ve mekân gösterge paneli

Araç cinsine göre dağılım incelendiğinde, otomobiller 14.973 kaza ile açık ara lider konumda olup, kamyonet (3.894), motosiklet (2.934) ve bisiklet (1.447) kazaları da önemli bir paya sahiptir.

Yıllara göre kaza eğilimleri incelendiğinde, yaralanmalı kaza sayılarının 2013'ten 2016'ya kadar artış gösterdiği, 2016'da 2.700 ile en yüksek seviyeye ulaştığı, sonraki yıllarda ise hafif bir azalma eğilimine girdiği görülmektedir. Ölümle sonuçlanan kazalar ise her yıl düşük sayılarda seyretmiş ancak 2016 ve 2018 yıllarında hafif artışlar gözlenmiştir.

Kaza oluş türlerine göre noktalama haritası incelendiğinde, yandan çarpma ve yayaya çarpma kazalarının özellikle şehir merkezinde ve yoğun yaya hareketliliğinin olduğu bölgelerde kümeleniği görülmektedir. Arkadan çarpma kazaları ise genellikle ana arterlerde, trafik ışıklarının bulunduğu kavşaklarda ve yoğun trafik akışına sahip koridorlarda yoğunlaşmaktadır. Devrilme/savrulma/takla türündeki kazalar, şehir merkezi dışındaki yüksek hızlı yol kesimlerinde ve virajlı bölgelerde daha sık kaydedilmiştir.

Isı haritası, kaza yoğunluğunu mekânsal olarak ortaya koymakta ve kritik kaza bölgelerinin görsel olarak tespit edilmesini sağlamaktadır. En yüksek yoğunluk, Adapazarı–Erenler–Serdivan üçgeninde, D-100 karayolu ve şehir merkezi bağlantı yollarının

kesişim noktalarında gözlenmektedir. Bu alan hem yerel hem de transit trafiğin kesiştiği, kavşak yoğunluğunun yüksek olduğu ve yaya geçişlerinin sık yaşandığı bir bölge olması nedeniyle risk düzeyi en yüksek bölge konumundadır. Orta yoğunluklu alanlar arasında Sapanca Gölü çevresi, Karasu, Akyazı ve Hendek ilçelerinin giriş-çıkış noktaları ile TEM otoyolu bağlantıları yer almaktadır. Düşük yoğunluklu ancak ölümcül kaza riski barındıran alanlar ise Pamukova ve Geyve yönündeki D-650 güzergâhında ve kırsal yol kesimlerinde tespit edilmiştir. Bu bölgelerde hız limitlerinin yüksek olması, yol kenarı güvenlik unsurlarının yetersizliği ve uzun-düz yol profilleri, tek araçlı kazalar ve devrilme/takla olaylarının daha sık yaşanmasına zemin hazırlamaktadır.

Bu bulgular, farklı mekânsal yoğunluk bölgeleri için farklı yol güvenliği önceliklerinin belirlenmesi gerektiğini göstermektedir. Şehir merkezindeki yüksek yoğunluk alanlarında kavşak düzenlemeleri, hız yönetimi, yaya güvenliği önlemleri ve trafik sinyalizasyon optimizasyonu öncelikli olmalıdır. Turizm ve geçiş trafiği yüksek bölgelerde (Sapanca, Karasu, Akyazı, Hendek) tatil dönemlerinde ve hafta sonlarında yoğunlaştırılmış trafik denetimleri ile dinamik hız uyarı sistemleri uygulanmalıdır. Düşük yoğunluklu ancak yüksek hız yapılan kırsal kesimlerde ise hız denetim kameralarının artırılması, yol kenarı güvenlik bariyerlerinin güçlendirilmesi ve

sürücü farkındalık kampanyaları, ölümcül kazaların azaltılmasında kritik rol oynayacaktır.

4. Tartışma

Bu çalışma, Sakarya ilinde 2013–2019 yılları arasında meydana gelen trafik kazalarının Microsoft Power BI iş zekâsı aracı ile çok boyutlu analiz edilmesini sağlamıştır. Elde edilen bulgular, trafik güvenliğine ilişkin çeşitli uygulama alanlarında karar vericilere yol gösterecek niteliktedir. Özellikle kazaların %84'ünün yerleşim yerlerinde meydana gelmesi, şehir içi trafik güvenliğinin iyileştirilmesine yönelik somut adımlar atılması gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, yerel yönetimlerin mahalle içi hız limitlerini yeniden düzenlemesi, hız kesici uygulamalar ve yol daraltma gibi fiziksel önlemleri yaygınlaştırılması önerilebilir. Literatürdeki benzer bulgular (Awad ve ark., 2022; Chand ve ark., 2024) da bu tür müdahalelerin etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Araç türlerine göre kazalarda otomobiller ve ağır taşıtların öne çıkması, hız yönetimi ve taşıt yönlendirme politikalarının önceliklendirilmesini gerektirmektedir. Hız ihlallerine yönelik otomatik hız izleme (hız kameraları) programları, çok-merkezli derlemelere göre tüm kazalarda %14–25 aralığında düşüş sağlamaktadır (Wilson ve ark., 2010). Şehir içi güvenlik ve işletme açısından ağır taşıtların belirlenmiş güzergâhlara yönlendirilmesi/şerit kısıtlamaları özellikle yüksek ağır taşıt oranlarında şerit değiştirme manevralarını azaltarak emniyeti artırabilmektedir (Liu ve Garber, 2007; Shelton ve ark., 2020).

Kaza türü dağılımında iki araçlı ve yandan/arkadan çarpışmaların baskın oluşu, kavşaklarda çatışma noktalarını ve hızları düşüren mühendislik çözümlerini ön plana çıkarmaktadır. Dönel kavşaklara dönüşümler, sinyal/kontrol edilen kavşaklara göre yaralanmalı kazalarda ~%70–80 azalma ile tutarlı biçimde raporlanmıştır (Federal Highway Administration, 2025; Hu, 2025). Sinyalli kavşaklarda kırmızı ışık ihlali kameraları, dik açı (T-bone) çarpışmalarını azaltırken, arkadan çarpışmalarda artış görülebilmekle birlikte toplam yaralanma maliyeti açısından net fayda bildirilmiştir (Council ve ark., 2005a, 2005b). Yerleşim içi yaklaşımlarda hız düşürücüler, yaya yaralanmalarını ve çarpışma şiddetini anlamlı biçimde azaltabilmektedir (Tester ve ark., 2004; Rothman ve ark., 2015). Bu bulgular ışığında, çalışmamızdaki yerel bulgulara paralel olarak: (i) koridor bazlı hız yönetimi ve otomatik

denetim, (ii) ağır taşıtların çevre yolu/tır yollarına yönlendirilmesi ve uygun yerlerde şerit kısıtlamaları, (iii) öncelikli kavşaklarda dönel kavşak dönüşümleri veya korumalı faz-süre optimizasyonu ile ihlal denetimi, (iv) yerleşim içi yaklaşımlarda hız düşürücü uygulamalar önerilmektedir.

Çevresel faktörlerin etkisi incelendiğinde, kazaların çoğunlukla açık hava ve gündüz koşullarında gerçekleştiği görülmüştür. Bu bulgu, sürücü davranışlarının ve dikkat dağınıklığı gibi insan kaynaklı faktörlerin kazalardaki rolünü daha da ön plana çıkarmaktadır. Bu kapsamda, sürücü odaklı eğitim programları, emniyet kemeri kullanımına yönelik cezai yaptırımların sıklaştırılması ve medyada sürdürülen kamu spotlarının yoğunlaştırılması gibi davranışsal müdahaleler önemli hale gelmektedir.

Karayolu geometrik özelliklerine dair analizler ise kazaların büyük ölçüde asfalt, düz ve kavşak olmayan yollarda meydana geldiğini göstermiştir. Bu durum, standart görünümlü yolların sürücüler tarafından daha az dikkatle kullanıldığına işaret edebilir. Dolayısıyla yol yüzeyi uyarıcılarının (örneğin çizgili asfalt uygulamaları, yol reflektörleri) daha yaygın kullanımı, yol algısını artırarak kazaların önüne geçebilir. Ayrıca, yol aydınlatmasının artırılması ve trafik levhalarının güncellenmesi gibi altyapısal yatırımlar, kazaların önlenmesinde önemli rol oynayacaktır (Mudongo ve ark., 2021).

Sürücü özelliklerine ilişkin bulgular ise genç ve orta yaş grubundaki bireylerin kazalara daha fazla karıştığını ve emniyet kemeri kullanımına dair verilerin büyük oranda belirsiz olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, trafik güvenliği açısından eğitim programlarının yalnızca sürücü kurslarıyla sınırlı kalmaması gerektiğini, aynı zamanda lise ve üniversite düzeyinde de güvenli sürüş farkındalığının artırılmasına yönelik içeriklerin yaygınlaştırılması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, sürücü kusurlarının dağılımı, kurallara uyum konusunda denetim mekanizmalarının güçlendirilmesinin elzem olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada kullanılan BI ve CBS entegrasyonuna dayalı metodolojik yaklaşım, uluslararası literatürdeki benzer araştırmalar ile karşılaştırıldığında benzerlikler ve farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Awad ve arkadaşları (2022) Birleşik Arap Emirlikleri'nde trafik kazalarını BI tabanlı panolarla analiz etmişler; Mudongo ve arkadaşları (2021) Botswana'da BI ve veri ambarı

teknolojilerini kullanarak verileri OLAP küpleri üzerinden değerlendirmişler; Rababah ve arkadaşları (2022) ise ABD’de sürücü yaş grupları ile kaza şiddeti arasındaki ilişkileri görselleştirmişlerdir. Bizim çalışmamız ise bu metodolojik çizgiyi takip etmekle birlikte, Türkiye bağlamında Microsoft Power BI gibi güçlü bir BI aracı ile gerçekleştirilen ilk kapsamlı trafik kazası analizlerinden biri olması bakımından farklılaşmaktadır. Mekânsal ve zamansal bazlı gösterge panelleri aracılığıyla riskli bölgelerin, saat aralıklarının ve kullanıcı gruplarının belirlenmesine imkân tanınmış; böylece karar vericilere çok boyutlu, etkileşimli ve kullanıcı dostu bir kaza atlası sunulmuştur.

Ancak çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle, analiz yalnızca polis bölgesindeki kazaları içermekte; jandarma bölgesi gibi diğer kayıtlar dışarıda bırakılmıştır. Ayrıca, veriler anonimleştirilmiş olduğu için bireysel sürücü davranışları, araç özellikleri veya sosyoekonomik veriler gibi mikro düzeyde değişkenlere ulaşamamıştır. Çalışmada kullanılan veri seti 2013–2019 yıllarını kapsamaktadır; dolayısıyla daha güncel olayları içermemektedir. Meteorolojik koşullar, yol altyapısı özellikleri ve trafik akışı gibi harici veri kaynaklarının entegrasyonu ile çalışma daha da zenginleştirilmeye müsaittir. Ancak bu tür verilerin mevcut araştırma kapsamında erişilebilir olmaması nedeniyle analiz yalnızca EGM’den elde edilen içsel verilerle sınırlı kalmıştır. Ayrıca, bu çalışmada yöntemsel olarak tanımlayıcı ve görselleştirici analizlere odaklanılmıştır. Bununla birlikte, regresyon ve makine öğrenmesi gibi ileri analitik yöntemlerin entegrasyonu gelecek çalışmalarda ele alınarak, kazaların öngörülmesi ve risk bölgelerinin daha doğru tahmin edilmesi yönünde kapsamlı katkılar sağlanabilecektir.

Tüm bu sınırlılıklara rağmen çalışma hem akademik hem de uygulamalı bağlamda literatüre ve karar vericilere potansiyel olarak değerli katkılar sunma niteliği taşımaktadır. Trafik güvenliğiyle ilgili politikaların bilimsel temelli veri analizleriyle desteklenmesi, kazaların azaltılmasına yönelik etkili ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu yönüyle araştırma, BI uygulamalarının trafik güvenliği alanındaki potansiyelini göstermekte ve ileride yapılacak karşılaştırmalı bölgesel analizler için önemli bir referans olma ihtimalini barındırmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışma, Sakarya ilinde 2013–2019 yılları arasında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının BI ve CBS entegrasyonu ile çok boyutlu analizini sunarak, Türkiye’de bu alandaki sınırlı sayıdaki kapsamlı örneklerden biri olmuştur. Elde edilen bulgular, trafik güvenliği politikalarının bilimsel veriye dayalı olarak şekillendirilmesine yönelik önemli ipuçları sağlamaktadır.

Analiz sonuçları, kazaların büyük çoğunluğunun (%84) yerleşim yerlerinde, özellikle de otomobil (%55) ve ağır taşıtların (%18) karıştığı olaylarda gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu durum, şehir içi hız yönetimi, ağır taşıtların çevre yollarına yönlendirilmesi ve koridor bazlı otomatik hız denetim sistemlerinin yaygınlaştırılmasının kritik önemini göstermektedir. İki araçlı ve yandan/arkadan çarpışma türlerindeki yüksek oranlar, kavşak tasarımlarında dönel kavşak uygulamaları, akıllı sinyalizasyon optimizasyonu ve hız düşürücü fiziksel önlemler gibi mühendislik çözümlerinin öncelikli olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Çevresel koşulların etkisine bakıldığında, kazaların çoğunlukla açık hava ve gündüz saatlerinde meydana gelmesi, insan faktörünün—özellikle dikkat dağınıklığı ve riskli sürüş davranışlarının—kazalardaki belirleyici rolünü ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda, sürücü odaklı eğitim programları, emniyet kemeri ve kask kullanımı denetimlerinin sıklaştırılması, mobil denetim teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve kamuoyunu hedefleyen farkındalık kampanyaları öncelikli müdahale alanları olarak öne çıkmaktadır.

Karayolu geometrisi verileri, kazaların çoğunlukla düz ve kavşak olmayan yollarda, asfalt zemin üzerinde ve çoğu zaman aydınlatma eksiklikleriyle ilişkili olarak meydana geldiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, yol yüzeyi uyarıcılarının (örneğin reflektörlü çizgiler) yaygınlaştırılması, kavşak yaklaşım aydınlatmalarının güçlendirilmesi ve trafik levhalarının güncellenmesi gibi altyapısal iyileştirmelerin önemini vurgulamaktadır.

Sürücü profillerinde genç ve orta yaş grubunun kazalara daha fazla karışması, bu gruplara yönelik hedeflenmiş güvenli sürüş eğitimleri ve davranışsal müdahalelerin gerekliliğini ortaya koymuştur. Ayrıca, veri setindeki emniyet kemeri ve kask kullanımı konusundaki yüksek “bilinmiyor” oranı, veri toplama

süreçlerinin de iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmadan elde edilen bulgular, ulusal ve uluslararası verilerle karşılaştırıldığında benzer örüntüler göstermektedir. Örneğin, Sakarya'da otomobillerin kazalardaki payı yaklaşık %55'tir; bu oran Türkiye geneli için TÜİK (2021) istatistiklerinde de benzer seviyelerde seyretmektedir. Sakarya'da ağır taşıtların (kamyon, kamyonet ve çekici) toplam kazalardaki payı yaklaşık %18'dir. Avrupa Birliği genelinde ise bu oran yaklaşık %14'tür (European Commission, 2023). Kaza türleri açısından değerlendirildiğinde, Sakarya'da yandan ve arkadan çarpma kazalarının yüksekliği, Avrupa ülkelerinde raporlanan dağılımlarla benzerlik göstermektedir (European Commission, 2023). Literatürde yapılan bazı uluslararası çalışmalar da bu eğilimleri desteklemektedir. Örneğin Awad ve arkadaşları (2022), Birleşik Arap Emirlikleri'nde otomobillerin toplam kazaların yaklaşık %60'ında rol aldığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Mudongo ve arkadaşları (2021) Botswana'da yandan çarpma kazalarının %30'un üzerinde olduğunu bulmuşlardır. Rababah ve arkadaşları (2022) ise ABD'de araç türlerine göre kaza dağılımlarında otomobillerin baskınlığını vurgulamaktadırlar. Bu karşılaştırmalar, Sakarya'daki kaza örüntülerinin hem Türkiye geneliyle hem de uluslararası bulgularla örtüştüğünü, bazı farklılıkların ise bölgesel trafik yoğunluğu ve yol altyapısından kaynaklanabileceğini göstermektedir.

Genel olarak, bu çalışma BI ve CBS tabanlı analizlerin trafik güvenliği alanında sunduğu potansiyeli ortaya koymaktadır. Gelecek araştırmalarda, farklı bölgeler arasında karşılaştırmalı analizlerin yapılması, tahmine dayalı modelleme tekniklerinin (özellikle AI ve makine öğrenmesi algoritmaları) devreye alınması, sürücü davranışlarının sensör verileri ve IoT teknolojileri ile izlenmesi, çok kaynaklı veri entegrasyonunun sağlanması ve alınan önlemlerin etki analizlerinin yapılması önerilmektedir. Böylece hem mekânsal hem de zamansal boyutta daha doğru, hızlı ve proaktif trafik güvenliği stratejileri geliştirmek mümkün olacaktır.

Etik Kurul Onay Beyanı

Bu çalışma, EGM tarafından kamuya açık şekilde sağlanan ikincil nitelikteki trafik kazası verilerine dayanmaktadır. Araştırmada herhangi bir kişisel veri, özel nitelikli bilgi veya bireysel katılımcıdan elde

edilen birincil veri kullanılmamıştır. Çalışmada insan veya hayvan denekler üzerinde deneysel uygulama gerçekleştirilmediğinden dolayı etik kurul onayı gerekmemektedir. Tüm analizler anonimleştirilmiş ve istatistiksel olarak toplulaştırılmış veriler üzerinden yürütülmüştür.

Teşekkür Beyanı

Bu çalışmada kullanılan trafik kazası verilerini kamuoyuyla paylaşarak araştırma süreçlerine katkı sağlayan EGM'ye teşekkür ederim.

Yazar Notu

Bu makale, Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü'nde, Hüseyin Serdar GEÇER'in Prof. Dr. Erman COŞKUN danışmanlığında yürüttüğü "Trafik Kaza Analizleri İçin Web Tabanlı Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi: Sakarya İli Örneği" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

Kaynakça

- Akgül, E., Üstündağ, M. T., ve Tanrıverdi, M. (2018). Business intelligence application for campaign magagement in the retail sector. *Artificial Intelligence Studies*, 1(1), 8–25. <https://doi.org/10.30855/AIS.2018.01.01.02>
- Ayçin, E., ve Aşan, H. (2021). İş zekâsı uygulamaları seçimindeki kriterlerin önem ağırlıklarının fucom yöntemi ile belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 195–208. <https://doi.org/10.33707/akuiibfd.903563>
- Ayvaz, E. (2017). Stratejik maliyet yönetimi ve iş zekâsı. *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, 8(28), 7–20. <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2017.3.001.x>
- Awad, M., Redhaei, A. A. ve Fraihat, S. (2022, 22-23 Eylül). *Using business intelligence to analyze road traffic accidents* [Konferans sunumu]. Central and Eastern European eDem and eGov Days (CEEeGov '22). Association for Computing Machinery, New York NY, United States. <https://doi.org/10.1145/3551504.3551507>

- Chand, A., Jayesh, S. ve Bhasi, A. B. (2024). Contributing factors of road traffic accidents: Exploration through data visualization. *Transactions of the Indian National Academy of Engineering*, 9, 445-457. <https://doi.org/10.1007/s41403-024-00470-x>
- Córdova, F., Montt, C. ve Lagos, N. (2025). Model for analysis and evaluation of road crashes resulting in fatalities using business intelligent systems approach. *International Journal of Computers Communications & Control*, 20(2). <https://doi.org/10.15837/ijccc.2025.2.7017>
- Çelebi, H., ve Çakmak, A. F. (2019). Veri ambarı projelerinde etl performansını etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 22(2), 965-990. <https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.580424>
- Çetin, G., ve Tanrıöver, Ö. Ö. (2020). Personel iş zekâsı sistemi ve veri madenciliği ile personel memnuniyetinin ölçülmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 323-334. <https://doi.org/10.31590/ejosat.823340>
- Çetinyokuş, T., ve Özdiş, L. (2015). İş zekâsı yazılımı alternatiflerinin çok kriterli karar verme yöntemi ile değerlendirilmesi. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 1(2), 48-61.
- Council, F. M., Persaud, B., Eccles, K., Lyon, C., ve Griffith, M. S. (2005a). *Safety evaluation of red-light cameras* (Report No. FHWA-HRT-05-048). Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/05048/05048.pdf>
- Council, F. M., Persaud, B., Eccles, K., Lyon, C., ve Griffith, M. S. (2005b). *Safety evaluation of permanent raised pavement markers* (Report No. FHWA-HRT-05-049). Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/05049/05049.pdf>
- Damar, M. (2024). Sağlık sektöründe karar destek araçları: İş zekâsı, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve yapay zekâ uygulamaları. *İzmir Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2), 90-115. <https://doi.org/10.47899/ijss.1591168>
- Damar, M., ve Karaman, D. (2021). Açık veri ve iş zekâsı teknolojisi: İstanbul Büyükşehir Belediyesi dava verileri üzerine bir değerlendirme. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 5(2), 206-228. <https://doi.org/10.31200/makuubd.899741>
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), (2021). *Global status report on road safety - time for action*. <https://www.afro.who.int/publications/global-status-report-road-safety-time-action>
- European Commission, (2023). *Road safety thematic report: Professional drivers – trucks and buses. (Version 1.1)*. European Road Safety Observatory. Publications Office of the European Union. https://road-safety.transport.ec.europa.eu/document/download/e19cf119-eed4-4cb3-b1fd-1fd0b4554992_en
- Eren, A. ve Kaya, M. D. (2019). İş zekâsı sistemlerinde karar verme başarısının incelenmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*, (2019), 7(5), 2148-2176. <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i5.1257>
- Eren, A., ve Kaya, M. D. (2021). İş zekâsı ile performans ve değer elde etme. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 16(1). <http://dx.doi.org/10.47644/TurkishStudies.48030>
- Federal Highway Administration. (2021). *Roundabouts* (FHWA-SA-21-042). U.S. Department of Transportation. <https://highways.dot.gov/safety/proven-safety-countermeasures/roundabouts>
- Geçer, H. S. (2021). *Trafik kaza analizinde iş zekâsı tabanlı bir model önerisi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü.
- Hu, W. (2025, 13 Ağustos). Roundabouts. Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) <https://www.iihs.org/topics/roundabouts>
- Inmon, W. H. (2005). *Building the data warehouse*. John Wiley & Sons.
- Kimball, R., ve Ross, M. (2013). *The data warehouse toolkit: The definitive guide to dimensional modeling* (3. baskı). Wiley.

- Liu, Q., ve Garber, N. J. (2007). *Identifying the impact of truck-lane restriction strategies on traffic flow and safety using simulation* (Final Report). U.S. Department of Transportation, Research and Innovative Technology Administration; Virginia Department of Transportation. University of Virginia, Center for Transportation Studies.
- Madnira, S., Sandez, C. ve Abby, A. (2023). Business intelligence (BI) approach for traffic accidents analysis. *International Journal of Information Technology and Computer Science Applications (IJITCSA)*, 1(2), 86-95. <https://doi.org/10.58776/ijitcsa.v1i2.32>
- Mudongo, M., Thuma, E., Motlogelwa, N. P., Leburu-Dingalo, T. ve Majoo, P. (2021). Business intelligence and data warehouse technologies for traffic accident data analysis in Botswana. *Computer Science & Information Technology (CS & IT)*, 11, 231-247. <https://doi.org/10.5121/csit.2021.111720>
- Nusa, F. N. M., Ishak, S. Z., Rusli, R., Isa, C. M. M., Manan, M. M. A. ve Sulistyono, S. (2023). Road crash data visualisation and analytics using tableau for mountainous roadway areas in Cameron Highlands, Malaysia. *Planning Malaysia*, 21(28). <https://doi.org/10.21837/pm.v21i28.1314>
- Özen, M. (2018). Türkiye'deki karayolu trafik kazalarındaki eğilimler, 1980-2016. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 732-740. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.444765>
- Özen, M. ve Zorlu, F. (2018). Türkiye'de devlet karayollarında kaza oranlarının ve kaza örüntüsünün analizi. *Teknik Dergi*, 29(5), 8589-8604. <https://doi.org/10.18400/tekderg.308318>
- Özen, O. (2020). *Kamu hastanelerinde tanı ve tedavi süreçlerinde bekleme sürelerinin analizi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Pazarçeviren, S. Y., Zor, Ü., ve Gürbüz, F. (2015). İş zekâsı: Kavramsal çerçeve, bileşenler ve işleyiş. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 75-91.
- Rababah, M., Maydanchi, M., Pouya, S., Basiri, M., Azad, A. N., Haji, F. ve Aminjarahi, M. (2022). Data visualization of traffic violations in Maryland, U.S. *arXiv preprint arXiv:2208.10543*. Erken çevrimiçi yayın. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.10543>
- Rabbani, M. B. A., Musarat, M. A., Alaloul, W. S., Maqsoom, A., Bukhari, H. ve Rafiq, W. (2021). Road traffic accident data analysis and its visualization. *Civil Engineering and Architecture*, 9(5), 1603-1614. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090530>
- Rothman, L., Macpherson, A., Buliung, R., Macarthur, C., To, T., Larsen, K., ve Howard, A. (2015). Installation of speed humps and pedestrian-motor vehicle collisions in Toronto, Canada: a quasi-experimental study. *BMC public health*, 15(1), 774. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-2116-4>
- Sakib, A., Ismail, S. A., Sarkan, H., Azmi, A. ve Mohd Yusop, O. (2018, 9 Eylül). *Analyzing traffic accident and casualty trend using data visualization* [Konferans sunumu]. Recent Trends in Data Science and Soft Computing: Proceedings of the 3rd International Conference of Reliable Information and Communication Technology (IRICT 2018). https://doi.org/10.1007/978-3-319-99007-1_9
- Shelton, J., Morgan, C., Warner, J., Valdez, G., Sharma, S., Pesti, G., Le, M., ve Balke, K. (2020, 1 Ekim). *Strategies for managing freight traffic through urban areas: Technical report* (Report No. FHWA/TX-18/0-6851-R1). Texas A&M Transportation Institute; Texas Department of Transportation; Federal Highway Administration. <https://tti.tamu.edu/documents/0-6851-R1.pdf>
- Sunkpho, J. ve Wipulanusat, W. (2020). The role of data visualization and analytics of highway accidents. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 17(12), 1379-1389. <https://doi.org/10.48048/wjst.2020.10739>
- Tester, J. M., Rutherford, G. W., Wald, Z., ve Rutherford, M. W. (2004). A matched case-control study evaluating the effectiveness of speed humps in reducing child pedestrian injuries. *American Journal of Public Health*, 94(4), 646-650. <https://doi.org/10.2105/AJPH.94.4.646>

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2021). *Karayolu trafik kaza istatistikleri, 2020* (Yayın No: 37436). Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/bulten/index?p=karayolu-trafik-kaza-istatistikleri-2020-37436>

Ülker, G. ve Coşkun, E. (2015, 26-29 Mayıs). *The analysis of traffic accidents with a business intelligence approach: An application in Turkey* [Konferans sunumu]. International Interdisciplinary Business-Economics Advancement Conference. <https://doi.org/10.5038/2372-5885-v4>

Ülker, G. (2020). *Üniversite analitiği (Üniversite yönetiminde iş zekâsı ve iş analitiği uygulamaları)* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü.

Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J. K., Le Brocque, R., ve Bellamy, N. (2010). Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths. *Cochrane Database of Systematic Rreviews*, (10). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004607.pub3>

Zhu, Y., Demiroglu, S., Ozbay, K., Xie, K., Yang, H. ve Sha, D. (2021). SAVE-T: Safety analysis visualization and evaluation tool. *Journal of Advanced Transportation*, 2021(1), 5545117. <https://doi.org/10.1155/2021/5545117>