

Eskişehir Kent Merkezindeki Trafik Kazalarının Zamana Bağlı Konumsal Analizi

Spatiotemporal Analysis of Traffic Accidents in Eskişehir City Center

Vural Yıldırım¹, Erdem Yurdakul¹, Gökben Adana Karaağaç^{1*}, Merve Koçer¹,
Hakan Uyguçgil²

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ABD, 26555, Eskişehir/Türkiye.

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri ABD, 26555, Eskişehir/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Gökben Adana Karaağaç
gokbenkaraagac@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1167844

Yayın süreci

Geliş tarihi: 28.08.2022

Kabul tarihi: 20.02.2023

Basım tarihi: 28.03.2023

Özet

Trafik kazalarının önlenmesinde ilk yapılması gereken işlem kazaların yoğunlaştığı noktaların belirlenmesidir. Bu amaçla 2010-2019 yılları arasında Eskişehir kent merkezinde meydana gelen trafik kazaları istatistiksel olarak benzer, yaklaşım olarak farklı iki yöntem kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada önce klasik sıcak nokta analizi kullanılmış ve 15 sıcak nokta tespit edilmiştir. Daha sonra aynı veri seti konum-zaman küpü kullanılarak zamana bağlı sıcak nokta yöntemi ile analiz edilmiş, 50 aralıklı, 10 yeni, 7 ardışık, 4 sürekli, 1 azalan ve 1 yoğunlaşan olmak üzere toplam 73 sıcak nokta bulunmuştur. İki yöntemin sonuçları kıyaslandığında, zamana bağlı sıcak nokta analizi ile 1. bölgedeki sıcak nokta sayısının 6'dan 19'a, 2. bölgedeki sıcak nokta sayısının 2'den 20'ye, 3. bölgedeki sıcak nokta sayısının 3'den 12'ye, 4. bölgedeki sıcak nokta sayısının 3'den 11'e ve 5. bölgedeki sıcak nokta sayısının 1'den 11'e çıktığı görülmüştür. Klasik sıcak nokta analizine kıyasla zamana bağlı sıcak nokta analizi ile farklı konumlarda ve farklı desenlerde daha çok trafik kazası sıcak noktalarının tespit edilmesi, konumun ve zamanın bir arada kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda zamana bağlı sıcak nokta analizinin klasik sıcak nokta analizine göre daha detaylı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Trafik kazaları, Konum-zaman küpü yöntemi, Klasik sıcak nokta analizi, Zamana bağlı sıcak nokta analizi

Abstract

The first thing to do in preventing traffic accidents is to determine the spots where the accidents are concentrated. For this purpose, traffic accidents in Eskişehir city center that occurred between 2010-2019 were analyzed using two methodologies those are statistically similar but different in approaches. Firstly, classical hot spot analysis was performed, and 15 hot spots were found. Subsequently, the same data set was analyzed with the emerging hot spot using the space-time cube method, and a total of 73 hot spots were detected, including 50 sporadic, 10 new, 7 consecutive, 4 persistent, 1 diminishing, and 1 intensifying. A comparison of the results of the two methodologies shows an increase in the number of hot spots in the first region from 6 to 19, in the second region from 2 to 20, in the third region from 3 to 12, in the fourth region from 3 to 11 and in the fifth region from 1 to 11. Finding more hot spots in different locations and patterns with emerging hot spot analysis proportional to classical hot spot analysis reveals the importance of using location and time together. As a result of the study, it was observed that the emerging hot spot analysis provides more detailed outcomes whence the classical hot spot analysis.

Keywords: Geographic Information Systems, Traffic accidents, Space-time cube method, Classical hot spot analysis, Emerging hot spot analysis

1. Giriş

Can ve mal kayıpları ile sonuçlanan trafik kazaları, ülkemizde ve dünyada günden güne daha büyük bir problem haline gelmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden biri, artan nüfus ve buna bağlı olarak artan araç sayısıdır. Trafik kazalarının nedenlerinin ya da daha çok hangi bölgelerde yoğunlaştığının tespit edilmesi ve bunlara çözümler üretilmesi, kamu sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir konudur. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization - WHO) istatistiklerine göre; her yıl 1,3 milyon insan trafik kazaları nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Bu kazaların maliyeti, çoğu ülkenin gayrisafi yurtiçi hasılasının yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır. Kazaların yarısından fazlası yayaların, bisikletlilerin ve motosiklet sürücülerinin hayatlarını kaybetmeleriyle sonuçlanmakta ve ölümlü sonuçlanan kazalar daha çok düşük ve orta gelirli ülkelerde meydana gelmektedir (WHO, 2022). Karayolları Genel Müdürlüğü 2021 yılı trafik kazaları özetine göre, Türkiye'de 2021 yılında yaklaşık 1,2 milyon trafik kazası gerçekleşmiştir. Bu kazaların yaklaşık 188 bini ölümlü veya yaralanmalı olarak kayıtlara geçmiştir (TCK, 2021). Dünya Sağlık Örgütü ve Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü'nün istatistiklerine bakıldığında; trafik kazalarına hangi faktörlerin neden olduğunun tespit edilmesi, bu kazaları azaltıcı ya da önleyici tedbirler alınması, kazaların hangi noktalarda ya da bölgelerde yoğunlaştığının bilinmesi gerekliliğinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Şehirleşmeye ve ticari alanlardaki değişimlere bağlı olarak kentlerin trafik yoğunlukları değişim göstermekte ve trafik kazaları kentlerin önemli bir problemi haline gelmektedir. Bu problemin çözümünde en kritik konulardan biri, kazaların yoğunlaştığı bölgelerin tespit edilip, gerekli tedbirlerin alınmasıdır. Literatürde konuyla ilgili çalışmalarda, kazalar genellikle belirli bir yıl gibi zaman kesitini kapsamaktadır. Tek bir yıl veya zaman kesiti ile çalışmak çok fazla açıklayıcı bilgi vermemektedir. Bu nedenle, trafik kazalarının zamana bağlı olarak analiz edilmesi daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

Özellikle ölüm ve yaralanmalarla sonuçlanan trafik kazalarını azaltmak ya da engellemek ve trafik ve yol güvenliğini artırmak için politika yapıcılara karar verme süreçlerinde yardımcı olacak bilimsel yöntemler geliştirilmiştir (Uğur Özçelik vd., 2013). Bu yöntemlerden bazıları trafik kazalarını etkileyen sürücü yaşı, sürücü cinsiyeti, yol genişliği, aydınlatma, hava durumu gibi faktörleri incelerken; bazıları kazaların yoğunlaştığı noktaları ya da bölgeleri inceleyen yöntemlerdir. Trafik kazaları, gerçekleştikleri coğrafi alanda yoğunlukla kümelenme eğilimi göstermektedir (Xie ve Yan, 2008). Trafik kazalarının yoğunlaştığı bölgelerin tespitinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri sıcak nokta analizidir. Sıcak nokta analizi, yerel ölçekte gerçekleşen olayların yoğunluğunu ve kümelenmesini gösteren, tanımlanabilir bir sınır içerisindeki konumu veya küçük bir alanı belirlemeye yardımcı olan analizdir (Ord ve Getis, 1995). Ayrıca, trafik kazalarının sıcak noktalarının belirlenmesi trafik güvenliği stratejilerinin oluşturulması (Moons vd., 2009) ve güvenlik iyileştirmeleri kapsamında kaynakların uygun şekilde kullanılabilmesi için kilit bir konu olarak görülmektedir (Anderson, 2009).

Bu çalışmada, Eskişehir ili kent merkezinde 2010-2019 yılları arasında gerçekleşen trafik kazalarının zamana bağlı konumsal analizinin, konum-zaman küpü yöntemi ile gerçekleştirilen zamana bağlı sıcak nokta analizi ile incelenmesi ve aynı veri seti üzerinden zamandan bağımsız olan sıcak nokta analizi ile sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın amacına bağlı olarak literatür özeti, sıcak nokta analizi ve zamana bağlı sıcak nokta analizi ile trafik kazalarını inceleyen çalışmalar kapsamında ele alınmıştır.

2008-2013 yılları arasında Kahramanmaraş şehir merkezinde trafik kazalarının yoğunlaştığı bölgelerin tespit edilerek, alınması gereken tedbirler ile ilgili önerilerin sunulması (Özmal vd., 2014); Etiyopya'nın Bahir Dar ile Gondar kasabası arasındaki yolda 2008-2011 yılları arasında gerçekleşen 460 trafik kazası verisi kullanılarak, kazaların sıcak noktalarının tespit edilmesi (Yohannes ve Minale, 2015); Sri Lanka'nın Galle kentinde meydana gelen trafik kazalarının sıcak noktalarının tespit edilip, kazalara etki eden faktörlerin ortaya konması (De Silva vd., 2018); Etiyopya'nın Hosanna ilçesinde 2015-2017 yılları arasında gerçekleşen trafik kazalarının sıcak noktalarının tespit edilerek, can ve mal kaybının önlenmesinin amaçlanması (Hayidso vd., 2019); Çekya'da 2010-2018 yılları arasında gerçekleşen 55.296 adet kaza verisi kullanılarak, ana yolların kırsal kesimlerinde meydana gelen kazaların sıcak noktalarının tespit edilmesi (Bil vd., 2019); 2013-2018 yılları arasında illere göre Türkiye'deki trafik kaza oranlarının konum-zaman ilişkisini dikkate alarak, kazaların mekansal dağılımının betimlenmesi ve modellenmesi (Yıldırım ve Mert Kantar, 2020); trafik kazalarının sıcak noktalarını belirlemede kullanılan yöntemlerin performanslarının karşılaştırılması (Amiri vd., 2021); Etiyopya'nın Oromia bölgesinde 2014-2017 yılları arasındaki trafik kazalarının sıcak noktalarının belirlenmesi (Tola vd., 2021); Nijerya'nın Lokoja-Abuja-Kaduna karayolunda 2013-2017 yılları arasında gerçekleşen kaza verileri kullanılarak yüksek riskli konumların yani sıcak noktaların belirlenmesi (Afolayan vd., 2022) gibi çalışmalarda trafik kazaları sıcak nokta analizi ile incelenmiştir.

Literatürde konum-zaman küpü yöntemi ile trafik kazalarını açıklayan bazı çalışmalar bulunmaktadır. 2001-2013 yılları arasında Batı Avustralya'da gerçekleşen mafsallı ağır vasıta kazalarının yoğunluğunun ve sıcak noktalarının tespiti (Gudes vd., 2017); 2012-2015 yılları arasında Seul'de meydana gelen trafik kazalarının şiddetini etkileyen faktörlerin analizi ve bu kazaların konum-zaman özelliklerinin görselleştirilmesi (Kang vd., 2017); Seul'de yaşlı nüfusun karıştığı trafik kazalarının konumsal özelliklerinin zamana göre nasıl değiştiğinin incelenmesi (Kang vd., 2018); Çin'in Wujiang şehrinde 2016 yılında yol kavşaklarında meydana gelen trafik kazalarının sıcak noktalarının belirlenmesi (Cheng vd., 2018); Çin'in Şenzen şehrinin Huaifu alt bölgesindeki yüksek riskli çarpışma noktalarının bulunması ve bu çarpışmaların konum-zaman

desenlerinin elde edilmesi (Wu vd., 2021); Ürdün'ün İrbid şehrinde 2015-2019 yılları arasında meydana gelen trafik kazalarının konum-zaman desenlerinin araştırılması (Hazaymeh vd., 2022); Kore'de ölümle sonuçlanan trafik kazası verileri ile artan ve azalan eğilimler yardımıyla kaza sıcak noktalarının belirlenmesi (Tamakloe ve Park, 2022) gibi çalışmalar trafik kazalarının konum-zaman küpü ile analiz edildiği çalışmalara örnek olarak gösterilebilir. Konum-zaman küpü ile sadece araçların karıştığı kazalar değil, yaya kaynaklı trafik kazalarının meydana gelme nedenlerini ve ciddiyetini araştıran çalışmalar da bulunmaktadır (Yoon ve Lee, 2022).

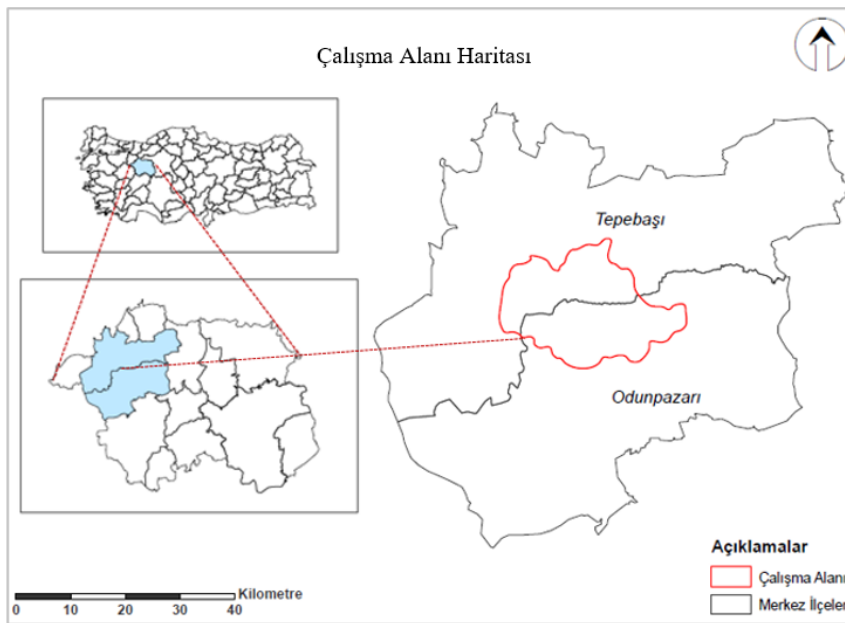
Konu ile ilgili literatüre bakıldığında trafik kazalarının sıcak noktalarını tespit etmede zaman faktörünün dikkate alınmadığı çalışmaların çoğunlukta olduğu, zaman faktörünü dikkate alan çalışmaların çok fazla olmadığı, zamanı dikkate alan çalışmaların ise büyük bir bölümünün 10 yıl gibi uzun bir zaman dilimini kapsamadığı görülmüştür. Yapılan çalışmada 10 yıllık zaman diliminin kullanılması ve klasik sıcak nokta ve zamana bağlı sıcak nokta analizinin karşılaştırılarak sonuçların yorumlanması çalışmanın özgün değerini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak çok daha küçük bir alanda çalışılmış, sokak ölçeğine kadar inilerek daha fazla ayrıntıya değinilerek, kent merkezinde önlem alınması gereken noktalar açıkça vurgulanmıştır. Çalışma çıktıların, şehir içi yol güvenliğinin sağlanması ve mal ve can kayıplarının azaltılması ya da önüne geçilmesi gibi konularda katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde materyal ve yöntem açıklanmıştır. Üçüncü bölümde bulgular ortaya konmuş; dördüncü bölümde sonuçlara ve tartışmalara yer verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Karayolunda gerçekleşen trafik kazalarının yoğunluğunu belirlemede farklı istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Araştırmacılar tarafından geliştirilen konumsal istatistik yöntemleri ile trafik kazalarının sıcak noktalarının belirlenmesinin doğruluğu artırılarak, görsel olarak sunumu zenginleştirilmiştir (Thomas, 1995). Bu bölümde, çalışma alanı ve çalışmadaki analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan materyal ve yöntemler açıklanmıştır.

2.1. Çalışma Alanı

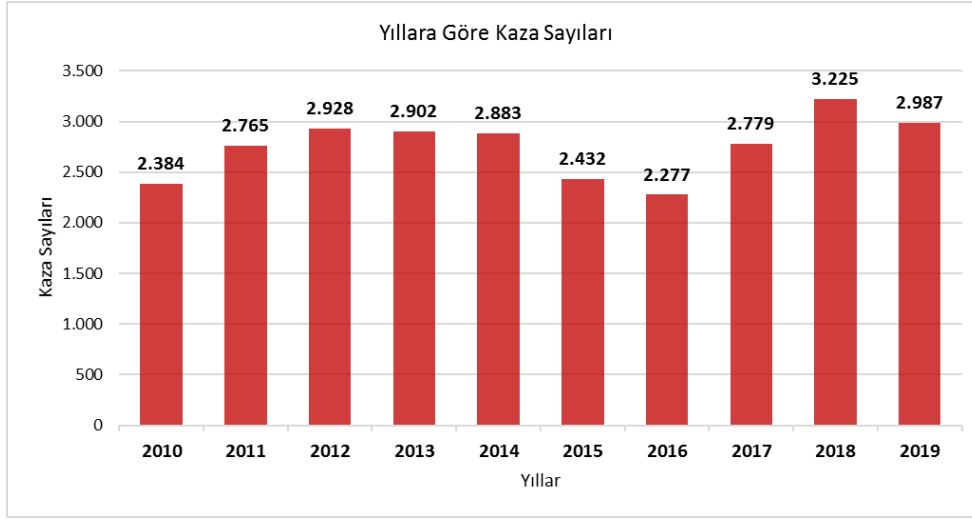
Eskişehir ili Tepebaşı ve Odunpazarı merkez ilçeler olmak üzere toplam 14 ilçeden oluşmaktadır (Şekil 1). Bu 2 merkez ilçenin yüzölçümü yaklaşık 2.500 kilometrekare olup, kentin toplam yüzölçümünün %18'ini oluşturmaktadır. 2019 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi sonuçlarına göre Eskişehir'in nüfusu 887.475'tir (TÜİK, 2022). Tepebaşı ve Odunpazarı ilçelerinin nüfusu sırasıyla 370.150 ve 413.461'dir. Merkez ilçelerin nüfusunun, toplam nüfus içerisindeki payı %88,3'tür. Nüfusa bağlı olarak kent merkezindeki araç sayısı ve araç kullanım oranı diğer ilçelere göre oldukça yüksektir. Çalışmanın materyal bölümünde ayrıntılı şekilde anlatılan kaza verileri incelendiğinde, kaza noktalarının daha çok kent merkezinde yoğunlaştığı, diğer ilçelerde ve kırsalda bir analiz gerçekleştirecek kadar kaza verisi olmadığı görülmüştür. Bu nedenle Şekil 1'de gösterilen Eskişehir'in merkez ilçelerinde trafik kazalarının yoğunlaştığı bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

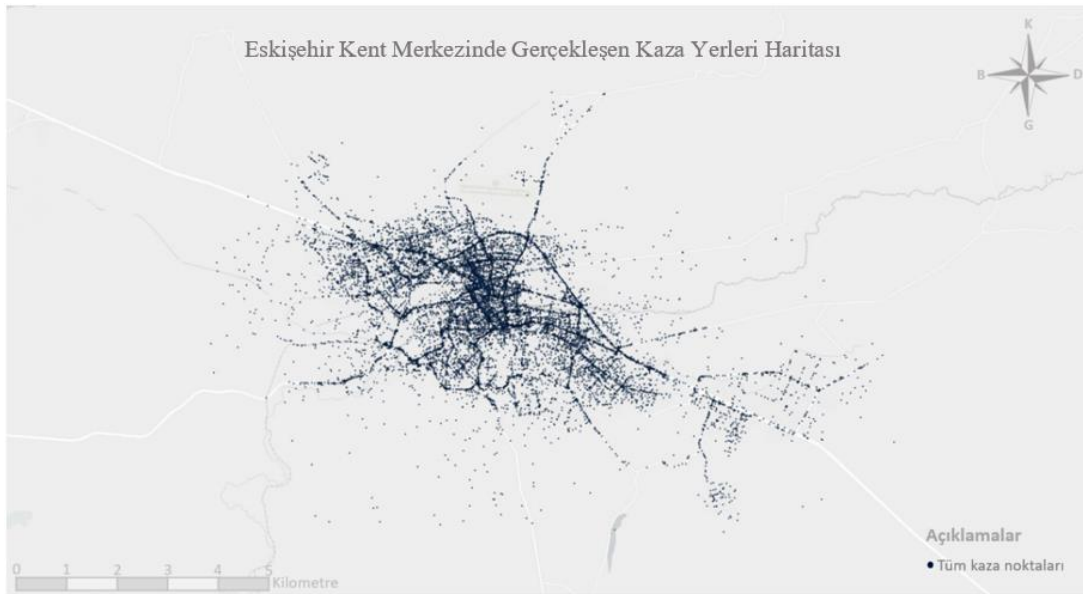
2.2. Materyal

Çalışmada, 2010-2019 yılları arasında Eskişehir kent merkezinde gerçekleşen trafik kaza verileri kullanılmıştır. Söz konusu yıllara ait kaza verileri, Eskişehir İl Emniyet Müdürlüğü'nün kaza tutanaklarından oluşturmuş olduğu ve kazaların konum ve zaman bilgisini içeren veri setinden elde edilmiştir. Veri seti içerisinde zaman veya konum bilgisi olmayan kazalar analize dahil edilememiştir. Kaza noktaları incelendiğinde, yollardan sapmalar olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin kaza anında araçların yolun dışına savrulmuş olma olasılıkları olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kaza noktalarının yanlış tespiti veya kayıt hataları da kaza noktalarının yoldan sapmasına neden olabilmektedir. Bu olasılıkları ortadan kaldırmak için yol dışında kalan kazalar yollarla ilişkilendirilmiştir. Yollarla ilişkilendirilemeyen kazalar çalışmaya dahil edilmemiştir. Veri düzenleme işlemleri sonunda, çalışma kapsamında kullanılabilir toplam 27.562 adet kaza noktası elde edilmiş ve analize dahil edilmiştir. Şekil 2'de 2010-2019 yılları arasında Eskişehir kent merkezinde gerçekleşen trafik kazalarının yıllara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 2. Yıllara göre trafik kazası sayıları

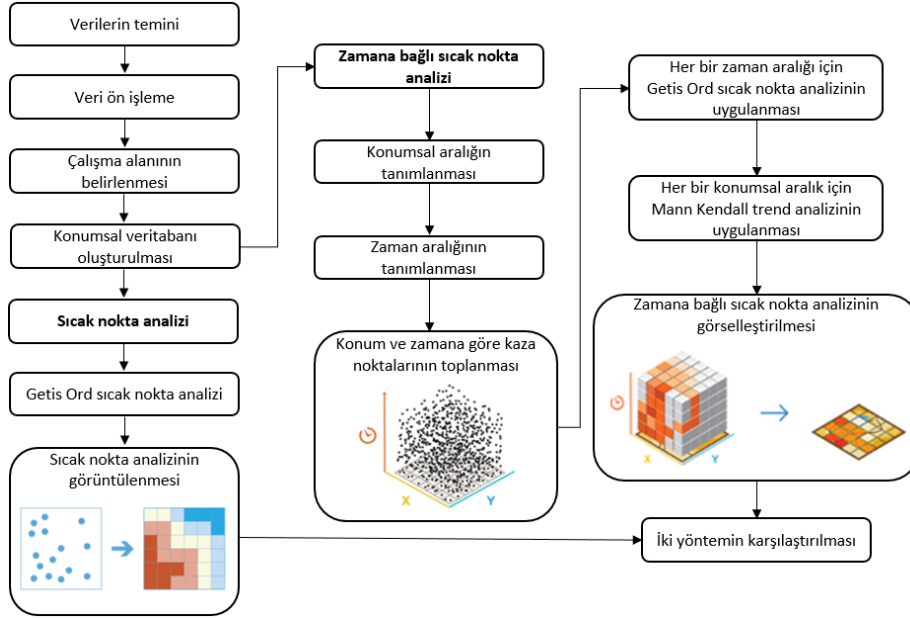
Eskişehir kent merkezinde; 2010 yılında 2.384, 2011 yılında 2.765, 2012 yılında 2.928, 2013 yılında 2.902, 2014 yılında 2.883, 2015 yılında 2.432, 2016 yılında 2.277, 2017 yılında 2.779, 2018 yılında 3.225 ve 2019 yılında 2.987 adet olmak üzere toplam 27.562 adet kaza meydana gelmiştir. 2010-2019 yılları arasında çalışma alanı içerisinde gerçekleşen tüm trafik kazalarının dağılımı Şekil 3'deki gibidir.



Şekil 3. 2010-2019 yılları arasındaki Eskişehir kent merkezinde gerçekleşen kaza yerleri

2.3. Yöntem

Çalışma kapsamında Eskişehir kent merkezinde 2010-2019 yılları arasında gerçekleşen trafik kazalarının analizi, klasik sıcak nokta ve konum-zaman küpü yöntemi ile zamana bağlı konumsal desenleri tespit etmeye yarayan zamana bağlı sıcak nokta analizi ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan analizlerin adımları Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Çalışmanın yöntem akış şeması

Çalışmada klasik sıcak nokta ve zamana bağlı sıcak nokta analizlerinin gerçekleştirilip sonuçlarının karşılaştırılması aşamasına kadar yapılan işlemler, Eskişehir Emniyet Genel Müdürlüğünden kaza verilerinin elde edilmesi ile başlamıştır. 2010-2019 yılları arasında Eskişehir kent merkezinde gerçekleşen trafik kaza verileri, kurumdan Access ve Excel formatında temin edilmiştir. Veri ön işleme aşamasında veri seti .csv (comma seperated values-virgülle ayrılmış değerler) formatına dönüştürülerek, veri alanlarındaki veri tipleri belirlenmiştir. Kazaların enlem ve boylam değerlerini içeren .csv uzantılı metin dosyası WGS 84/UTM zone 36N projeksiyon sisteminde nokta veri olarak yazılıma girilmiş ve konumsal veri setine dönüştürülmüştür.

Emniyet Genel Müdürlüğünden Eskişehir’in merkez ilçeleri olan Tepebaşı ve Odunpazarı’na ait kaza verileri temin edildiğinden, kent merkezine düşen kazaları belirlemek için konuma dayalı sorgulama yapılmıştır. Yapılan sorgulama sonucunda anlamsız kaza noktaları veri setinden çıkarılmış, yeni bir veri seti elde edilip dosya konumsal veritabanına (file geodatabases) kaydedilmiştir. Çalışma alanının sınırları, analiz gerçekleştirilecek yapıda ve sayıda veri olan kaza noktalarının yoğunlaştığı kent merkezi olarak belirlenmiştir. Tüm bu veri ön işleme adımlarından sonra veriler analize hazır hale getirilmiştir.

Analize hazır veri seti üzerinden zamana bağlı sıcak nokta analizi gerçekleştirebilmek için öncelikle konumsal aralıklar (mesafe) 50 metre ve zamansal aralıklar 1 yıl olarak tanımlanmıştır. Kaza noktaları konum ve zamana göre grid yapıdaki küpler içerisine toplanmıştır. Kaza noktaları konum ve zamana bağlı olarak çalışmanın görselleştirilmesinde tercih edilen altıgenler ile birleştirilerek netCDF dosyaları oluşturulmuştur. NetCDF dosyası üzerinden her bir yıl (yatay kesit) için Getis Ord sıcak nokta analizi, her bir konum (dikey kesit) için Mann-Kendall trend analizi yapılmıştır. Trend analizinde anlamlı çıkan altıgenler Tablo 2’ye göre sınıflandırılarak, 2 boyutlu altıgenler ile görselleştirilmiştir. Ardından aynı veri seti üzerinden zamanı dikkate almayan klasik sıcak nokta analizi gerçekleştirilmiş ve Getis Ord G_i^* istatistiği hesaplanmıştır. Yatay kesitte yani her bir yıl için yapılan analiz sonuçları ise 3 boyutlu olarak görselleştirilmiştir. Son olarak yapılan 2 analizin sonuçları karşılaştırılmıştır.

2.3.1. Getis-Ord G_i^* İstatistiği

Getis-Ord G_i^* istatistiği istatistiksel olarak anlamlı olan sıcak ve soğuk noktaların tanımlanmasında kullanılan bir yöntemdir. Burada bahsi geçen *sıcak nokta*, komşularına göre istatistiksel olarak anlamlı olan yüksek değerlerin konumsal kümelenmesini; *soğuk nokta* ise komşularına göre istatistiksel olarak anlamlı olan düşük değerlerin konumsal kümelenmesini ifade etmektedir.

Getis-Ord G_i^* istatistiği, 1992 yılında Getis ve Ord tarafından uzaklığı kullanarak konumsal ilişkiyi analiz etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu istatistikte satır standartlaştırılmış ağırlık matrisinin hiçbir etkisi yoktur. Sonuçlar standartlaştırılmamış ağırlık matrisinin kullanılmasıyla benzerlik göstermektedir. Bu yöntem kullanılırken sabit uzaklık (fixed distance band) kullanılması önerilmektedir (Getis ve Ord, 1992). Getis-Ord lokal istatistiği Eşitlik 1'deki gibi ifade edilir:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (1)$$

eşitlikteki x_j değişkenin j . bölgedeki değeri; w_{ij} i ve j bölgeleri arasındaki konumsal ağırlık; n , toplam birim sayısına eşittir ve Eşitlik 2'deki şekilde hesaplanır:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

G_i^* istatistiğinin anlamlılık sınavında, z-puanları ve p-değerleri kullanılır. Analiz sonucunda verilen z-puanları ve p-değerleri, yüksek veya düşük değerlere sahip özelliklerin konumsal olarak nerelerde kümelendiğini gösterir. Söz konusu istatistiği kullanarak sonuçlar üreten sıcak nokta analizinde komşuluk ilişkileri dikkate alınır. Yani bir noktanın istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak nokta olabilmesi için hem kendi değerinin yüksek olması hem de yüksek değerli noktalar ile çevrili olması gerekir. G_i^* istatistiği komşu özellikler bağlamındaki her bir noktayı hesaplamaya dahil eder ve z-puanı, p-değeri ve güven seviyesi ile yeni bir özellik sınıfı oluşturulmasını sağlar.

Yüksek z puanına ve küçük p değerine sahip özellikler, istatistiksel olarak önemli sıcak nokta; düşük negatif z puanına ve küçük p değerine sahip özellikler istatistiksel olarak önemli soğuk noktalar anlamına gelir. G_i^* istatistiğinin farklı güven düzeylerinde sonuçlar vermesi, hangi sıcak noktanın diğerlerine göre daha etkin olduğu konusunda çıktılar sağlar (Li vd. 2017). Sıcak nokta analizinin farklı güven düzeylerinde verdiği sonuçlar yapılan çalışma kapsamında yorumlandığında; %99 güven düzeyindeki bir sıcak noktanın, %95 ve %90 güven düzeyindeki bir sıcak noktaya göre trafik kazaları açısından daha riskli bir yer olduğu anlamına gelmektedir. Tablo 1'de farklı güven düzeyleri için kritik p-değerleri ve z-puanları verilmiştir.

Tablo 1. G_i^* istatistiği güven düzeyleri, p-değerleri ve z-puanları

Güven düzeyi	p-değerleri	z-puanları
%90	< 0.10	< -1.65 ya da > +1.65
%95	< 0.05	< -1.96 ya da > +1.96
%99	< 0.01	< -2.58 ya da > +2.58

2.3.2. Mann-Kendall Trend Analizi

Trend (eğilim) analizi değerlerin istatistiksel olarak zaman içerisindeki anlamlı olan genel artış veya azalışlarını ifade etmektedir. Mann-Kendall trend analizini kullanarak zamansal değişimi inceleyen zamana bağlı sıcak nokta analizinin orijinal adı "Emerging hot spot analysis" dir. Emerging kelime olarak "ortaya çıkan, beliren, öne çıkan..." anlamlarına gelmesine rağmen, analizin özüne ve sonuç olarak verdiği desenlere bakıldığında yeni, tarihi, aralıklı, sürekli, azalan gibi zamansal kavramlarla ilgili olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışmada analizin adı "zamana bağlı sıcak nokta analizi" olarak kullanılmıştır. Zamana bağlı sıcak nokta analizinde zamansal değişimi incelemeye Mann-Kendall trend analizi kullanılmaktadır. Getis-Ord G_i^* istatistiği ve Mann-Kendall trend analizinin kullanıldığı bu yöntemde sıcak noktalar, zamana bağlı gösterdikleri eğilime göre kategorize edilebilmektedir.

Mann-Kendall trend analizi parametrik olmayan bir sıra korelasyon testidir. Çok fazla varsayıma dayanmadığından, kolayca hesaplanabilmektedir. Zaman dilimlerini kıyaslayarak gerçekleştirilen analizde; ilk zaman dilimi ikincisinden küçüğe +1, ilk zaman dilimi ikincisinden büyüğe -1 ve iki zaman dilimi birbirine eşitse 0 değerini alır. Burada 0 eğilimin olmadığını, +1 pozitif ya da artan bir eğilimi -1 ise negatif veya azalan bir eğilimi ifade eder. Tüm zaman dilimleri için bu hesaplamalar yapılır. Mann-Kendall test istatistiği Eşitlik 3'teki denklem ile ifade edilir:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3)$$

Denklemdaki *sign* işaret fonksiyonudur ve -1, 0 ve +1 değerlerini almaktadır. *n*, toplam birim sayısına eşittir. Toplamda *S* pozitif çıkarsa, zaman içinde artan bir eğilimi; negatif çıkarsa da azalan bir eğilimi ifade etmektedir. Eğilimin anlamlı olup olmadığına ise *z* testi ile karar verilir.

2.3.3. Konum-Zaman Küpü Yöntemi ve Zamana Bağlı Sıcak Nokta Analizi

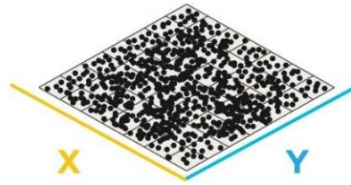
Klasik istatistiksel teknikler, bir değişkendeki verilerin birbirinden bağımsız olması varsayımına dayanır. Tobler (1970) tarafından coğrafyanın ilk kuralı: “Her şey her şeyle ilişkilidir fakat yakın olanlar uzak olanlara göre daha çok ilişkilidir.” şeklinde tanımlanmıştır. Bu kurala göre ilişkiler açıklanırken uzaklık baz alınmaktaydı. Günümüzde ise uzaklığın yanında zaman da önemli bir etken olarak ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle Tobler’in ifadesindeki yakınlık kavramına zamanı da eklemek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu durumda Tobler’in sözü: “Her şey her şeyle ilişkilidir fakat yakın ve yeni olanlar uzak ve geçmiş olanlara göre daha çok ilişkilidir” şeklinde ifade edilebilir. Bu ilişkiler yakın zamana kadar konumsal ve zamana bağlı olarak ayrı ayrı incelenmekteydi. Coğrafi bilgi sistemleri ve istatistiksel yazılımların gelişmesiyle birlikte yapılan teorik çalışmalarda, artık konum ve zaman birlikte incelenmeye başlanmıştır.

Klasik sıcak nokta analizinde veriler zamandan bağımsız olarak sadece konumsal şekilde incelenmektedir. Zamana bağlı sıcak nokta analizinde ise veriler konumsal ilişkinin yanında zamansal değişimin de dikkate alınmasıyla sıcak veya soğuk noktaların tespit edilmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Konum-zaman küpü yöntemi ile sıcak ve soğuk noktalar eğilim yardımıyla analiz edilebilmektedir. Yöntemdeki sıcak ve soğuk nokta analizleri Getis-Ord G_i^* , eğilim analizinde Mann-Kendall istatistiklerini kullanan zamana bağlı sıcak nokta analizi ile gerçekleştirilmektedir. Konum-zaman küpü yöntemi ile oluşturulan küpler, konum ve zaman bilgisi içeren verinin zaman serisi analizlerinde, konuma bağlı zamansal desen analizinde ve 2 ve 3 boyutlu görselleştirmesinde kullanılmaktadır (ESRI, 2022a).

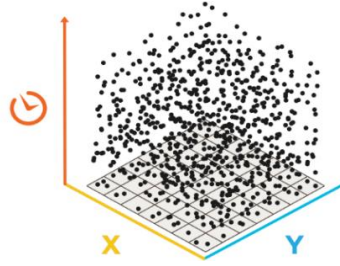
Analizde kullanılan veri seti noktalardan oluşuyorsa, çalışma alanı belirlenen uzaklıklara bağlı olarak kare balık ağı veya altıgen şeklindeki grid yapıdaki küplere (grid cubes) ayrılır. Bu sayede veri hem uzaklık bakımından hem de zaman bakımından küplerle ifade edilmiş olur. Çalışma alanında konum-zaman küplerinin oluşturulabilmesi için en az 10 zaman dilimi kullanılmalıdır. Bu zaman dilimleri; saniye, dakika, saat, gün, hafta, ay, mevsim, yıl, 5 ya da 10 yıllık şekilde yapılandırılabilir. Veri küplerle ifade edildikten sonra zamana bağlı sıcak nokta analizi için bu küplere istatistiksel yöntemler uygulanır. İki aşamadan oluşan istatistiksel yöntemlerde ilk olarak aynı zaman dilimlerinde (yani yatay eksende) Getis-Ord G_i^* ile sıcak noktalar hesaplanır. İkinci aşamada tüm zaman dilimleri arasında (yani dikey eksende) Mann-Kendall ile eğilim analizi yapılarak süreç içerisindeki eğilim ortaya konur.

Yukarıda bahsedilen istatistiksel yöntemler, konum-zaman küpleri ile zamana bağlı sıcak nokta analizinin teorisini oluşturan yöntemlerdir. Konum-zaman küplerinin oluşturulma süreci, çalışmada kullanılan nokta veriler üzerinden açıklanmıştır.



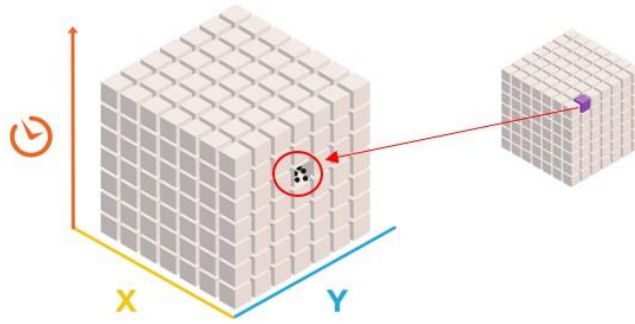
Şekil 5. Nokta verilerin x ve y boyutu (Vale, 2018)

Şekil 5’de gösterilen her nokta, bir koordinattan yani x ve y boyutundan oluşmaktadır. Eğer veri seti zaman ve konum bakımından bölünemez ise Şekil 5’deki gibi ifade edilir.



Şekil 6. Nokta verilerin x, y ve t boyutu (Vale, 2018)

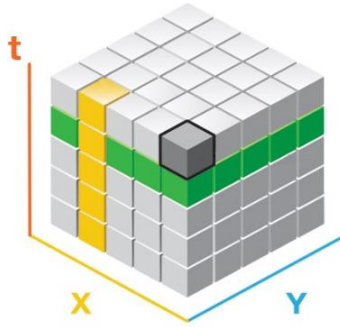
Şekil 6'da konum-zaman küplerinin oluşturulabilmesi için noktaların x ve y noktalarına bir de t boyutu eklenir. Bu t boyutu zamanı temsil eder ve Şekil 6'daki gibi gösterilir.



Şekil 7. Noktaların toplanması sonucu oluşan küpler (Vale, 2018)

Konum-zaman küpleri ile noktalar, belirlenen zaman dilimlerine ve belirlenen mesafeye göre kutular (bins) içerisinde toplanır ve küp halinde Şekil 7'deki gibi gösterilir.

Konum-zaman küplerinin oluşturulabilmesi için en az 60 adet nokta verisine; eğilim analizi için en az 10 zaman dilimine gereksinim vardır.



















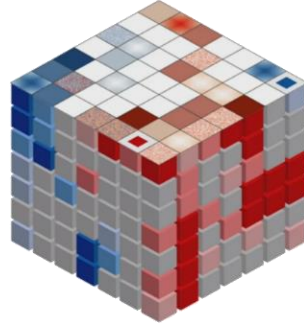
Şekil 8. Küplerin oluşturduğu zaman serisi (Vale, 2018)

Şekil 8'de görülen koyu gri renkteki küp, aynı konumdaki ve aynı zaman dilimindeki nokta veriler ile oluşturulur. Bu küpler yatay ekseninde yeşil renkteki gibi Getis-Ord G_i^* istatistiği kullanılarak birleştirilir ve belirli bir zaman dilimi için konumsal veri seti oluşturulur. Bu sayede veri hem klasik sıcak nokta analizi hem de zamana bağlı sıcak nokta analizine uygun hale getirilir. Dikey ekseninde ise küpler sarı renkteki gibi birleştirilerek, belirli bir konum için bir zaman serisi oluşturulur ve Mann-Kendall trend analizine uygun hale getirilir. Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra veri ArcGIS ortamında çok boyutlu olarak netCDF (Network Common Data Form) formatında saklanır.

Getis-Ord G_i^* istatistiği ve Mann-Kendall trend analizi kullanılarak gerçekleştirilen zamana bağlı sıcak nokta analizindeki sıcak noktalar, zamana bağlı gösterdikleri eğilime göre sınıflandırılabilir. Yapılan sıcak nokta ve eğilim analizlerinden sonra sıcak ve soğuk noktalar için 8 ayrı kategori, toplamda 17 kategori elde edilir. Zamana bağlı sıcak nokta kategorileri Şekil 9 ve Tablo 2 yardımıyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

Tablo 2. Zamana bağlı sıcak nokta ifadeleri, isimleri ve tanımları (ESRI, 2022b)

Şekil	İsmi	Tanımı
	Anlamsız	Eğilim analizi sonunda anlamlı bir eğilim tespit edilemeyen nokta
	Yeni sıcak nokta	Daha önceleri anlamsızken son zaman diliminde anlamlı sıcak nokta
	Ardışık sıcak nokta	Daha önceleri anlamsızken tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla son zaman dilimlerinde kesintisiz anlamlı sıcak nokta
	Yoğunlaşan sıcak nokta	Son zaman dilimi de dahil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için artan eğilime sahip anlamlı sıcak nokta
	Sürekli sıcak nokta	Tüm zaman dilimlerinin %90'ını içeren ve herhangi bir eğilime sahip olmayan anlamlı sıcak nokta
	Azalan sıcak nokta	Son zaman dilimi de dahil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için azalan eğilime sahip anlamlı sıcak nokta
	Aralıklı sıcak nokta	Dönem dönem aralıklarla sıcak nokta olup diğer dönemlerde anlamsız olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı sıcak nokta
	Kararsız sıcak nokta	Son zaman dilimlerinde sıcak nokta olup önceki zaman dilimlerinde soğuk nokta olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı sıcak nokta
	Tarihi sıcak nokta	Son zaman aralığı sıcak nokta olmamakla birlikte tüm zaman dilimlerinin %90'ı anlamlı sıcak nokta
	Yeni soğuk nokta	Daha önceleri anlamsızken son zaman diliminde anlamlı soğuk nokta
	Ardışık soğuk nokta	Daha önceleri anlamsızken tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla son zaman dilimlerinde kesintisiz anlamlı soğuk nokta
	Yoğunlaşan soğuk nokta	Son zaman dilimi de dahil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için artan eğilime sahip anlamlı soğuk nokta
	Sürekli soğuk nokta	Tüm zaman dilimlerinin %90'ını içeren ve herhangi bir eğilime sahip olmayan anlamlı soğuk nokta
	Azalan soğuk nokta	Son zaman dilimi de dahil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90'ını için azalan eğilime sahip anlamlı soğuk nokta
	Aralıklı soğuk nokta	Dönem dönem aralıklarla soğuk nokta olup diğer dönemlerde anlamsız olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı soğuk nokta
	Kararsız soğuk nokta	Son zaman dilimlerinde soğuk nokta olup önceki zaman dilimlerinde sıcak nokta olan ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı soğuk nokta
	Tarihi soğuk nokta	Son zaman aralığı soğuk nokta olmamakla birlikte tüm zaman dilimlerinin %90'ı anlamlı soğuk nokta

**Şekil 9.** Küplerin oluşturduğu sıcak-soğuk noktalar (Vale, 2018)

2.3.4. Alanların Belirlenmesi ve Küplerin Oluşturulması

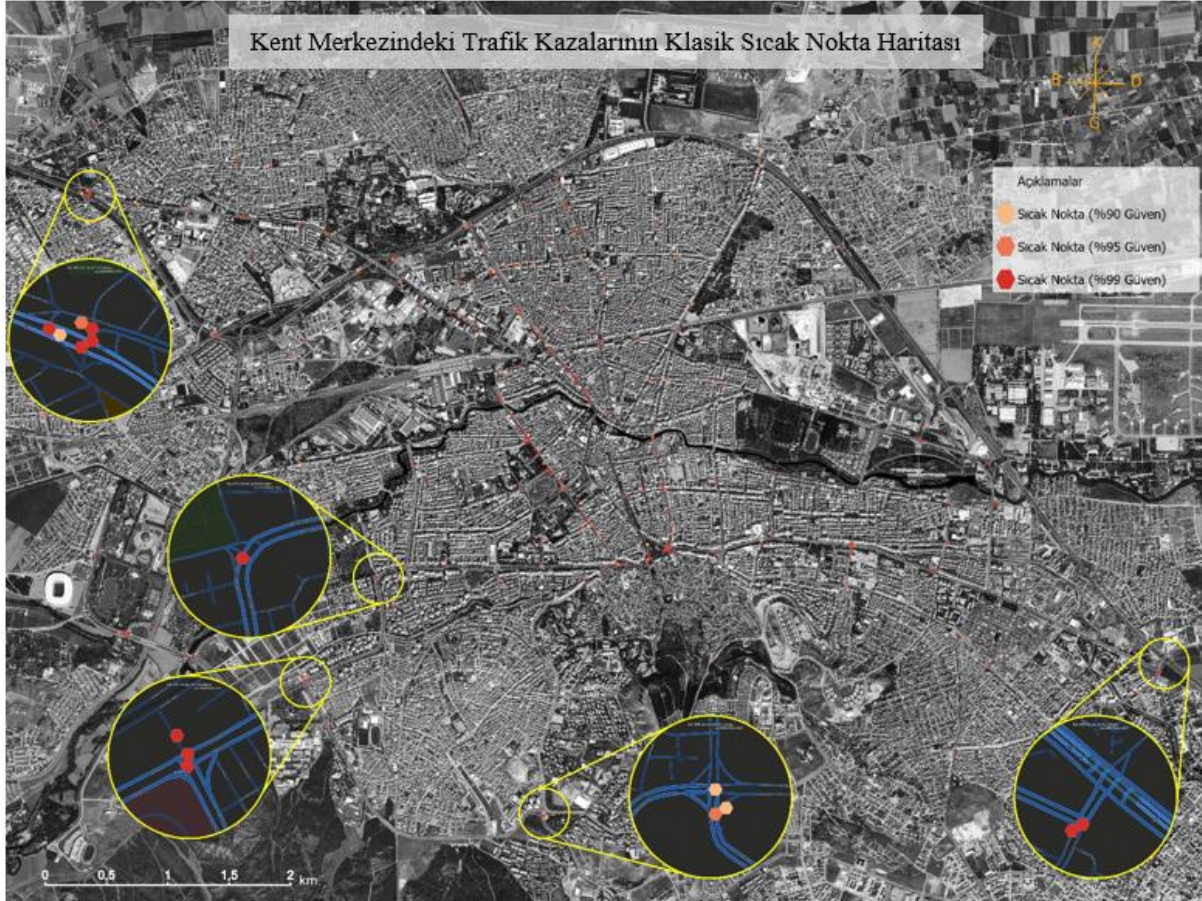
Çalışmada, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün web sitesinde yayınlanan durma ve intikal sürelerinden yararlanılarak, uzaklığa bağlı konumsal ilişkiler kurulmuştur. Kent merkezi ve merkez ilçelere bağlı çevre yollarında 90 km/sa maksimum hız için fren mesafesi yaklaşık 53,1 metredir (TCK, 2022). Kaza noktaları arasındaki konumsal ağırlık matrisi oluşturulurken, uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Eşik (threshold) değer, maksimum fren mesafesi baz alınarak 50 metre olarak belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak zamanın dikkate alınmadığı klasik sıcak nokta analizi gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı sıcak nokta analizinde nokta veriler için küpler oluşturulurken, isteğe bağlı olarak altıgen şekil kullanılabilir. Çalışma kapsamında yapılan zamana bağlı sıcak nokta analizinde yukarıda bahsedilen kriterler dikkate alınarak 10 yıllık kaza noktalarını içeren küpler oluşturulurken altıgen gösterim tercih edilmiş ve yıllık zaman dilimlerine bölünmüştür.

Sonrasında her bir altıgenin içerisinde kalan kazalar saydırılmış ve kaza toplamları elde edilmiştir. Ardından yatay ekseninde Getis Ord Gi* istatistiği, son olarak yatay eksenindeki sıcak noktaların dikey eksenindeki eğilimleri Mann-Kendall trend analizi ile gerçekleştirilip, Tablo 2'ye göre sınıflandırılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Klasik Sıcak Nokta Analizi Bulguları

Kent merkezinde tespit edilen sıcak noktalar incelendiğinde, başta Odunpazarı meydanı olmak üzere şehrin genelindeki ana kavşak ve meydanlarda farklı türde sıcak noktalar olduğu tespit edilmiştir. Şekil 10'da trafik kazalarının yoğunlaştığı ve sıcak noktaların tespit edildiği bölgeler gösterilmiştir.



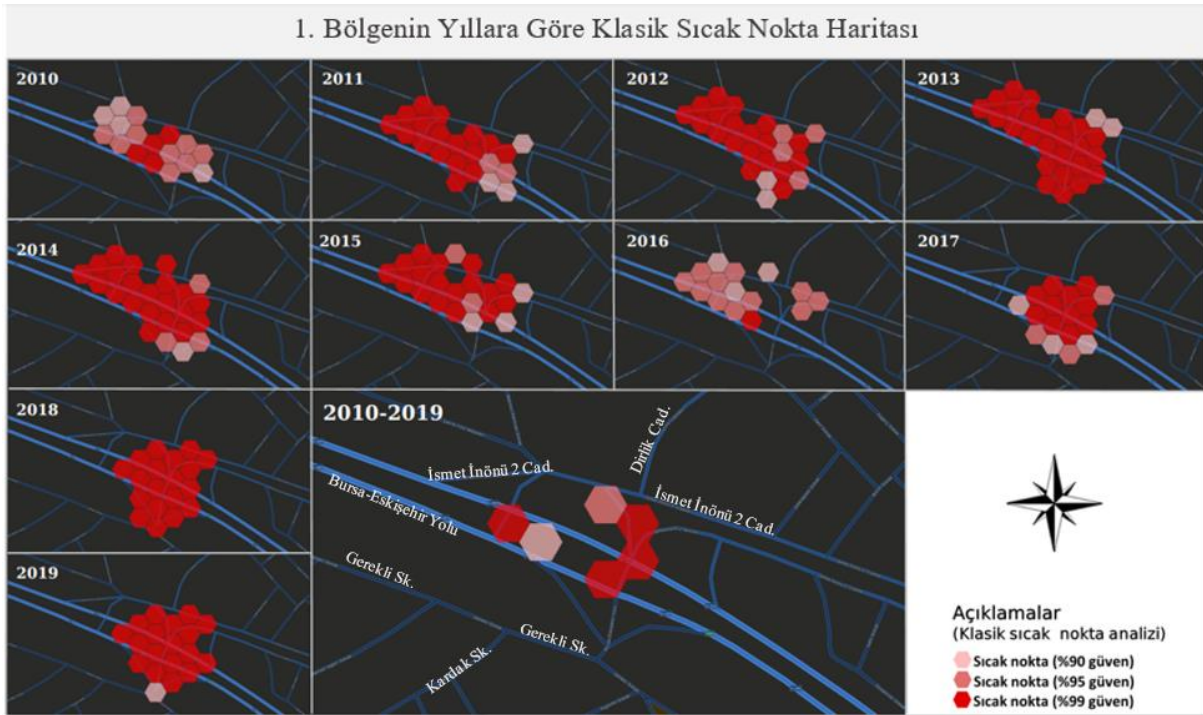
Şekil 10. Eskişehir kent merkezindeki trafik kazalarının klasik sıcak noktaları

Klasik sıcak nokta analizi sonuçlarına göre kent merkezinde genel olarak Atatürk Caddesi, İsmet İnönü 2 Caddesi ve Prof. Dr. Yılmaz Büyükerşen Caddesi üzerinde sıcak noktaların yoğunlaştığı görülmektedir. Şehir içerisinde demir yolu ağının, porsuk çayının ve eski fabrikaların geniş alanlar kaplaması nedeniyle bu güzergaha alternatif yollar geliştirilememiştir. Benzer durum Yunus Emre Caddesi ve Hasan Polatkan Bulvarı için de geçerlidir. Yapılan klasik sıcak nokta analizinde, aşağıda sonuçları verilen zamana bağlı sıcak nokta analizine göre belirlenen kritik bölgeler incelenmiştir. Söz konusu 5 kritik bölgede klasik sıcak nokta analizi ile 15 sıcak nokta tespit edilmiştir. Klasik sıcak nokta analizi, %90, %95 ve %99 güven ve sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık seviyelerine göre sonuçlar vermektedir. Çalışma kapsamında değerlendirildiğinde, sıcak nokta olarak tespit edilen her bir altıgenin ve komşularının, bütün veri seti içerisindeki altıgenlerden istatistiksel olarak bir farkı olup olmadığı, güven ve anlamlılık seviyelerine göre belirlenebilmektedir.

İsmet İnönü 2 Caddesi ve Bursa yolunu bağlayan kavşak noktasında, İsmet İnönü 2 Caddesine giriş-çıkış bağlantı noktasında kazalarda %90, %95 ve %99 olmak üzere üç güven düzeyinde anlamlı bir yoğunluk olduğu gözlemlenmiştir. Cumhuriyet-Balsu Bulvarı kesişiminde %99 güven seviyesinde anlamlı bir yoğunluk gözlemlenmiştir.

Sıcak noktaların konumları dikkate alındığında, Cumhuriyet Bulvarından Balsu Bulvarına çıkış istikametinde risk faktörünün yüksek olduğu görülmektedir. Şehit Yüzbaşı Güngör Caddesi-Zümrüt Bulvarı-Mustafa Özel Bulvarı ve Gençlik Bulvarını birleştiren kavşakta kazaların, Zümrüt Bulvarından kavşağa giriş yönünde %90 ve %95 güven düzeyinde yoğunluk gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre Zümrüt Bulvarı'ndan Mustafa Özel Bulvarı ve Gençlik Bulvarına dönüş noktalarında kaza riskinin yüksek olduğu görülmektedir. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi bitişiğinde yer alan, Atatürk ve Gençlik Bulvarlarını bağlayan kavşak incelendiğinde, kazaların bağlantı noktasında ve Karadağ Sokağı Atatürk bulvarına bağlayan kısmında gerçekleştiği görülmektedir. %99 güven düzeyinde tespit edilen sıcak noktalara bakıldığında kazaların, Atatürk Bulvarının Gençlik Bulvarı ile kesiştiği devam güzergahı, Gençlik Bulvarına giriş noktaları ve Karadağ Sokağı Atatürk Bulvarına bağlayan hatta yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Kar Sokaktan (Dede Korkut Parkı-Türk Dünyası Doğa Parkı) Atatürk Bulvarına çıkan bağlantı noktasında özellikle sokaktan bulvara çıkışın gerçekleştiği noktalarda önemli bir yoğunluk tespit edilmiştir.

Şekil 11'de İsmet İnönü 2 Caddesi ve Bursa yolunu bağlayan kavşakta (1. bölge) her bir yıl için oluşan sıcak noktalar ve tüm yılların ortalaması alınarak oluşturulan sıcak noktalar verilmiştir.



Şekil 11. Yıllara göre klasik sıcak nokta analizi sonuçları

3.2. Zamana Bağlı Sıcak Nokta Analizi Bulguları

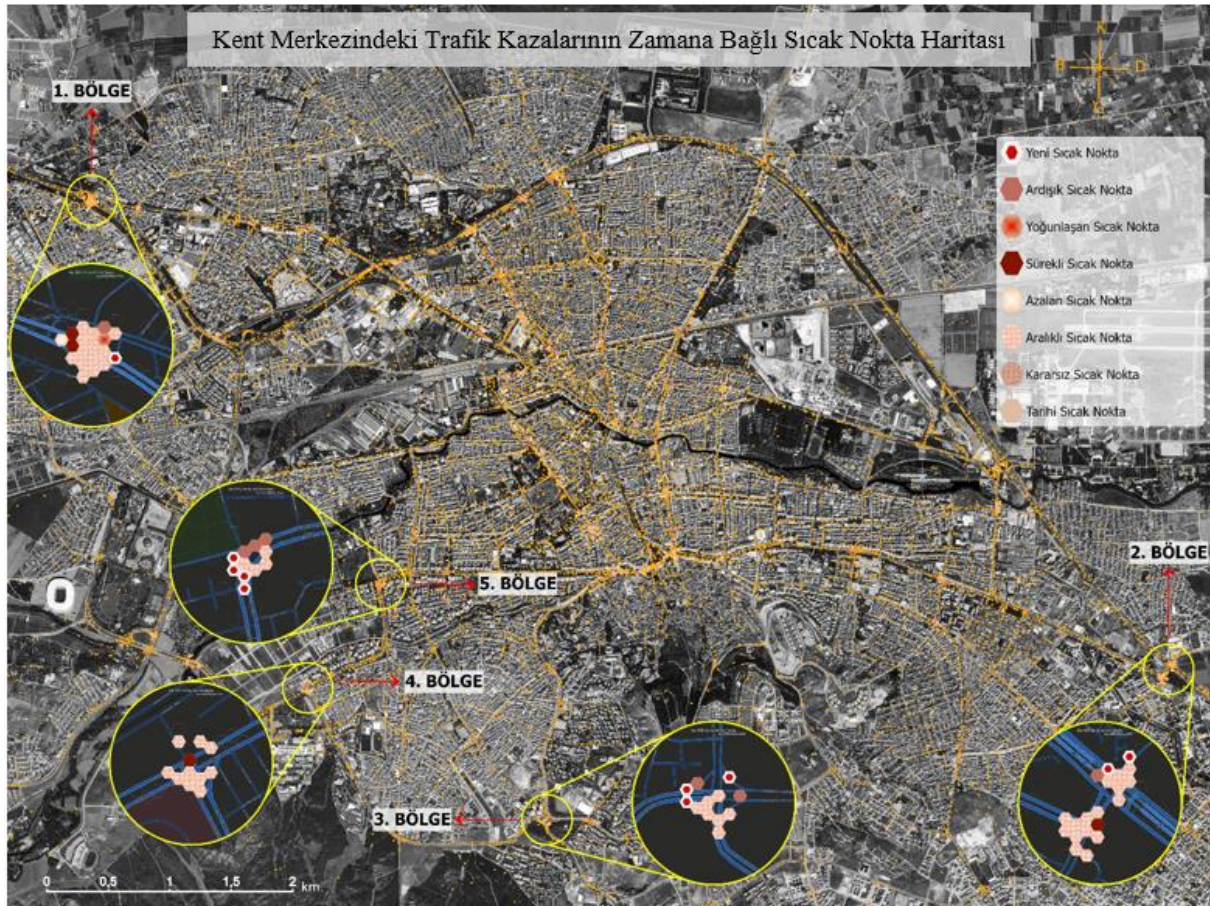
Zamana bağlı sıcak nokta analizinden elde edilen bulgulara göre; Eskişehir kent merkezinde, özellikle merkezi sayılabilecek yollarda birçok sıcak nokta tespit edilmiştir. Kent merkezinin araç sayısı ve insan nüfusu bakımından kalabalık olması, yolların yeterince geniş olmaması gibi faktörlerden dolayı ortaya çıkan sıcak noktaların kabul edilebilir seviyede mantıklı olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan, insan ve araç yoğunluğunun nispeten daha az olduğu noktalarda görülen sıcak noktaların, bölgesel anlamda yorumlanması gereken kritik noktalar olduğu görülmüştür. Zamana bağlı sıcak nokta analizi sonucunda kent merkezinde 5 kritik nokta tespit edilmiştir. Bu 5 noktada 50 aralıklı, 10 yeni, 7 ardışık, 4 sürekli, 1 azalan ve 1 yoğunlaşan olmak üzere toplam 73 sıcak nokta tespit edilmiştir.

Zamana bağlı sıcak nokta analizi ile Eskişehir kent merkezinde gerçekleşen trafik kazalarının yoğunlaştığı bölgeler Şekil 12'deki gibidir. Şekil 12'deki 1. bölgede gösterilen kavşak, Bursa istikametinden Eskişehir'e giriş noktasıdır. Ayrıca, şehrin farklı bölgelerine bağlantı yollarının kesiştiği ve Bursa il yolunun başladığı noktadır. Bunların dışında, çevre yoluna çıkan bazı bağlantı yolları ışıklandırma sistemine sahip olmayıp, karmaşık bir yapıya sahiptir. Bursa yolunun Eskişehir'e giriş yönünden, İsmet İnönü 2 Caddesine bağlandığı noktada kazaların son dönemlerde yoğunlaştığı ve çok yüksek riskli bölge olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kavşağın yaklaşık 50 metre doğusunda kalan ve Eskişehir-Bursa istikametinden İsmet İnönü 2 Caddesine geçiş sağlayan bağlantı yolunda, son 1 senelik dönemde kazaların yoğunlaştığı görülmüş ve riskli bölge olarak tespit edilmiştir. Kavşağın yaklaşık 50 metre batısında kalan bağlantı noktalarında kazaların sürekli yoğun olduğu ve çok yüksek risk taşıdığı gözlemlenmiştir.

Ek olarak, kavşağın kalan bölümleri nispeten daha az riske sahiptir ve düşük riskli olarak tanımlanmıştır. Çevre yoluna bağlanan İsmet İnönü 2 Caddesinin yaklaşık 400 metre gerisinde yer alan Şirintepe parkının bitiminde birleşen dört yol ağzında yeni sıcak noktaların olduğu tespit edilmiştir. Caddenin iki yönünde ve parkın yanından caddeye bağlanan Kolej Sokak çıkışında son 1 senelik periyotta yükselen bir kaza eğilimi gözlenmiştir.

Şekil 12'deki 2. bölge, Cumhuriyet-Balsu Bulvarı kesişimi ve Balsu Bulvarı-Ankara Çevre Yolu-Alpu Yolu bağlantısını sağlayan kavşak görülmektedir. Cumhuriyet ve Balsu Bulvarları kesişiminde genel olarak kaza yoğunluklarının düşük riskli olduğu görülmüştür. Cumhuriyet Bulvarının Çevre Yolu kavşağına dönüşünde Balsu Bulvarı ile kesiştiği noktada sürekli bir kaza yoğunluğu bulunmaktadır ve yüksek riskli olarak tespit edilmiştir. Bu noktada kamera ve radar sistemi bulunmasına rağmen, sistematik bir ışıklandırma sistemi bulunmamaktadır. Düşük de olsa bölgenin kazalar açısından riskli olduğu tespit edilmiştir. Balsu Bulvarı-Çevre ve Alpu Yolu bağlantısını sağlayan kavşakta kuzeybatıdan güneydoğuya Eskişehir çıkış istikametine ilerleyen Çevre Yolunun kavşak önü yön değiştirme bağlantı noktasında kazaların riskli sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu bağlantı noktasının girişinde genel olarak kazaların yoğun olduğu, çıkış noktasında ise son 1 senelik periyotta kazaların yoğunlaştığı görülmektedir.

Ayrıca kavşağa bağlanan Alpu Yolu mevkiinde, yolun çift yön olarak başladığı nokta ve caddeye kuzeyden bağlanan Çilekçi Sokak kesişiminde son 1 senelik periyotta kazaların yoğunlaştığı görülmüştür ve bu bölge riskli olarak tespit edilmiştir. Son olarak, kavşağın genel hat itibarıyla kazalar açısından riskli bulunmaktadır ve kalan bölgeler düşük risk sınıfında yer almaktadır.



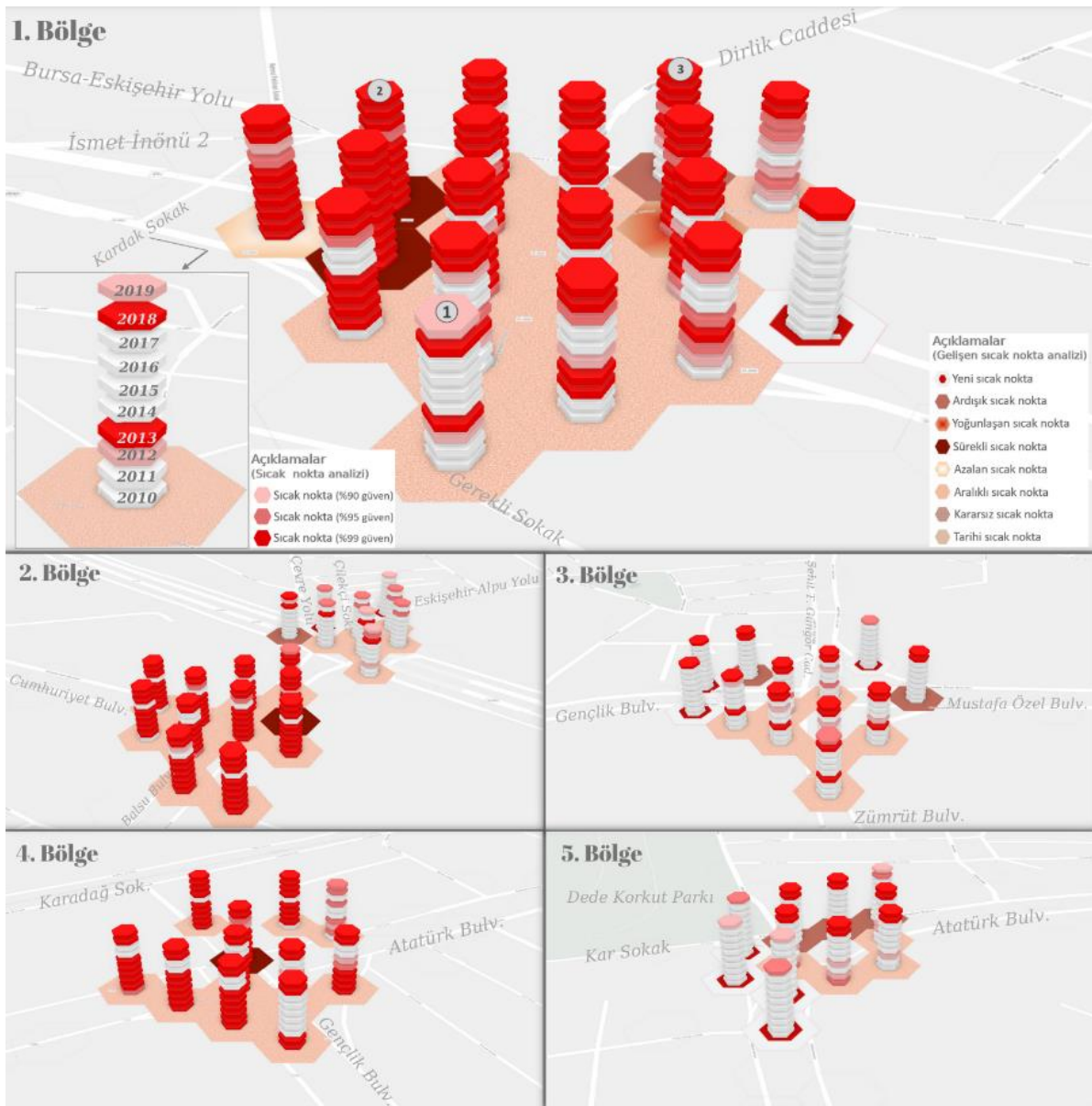
Şekil 12. Eskişehir kent merkezindeki trafik kazalarının zamana bağlı sıcak noktaları

Şekil 12'deki 3. bölge, Şehit Yüzbaşı Güngör Caddesi-Zümrüt Bulvarı-Mustafa Özel Bulvarı ve Gençlik Bulvarını birleştiren kavşak yer almaktadır. Zümrüt Bulvarından Mustafa Özel Bulvarına çıkış bağlantı yolu ve Mustafa Özel Bulvarını Şehit Yüzbaşı Güngör Bulvarına bağlayan yolun giriş kısmında kazalar yoğun ve riskli bölge sınıfında yer almaktadır. Yine Mustafa Özel Bulvarını Şehit Yüzbaşı Güngör Bulvarına bağlayan yolun ilerleyen kısmında son 1 senelik periyotta oluşan bir kaza yoğunluğu gözlenmiştir ve riskli bölge sınıfında yer almaktadır. Aynı şekilde Şehit Güngör Caddesini Gençlik Bulvarına bağlayan yol çıkışı ve Gençlik Bulvarını Zümrüt Bulvarına bağlayan yol girişinde kazalar yoğunlaşmıştır ve riskli bölge olarak tespit edilmişlerdir. Yolların birleştiği göbek, Zümrüt Bulvarına bağlanan yollar ve bağlantılardan sonraki 50 metrelik yolu kapsayan alan düşük riskli bölgeler olarak tespit edilmiştir.

Şekil 12'deki 4. bölge, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi bitişiğinde yer alan, Atatürk ve Gençlik Bulvarlarını bağlayan kavşaktır. Özellikle Atatürk Bulvarı ve Karadağ Sokağın birleştiği yol ağı kısmında sürekli bir kaza yoğunluğu görülmüş ve çok yüksek riskli olarak tespit edilmiştir. Atatürk Bulvarının doğu yönünden kavşağa yaklaşılacak bölge, Gençlik Bulvarından Atatürk Bulvarı doğu yönü istikameti bağlantı yolunu kapsayan bölge ve batıdan Atatürk Bulvarı-Gençlik Bulvarı bağlantısının sağlandığı alanlarda kazaların yoğunlaştığı görülmüş ve düşük riskli olarak tespit edilmiştir. Son olarak, Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan ve kavşağın 250 metre doğusunda kalan yol üzerinde son 1 senelik periyotta kazaların yoğunlaştığı görülmüş ve riskli bölge olarak tespit edilmiştir.

Şekil 12'deki 5. bölge, Kar Sokaktan (Dede Korkut Parkı-Türk Dünyası Doğa Parkı) Atatürk Bulvarına çıkan bağlantı noktası bulunmaktadır. Bulvardan sokağa giriş ve sokaktan bulvara çıkış noktalarında kazaların yoğun olduğu gözlenmiştir. Giriş bağlantı yolunda kazalar genel olarak yoğundur ve riskli bölge olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde çıkış yolu üzerinde özellikle son 1 senelik periyotta kazaların yoğunlaştığı gözlenmiştir. Ayrıca sokağın bulvara Odunpazarı yönü çıkışında kazaların yine yoğunlaştığı fakat diğer bağlantı noktaları kadar önemli olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu çıkış yolu düşük risk sınıfında yer almaktadır.

Çalışma amacının görsel olarak daha net anlaşılabilmesi için Eskişehir kent merkezindeki trafik kazalarının yoğunlaştığı beş bölge için klasik sıcak nokta analizi sonuçlarının 3 boyutlu ve zamana bağlı sıcak nokta analizi sonuçlarının 2 boyutlu gösterimi Şekil 13'deki gibidir.



Şekil 13. Eskişehir kent merkezindeki trafik kazalarının yoğunlaştığı beş kritik bölgenin 3 boyutlu (klasik sıcak nokta) ve 2 boyutlu (zamana bağlı sıcak nokta) gösterimi

Çalışmanın bulguları incelendiğinde, zamana bağlı sıcak nokta analizinin klasik sıcak nokta analizine göre daha detaylı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu detaylı sonuçların ana nedeni, zamana bağlı sıcak nokta analizinin zaman faktörünü dikkate alarak belirlenen konumlardaki eğilimleri hesaplamalara dahil etmesidir. Şekil 13'deki 1. bölgedeki 1 numaralı konuma bakıldığında, klasik sıcak nokta analizine göre %90, %95 ve %99 güven düzeylerine göre 2010 ve 2011 yılları anlamsız yani sıcak nokta olarak tespit edilememiştir. 2012 yılı %90 ve 2013 yılı %99 güven düzeyine göre sıcak nokta olarak belirlenmiştir. 2012 ve 2013 yıllarında 1. konum sıcak nokta iken, 2013 yılında bu nokta daha riskli hale gelmiştir. Takip eden 4 yılda (2014, 2015, 2016 ve 2017 yılları) bu konum risksiz olarak görülmektedir. 2018 yılında %99 ve 2019 yılında %90 güven düzeyinde bu konum tekrar sıcak nokta haline gelmiştir. Yalnızca klasik sıcak nokta analizi sonuçlarına göre kaza yoğunluğunu belirlemek yanıltıcı sonuçlara neden olabilmektedir. Zamana bağlı sıcak nokta analizi ile 1. bölge 1. konumun aralıklı sıcak nokta olduğu tespit edilmiştir.

Yani bu konumun; dönem dönem aralıklarla sıcak nokta, diğer dönemlerde anlamsız ve tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla anlamlı sıcak nokta olduğunu göstermektedir. Klasik sıcak nokta analizine göre 1. bölge 2. konum, 2016 yılında %95, geri kalan tüm yıllarda %99 güven düzeyinde sıcak nokta olarak tespit edilmiştir. Zamana bağlı sıcak nokta analizinde zamanın da analize dahil edilmesi bu konumun sürekli sıcak nokta olarak tanımlanmasını sağlamaktadır. Bunun anlamı 2. konumun tüm zaman dilimlerinin %90'ını içermesi ve herhangi bir eğilime sahip olmayan anlamlı sıcak noktalardan oluşmasıdır.

1. bölge 3. konumun klasik sıcak nokta analizi sonuçları 2010, 2011 ve 2012 yıllarının anlamsız olduğunu göstermektedir. 2013 yılında %90, 2014'te %95, 2015'te %99, 2016'da %95 ve kalan son 3 yılda %99 güven düzeyinde sıcak noktalar tespit edilmiştir. Zamana bağlı sıcak nokta analizinde bu sonuçların karşılığı, 3. konumun ardışık sıcak nokta olduğudur. Yani bu noktada, daha önceki zaman dilimleri anlamsız, fakat tüm zaman dilimlerinin %90'ından daha az olmak kaydıyla son zaman dilimlerinde kesintisiz anlamlı sıcak noktalar görüldüğüdür. Yukarıdaki açıklamaların benzerleri 5 kritik bölgedeki her konum için Tablo 2 baz alınarak yapılabilmektedir.

4. Sonuç ve Tartışmalar

Analiz sonuçları incelendiğinde zamana bağlı sıcak nokta analizinin, klasik sıcak nokta analizine göre kent merkezinin farklı konumlarında ve farklı desenlerde sıcak noktaların tespit edilmesini sağladığı görülmüştür. Klasik sıcak nokta analizinde çalışma alanı içerisinde belirlenen 5 kritik bölgede yalnızca 15 sıcak nokta tespit edilmişken; zamana bağlı sıcak nokta analizi ile bu noktaların 73'e çıktığı görülmüştür. Klasik sıcak nokta analizi sonuçları ile zamana bağlı bir yorum yapmak ya da kaza desenlerini tespit etmek mümkün değildir. Yalnızca belirlenen noktanın istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak nokta olup olmadığı belirlenebilmektedir. Zamana bağlı sıcak nokta analizindeki anlamlı noktalar daha geniş bir alana yayılmıştır. Seçilen bölgelerde belirlenen 50 aralıklı sıcak nokta, belirli dönemlerde kazaların anlamlı bir şekilde yoğunlaştığını ifade etmektedir. Ayrıca zamana bağlı sıcak nokta analizine göre tespit edilen 10 yeni sıcak nokta, son dönemlerde yaşanan kaza yoğunluklarını ifade etmektedir. Zaman faktörünün dikkate alınmaması özellikle bu iki sınıfa ait kaza noktaları daha dar bir alanda anlamlı çıkacağından ve bazı yerlerde anlamsız çıkacağından tanımlamalarda, yorumlamalarda ve gerekli önlemlerin alınmasında bilgi kaybına neden olacaktır. Bu da zaman faktörünün yani eğilimin kaza noktalarının üzerindeki etkisini göstermektedir.

Klasik sıcak nokta ve zamana bağlı sıcak nokta analiz sonuçları birlikte incelendiğinde; 1. bölge için klasik sıcak nokta analizi ile 6, zamana bağlı sıcak nokta analizi 19; 2. bölge için klasik sıcak nokta analizi ile 2, zamana bağlı sıcak nokta analizi 20; 3. bölge için klasik sıcak nokta analizi ile 3, zamana bağlı sıcak nokta analizi 12; 4. bölge için klasik sıcak nokta analizi ile 3, zamana bağlı sıcak nokta analizi 11 ve 5. bölge için klasik sıcak nokta analizi ile 1, zamana bağlı sıcak nokta analizi 11 sıcak nokta tespit edilmiştir. Bu farklılıkların nedeni, klasik sıcak nokta analizinde veri setinin zamana göre bölünmemiş olması, zamana bağlı sıcak nokta analizinde veri setinin zamana göre bölünerek her bir zaman dilimi için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmesidir. Zamana bağlı sıcak nokta analizinde bazı yıllarda belirlenen bölgelerde kaza sayılarında yoğunlaşma yaşanmış ve yıllar içerisindeki eğilim de anlamlı çıktığı için bu bölgeler sıcak noktalar olarak tanımlanmıştır. Bu bölgelerdeki yıllara bağlı altıgenler incelendiğinde bazılarında dönemsel olarak sıcak noktaların olduğu ama hepsinde son yılların sıcak nokta olarak çıktığı görülmektedir. Başka bir ifadeyle bu bölgelerde bazı yıllarda kazalarda yoğunlaşma yaşanmamıştır ve klasik yöntemle analiz yapıldığında genel olarak buraların anlamsız çıkmasına neden olmuştur. Ancak son yıllarda yaşanan kaza yoğunlukları altıgenlerin aslında sıcak nokta olma potansiyelini göstermekte ve bu durum zamana bağlı sıcak nokta analizi ile desteklenmektedir.

Bu çalışma ile trafik kazalarının yoğunlaştığı bölgelerin daha ayrıntılı şekilde tespit edilebilmesi, nitelikli yorumlar ve çözümler üretilebilmesi açısından zamana bağlı sıcak nokta analizinin daha iyi bir açıklayıcı olduğu belirlemiştir. Tüm sonuçlar birlikte incelendiğinde, verilerin zamana bağlı analizleri ile daha detaylı sonuçlar elde edilebildiği görülmüştür. Özellikle trafik kazaları, sağlık, ekonomi gibi zamansal eğilimin ve değişimin dikkate alınması gereken alanlarda zamana bağlı sıcak nokta analizinin kullanılmasının daha detaylı ve gerçekçi sonuçlar elde etmeye olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışma sonucunda klasik sıcak nokta analizinin anlamsız çıkardığı altıgenlerin, zamana bağlı sıcak

nokta analizi ile anlamlı noktalar olduğu tespit edilmiş ve trafik kazaları gibi hayati bir olay dikkate alındığında çalışmada uygulanan yöntemin farkı ve gerekliliği ortaya konmuştur.

Kaynaklar

- Afolayan, A., Easa, S. M., Abiola, O. S., Alayaki, F. M., & Folorunso, O. (2022). GIS-based spatial analysis of accident hotspots: A Nigerian case study. *Infrastructures*, 7(8), 103. doi: 10.3390/infrastructures7080103.
- Amiri, A. M., Nadimi, N., Khalifeh, V., & Shams, M. (2021). GIS-based crash hotspot identification: a comparison among mapping clusters and spatial analysis techniques. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 28(3), 325-338.
- Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359-364.
- Bil, M., Andrasik, R., & Sedonik, J. (2019). A detailed spatiotemporal analysis of traffic crash hotspots. *Applied Geography*, 107, 82-90.
- Cheng, Z., Zu, Z., & Lu, J. (2018). Traffic crash evolution characteristic analysis and spatiotemporal hotspot identification of urban road intersections. *Sustainability*, 11(1), 160. doi: 10.3390/su11010160.
- De Silva, V., Tharindra, H., Vissoci, J. R. N., Andrade, L., Mallawaarachchi, B. C., Ostbye, T., & Staton, C. A. (2018). Road traffic crashes and built environment analysis of crash hotspots based on local police data in Galle, Sri Lanka. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 25(3), 311-318.
- ESRI. (2022a, June 8). *ArcGIS Pro Resources, How create space sime cube works*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmorecreatecube.htm>
- ESRI. (2022b, June 8) *ArcGIS Pro Resources, How emerging hot spot analysis works*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmoreemerging.htm>
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206.
- Gudes, O., Varhol, R., Sun, Q., & Meuleners, L. B. (2017). Investigating articulated heavy-vehicle crashes in Western Australia using a spatial approach. *Accident Analysis and Prevention*, 106, 243-253.
- Hayidso, T. H., Gameda, D. O., & Abraham, A. M. (2019). Identifying road traffic accidents hotspots areas using GIS in Ethiopia: A case study of Hosanna Town. *Transport and Telecommunication*, 20(2), 123-132.
- Hazaymeh, K., Almagbile, A., & Alomari, A. H. (2022). Spatiotemporal analysis of traffic accidents hotspots based on geospatial techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4), 260. doi: 10.3390/ijgi11040260.
- Kang, Y., Cho, N., & Son, S. (2018). Spatiotemporal characteristics of elderly population's traffic accidents in Seoul using space-time cube and space-time Kernel density estimation. *PLoS ONE*, 13(5), e0196845. doi: 10.1371/journal.pone.0196845.
- Kang, Y., Son, S., & Nahye, C. (2017). Analysis of traffic accidents injury severity in Seoul using decision trees and spatiotemporal data visualization. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 47(2), 233-254.
- Li, Y., Zhang, L., Yan, J., Wang, P., Hu, N., Cheng, W., & Fu, B. (2017). Mapping the hotspots and coldspots of ecosystem services in conservation priority setting. *Journal of Geographical Sciences*, 27(6), 681-696.
- Moons, E., Brijs, T., & Wets, G. (2009). Improving Moran's Index to identify hot spots in traffic safety. In B. Murgante, G. Borruo, & A. Lapucci (Eds.), *Geocomputation and Urban Planning: Studies in Computational Intelligence* (pp. 117-132), Heidelberg: Springer.
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 27(4), 286-306.
- Özmal, M., Küçükönder, M., Karabulut, M., ve Göksu, G. (2014, Haziran). Coğrafi bilgi sistemleri kullanarak Kahramanmaraş trafik kaza analizi. *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi*. (pp. 867-875).
- Tamakloe, R. & Park, D. (2022). Factors influencing fatal vehicleinvolved crash consequence metrics at spatio-temporal hotspots in South Korea: application of GIS and machine learning techniques. *International Journal of Urban Sciences*, doi: 10.1080/12265934.2022.2134182.
- Thomas, I. (1995). Spatial data aggregation: Exploratory analysis of road accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 28(2), 251-264.
- Tobler, W. R. (1970). A Computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46(sub1), 234-240.
- Tola, A. M., Demissie, T. A., Saathoff, F., & Gebissa, A. (2021). Severity, Spatial pattern and statistical analysis of road traffic crash hot spots in Ethiopia. *Applied Sciences*, 11(19), 8828. doi: 10.3390/app11198828.
- TÜİK. (2022, Haziran 8). *Adrese dayalı nüfus kayıt istatistikleri*. Retrieved from <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>

- Uğur Özçelik, M., Gökçen, H. ve Dağdeviren, M. (2013). Ankara şehir içi otobüs kazalarının analizi ve bölge risklerinin belirlenmesi için birçok ölçütlü karar modeli. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30, 33-55.
- TCK. (2021). *Trafik kazaları özeti*. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikKazalariOzeti.aspx>
- TCK. (2022). *Durma ve intikal süreleri*. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/DurmaIntikal.aspx>
- Vale, F. (2018, March). Spatial data mining II: A deep dive into space-time analysis. ESRI Federal GIS Conference. Washington DC: USA.
- WHO. (2022, June 20). *Road traffic injuries*. World Health Organization. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Wu, P., Meng, X., & Song, L. (2021). Identification and spatiotemporal evolution analysis of high-risk crash spots in urban roads at the microzonelevel: Using the space-time cube method. *Journal of Transportation Safety&Security*. doi: 10.1080/19439962.2021.1938323
- Xie, Z., & Yan, J. (2008). Kernel density estimation of traffic accidents in a network space. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(5), 396-406, 2008.
- Yıldırım, V., & Mert Kantar, Y. (2020). Spatial analysis of the road traffic accidents statistics in the provinces of Turkey. *SIGMA Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(4), 1667-1680.
- Yohannes, A. Y. W., and Minale, A. S. (2015). Identifying the hot spot areas of road traffic accidents. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(3), 358-370.
- Yoon, J., & Lee, S. (2022). Spatio-temporal patterns in pedestrian crashes and their determining factors: Application of a space-time cube analysis model. *Accident Analysis & Prevention*, 161, 106291. doi: 10.1016/j.aap.2021.106291.