

Ağ tarama ve K-ortalama kümeleme yöntemleri ile kaza kara noktalarının belirlenmesi: İstanbul D100 Karayolu örneği

Determination of accident black spots by using network screening and K-means clustering methods: a case study on D100 highway in Istanbul

Abdullah MALTAŞ^{1*}, Halit ÖZEN², Abdulsamet SARAÇOĞLU³

^{1,2,3}İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
abdullahmaltas@yahoo.com, ozen@yildiz.edu.tr, assarac@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 07.08.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 07.12.2018
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.77012
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Trafik kazaları; ölüm, yaralanma ve maddi hasarların yanı sıra trafik tıkanıklıkları, yol güvenliğinde azalma, gürültü ve hava kirliliği gibi olumsuzluklara da neden olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2015 Küresel Yol Güvenliği Durum Raporu'na göre, trafik kazalarında yaralanma sonrası ölümlerin 2030 yılına kadar tüm ölüm nedenleri arasında yedinci sıraya yükseleceği öngörülmektedir. Bunun yanında, özellikle ülkemizin de yer aldığı gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere, ülke ekonomilerinde trafik kazalarından dolayı büyük miktarlarda ekonomik kayıplar da yaşanmaktadır. Trafik kazalarının azaltılması amacıyla, trafikte denetimlerin artırılması, yoldan kaynaklı kusurların giderilmesi, araç muayenelerinin sıklaştırılması, kaza önleme mekanizmalarının geliştirilmesi gibi çeşitli tedbirler alınmaktadır. Kazaların gerek şiddetinin gerekse sayısının azaltılmasında kaza kara noktaları olarak adlandırılan, trafik kazalarının yoğun bir şekilde yaşandığı kesimlerin tespiti ve iyileştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden (CBS) yararlanılarak ağ tarama yöntemleri aracılığı ile kaza kara noktalarının tespiti yapılmakta ve bu yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, İstanbul D100 karayolunda, basit sıralama, hücre kaydırma ve maksimum nokta arama yöntemleri kullanılarak kavşak ve yol kesimleri ayrı ayrı sıralanmış ve kaza kara noktaları K-ortalama kümeleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağ tarama, Coğrafi bilgi sistemleri, İstanbul D100 karayolu, Kaza kara noktaları, K-ortalamlar

Abstract

Traffic accidents cause fatality, injury and property damage, as well as traffic congestion, road safety, noise, air pollution, and so on. According to Global Status Report on Road Safety published by World Health Organization (WHO) in 2015, deaths after traffic injuries are predicted to become the seventh leading cause of death by 2030. Besides, economic losses are occurred in large quantities in the developing economies like our country, due to traffic accidents. Various precautions are taken to reduce traffic accidents, such as increasing the number of traffic controls, eliminating road-related defects, increasing the frequency of vehicle inspections, and developing accident prevention mechanisms. In order to reduce the severity and the number of accidents, it has importance to identify and improve the zones called accident black spots where traffic accidents have occurred frequently. In this study, it is aimed to determine accident black spots by using Geographical Information Systems (GIS) and network screening methods and reveal the positive and negative aspects of these methods. For this purpose, the intersections and road segments at Istanbul D100 highway were sorted separately using simple ranking, sliding window and peak searching methods and accident black spots are determined using the K-means clustering method.

Keywords: Network screening, Geographical information systems, İstanbul D100 highway, Accident black spots, K-means

1 Giriş

Oldukça geniş bir çalışma sahasına sahip olan Ulaştırma Mühendisliği disiplininin ilgi alanlarından biri de günlük yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası olan trafiktir. Trafikğin önemli konularından biri ise, araç sahipliği ve taşıt hareketliliğindeki artışla birlikte artmakta olan ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı olarak meydana gelen trafik kazalarıdır. Dünyada ve ülkemizde her yıl çok sayıda trafik kazası yaşanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2015 yılında yayımladığı rapora göre dünya genelinde her yıl yaklaşık olarak 1.2 milyon kişi hayatını kaybetmekte ve günümüzde yaralanma sonrası ölümlerin tüm ölümler arasında dokuzuncu sırada olduğu, 2030 yılına kadar ise bu ölümlerin yedinci sıraya kadar yükseleceği öngörülmektedir. Ayrıca WHO, genç nüfus (15-29 yaş arası) ölümlerinde trafik kazalarının diğer ölüm sebepleri arasında ilk sırayı almakta olduğunu belirtmektedir. WHO'nun raporuna göre gelişmişlik seviyeleri orta ve düşük seviyede olan ülkelerde trafik

kazalarının yol açtığı ekonomik kayıp Gayrisafi Yurtiçi Hasıla'nın (GSYİH) %5'ine kadar çıkabilmektedir [1].

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, ülkemiz karayolu ağında 2017 yılında sayısı 1.2 milyonu aşan trafik kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların 1.02 milyonu maddi hasarlı, 182 bin adedi ise ölümlü/yaralanmalı trafik kazalarıdır. Yıl içerisinde meydana gelen ölümlü/yaralanmalı trafik kazalarının %74.4'ü yerleşim yerleri içinde %25.6'sı ise yerleşim yeri dışında gerçekleşmiştir [2]. Trafik kazalarına ait bu istatistikler kazaların analiz edilmesi ve azaltılmasına yönelik olarak bazı önlemlerin alınması gerekliliğini doğrulamaktadır. Bu doğrultuda kazaların azaltılması amacıyla kaza kara noktalarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Kaza kara noktalarının tespitinde en geleneksel yöntem kazaların harita üzerinde işaretlenmesi ve noktaların yoğunlaştığı yerlerin kaza kara noktası olarak belirlenmesidir [3]. Son yıllarda geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), kazaların koordinatları ve kaza verilerinin harita üzerine işlenmesiyle kaza analizlerinde de oldukça sık kullanılmakta ve kazaların analizlerini kolaylaştırmaktadır [4]-[12].

Literatürde kazaların analizi konusunda yapılan çalışmalarda çeşitli istatistiksel ve sayısal yöntemlerin yanında veri madenciliği, zamansal ve mekânsal analizler gibi yöntemler de yer almaktadır. Anderson 2009'da yaptığı çalışmada Londra'da yaşanan yaralanmalı kazaları kullanarak CBS ve çekirdek yoğunluk tahmini (ÇYT) yöntemi ile bir kümeleme metodolojisi geliştirmiştir [6]. Girne'de meydana gelen kazalar üzerine yapılan bir çalışmada CBS'den faydalanılarak üç yıllık kaza verisiyle üç farklı yöntem kullanılmıştır. ÇYT, Moran's I ve Getis-ord GI* yöntemleri kullanılan çalışmada üç yöntemin de aynı sonuçları verdiği kesimlerin yanında farklı sonuçların elde edildiği kesimlerin de olduğu gözlenmiştir [7]. Sandhu ve arkadaşları 2016'da Hindistan'da yaptıkları kaza kara noktalarını belirleme çalışmalarında, Çolak ve arkadaşları ise Rize'de yaptıkları çalışmada aynı şekilde CBS'den yararlanarak Moran's I, Getis-ord GI* ve ÇYT yöntemleriyle kaza kara noktalarını belirlemişlerdir [8],[9]. 2014'te Kundakçı, çalışmasında üç yıllık kaza verisi kullanarak en yakın komşuluk hiyerarşik kümeleme metodunu sunmuş ve bu çalışmada ÇYT yöntemine de yer vermiştir [10]. Dereli ve arkadaşları ise kaza kara nokta analizi için ampirik Bayes (AB) yöntemini kullanmayı tercih etmişlerdir. Çalışmada kaza tahminleri hesaplanmış, performans ölçütleri belirlenmiş ve ölçütlerin birden büyük olduğu kesimler kaza kara noktası olarak işaretlenmiştir [12]. Atalay ve Tortum 2010'daki çalışmalarında en yüksek ölüm ve yaralanma oranlarına sahip illeri belirlemek için kümeleme yöntemlerinden yararlanmışlardır [13]. Yakar ise çalışmasında duyarlılık ve özgüllük testlerinden yararlanarak ve frekans oranı yöntemini kullanarak Tokat-Niksar karayolundaki kazaya meyilli kesimleri tespit etmeyi amaçlamıştır [14].

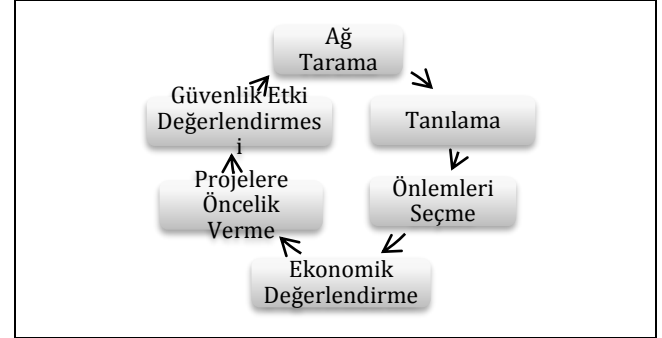
Kaza kara noktası tespitinde kullanılmakta olan pek çok yöntemin yanı sıra 2010 yılında American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tarafından yayımlanan Highway Safety Manual (HSM) kitabında yer alan yöntemler de alternatif çalışmalar için incelenmektedir. 13 farklı performans ölçütünün kullanılabilirdiği ağ tarama yöntemlerinde farklı veri gruplarıyla kazaların analizini yapmak mümkün olabilmektedir [15]. Manepalli ve Bham ağ taramanın mevcut performans ölçütlerine karşılık kaza şiddetine dayanan çarpışma faktörü ölçütünü (ÇFÖ) önermiştir. Bu ölçüt, yüksek kaza frekansına sahip noktaları belirlemek için özel olarak geliştirilmiştir [16]. Young ve Park, bir karayolu ağında yoğun çarpışma bölgelerini belirlemek için ağ tarama sonrası analiz olarak ifade ettikleri iki adımlı bir yöntem önermişlerdir. İlk adım HSM'nin bilinen ağ tarama yöntemidir. İkinci adım yeni bir yöntem olup mekânsal analiz bir türü olarak ÇYT'yi içermektedir [17].

Alınan ve alınmakta olan her türlü önleme rağmen, trafikte insan faktörü var olduğu sürece trafik kazalarının önüne tam anlamıyla geçilemeyeceği açık bir gerçektir. Ancak yapılan çalışmalarda yaşanan bu kazaların sayısının olabildiğince azaltılması amaçlanmakta ve buna yönelik tedbirler alınması hedeflenmektedir. Bu çalışmada da bu hedefler doğrultusunda kaza kara noktası olarak tabir edilen kesimlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. AASHTO tarafından tanımlanan ağ tarama yöntemleri, performans ölçütleri ve CBS'den yararlanılarak üç yıllık veriye dayanan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İstanbul D100 Karayolu'nun Anadolu Yakası'nda kalan kesiminde 2011, 2012 ve 2013'te yaşanan kazalar CBS ortamına aktarılmış, üç farklı performans ölçütüne göre analizleri gerçekleştirilmiş ve nihayetinde de K-ortalama kümeleme yönteminden

yararlanılarak bu koridor için verilerle uyumlu olarak seçilen performans ölçütlerine göre kaza kara noktaları belirlenmiştir.

2 Yol güvenliği yönetim süreci

HSM'ye göre yol güvenliği yönetim süreci (YGYS), yol ağında meydana gelen kazaları izleme ve azaltmaya yönelik olarak altı adımdan oluşmaktadır (Şekil 1). Bunlar bir süreç olarak uygulanabileceği gibi yol ağında belirlenecek iyileştirme politikasına bağlı olarak tek başına da kullanılabilir [15].



Şekil 1: Yol güvenliği yönetim süreci.

Bu çalışmada ağ tarama sürecinden faydalanılarak kazaların analizi gerçekleştirilmiştir.

2.1 Ağ tarama süreci

Ağ tarama, bir karayolu sistemi üzerindeki geçmiş kaza verilerini değerlendirmek ve bu çerçevede önlem alınabilecek bölgeleri belirlemek için çeşitli kaza performans ölçütleri ve tarama yöntemleri olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2). Ağ tarama, performans ölçütleri ve tarama yöntemlerinin kendi içinde güçlü ve zayıf yanları bulunmaktadır. Bu nedenle, daha güçlü bir değerlendirme için kaza bölgelerini belirlemek adına birden fazla performans ölçütü veya tarama yöntemi kullanmak yararlı olmaktadır [15]. Ancak, bu tamamen kullanılan veri tabanlarının izin verdiği ölçüde mümkün olabilmektedir.



Şekil 2: Ağ tarama süreci.

2.2 Performans ölçütleri

HSM'de 13 farklı performans ölçütü tanımlanmakta ve amaca yönelik olarak bunlardan bir veya birkaçının kullanılabilirdiği belirtilmektedir. Performans ölçütünün seçilmesinde temel kriter verinin erişilebilirliği, ortalama eğilim regresyonu ve performans eşliğinin belirlenmesiyle ilişkilidir. Ayrıca

performans ölçütlerinin kullanımının uygunluğu bazı kısıtlara bağlı olarak bu ölçütlerin güçlü ve zayıf yönleriyle de açıklanabilmektedir [15].

Bir yol ağında seçilen performans ölçütlerine göre değerlendirmede bulunulurken benzer özellikteki kesimlerin karşılaştırılması istatistiki açıdan daha uygun olacaktır. Şerit sayısı, trafik hacmi, işletme hızı, bölünmüş olup olmaması, denetim şekli gibi belirli fiziksel, işletimsel veya fonksiyonel özelliklere sahip yol kesimleri veya kavşaklar, bu özelliklere göre bir referans bölge oluşturur. En tehlikeli kesimler öne çıkarılırken her referans bölge kendi içinde değerlendirilir ve hesaplanan performans ölçütlerine göre kesimler kendi referans bölgesi içerisinde sıralanırlar [15]. Çalışmada belirlenen iki referans bölge 3.1 No.lu "Çalışma sahası" başlığında açıklanmıştır.

Bu çalışmada temin edilen kaza verileriyle uyumlu olarak belirlenen ortalama kaza sıklığı, eşdeğer maddi hasarlı ortalama kaza sıklığı ve bağlı şiddet indeksi performans ölçütleri esas alınarak ağ tarama yöntemlerine göre değerlendirme yapılmıştır.

2.2.1 Ortalama kaza sıklığı

HSM'ye göre ortalama kaza sıklığı (OKS) performans ölçütü, belirli bir zaman dilimi içerisinde meydana gelen kaza sıklığını ifade etmektedir. Veri gereksinimi açısından yalnızca kazaların konum verisine ihtiyaç duyan bu performans ölçütü, genellikle gerçekleştirilen projelerin ilk aşama değerlendirmesinde performans ölçütü olarak kullanılmaktadır. OKS performans ölçütü iki adımdan oluşmakta olup birinci adımda seçilen kesim ve zaman aralığı için toplam kaza sayısı belirlenmektedir. İkinci adımda ise her bir kesim performans ölçütünün büyüklüğüne göre sıralanarak en fazla kazanın olduğu bölgeler en riskli alanlar olarak işaretlenmektedir.

2.2.2 Eşdeğer maddi hasarlı ortalama kaza sıklığı

Eşdeğer maddi hasarlı ortalama kaza sıklığı (EMHOKS) performans ölçütünde kaza şiddetine (ölümlü, yaralanmalı, maddi hasarlı) bağlı bir puanlama geliştirilir ve buna göre ağırlık faktörleri belirlenir. Temel olarak her kaza şiddeti için ağırlık faktörlerine göre kaza mahalleri için eşdeğer bir maddi hasar (EPDO) skoru hesaplanır ve buna göre kesimler arasında bir sıralama gerçekleştirilir. Üç adımdan oluşan bu performans ölçütünde şiddete göre kaza konum verilerine, kaza şiddeti ağırlık faktörlerine ve kaza şiddetine göre toplumsal kaza maliyeti bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

EPDO'yu hesaplayabilmek için gerekli ağırlık faktörlerini belirlerken toplumsal kaza maliyetlerinden yararlanılmaktadır. Bu noktada yerel veya ulusal maliyetlerin hesaba katılması önerilse de ülkemizde bununla ilgili öne çıkan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden Federal Highway Administration (FHWA) tarafından 2005 yılında yayımlanan ve 2001 yılına ait toplumsal kaza maliyetlerini içeren raporda yer alan kaza şiddeti maliyetleri, HSM'de ve FHWA'nın raporunda tarif edilen yöntemlerle mümkün olan en yakın yıl olarak 2016 yılına güncellenmiş (Tablo 1) ve çalışmada bu maliyetler kullanılmıştır. Güncelleme yapılırken tüketici fiyat endeksi (TÜFE) ve işgücü maliyeti endeksinden (İME) yararlanılmaktadır.

Toplumsal kaza maliyetleri, içinde beşerî sermaye ve beşerî olmayan diğer kaza maliyetlerini barındırır. Beşerî ve beşerî olmayan kaza maliyetleri bilinen bir yılın cari yıla göre güncellemesi yapılırken şu prosedür izlenmektedir;

- ✓ Beşerî kaza maliyetleri, bilinen yıl ile cari yıla ait TÜFE'nin değişim oranıyla çarpılarak cari yıla güncellenir,
- ✓ Beşerî olmayan kaza maliyetleri, bilinen yıl ile cari yıla ait İME'nin değişim oranıyla çarpılarak cari yıla güncellenir,
- ✓ Güncellenen beşerî ve beşerî olmayan kaza maliyetleri toplanarak en yakın yüzölçüme yuvarlanır ve toplumsal kaza maliyetleri belirlenir [15], [18].

Örneğin; FHWA raporunda 2001 yılında ölümlü meydana gelen kazaların ortalama beşerî sermaye kaza maliyeti 1245600 \$, ortalama beşerî olmayan kaza maliyeti ise 2763300 \$ olarak belirtilmiştir. 2001 yılından 2016 yılına kadar geçen sürede TÜFE oranı 1.5, İME oranı ise 1.4 katına çıkmıştır. Sonuç itibarıyla 2016 yılı ölümlü kaza şiddeti toplumsal kaza maliyeti (CC_j) şu şekilde hesaplanmıştır:

$$CC_{\bar{o},2016} = 1.5 * 1245600 + 1.4 * 2763300$$

$$CC_{\bar{o},2016} \approx 5888800 \$$$

Tablo 1: Kaza şiddetine göre toplumsal kaza yaklaşık maliyetleri [18].

Kaza Şiddeti	Toplumsal Kaza Maliyeti (2016, \$)
Ölümlü (ö)	5888800
Yaralanmalı (y)	119600
Maddi Hasarlı (m)	10500

Bu performans ölçütünün ilk adımı ölümlü ve yaralanmalı kazaların ağırlığını belirlemektir. Bunu yaparken maddi hasarlı kazaların ağırlık faktörü 1 kabul edilir, ölümlü ve yaralanmalı kazaların maliyetleri Denklem (1)'de görüldüğü gibi maddi hasarlı kaza maliyetine bölünür. Böylece ölümlü ve yaralanmalı kazalar için ağırlık faktörleri belirlenmektedir (Tablo 2).

$$f_{\bar{o}/y} = \frac{CC_{\bar{o}/y}}{CC_m} \quad (1)$$

Burada f_j kaza şiddetine bağlı ağırlık faktörünü, CC_j ise kaza şiddetine bağlı toplumsal kaza maliyetini ifade etmektedir.

Tablo 2: Kaza şiddetine göre ağırlık faktörü.

Kaza Şiddeti	Ağırlık Faktörü (f_j EPDO)
Ölümlü (ö)	561
Yaralanmalı (y)	11
Maddi Hasarlı (m)	1

İkinci adım her kavşak veya kesim için toplam EPDO skorunu belirlemektir. Bunun için Denklem (2)'de görüldüğü gibi her ağırlık faktörü kendi kaza şiddetine bağlı kaza sayısıyla çarpılır, tüm çarpımlar toplanır ve son olarak toplam skora göre kesimler sıralanır.

$$EPDO_i = f_{\bar{o}} * N_{\bar{o},i} + f_y * N_{y,i} + f_m * N_{m,i} \quad (2)$$

Burada N_j , i No.lu kesim için kaza şiddetine göre gerçekleşen toplam kaza sayısını ifade etmektedir.

Ülkemizde 2008'de alınan karar gereği, yalnız maddi hasarlı kazalarda sürücüler polisi beklemeksizin aralarında anlaşarak tutanak tutmaktadır. Bu uygulamayla birlikte özellikle büyükşehirlerde trafik sıkışıklığının nispeten önüne geçilmesi amaçlanmaktadır [19]. Bunun neticesinde yalnızca maddi hasarla sonuçlanan kazaların gerçek sayısı ve konum verilerinin elde edilmesi zorlaşmaktadır. Dolayısıyla bu

çalışmada yalnızca ölümlü ve yaralanmalı kazalar dikkate alınmıştır.

2.2.3 Bağlı şiddet indeksi

Kaza türlerine göre belirlenen toplumsal kaza maliyetleri bağlı şiddet indeksini (BŞİ) oluşturmaktadır. Bu performans ölçütünde her segment için belirlenen ortalama BŞİ maliyetleri karşılaştırılarak sıralama gerçekleştirilir. BŞİ performans ölçütünde veri gereksinimi olarak konuma göre kaza türleri ile bu kaza türlerine ait maliyet bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada yalnızca ölümlü ve yaralanmalı kaza verileri kullanıldığı için, türüne göre kaza maliyetlerinde de bu kaza şiddetleri göz önünde bulundurulmuştur. Böylelikle, BŞİ performans ölçütünde ölümlü ve yaralanmalı kazaların ortalama maliyeti dikkate alınmış olup maddi hasarlı kazaların maliyetleri hesaba katılmamıştır (Tablo 3). Bu maliyetler, kaza şiddeti maliyetinde olduğu gibi yine FHWA tarafından yayımlanan rapordan temin edilerek 2016 yılına güncellenmiştir.

Tablo 3: Kaza türlerine göre yaklaşık toplumsal kaza maliyetleri [18].

Kaza Türü	Toplumsal Kaza Maliyeti (2016, \$)
Yayaya Çarpma	421100
Hayvana Çarpma	10900
Sabit cisme Çarpma	138000
Duran araca Çarpma	28900
Devrilme/Yoldan Çıkma	350500
Arkadan Çarpma	43900
Yandan Çarpma	49200
/Çarpışma	
Karşılıklı Çarpışma	548500
Diğer (Ortalama)	80100

Dört adımdan oluşan bu ölçütün ilk adımında her kesim için ayrı ayrı toplam BŞİ maliyeti (RSI_i), her kaza türü kendi gözlem sayısı ile çarpılarak hesaplanır. Ardından bu kesimler için Denklem (3)'te gösterilen şekilde ortalama bir BŞİ değeri (\overline{RSI}_i) hesaplanır. Daha sonra her kesim kendi referans bölgesi içinde sıralanır. Son olarak Denklem (4)'te gösterilen şekilde her bir referans bölgenin tümü için ortalama bir BŞİ değeri ($\overline{RSI}_{kontrol}$), referans bölge içinde yer alan her kesimde meydana gelen kazaların türü ve sayısı hesaba katılarak belirlenir.

$$\overline{RSI}_i = \frac{\sum RSI_j}{N_i} \quad (3)$$

\overline{RSI}_i : i No.lu kesim için ortalama kaza türü maliyeti,

RSI_j : j kaza türü için toplumsal kaza türü maliyeti,

N_i : i No.lu kesimde gözlenen toplam kaza sayısı.

$$\overline{RSI}_{kontrol} = \frac{\sum RSI_i}{\sum N_i} \quad (4)$$

$\overline{RSI}_{kontrol}$: referans bölge için ortalama kaza türü maliyeti,

RSI_i : i No.lu kesim için toplam kaza türü maliyeti.

Her kesimin \overline{RSI}_i değeri kendi referans bölgesinin $\overline{RSI}_{kontrol}$ değeriyle kıyaslanır. HSM'ye göre referans bölgenin ortalamasının üzerinde kalan tüm kesimler BŞİ performans ölçütüne göre kritik bölge olarak tanımlanmakta ve buralarda gerekli tedbirlerin alınması önerilmektedir.

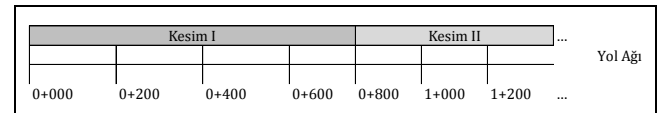
Yalnız maddi hasarlı kaza verilerinin mevcut olmaması, bu çalışmada kullanılan ve kullanılmayan tüm performans ölçütleri için bir eksiklik olarak öne çıkabilir. Ancak önceki bölümde de bahsedildiği üzere, sürücülerin yalnız maddi hasarlı kazalarda bireysel olarak tutanak tutup sigorta şirketlerine şahsen başvurmaları sonucunda, bu kazalara ait başta kaza koordinatları olmak üzere tutarlı veriler elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu kaza verilerinin tam ve doğru bir şekilde elde edilmesiyle analiz sonuçlarının direkt olarak etkileneceği açıktır. Ancak, kaza analizi konusunda önceki çalışmalar da referans alındığı takdirde bu eksikliğin mevcut şartlarda göz ardı edilmesi mümkün olabilmektedir.

2.3 Ağ tarama yöntemleri

Ağ tarama sürecinin adımlarından biri tarama yönteminin belirlenmesidir. HSM'de basit sıralama (simple ranking), hücre kaydırma (sliding window) ve maksimum nokta arama (peak searching) yöntemleri tanımlanmaktadır. Yol kesimleri genellikle hücre kaydırma ve maksimum nokta arama yöntemleri kullanılarak taranırken, basit sıralama daha çok eş düzey kavşakların, bağlantı yollarının veya kesim ve kavşak birleşimlerinin sıralanmasında kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin nerelerde kullanılacağıyla alakalı olarak HSM'de kesin bir kural yer almamaktadır.

2.3.1 Basit sıralama

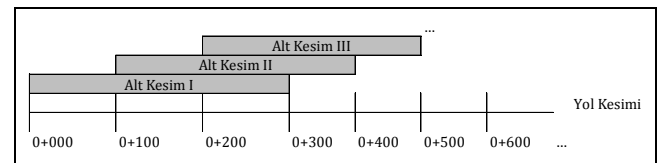
Ağ tarama yöntemlerinden biri olan basit sıralama yöntemi sadeliği ve basitliğiyle öne çıkmaktayken, HSM'de kesimler için bu yöntemin diğer yöntemlere nazaran daha az güvenilir olduğu belirtilmektedir. Basit sıralama yöntemi daha çok kavşaklar için uygulanabilir olsa da kesimlere de uygulanabilmektedir. Ancak hücre kaydırma ve maksimum nokta arama yöntemlerinden farklı olarak, performans ölçütleri kesimin tamamı için hesaplanmakta ve kesimler buna göre sıralanmaktadır (Şekil 3). Dolayısıyla farklı uzunluklara sahip kesimlerin sıralanmasında elde edilen sonuçlarda istatistikî tutarsızlıklar görülebilmektedir.



Şekil 3: Basit sıralama yöntemine göre kesimlerin taranması.

2.3.2 Hücre kaydırma

Bu yöntemde öncelikle yol kesimleri 100 m uzunlukta parçalara bölünür. Ardından genellikle 300 m uzunluğunda belirlenen bir hücre, kesimin başından sonuna doğru hareket ettirilerek alt kesimler belirlenir ve seçilen performans ölçütü her alt kesim için hesaplanır (Şekil 4). Alt kesimler içerisinde en yüksek hesaplanan performans ölçütü değeri, alt kesimin bağlı olduğu kesimin performans ölçütü değeri olarak kabul edilir ve yol kesimleri bu şekilde sıralanır.



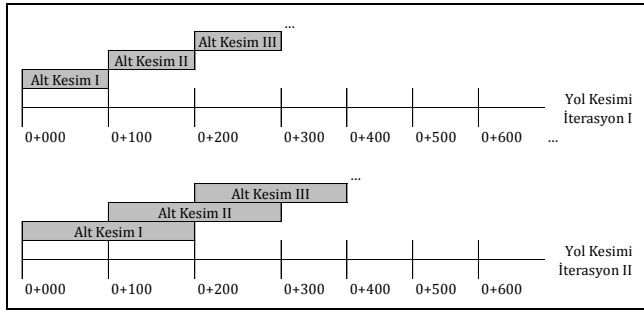
Şekil 4: Hücre kaydırma yöntemine göre bir kesimin taranması.

Eğer kesimin son parçası en başta belirlenen 100 m uzunluğundan küçükse, hücre yolun sonuna yerleştirilerek son

alt kesim için hesap adımları aynen gerçekleştirilir. Bu gibi durumlarda son iki hücrede, dolayısıyla alt kesimlerin belli bir kısmında çakışma meydana gelebilmektedir. Bu çakışma hesap adımları üzerinde herhangi bir etki oluşturmamakta ve çakışan alt kesimler iki ayrı alt kesim olarak değerlendirilir. Öte yandan yol kesimi hücre uzunluğu olan 300 m'den küçükse, hücre uzunluğu yol uzunluğuna eşit kabul edilir ve performans ölçütü mevcut kesimin tümü için hesaplanır.

2.3.3 Maksimum nokta arama

Maksimum nokta arama yönteminde kesimler, hücre kaydırma yönteminde olduğu gibi yine 100 m uzunluğunda parçalara ayrılır ve bu parçalar doğrudan alt kesim olarak adlandırılır (Şekil 5). Performans ölçütleri bu alt kesimler için hesaplanır ve hesaplanan bu performans ölçütlerine göre Denklem (5)'te gösterilen şekilde her alt kesim için varyasyon katsayıları (CV) hesaplanır. Eğer en az bir alt kesim için CV istenen hassasiyette hesaplanmış ise (genellikle $CV \leq 0.5$ olması istenmektedir) işlem tamamlanır ve alt kesimlerden elde edilen en düşük CV değerine karşılık gelen performans ölçütü, alt kesimin bağlı olduğu kesimin performans ölçütü değeri olarak kabul edilir. Tüm kesimler için aynı işlemler gerçekleştirilir ve kesimler belirlenen bu performans ölçütlerine göre sıralanır.



Şekil 5: Maksimum nokta arama yöntemine göre bir kesimin taranması.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sqrt{\text{Var}(\text{Performans Ölçütü})}}{\text{Ort. Performans Ölçütü}} \quad (5)$$

CV katsayısının büyük çıkması hassasiyetin düşük olduğunu gösterirken, küçük çıkması ise yüksek hassasiyet olduğunu gösterir. Eğer alt kesimlerde herhangi bir CV değeri istenen hassaslığı sağlayamamışsa, hücre uzunluğu 200 m'ye çıkarılarak ikinci iterasyona geçilir ve hesaplama adımları buna göre tekrarlanır. CV değeri istenen hassaslık seviyesine gelene kadar iterasyon işlemleri tekrarlanabilmektedir (Şekil 5).

2.4 K-ortalama kümeleme

HSM'nin tipik ağ tarama yöntemlerine ve performans ölçütlerine göre yapılan analizlerde amaç, kazalar veya kaza bileşenleri ile alakalı olarak iyileştirme politikalarını belirlemek ve bu doğrultuda alınacak önlemler konusunda öncelikli kesimlerin belirlenmesine karar vermektir. Dolayısıyla HSM içerisinde klasik anlamda bir kaza kara noktası tanımı yer almamaktadır. Bu yüzden bu çalışmada kaza kara noktalarını belirlemek adına yardımcı bir yöntem olarak K-ortalama kümeleme yöntemine başvurulmuştur.

K-ortalama kümeleme yöntemi, ilk olarak 1967 yılında ortaya konulmuştur. K-ortalama ifadesi, her bir verinin kendisine en yakın ortalamaya (yani merkeze) sahip kümeye atanması anlamında kullanılmıştır. Pek çok alanda yoğun olarak

kullanılan K-ortalama kümeleme yönteminde ilk olarak verinin kaç kümeye ayrılacağı belirlenmesi gerekmektedir. Küme sayısı "k" harfiyle ifade edilen yöntem üç adımdan oluşmaktadır;

- ✓ Verilerin içinden rastgele olmak üzere k adet veri seçilir ve bu verilerin her biri bir küme olacak şekilde k adet küme oluşturulur. Daha sonra her kümenin küme merkezi (yani ortalaması) belirlenir.
- ✓ Kalan verilerin her bir küme merkezine olan uzaklıkları hesaplanır ve bu veriler kendilerine en yakın küme ortalamasına sahip kümeye dahil edilir.
- ✓ Son durumda kümelerin ortalamaları tekrar hesaplanır. Yeni ortalamalara göre veriler tekrar kendilerine en yakın kümelere atanır. Bu işlem verilerin ait oldukları kümeler sabitlenene kadar devam eder [20]-[22].

Çalışmada kullanılan veriler, her performans ölçütü için ayrı ayrı IBM SPSS paket programı aracılığıyla K-ortalama kümeleme yöntemine göre beş kümeye ayrılmıştır. Şekil 6'da "çok güvenli"den "çok tehlikeli"ye doğru ayrılan kümelerin belirlenen emniyet seviyeleri ve bunlara karşılık gelen renklerin gösterimleri verilmiştir.

1. Küme		Çok Güvenli
2. Küme		Güvenli
3. Küme		Orta
4. Küme		Tehlikeli
5. Küme		Çok Tehlikeli

Şekil 6: K-ortalama kümeleme yönteminden edinilen tehlike seviyeleri.

3 Çalışma sahası ve kazaların analizi

3.1 Çalışma sahası

Çalışmada D100 Karayolu'nun İstanbul Anadolu Yakası'nda Çayırova ile Uzunçayır Kavşağı arasında kalan 32.55 km'lik uzunluğa sahip koridorda meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kazalar incelenmiştir. Trafik kazası verileri CBS ortamına aktarılmış, koridor kavşak kesimi ve yol kesimi olmak üzere iki referans bölgeye ayrılmıştır. Bu koridorda toplam 16 kesimden meydana gelen yol kesimleri alfabetik olarak, 17 kavşağı içeren kavşak kesimleri ise nümerik olarak doğu-batı yönünde sıralanmıştır (Şekil 7). Kavşakların bulunduğu kesimler süreklilik göstermekte olup kavşak kesimlerinde ana aks üzerinde eş düzey kesişmeler yer almamaktadır. Bu nedenle kavşak kesimleri de yol kesimi olarak değerlendirilmiş, diğer yol kesimlerinden kavşak ayrılma ve katılma noktalarına göre ayrıştırılmıştır. Ayrıca her iki kavşak arası tek bir yol kesimi olarak ele alınmıştır. Kesimler, yöntemlerin uygulanabilmesi için kendi içerisinde 100 m'lik dilimlere ayrılmıştır.

Kavşak ve yol kesimi referans bölgelerine ait kilometraj bilgileri, artış yönü doğudan batıya olmak ve en doğuda Çayırova Kavşağı'nın bitiminden başlayıp en batıda Uzunçayır Kavşağı'nın bitiminde sona ermek üzere Tablo 4'te gösterilmektedir. Tabloda ayrıca kavşakların isimleri ve yol kesimlerinin konum bilgilerine de yer verilmektedir.



Şekil 7: Çalışma sahası ve belirlenen referans bölgeler.

Çalışma sahasında 2011, 2012 ve 2013 yıllarında gerçekleşen toplam ölümlü/yaralanmalı kaza sayısı 1194 olurken bunların 791'i yol kesimlerinde, 403'ü ise kavşak kesimlerinde meydana gelmiştir. Bu kazalarda toplam 37 kişi yaşamını yitirirken 1784 kişi ise kazadan yaralı olarak kurtulmuştur.

Tablo 4: Kavşak ve yol kesimleri için başlangıç-bitiş kilometraj değerleri ile konum bilgileri.

Kesim	Kilometraj	Konum
A	00+000-01+950	Çayırova-Tuzla Kav. Arası
1	01+950-02+650	Tuzla Kavşağı
B	02+650-04+300	Tuzla-Tuzla DH Arası
2	04+300-04+800	Tuzla Devlet Hastanesi
3	04+800-05+650	İçmeler Kavşağı
C	05+650-07+800	İçmeler-Kurtköy Kav. Arası
4	07+800-08+500	Kurtköy Kavşağı
D	08+500-11+700	Kurtköy-Pendik Kav. Arası
5	11+700-12+250	Pendik Kavşağı
E	12+250-14+800	Pendik-Kartal Kav. Arası
6	14+800-15+350	Kartal Kavşağı
F	15+350-16+850	Kartal-Çanakkale Cad. Kav. Arası
7	16+850-17+200	Çanakkale Cad. Kavşağı
G	17+200-18+300	Çanakkale Cad.-Cevizli Kav. Arası
8	18+300-19+050	Cevizli Kavşağı
H	19+050-20+200	Cevizli Kav.-Gülsuyu Kav. Arası
9	20+200-20+700	Gülsuyu Kavşağı
I	20+700-21+100	Gülsuyu-Huzurevi Kav. Arası
10	21+100-21+400	Huzurevi Kavşağı
J	21+400-21+900	Huzurevi-Maltepe Kav. Arası
11	21+900-22+300	Maltepe Kavşağı
K	22+300-22+950	Maltepe-Altayçeşme Kav. Arası
12	22+950-23+500	Altayçeşme Kavşağı
L	23+500-24+050	Altayçeşme-Küçükyalı Kav. Arası
13	24+050-24+500	Küçükyalı Kavşağı
M	24+500-26+150	Küçükyalı-Bostancı Kav. Arası
14	26+150-26+550	Bostancı Kavşağı
N	26+550-27+750	Bostancı-Kozyatağı Kav. Arası
15	27+750-28+750	Kozyatağı Kavşağı
O	28+750-30+250	Kozyatağı-Göztepe Kav. Arası
16	30+250-30+900	Göztepe Kavşağı
P	30+900-31+700	Göztepe-Uzunçayır Kav. Arası
17	31+700-32+550	Uzunçayır Kavşağı

3.2 Performans ölçütlerine göre tarama

Çalışma sahası için OKS, EMHOKS ve BŞİ performans ölçütleri esas alınarak ağ tarama yöntemlerine göre değerlendirilmeler yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Ortalama kaza sıklığı

Çalışma sahası OKS performans ölçütüne göre basit sıralama yöntemi ile tarandığında alınan sonuçlar; kavşak kesimi

referans bölgesi için en kritik kesimin 17 no'lu Uzunçayır Kavşağı (OKS=52) ve yol kesimi referans bölgesi için E yol kesimi (OKS=109) olduğunu göstermiştir. Ayrıca M kesiminde de oldukça fazla kaza yaşandığı (OKS=102) görülmüştür. En az kaza yaşanan kesimler ise 1 no'lu kavşak (OKS=4) ile I yol kesimi (OKS=13) olmuştur.

Hücre kaydırma yöntemi ile tarama sonuçlarına göre kavşak bölgesi için en tehlikeli kesim yine Uzunçayır Kavşağı (OKS=34) olurken yol kesimleri arasında ise bu defa M kesimi (OKS=29) ilk sırada yer almıştır. Kavşaklarda yine 1 no'lu kavşak (OKS=3), yol kesimleri arasında ise B kesimi (OKS=6) OKS performans ölçütü en düşük hesaplanan kesimler olmuştur. Hücre kaydırma yönteminin kullanılmasıyla alakalı olarak en tehlikeli kesim olan M kesimi için belirlenen alt kesimler ile bunların OKS performans ölçüt değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Görüldüğü üzere M kesiminde en tehlikeli kesimler SW_M01 ile SW_M02 alt kesimleri (OKS=29) olmuş ve bunlara karşılık gelen OKS performans ölçüt değeri de M kesiminin performans ölçütü olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5: M yol kesimi için OKS performans ölçütüne göre hücre kaydırma yöntemi sonuçları.

Alt Kesim	Başlangıç km	Bitiş km	OKS
SW_M01	24+500	24+800	29
SW_M02	24+600	24+900	29
SW_M03	24+700	25+000	16
SW_M04	24+800	25+100	12
SW_M05	24+900	25+200	17
SW_M06	25+000	25+300	17
SW_M07	25+100	25+400	15
SW_M08	25+200	25+500	20
SW_M09	25+300	25+600	17
SW_M10	25+400	25+700	21
SW_M11	25+500	25+800	13
SW_M12	25+600	25+900	19
SW_M13	25+700	26+000	18
SW_M14	25+800	26+100	18
SW_M15	25+850	26+150	17

Maksimum nokta arama yöntemine göre tarama sonuçları ile hücre kaydırma yöntemi sonuçları arasında paralellik olduğu görülmüştür. Özellikle en tehlikeli ve en tehlikesiz kesimler için bu iki yöntemin sonuçlarında bir farklılık bulunmamaktadır. Yine 17 No.lu kavşak (OKS=20) ve M kesimi (OKS=18) en tehlikeli kesimler olmuş, 1 No.lu kavşak (OKS=2) ile B kesimi (OKS=3) ise sıralamada son sırada yer almıştır. Maksimum nokta arama yönteminin uygulanmasıyla alakalı olarak 17 No.lu Uzunçayır Kavşağı'nın alt kesimleri ve bunların OKS performans ölçütüne göre CV ve OKS değerleri Tablo 6'da gösterilmektedir. Dokuz alt kesim içerisinde CV değeri 0.31 ile en düşük hesaplanarak istenen hassasiyeti 1. iterasyon neticesinde karşılayan alt kesim PS_176 olmuştur. Bu alt kesimde OKS performans ölçütü değeri (OKS=20) Uzunçayır Kavşağı'nın performans ölçütü olarak değerlendirilmiştir.

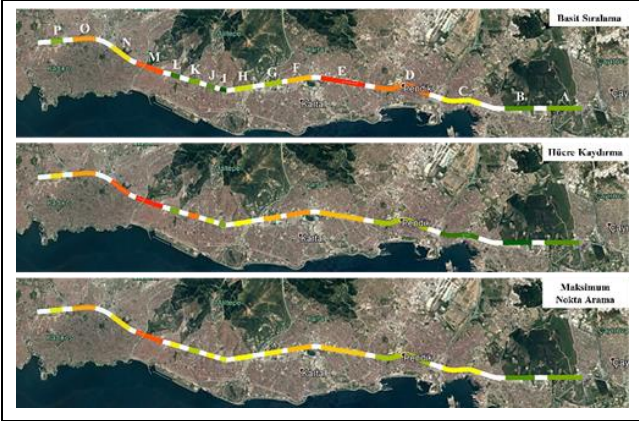
Tablo 6: 17 No.lu kavşak için OKS performans ölçütüne göre maksimum nokta arama yöntemi sonuçları.

Alt Kesim	Başlangıç km	Bitiş km	OKS	CV
PS_171	31+700	31+800	2	3.09
PS_172	31+800	31+900	9	0.69
PS_173	31+900	32+000	2	3.09
PS_174	32+000	32+100	1	6.18
PS_175	32+100	32+200	5	1.24
PS_176	32+200	32+300	20	0.31
PS_177	32+300	32+400	9	0.69
PS_178	32+400	32+500	3	2.06
PS_179	32+450	32+550	1	6.18

Kavşaklar için OKS performans ölçütüne ağ tarama yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilen sıralama sonuçları Şekil 8’de, yol kesimleri için elde edilen sonuçlar ise Şekil 9’da gösterilmektedir.



Şekil 8: OKS performans ölçütüne göre kavşak kesimlerinin sıralanması.



Şekil 9: OKS performans ölçütüne göre yol kesimlerinin sıralanması.

3.2.2 Eşdeğer maddi hasarlı ortalama kaza sıklığı

Denklem (2) tüm kavşak ve yol kesimi bölgelerine uygulandığında basit sıralama yöntemine göre en tehlikeli kesimler kavşaklarda 7 No.lu Çanakkale Caddesi Kavşağı (EPDO=1287) ve yol kesimlerinde D kesimi (EPDO=3058) olarak belirlenmiştir. 7. kavşakta 2 ölümlü ve 15 yaralanmalı kaza meydana gelirken D kesiminde ise toplam 4 ölümlü ve 74 yaralanmalı kaza meydana gelmiştir. EPDO değeri en düşük hesaplanan kesimler ise kavşaklarda 1 No.lu Tuzla Kavşağı olurken (EPDO=44) yol kesimlerinde I kesimi (EPDO=143) olmuştur.

Hücre kaydırma yöntemine göre elde edilen sonuçlar kavşaklarda yine 7 No.lu kavşağı (EPDO=1276) öne çıkarırken yol kesimlerinde P kesimi (EPDO=1287) birinci sırada yer almıştır. 1 No.lu kavşak (EPDO=33) aynı şekilde burada da en az tehlikeli kavşak olurken B kesimi (EPDO=66) ise yol kesimleri içinde son sırada yer almıştır.

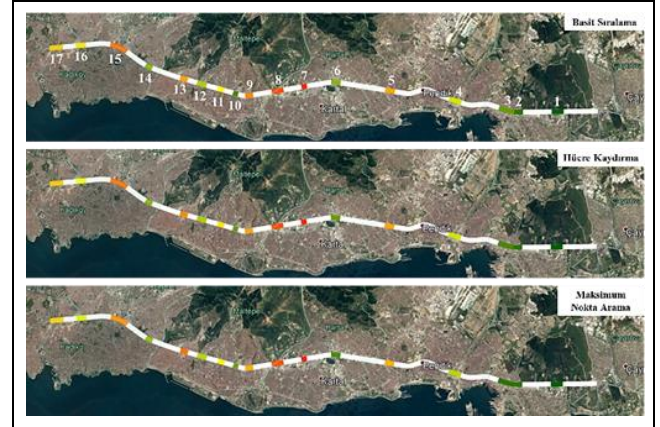
Maksimum nokta arama yöntemine göre elde edilen sonuçlar kavşaklarda yine 7 No.lu kavşağın (EPDO=1177) en tehlikeli, 1 No.lu kavşağın (EPDO=22) da en az tehlikeli olduğunu göstermiştir. Yol kesimlerinde ise en tehlikeli kesim bu defa M kesimi (EPDO=704) olmuş, en az tehlikeye sahip kesim ise hücre kaydırma yönteminde olduğu gibi yine B kesimi

(EPDO=33) olarak belirlenmiştir. Maksimum nokta arama yöntemine göre en tehlikeli kavşak kesimi olan 7 No.lu kavşağın alt kesimleri ve bunların 1. iterasyon sonucunda elde edilen CV ve EPDO değerleri Tablo 7’de gösterilmiştir. Burada ÖKS ölümlü kaza sayısını, YKS ise yaralanmalı kaza sayısını ifade etmektedir.

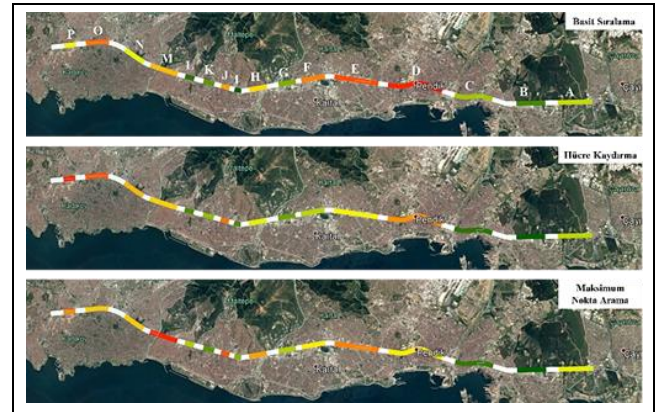
Tablo 7: 7 No.lu kavşak için EMHOKS performans ölçütüne göre maksimum nokta arama yöntemi sonuçları.

Alt Kesim	Başlangıç km	Bitiş km	ÖKS	YKS	EPDO	CV
PS_71	16+850	16+950	0	5	55	9.82
PS_72	16+950	17+050	0	4	44	12.27
PS_73	17+050	17+150	2	5	1177	0.46
PS_74	17+100	17+200	1	5	616	0.88

Kavşaklar için EMHOKS performans ölçütüne ağ tarama yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilen sıralama sonuçları Şekil 10’da ve yol kesimleri için elde edilen sonuçlar ise Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 10: EMHOKS performans ölçütüne göre kavşak kesimlerinin sıralanması.



Şekil 11: EMHOKS performans ölçütüne göre yol kesimlerinin sıralanması.

3.2.3 Bağlı şiddet indeksi

Kaza türüne göre toplumsal kaza maliyetleri (Tablo 3) kullanılarak, her yol kesimi ve kavşak için ortalama BŞİ maliyetleri hesaplanmıştır. BŞİ performans ölçütüne göre basit sıralama yöntemi uygulandığında kavşak referans bölgesinin ortalama BŞİ maliyeti (RSI_{kontrol}) 126800 \$, yol kesimleri için RSI_{kontrol} ise 143400 \$ olarak hesaplanmıştır. Ortalama BŞİ maliyeti (RSI) en yüksek kavşak 1 No.lu Tuzla Kavşağı olurken (RSI=193600 \$), yol kesimleri arasında ise F kesimi (RSI=199800 \$) en yüksek RSI değerine sahip kesim olmuştur.

En düşük RSI değerine sahip kesimler ise kavşaklarda 2 No.lu Tuzla Devlet Hastanesi Kavşağı (RSI=73300 \$), yol kesimlerinde ise M kesimidir (RSI=102200 \$).

Hücre kaydırma yöntemine göre RSI değeri en yüksek kesimler kavşaklarda yine 1 No.lu kavşak (RSI=343300 \$) olurken, yol kesimlerinde ise B kesimi (RSI=421100 \$) ilk sırada yer almıştır. Hücre kaydırma yönteminde RSI_{kontrol} değeri, kavşak ve yol kesimleri için sırasıyla 157400 \$ ve 209500 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu yöntem sonuçlarına göre en düşük ortalama RSI değerine sahip kavşak 10 No.lu Huzurevi Kavşağı (RSI=86800 \$), yol kesimlerinde ise O kesimi (RSI=139300 \$) olmuştur.

Son olarak maksimum nokta arama yöntemi BŞİ performans ölçütü için uygulandığında alınan sonuçlara göre en yüksek RSI değerine sahip kesimler 1 No.lu kavşak (RSI=548500 \$) ile A ve F yol kesimleri (RSI=463600 \$) olmuştur. Maksimum nokta arama yöntemine göre RSI_{kontrol} değeri kavşaklarda 220400 \$ olarak, yol kesimlerinde ise 251400 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde en düşük RSI değerine sahip kesimler kavşaklarda 4 No.lu Kurtköy Kavşağı (RSI=121900 \$), yol kesimlerinde ise yine O kesimi (RSI=150600 \$) olarak tespit edilmiştir. Maksimum nokta arama yöntemine göre en tehlikeli kavşak kesimi olan 1 No.lu kavşağın alt kesimleri ve bunların 1. iterasyon sonucunda elde edilen CV ve ortalama RSI maliyetleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: 1 No.lu kavşak için BŞİ performans ölçütüne göre maksimum nokta arama yöntemi sonuçları

Alt Kesim	Başlangıç	Bitiş	\overline{RSI}_i (\$)	CV
PS_11	1+950	2+050	0	-
PS_12	2+050	2+150	43900	4.54
PS_13	2+150	2+250	548500	0.36
PS_14	2+250	2+350	138000	1.44
PS_15	2+350	2+450	0	-
PS_16	2+450	2+550	0	-
PS_17	2+550	2+650	43900	4.54

Kavşaklar için BŞİ performans ölçütüne göre ağ tarama yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilen sıralama sonuçları Şekil 12'de yol kesimleri için elde edilen sonuçlar ise Şekil 13'te gösterilmiştir.

3.3 Kaza kara noktaları

HSM'de, ağ tarama yöntemleri alınacak önlemler veya uygulanacak politikalara ilişkin önceliklendirme yapmak amacıyla yol kesimlerini performans ölçütüne göre büyükten çüğe doğru sıralamaya tabi tutmaktadır. Bu çalışmada, ağ tarama yöntemlerinde açıklanan sıralama yapılmış ve ayrıca kaza kara noktaları K-ortalama kümeleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

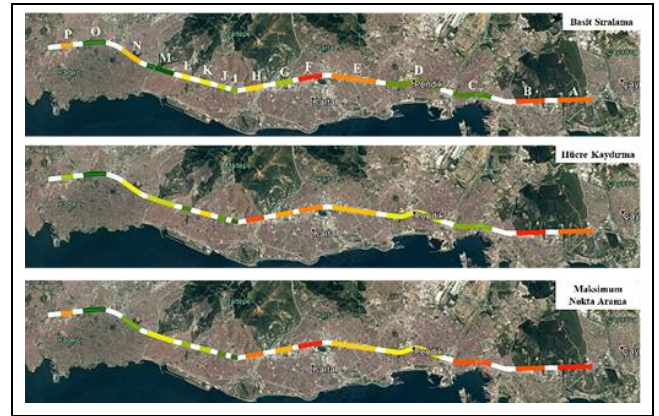
Kaza kara noktalarını belirlerken şu prosedür uygulanmıştır:

- ✓ Veri erişilebilirliği ve kullanılabilirliğine göre performans ölçütlerini belirle,
- ✓ Ağ tarama yöntemlerini seçilen performans ölçütlerine uygula,
- ✓ Seçilen performans ölçütlerine göre her ağ tarama yöntemi için seçilen kümeleme yöntemini uygula ve emniyet seviyelerini belirle,
- ✓ Seçilen performans ölçütleri için her yöntemin aynı anda en az "tehlikeli" olarak addettiği kesimleri kara nokta olarak tanımla.

bu aralıklar daha küçük sayılar arasında değişmektedir.

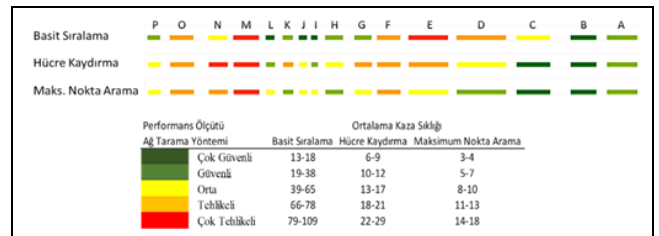


Şekil 12: BŞİ performans ölçütüne göre kavşak kesimlerinin sıralanması.



Şekil 13: BŞİ performans ölçütüne göre yol kesimlerinin sıralanması.

Bu doğrultuda K-ortalama kümeleme yöntemi yol kesimi ve kavşak kesimi referans bölgeleri için daha önce hesaplanan performans ölçütlerine göre her ağ tarama yöntemi için uygulanmıştır. Örnek olarak OKS performans ölçütüne göre yol kesimi referans bölgesinin kümeleme yöntemi sonuçları Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere turuncu ve kırmızı renkleri sırasıyla tehlikeli ve çok tehlikeli olarak sınıflandırılan kesimleri ifade etmektedir. Örneğin kümeleme neticesinde basit sıralama yönteminde kaza sayısı 66-78 aralığında olan kesimler tehlikeli, 79-109 aralığında olanlar ise çok tehlikeli olarak sınıflandırılmıştır. Hücre kaydırma ve maksimum nokta arama yöntemlerinde alt kesimlerde hesaplama yapıldığı için



Şekil 14: Yol kesimi referans bölgesi için OKS performans ölçütüne göre kümeleme sonuçları.

Yukarıda belirtilen prosedürün son adımı uygulandığında OKS performans ölçütüne göre yapılan analizler neticesinde, yol kesimi referans bölgesinde D, E, F, G, K, M, N, O ve kavşak referans bölgesinde 8, 11, 15, 16, 17 kesimleri kritik kesimler

olurken (en az bir yöntem tarafından tehlikeli veya çok tehlikeli olarak belirlenmiş); F (3 yöntem tarafından da tehlikeli belirlenmiş), M (3 yöntem tarafından da çok tehlikeli belirlenmiş), O (3 yöntem tarafından da tehlikeli belirlenmiş) ve 17 (3 yöntem tarafından da çok tehlikeli belirlenmiş) kesimleri her üç yöntem için birden tehlikeli veya çok tehlikeli olarak belirlenerek kaza kara noktası olarak tespit edilmiştir. Aynı prosedür her performans ölçütü için iki referans bölgeye de uygulanmış ve sonuçlar Tablo 9'da gösterilmiştir.

EMHOKS performans ölçütünde D, E, H, J, M, N, O, P kesimleri ile 7, 8, 13, 15 No.lu kavşaklar kritik kesimler olurken; E, 7 ve 8 kesimleri kaza kara noktası olarak belirlenmiştir. Son olarak BŞİ performans ölçütü baz alındığında A, B, C, F, H, P kesimleri ve 1, 3, 7, 11, 14, 15 No.lu kavşaklar kritik kesimler olurken; A, B ve 1 kesimleri kaza kara noktası olarak tespit edilmiştir.

Tablo 9: Performans ölçütlerine göre belirlenen kaza kara noktaları ve kilometrajları.

OKS	Performans Ölçütleri EMHOKS	BŞİ
F (15+350 - 16+850)	E (12+250 - 14+800)	A (0+000 - 1+950)
M (24+500 - 26+150)	7 (Çanakkale Cad. Kav.)	B (2+650 - 4+300)
O (28+750 - 30+250)	8 (Cevizli Kavşağı)	1 (Tuzla Kavşağı)
17 (Uzunçayır Kavşağı)		

Ağ tarama ve K-ortalama kümeleme yöntemleri ile her üç performans ölçütüne göre ayrı ayrı belirlenen tüm kaza kara noktalarının mekansal gösterimi Şekil 15'te hava fotoğrafında görülmektedir.

4 Değerlendirme ve sonuç

Yapılan bu çalışmada, İstanbul D100 karayolunun Anadolu yakasında kalan kesimi, HSM'de ağ tarama için önerilen üç yöntem ve üç farklı performans ölçütüne göre taranmıştır. 3 yıllık kaza verilerinin CBS ortamına aktarılması ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre, çalışma sahası performans ölçütleri baz alınarak en tehlikeli kesimden en az tehlikeli kesime doğru sıralanmıştır. Çalışmada ağ tarama adımları uygulanırken kavşak bağlantısı olmayan yol kesimleri ve kavşak kesimleri olmak üzere iki ayrı referans bölge belirlenmiş, bunlar kendi içinde sıralamaya tabi tutulmuştur. Son olarak K-ortalama kümeleme yöntemi kullanılarak her performans ölçütü için ayrı ayrı kaza kara noktaları belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, OKS performans ölçütü ile belirlenen kaza kara noktalarında kaza sayısını azaltmaya yönelik olarak birtakım önlemlerin alınması gerekmektedir. EMHOKS performans ölçütüne göre kaza kara noktası olarak belirlenen yerlerde, başta ölümlü kazaların yoğun olarak yaşandığı kesimlerin ön plana çıktığı görülmüştür. Ölümlü kazaların ağırlık faktörünün çok yüksek seviyede olması bu

durumu açıklamaktadır. Bu kesimlerde kaza şiddetini azaltacak önlemlerin düşünülmesi gerekmektedir. BŞİ performans ölçütünde ise, kazanın oluşum şekli ve şiddetine göre belirlenen kaza maliyetleri kullanılmaktadır. Bu ölçütte, kaza sayısının azaltılmasından daha çok toplam kaza maliyetinin azaltılmasını esas alan kaza kara noktalarını göstermektedir. Dolayısıyla, BŞİ ölçütünde kaza oluşum şekline bağlı olarak maliyeti en yüksek olan kaza türüne göre önlemlerin alınması gerekmektedir. Örneğin; BŞİ'de kaza kara noktası olarak belirlenen Tuzla Kavşağı için en büyük kaza maliyetini oluşturan karşılıklı çarpışma tipi kazaların azaltılmasına yönelik önlemlerin alınmasının gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde 2008 yılından beri uygulanan yalnız maddi hasarlı kazalarda sürücülerin bizzat kaza tutanağı tutması ve bu şekilde sigorta şirketlerine bireysel başvuruda bulunması kararı alınmıştır. Bunun neticesinde bu kaza verilerinin düzgün bir şekilde tutulması mümkün olamamaktadır. Dolayısıyla bu kazaların tam olarak elde edilmesi ile farklı sonuçların da ortaya çıkabileceği unutulmamalıdır.

Çalışmada, ağ tarama yöntemlerinden elde edilen sıralama sonuçlarına K-ortalama kümeleme yöntemi uygulanarak kaza kara noktaları tespit edilmiştir. Her üç yöntem için elde edilen kümeleme sonuçları farklılıklar gösterdiğinden (Şekil 14, Ek A 1, Ek A 2), bütün yöntemlerde "tehlikeli" ve/veya "çok tehlikeli" olarak kümelenen kesimler kaza kara noktası olarak belirlenmiştir. Bu farklılıklara yol açan sebeplerden biri, performans ölçütünün basit sıralama yönteminde kesimin tamamı için hesaplanması, diğer yöntemlerde ise alt kesimler için hesaplanması ve kesimin tamamı için kullanılmasıdır. Ayrıca, hücre kaydırma ve maksimum nokta arama yöntemleri için (3. iterasyon gereken durumlar hariç) kesimlerde farklı hücre ve alt kesim uzunluklarının değerlendirilmesi, bu yöntemler arasında farklılıklara yol açmıştır. Öte yandan hücre kaydırma ve maksimum nokta arama yöntemlerinin belirli hücre uzunlukları için kullanılıyor olmalarının, özellikle uzun yol kesimlerinde mikro ölçekte analiz yapmayı sağladığı görülmüştür.

Bu çalışmada yapılan analizler ve elde edilen sonuçlar neticesinde bazı öneriler getirilerek gelecek çalışmalara yön vermek de mümkündür. Örneğin; benzer nitelikteki yol kesimleri, basit sıralama yöntemi için düşünülürse, her kesim için belirlenen performans ölçüt değerleri kesimlerin kendi uzunluklarıyla orantılanarak tekrar hesaplandıktan sonra kendi referans bölgesi içinde sıralanabilirler. Böylece kesimler bir bütün olarak değerlendirilse de özellikle homojen kaza dağılımına sahip olmayan çok uzun yol kesimlerinin sonuçları etkileme ihtimali azaltılacaktır. Hücre kaydırma ve maksimum nokta arama yöntemlerinde zaten belirli uzunluklardaki alt kesimlerde çalışıldığı için böyle bir düzeltmeye gerek yoktur.



Şekil 15: Seçilen performans ölçütlerine göre tespit edilen kaza kara noktaları.

Başta kaza kara noktası olarak belirlenen kesimler olmak üzere tüm kesimler göz önüne alındığında, kazaların büyük çoğunluğunun arkadan çarpma, sabit cisme çarpma ve yandan çarpma/çarpışma şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu kaza oluşum türlerinin önemli ölçüde insan kaynaklı olduğu göz önüne alınırsa, çalışılan kesimde meydana gelen kazaların özellikle sürücülerin trafik kurallarına uyma noktasında yeterli önem ve dikkatini vermemesinden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Bu gibi kazaların önüne geçmek teknolojinin ilerlemesiyle (otomatik fren sistemi, uyarlanabilir seyir kontrolü vs.) nispeten mümkün olabilse de günümüzde tam anlamıyla önlemek mümkün görünmemektedir. Bu yüzden sürücülerini aktif bir şekilde uyaracak trafik işaretleri ve uygulamalarının yanı sıra caydırıcı trafik cezalarının yaygın olarak uygulanması ile bazı kazaların önüne geçmek ve kazaların etkilerini azaltmak mümkün olabilecektir.

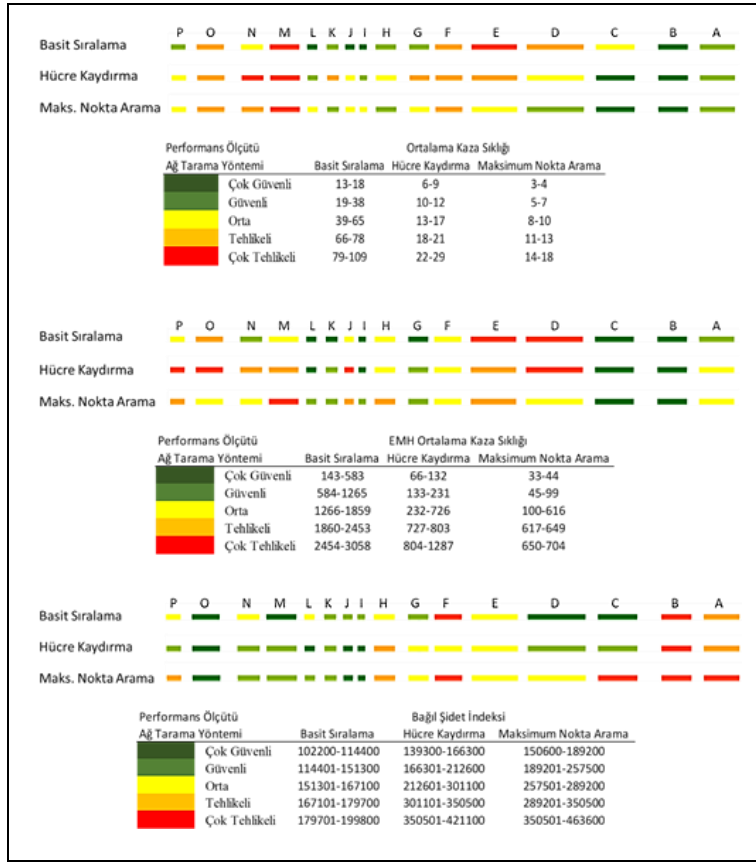
Konuya bir başka açıdan bakıldığı takdirde, kurum ve kuruluşlar arasında kolay veri transferi yapılması, veri transferinde bürokrasinin büyük oranda ortadan kaldırılması ve bilginin çoğaltılarak açık kaynak olarak sunulması gibi konular, bu gibi çalışmaların daha sağlıklı yürütülmesi ve sürekliliği açısından önem arz etmektedir.

5 Kaynaklar

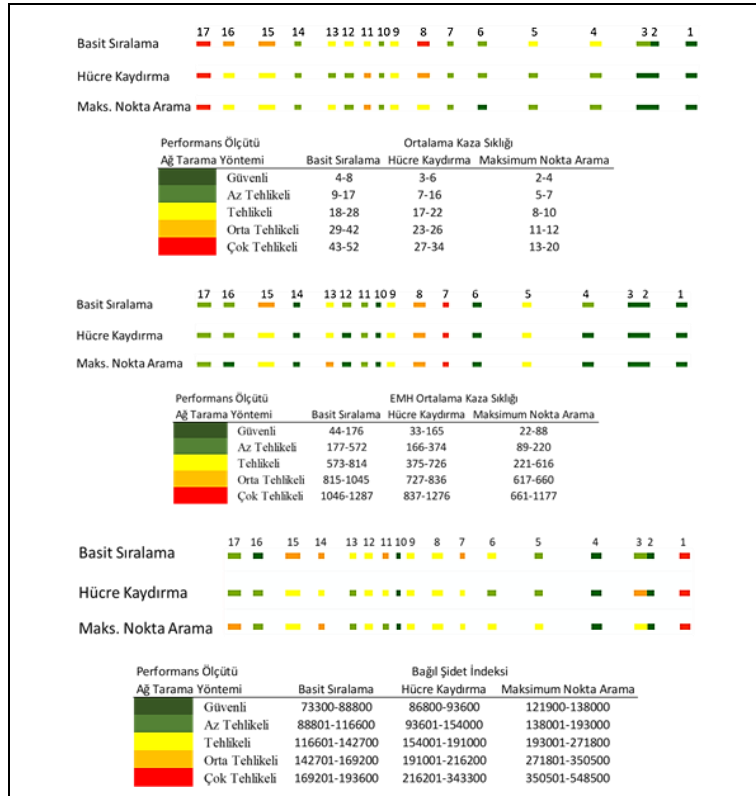
- [1] World Health Organisation. "Global Status Report on Road Safety 2015". Italy, 2015.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu. "Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2017". <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27668> (27.06.2018).
- [3] Murat YŞ, Şekerler A. "Trafik kaza verilerinin kümeleme analizi yöntemi ile modellenmesi". *Teknik Dergi*, 20(3), 4759-4777, 2009.
- [4] Kardeşin M, Terzi S. "Coğrafi bilgi sistemleri ile Isparta-Antalya-Burdur karayolunun kara nokta analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(3), 305-311, 2003.
- [5] Saphioğlu M, Kardeşin M. "Coğrafi bilgi sistemi yardımı ile Isparta ili kent içi trafik kaza analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 321-332, 2006.
- [6] Anderson TK. "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots". *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359-364, 2009.
- [7] Kara C, Akçit N. "Traffic accident analysis using GIS: a case study of Kyrenia City". *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*, Paphos, Southern Cyprus, 16-19 March 2015.
- [8] Sandhu HAS, Singh G, Sisodia MS, Chauhan R. "Identification of black spots on highway with kernel density estimation method". *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44(3), 457-464, 2016.
- [9] Colak HE, Memisoglu T, Erbaş, Y., Bediroğlu S. "Hot spot analysis based on network spatial weights to determine spatial statistics of traffic accidents in Rize, Turkey". *Arabian Journal of Geosciences*, 11(7), 151, 2018.
- [10] Kundakci E. Identification of Urban Traffic Accident Hot Spots and Their Characteristics by Using GIS. MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2014.
- [11] Dereli MA, Erdoğan S, Soysal Ö, Çabuk A, Uysal M, Tiryakioğlu İ, Akbulut H, Dündar S, Erdoğan H, Saraçlı S, Yalçın M, Güllal AE, Taşbaş M, Kantar M, Arslan Y. "Coğrafi bilgi sistemleri destekli trafik kaza kara nokta belirleme: ampirik Bayes uygulaması". *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 36-42, 2015.
- [12] Geymen A, Dedeoğlu OK. "Coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanılarak trafik kazalarının azaltılması: Kahramanmaraş ili örneği". *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 79-88, 2016.
- [13] Atalay A, Tortum A. "Türkiye'deki illerin 1997-2006 yılları arası trafik kazalarına göre kümeleme analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 335-343, 2010.
- [14] Yakar F. "Tokat-niksar karayolundaki kazaya meyilli kesimlerin frekans orani yöntemiyle tespit edilmesi". *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 206-216, 2018.
- [15] AASHTO. *Highway Safety Manual*. 1st ed. Washington DC, USA, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.
- [16] Manepalli URR, Bham GH. "An evaluation of performance measures for hotspot identification". *Journal of Transportation Safety & Security*, 8(4), 327-345, 2016.
- [17] Young J, Park PY. "Hotzone identification with GIS-based post-network screening analysis". *Journal of Transport Geography*, 34, 106-120, 2014.
- [18] Council F, Zaloshnja E, Miller T, Persaud B. "Crash Cost Estimates by Maximum Police-Reported Injury Severity within Selected Crash Geometries". Federal Highway Administration, Georgetown Pike, USA, FHWA-HRT-05-051, 2005.
- [19] Demirtaş RB. Kadıköy Merkez Bölgesinde Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [20] Saraçoğlu S. Trafikte Olay Yönetimi Ve Süreç Tahmini: İstanbul Tem Otoyolu Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [21] Han J, Kamber M. *Data Mining Concepts and Techniques*. San Francisco, USA. Morgan Kaufmann Publishers. 2000.
- [22] Uylaş Satı N. "A collective learning approach for semi-supervised data classification". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(5), 864-869, 2018.

Ek A

Kaza kara noktalarının analizinde kullanılan kümeleme yöntemine ait sonuç detayları aşağıda verilmiştir.



Ek A 1: Yol kesimi referans bölgesi için performans ölçütleri ve ağ tarama yöntemlerine göre kümeleme sonuçları.



Ek A 2: Kavşak kesimi referans bölgesi için performans ölçütleri ve ağ tarama yöntemlerine göre kümeleme sonuçları.