



Karayolu trafik kazalarına yeni bir yaklaşım: Kaza analiz kesimleri modeli A new approach for road traffic accidents: Crash analysis segments model

Hakan GÜLER^{1*}

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
hguler@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 07.01.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 24.03.2016

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.81542

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada kaza analizleri konusunda yapılan araştırmaların geniş bir literatür taraması yapılarak kaza analiz kesimleri adında yeni bir yaklaşım modeli geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, kaza analizi yapılacak olan yolun geometrik ve trafik özellikleri dikkate alınarak yol kesimi homojen özellikte kaza analiz kesimlerine bölünmüştür. Çalışma bölgesinde meydana gelen trafik kazalarına etki eden faktörler ve bu faktörlerin sebep olduğu kaza şiddetleri belirlenmiştir. Her bir analiz kesimine ait geçmiş trafik kazaları belirli bir zaman periyodu için incelenmiş, kaza şiddetlerine ve kazaya etki eden faktörlere ağırlık değerleri verilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerle her bir kaza analiz kesimi, kaza açısından önem derecesine göre sıralanmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen model verileri teorik olarak üretilen kuramsal bir yol kesiminde test edilmiş, diğer kaza analiz modelleriyle karşılaştırılmış ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kaza analiz kesimleri, Kaza analizi, Trafik kazaları

Abstract

In this study a comprehensive literature review was done on road traffic accident studies and a new approach named crash analysis segments was developed. In this approach, the case area was divided into homogenous analyses segments by considering geometrical and traffic properties of the road segment. The traffic accidents and the accidents factors with their crash severities were defined. The weighted ratios were assigned to the crash factors and to the crash severities after historical traffic accident records were gathered during a defined period for each analysis segments. Each crash analyses segments were ranked by considering their prioritisation after some analyses. Consequently, the developed model was tested for a hypothetical road segment with a data set generated theoretically and compared with the other crash analysis models and reliable results were found.

Keywords: Crash analysis segments, Crash analysis, Traffic accidents

1 Giriş

Karayolları üzerinde araç ve yaya hareketleri gerçekleşirken güvenliği tehlikeye sokabilecek trafik kazaları olabilmektedir. Bu kazalar başta yol, insan ve araç faktörleri olmak üzere pek çok olumsuz faktörün bir araya gelmesinden kaynaklanmaktadır. Meydana gelen kazalar, kazanın şiddetine bağlı olarak maddi hasarlı, yaralanmalı veya ölümlü olarak sonuçlanmaktadır. Yol güvenliğini artırmak amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından trafik kazalarının sebeplerinin ve kara nokta olarak isimlendirilen kritik kesimlerin bulunması konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Karayolu trafik güvenliği, yayaların ve sürücülerin karayolu üzerinde güvenli bir şekilde hareketlerini gerçekleştirmeleri için alınması gereken önlemleri kapsamaktadır. Kazaların önlenmesi veya en aza indirilmesi için; sürücülerin ve yayaların bilinçlendirilmesi, yol geometrisinin mühendislik esaslarına uygun olarak yapılması, yollarda yeterli ve gerekli trafik kontrol sistemlerinin olması ve motorlu araçların güvenliği artıracak şekilde tasarlanmış olması gibi pek çok parametrenin ele alınması gerekmektedir. Kamu sağlığı ve yaralanmalar konusunda karayolu trafik kazaları tüm dünyada en önemli problem olarak görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) yapmış olduğu çalışmalarda her yıl yaklaşık 1.3 milyondan fazla insanın trafik kazalarında hayatını kaybettiği ve 20 ila 50 milyon arası insanın yaralandığı görülmektedir. İstatistiklere göre trafik kazalarında meydana gelen ölümlerin yaklaşık %90 gibi bir oranının düşük ve orta gelirdeki ülkelerde olduğu tespit edilmiştir [1]. Al-Haji; araç sahipliği (kişi başına araç), ölüm riski (kişi başına ölüm) ve trafik riski (araç başına ölüm)

üzerine uluslararası bir araştırma yapmıştır. Araştırma sonuçlarına göre gelişmiş ülkelerde araç sahipliği fazla, ölüm ve trafik riskleri ise daha azdır. Oysa gelişmekte olan ülkelerde tam tersi bir durum söz konusudur [2].

Bu çalışmada karayolu trafik güvenliği üzerine geniş bir literatür taraması yapılarak, trafik güvenliği ve kaza analizi çalışmaları incelenmiş ve Kaza Analiz Kesimleri (KAK) adında önceki çalışmaları da kapsayan yeni bir yaklaşım modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelde analiz yapılacak olan yol kesimi homojen özellikler taşıyan kaza analiz kesimlerine bölünmüştür. Kaza analiz kesimlerinin oluşturulmasında; yol geometrik özellikleri (şerit sayısı, eğim, kurba durumu, dever durumu ve miktarı vb.) ve trafik verileri (trafik hacimleri, trafik yoğunluğu, hızlar vb.) dikkate alınmıştır. Kaza analizi yapılacak olan yol kesiminde meydana gelen kazaların sayısı, trafik kazalarına etki eden faktörler (yol, araç ve insan) ve bu faktörlerin sebep olduğu kaza şiddetleri (ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı) esasında her bir kaza analiz kesimi için ayrı ayrı belirlenmiştir. Geliştirilen model, yol geometrik özellikleri ve trafik verileri kuramsal olarak belirlenen örnek bir yol kesiminde test edilerek analizler gerçekleştirilmiş ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

2 Literatür araştırması

Kaza analizlerinde ilk çalışmalar Smeed RJ. tarafından yapılmıştır. Smeed RJ, 1949 yılında 20 farklı ülkeye ait trafik verilerini karşılaştırarak bir regresyon modeli geliştirmiştir. Bu modelde trafik riski (araç başına ölüm) ile araç sahipliği (kişi başına araç sayısı) arasında ters bir ilişki olduğu bulunmuştur [3]-[4]. Geliştirilen model ve kullanılan değişkenler:

$$\frac{F}{V} = \alpha \left(\frac{V_c}{P} \right)^{-\beta} \quad (1)$$

F : Ülkede karayolu kazalarında ölenlerin sayısı,
V_c : Ülkede araç sayısı,
P : Nüfus,

$\alpha = 0.003$ ve $\beta = 2/3$.

Oppe, ölümlü kaza oranlarının, araç-kilometre ve zamana bağlı olarak negatif bir üstel fonksiyon olarak tanımlanabileceğini kabul etmiştir. Geliştirilen bağıntı ve kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir [5]:

$$\left(\frac{F_t}{V_t} \right) = \alpha t + \beta \quad (2)$$

F_t : Herhangi bir t yılında ülkede trafik kazalarında ölenlerin sayısı,
V_t : Herhangi bir t yılına ait araç-kilometre değeri,
t : Zaman,

α ve β katsayılar.

Koornstra, motorlu araç sayısını zamana bağlı olarak dikkate almış ve ölümlü kazalarla nüfus arasındaki ilişkinin zaman sürecine dahil edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Araştırmacı aşağıdaki formülü geliştirmiştir [6]:

$$F_t = z.V_t^x.V_{t-t}^w \cdot \left(\left(\frac{V}{V_{t-t}} \right)^c - 1 \right)^y \quad (3)$$

F_t : Herhangi bir t yılında ülkede trafik kazalarında ölenlerin sayısı,
V_t : Herhangi bir t yılında araç kilometre değeri,
V_{max} : Maksimum araç-kilometre değeri,
t' : Yıl olarak zaman farkı,

x, w, z, y, ve c katsayılar.

Navin ve diğ., Smeed'in denklemini; trafik riski, kişi riski ve motorlu araç parametrelerini alarak üç boyutlu bir denklem haline getirmiştir. Navin ve diğ. tarafından geliştirilen bağıntı ve kullanılan parametreler [7]:

$$T = T_f \cdot e^{\frac{-M}{M_0}} \quad (4)$$

M₀ : Maksimum kişisel risk durumunda motorlu araç sayısı,
T_f : Üstel eğrinin T-ekseni ile buluştuğu nokta,
T : Araç başına ölümlü trafik riski değeri,
M : Nüfus başına motorlu araç sayısı.

Kaza yoğunluğunun fazla olduğu karayolu kesimlerinin belirlenmesiyle ilgili olarak da çok sayıda farklı kriteri dikkate alan modeller geliştirilmiştir. Genellikle yüksek kaza yoğunluğuna sahip yolların sıralanmasıyla ilgili olarak üç önemli teknik kullanılmaktadır. Bunlar;

a) Kaza kesimlerinin basit sıralama tekniği ile sıralanması,

b) Güvenlik aralığı esası,

c) Ampirik Bayesian yöntemleridir [8]-[9].

Basit sıralama tekniğinde yollarda meydana gelen kazalar kaza sıklığı, kaza oranı gibi parametreler dikkate alınarak azalan şekilde sıralanır.

Güvenlik aralığı yaklaşımı istatistikte kullanılan güven aralıkları esasına dayanmaktadır. İncelenen kesimde gözlenen kaza sayısı, karşılaştırma yapılan bölgede (benzer nitelikteki bölge) gözlenen ortalama kaza sayısını aşarsa bu bölge güvenli olmayan bölge olarak tanımlanır.

Her iki yöntemde; kaza sıklığı, yoğunluk, oran, şiddet, kalite kontrol oranı, sıklık-oran ve şiddet-oran gibi kaza modellerini içerebilmektedir. Araştırmacılar uygulama şekline göre ilgili modeli tercih etmektedirler. Bu tekniklerle ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Kaza sıklık modelinde, yol kesimlerine ait kaza sayıları azalan şekilde sıralanır ve güvenli olmayan kesimler mühendislik açısından değerlendirilmek üzere belirlenir [10]-[11]. Bu modelde benzer kesimler birbirleriyle karşılaştırılır. Bu modelle ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar bulmak mümkündür. Genelde yolun belirli bir noktasındaki güvenlik analizlerinde kritik kaza frekansı değeri kullanılmaktadır. Kritik kaza frekansı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$F_{CR} = F_{av} + S_F \quad (5)$$

F_{CR} : Kritik kaza frekansı,
F_{av} : Aynı özelliğe sahip tüm yol kesimlerine ait ortalama kaza frekansı,
S_F : aynı özelliğe sahip tüm yol kesimlerine ait kaza frekanslarının standart sapması.

Kaza yoğunluk modelinde de kaza sıklık modeline benzer bir yaklaşım vardır. Bu modelde her bir yol kesimi için kilometre başına kaza sayısı belirlenmektedir [12]-[13]. Bölgeler kaza yoğunluk değerlerine göre azalan şekilde sıralanmakta ve önceden belirlenen bir değer üzerinde olan kesimler yüksek kazalı bölgeler olarak sınıflandırılmaktadır. Genelde yolun belirli bir uzunluğunda güvenlik analizi çalışmalarında kritik kaza yoğunluğu değeri kullanılmaktadır. Kritik kaza yoğunluğu aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$D_{CR} = D_{av} + S_D \quad (6)$$

D_{CR} : Kritik kaza yoğunluğu,
D_{av} : Aynı özelliğe sahip tüm yol kesimlerine ait ortalama kaza yoğunluğu,
S_D : Aynı özelliğe sahip tüm yol kesimlerine ait kaza yoğunluğu standart sapması.

Kaza oranları modeli, kaza analizlerinde en çok kullanılan ve en basit risk analizlerinden birisidir. Kaza oranı, araç-kilometre veya yola giren araç başına meydana gelen kazaların maliyeti veya kaza sayısıdır. Kaza oran modelinde, trafik hacmi ile kaza sıklığı değerleri kullanılmaktadır [14]-[15]. Bu modelde, kaza sayısının fazla olduğu yol kesimlerine ait kaza oranları azalan şekilde sıralanır ve değerlendirme yapılır.

Kaza şiddet modelinde kazaların şiddeti dikkate alınmaktadır. Bu modelde yolun belirli bir kesiminde yaralanma, ölüm veya maddi hasarla sonuçlanan kazalara bir ağırlık değeri verilmekte ve kazanın maddi kayıpları da dikkate alınmaktadır

[16]. Ölümlü ve ciddi yaralanmalı kazalara, küçük yaralanmalı ve sadece maddi hasar oluşan kazalara göre daha büyük bir ağırlık değeri verilmektedir. Bu modelde aşağıda belirtilen şiddetin türüne bağlı olarak meydana gelen olaya bir ağırlık değeri verilir:

- Ölümlü: Bir veya birden fazla ölümlü (Büyük bir ağırlık değeri atanır),
- A-düzyer yaralanma: Normal çalışma hayatını etkileyecek şekilde yaralanma (felç, kırık vb.),
- B-düzyer yaralanma: Normal çalışma hayatını etkilemeyen ancak gözle görülür yaralanmalar (kırıklar, sıyrıklar, topallama, şişme, morarma vb.)
- C-düzyer yaralanma: Olası ancak gözle görülmeyen yaralanma (örneğin boyun tutulması)
- Maddi hasarlı kazaların toplam sayısı (PDO): Sadece maddi hasar (ölümlü kaza şiddetine göre daha az bir ağırlık değeri verilir).

Oran kalite kontrol yöntemi, trafik güvenliği alanında çok yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bir karayolu kesiminde kaza sayılarının Poisson dağılımına uyduğu kabul edilir. Kaza oranı, benzer bir kesime ait eşdeğer kaza oranı ile karşılaştırılır. Bu yöntemde, kazaların en yüksek ve en büyük değerleri tespit edilir. Şayet kaza oranı belirlenen değerden daha yüksekse bu yol kesimi kara nokta olarak dikkate alınır. Bu yöntemde kritik kaza oranı, belirli bir yol kesimi için araç trafiği dikkate alınarak ortalama kaza oranının bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Kritik kaza oranı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır [17],[18]:

$$R_c = \lambda + k \sqrt{\frac{\lambda}{m}} + \frac{1}{2m} \quad (7)$$

R_c , belirli bir yol kesimi için kritik oran (milyon araç başına kaza sayısı veya milyon araç-kilometre başına kazalar),

λ , benzer yol karakteristiklerine sahip tüm yol kesimlerinde ortalama kaza sayısı (milyon araç başına kaza sayısı veya milyon araç-kilometre başına kaza sayısı),

m , analiz süresince belirli bir yol kesiminden geçen araç sayısı (milyon araç-kilometre) veya belirli bir kesime giren araç sayısı (milyon araç),

k , öngörülen R_c için istatistiksel anlamlılık düzeyi ile belirlenen olasılık faktörü.

İstatistikte anlamlılık düzeyi ile belirlenen olasılık faktörü k için aşağıda çeşitli değerler verilmiştir:

- $k = 3.090$ (% 99.9 güvenilirlik düzeyi),
- $k = 2.576$ (% 99.5 güvenilirlik düzeyi),
- $k = 1.645$ (% 95 güvenilirlik düzeyi),
- $k = 1.282$ (% 90 güvenilirlik düzeyi).

Sıklık oran modelinde, kazaların sıklıkla meydana geldiği bölgelerin kaza sayıları belirlenir. Bu rakamlar kullanılarak kaza oranları belirlenir ve bu orana göre bölgeler sıralanır [19]. Sıklık oranı (FR) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$FR = \frac{NA}{V} \times 10^6 \quad (8)$$

- FR : Sıklık oranı,
NA : Bölgede meydana gelen kaza sayısı,
V : Trafik hacmi.

Şiddet oran modeli, kaza şiddetini ve kaza oran modellerini içerir [19]. Bu modelde eşdeğer maddi hasar (EPDO) rakamsal olarak hesaplanır (kaza etkinlik modelinde olduğu gibi). Daha sonra her bir yol kesimindeki şiddet oranını elde etmek için EPDO değeri hacim değerine bölünür (milyon olarak günlük araç sayısı veya milyon olarak araç-kilometre değeri). Şiddet oranı (EO) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$EO = \frac{EPDO}{V} \times 10^6 \quad (9)$$

- EO : Şiddet oranı,
EPDO : Eşdeğer maddi hasar,
V : Trafik hacmi.

Ampirik Bayesian yöntemi, basit sıralama ve güven aralığı yöntemlerine göre daha çok tercih edilmiş ve geliştirilerek çeşitli uygulamalar yapılmıştır [19]. Bu yaklaşım yol güvenliği analizlerinde uzun zamandan beri kullanılmaktadır [20]-[21]. Benzer kesimlerde geçmiş kaza istatistikleri ve beklenen kaza sayıları kullanılarak, Ampirik Bayesian yöntemleri ile kaza riski yüksek olan bölgelerin belirlenmesinde önemli bir başarı sağlanmıştır. Bu yaklaşımda, bir bölgedeki gerçek kaza oranı, rassal bir değişken ve bölgeyi temsil eden bir kaza değeri olarak ele alınır ve bölgenin geçmiş kaza verileri bölgenin tehlike olasılığının tespiti için kullanılır [22]. Hauer bu yöntemle benzer kesimlere ait kaza verilerini kullanarak, bu kesimlerde olabilecek kazaların sayısını tahmin etmiştir [23]. Hige ve Witkowski de kazaya meyilli bölgelerin belirlenmesinde Ampirik Bayesian yöntemini kullanmıştır [24]. Özetle bu yöntem, çalışma bölgesindeki kaza sayılarının tahmin edilmesinde ve tehlikeli yol kesimlerinin belirlenmesinde kullanılır.

Ampirik Bayesian yöntemi iki önemli kabule dayanır. Birinci kabulde, bir bölgede meydana gelen kazaların Poisson dağılımına uyduğu kabul edilir. Poisson dağılımı aşağıdaki eşitlikle ifade edilir [24]:

$$P(p, \lambda) = \frac{\lambda^p e^{-\lambda}}{p!} \quad (10)$$

- $P(p, \lambda)$: Kaza olasılığı,
 p : Kayda geçen kaza sayısı,
 λ : beklenen kaza değeri.

İkinci kabulde, λ 'nın olasılık dağılımının gama dağılımına uyduğu kabul edilir. $g(\lambda)$, gama yoğunluk fonksiyonu olarak ifade edilir ve değişkenlerin bir fonksiyonu olarak modellenir.

Literatürde çok boyutlu kaza analiz değerlendirmesiyle ilgili çalışmalar da bulunmaktadır. Boroujerdian ve diğ. tarafından eşit uzunluktaki yol kesimlerine uygulanan, kaza faktörleri ve bu faktörlerin şiddet değerlerini içeren çok boyutlu bir değerlendirme modeli geliştirilmiştir [9]. Murat ve Şekerler tarafından trafik kaza verileri klasik ve bulanık kümelenme yöntemleriyle analiz edilmiş, elde edilen küme merkezlerine yakın bölgelerdeki trafik kazalarının daha yoğun olduğu noktalar kara nokta olarak belirlenmiştir. Belirlenen kara noktalar detaylı biçimde ele alınarak kazaya neden olan unsurlar incelenmiştir [25]. Kardeşin ve Terzi, Isparta-Antalya karayolu üzerinde 1996-1999 yılları arasında meydana gelen trafik kazalarını Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında değerlendirerek kara nokta analizi yapmışlardır

[26]. Saphioğlu ve Kardeşin, Isparta ilindeki trafik kazalarının yoğun olduğu bölgeleri ve kara noktaları coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanarak tespit etmişlerdir. Etkin bir yöntem olarak söz edilen CBS ile tablolar oluşturulmuş ve kazaların değerlendirilmesi yapılmıştır [27]. Eminağa tarafından şehir içi ana arterlerde hız ile kaza oluşumu arasındaki ilişkiyi araştırmak için CBS tabanlı bir kaza analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, zamana bağlı ortalama kesim hızları ile kesimin geçmiş kaza oranları ve üç güvenlik ölçütü ile hazırlanan tematik kaza haritaları kullanılmıştır [28]. Ünal, bir grup kara noktadaki iyileştirme alternatifleri arasında bir optimizasyon çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, kaza sayılarındaki azalmayı maksimize edecek ve yapılacak iyileştirmelerin uygulanması için gerekli olan projelerin maliyetleri toplamının mevcut bütçeyi aşmaması koşulunu sağlayacak şekilde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir [29]. Ozan ve diğ. kaza riski taşıyan linklerin belirlenmesi amacıyla tehlike indeksi metodunu kullanmışlardır. Yapılan risk analizi ve derecelendirilmesi sonucunda tehlike indeksi metodunun, trafik kaza risk analizlerinde kullanılabilirliği ve bu sayede kaza sayılarının azaltılabilmesi yönünde yapılacak çalışmalara temel oluşturabileceği belirlenmiştir [30]. Atalay ve diğ. Türkiye’de 1977-2006 yılları arasında meydana gelen aylık trafik kaza verilerini kullanarak zaman serisi analiz yöntemi ile modelleme yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda çalışma döneminde kullanılan verilere göre en uygun modelin ARIMA(4, 1, 4) olduğunu belirlenmişlerdir. Bu model kullanılarak en fazla ve en az kazaların meydana geldiği dönemleri belirleyebilmişlerdir [31]. Atalay ve diğ. trafik kazalarının oluşmasında etkili olabileceği düşünülen sosyo-ekonomik ve ulaşım ile ilgili 20 farklı değişken belirlenmişlerdir. Türkiye’de 81 il için bu değişkenlerin istatistik değerleri elde edilmiş ve çalışmanın veri tabanı oluşturulmuştur. Bu değişkenleri belli gruplar altında toplamak amacıyla faktör analizi yapılmış, faktör skorlarına göre illerin tematik haritaları oluşturulmuş ve kazaların analizleri yapılmıştır [32]. Çodur ve diğ. karayolu güvenliğinin sağlanmasında kazalara neden olan faktörlerin inceleyerek geliştirilmiş lineer regresyon tekniği ile kaza tahmin modeli geliştirmişlerdir [33]. Çodur, yapay sinir ağları yöntemini kullanarak Erzurum ili karayolu trafik kazalarının analizini yapmıştır. Yapay sinir ağları ile yapılan analizlerde karayolu trafik kazalarında en etkili parametrenin düşey kurburlar olduğu tespit edilmiştir [34]. Akgüngör ve Doğan, regresyon analizi, yapay sinir ağları ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak İzmir ili için trafik kaza tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Her üç yöntemle kaza modelleri geliştirilirken değişken olarak nüfus, araç ve kaza sayıları kullanılmış ve bu yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır [35]. Akgüngör ve Doğan; 1986-2005 yılları arasındaki nüfus, araç, kaza, yaralı ve ölü sayısı verilerini kullanarak Türkiye için trafik kaza modelleri geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Smeed ve Andreassen modellerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen modele Smeed Benzeşim Modeli adı verilmiştir [36]-[37]. Irgat ve diğ. tarafından ise makroskobik ulaşım planlama teknikleri kullanılarak Sakarya ili için bir kaza analizi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada bir ulaşım planlama yazılımının (Visum) modülü olan Visum Safety programı kullanılmıştır [38].

3 Türkiye’de kaza analizleri

Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü bir karayolundaki kara noktalarının ortadan kaldırılması veya iyileştirilmesi süreciyle ilgili olarak aşağıda belirtilen faaliyetleri yapmaktadır [39]:

- **Kara noktaların belirlenmesi**, karayolu ağında özellikle tehlikeli olan noktaların ve kara noktaların belirlenmesi sürecidir,
- **Teşhis**, belirlenmiş olan kara noktaların her birine ilişkin sorunların, kazaya yol açan faktörlerin ve eksikliklerin neler olduğunun araştırılması sürecidir,
- **Karşı önlemlerin bulunması**, gerçek sorunlar ve eksikliklere dayalı olarak her kara noktaya uygun karşı önlemlerin oluşturulmasına yönelik sistemli bir analiz anlamını taşımaktadır,
- **Etkilerin tahmin edilmesi**, uygun karşı önlemlerin güvenlik etkilerinin (ve gerektiği takdirde öteki etkilerinin) ve maliyetlerinin tahmin edilmesi sürecidir,
- **Önceliklendirme**, bazı tanımlanmış kriterlere, tahmini etkilere, maliyetlere ve bütçe kısıtlamalarına dayalı olarak en iyi eylem planının (veya yatırım programının) bulunması anlamını taşımaktadır,
- **Uygulama**, eylem planına (veya yatırım programına) dahil edilmiş olan önceliklendirilmiş önlemlerin fiilen gerçekleştirilmesi anlamını taşımaktadır.

Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından kaza analizlerinde oran kalite kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle birlikte

- i) Kaza oranı,
- ii) Kaza frekansı,
- iii) Şiddet indeksi de kullanılmaktadır. Hesaplamalar 1km uzunluğundaki yol kesimi için yapılmaktadır. Hesaplanan bu üç değer şayet üst eşik değerlerini aşarsa bu kesim kara nokta olarak dikkate alınmaktadır [39].

Şiddet indeksi için iki farklı tanım kullanılmaktadır. İlk şiddet indeksi tanımında (SI_A); kazalar üçe ayrılmaktadır: Sadece maddi hasarlı (PDO), yaralanmalı (I) ve ölümlü (F). Kazanın şiddeti, meydana gelen toplam kazaların kategorisine bağlı olarak önceden tanımlanan katsayılar ile çarpılması ile hesaplanmaktadır. İkinci şiddet indeksi tanımında (SI_B); önceden belirlenen katsayılar, kesimde meydana gelen yaralanmalı ve ölümlü kazaların tümüne doğrudan uygulanmaktadır [28],[39]. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafında SI_A hesaplamasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır [28],[39]:

$$SI_A = PDO + 3xI + 9xF \quad (11)$$

- SI_A : ilk şiddet indeksi,
PDO : sadece maddi hasarlı kazaların toplam sayısı,
I : yaralanmalı kazaların sayısı,
F : ülkede (bölgede) karayolu trafik kazalarında ölen insan sayısı.

Şiddet indeksinin ikinci tanımında; kaza sayısı yerine ölümlü, yaralanmalı ve hasarlı araçlarının sayısı kullanılmaktadır. Bu indeks aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [28],[39]:

$$SI_B = PDV + 3xI_n + 9xF_a \quad (12)$$

- SI_A : İkinci şiddet indeksi,
 PDV : Hasarlı araç sayısı,
 I_n : Kazalarda yaralanan insan sayısı,
 F_a : Kazalarda ölen insan sayısı.

4 Kaza analiz kesimleri yaklaşım modeli

Bu çalışmada KAK adında yeni bir yaklaşım modeli geliştirilmiştir. Karayolu trafik kazalarının değerlendirilmesiyle ilgili önerilen bu modelin açıklaması aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

4.1 İncelenecek yol kesimiyle ilgili yol geometrik verilerinin temin edilmesi

Bu aşamada yolun fiziksel özellikleriyle ilgili bilgiler toplanır. Bilindiği gibi fiziksel ve geometrik açıdan yetersiz olan yollarda kazaların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Yolun bölünmüş ya da bölünmemiş yol olması, şerit sayısı, şerit genişliği, kurba durumu, geçiş eğrisi durumu, yolun boyuna eğimi, kavşaklar, sanat yapıları (köprü, viyadük, tünel vb.), yol yüzey yapısı gibi yolun mühendislik anlamında tüm farklı kesimleri belirlenir. Homojen analiz kesimlerinin oluşturulabilmesi için yolla ilgili tüm farklılıkların dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada farklılıkları ifade etmek için yol geometrisi ve trafik verileri (değerleri) başlıkları altında iki önemli genel ifade kullanılmıştır. Yol geometrisi ifadesinde yolun fiziksel özellikleriyle ilgili tüm parametreler içermektedir. Trafik verileri ifadesinde ise işletmeyle ilgili tüm parametreler içermektedir.

4.2 Çalışma bölgesine ait trafik verilerinin temin edilmesi

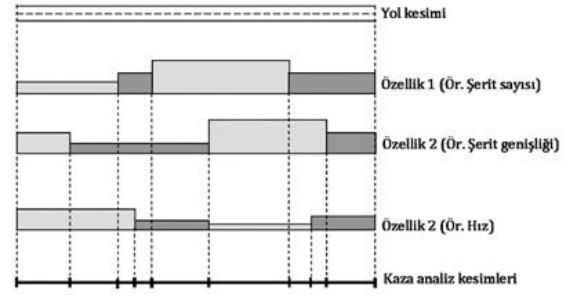
Bu aşamada çalışma bölgesine ait trafik verileri toplanır. Yolun yerleşim bölgesinde olup olmama durumu, izin verilen maksimum hız değerleri, elektronik denetleme sistemi durumu, Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değerleri gibi trafik bilgileri belirlenir.

4.3 Kaza analiz kesimlerinin oluşturulması

Bu aşamada yol geometrik yapısı ve trafik verileri dikkate alınarak analiz bölgesi mümkün olduğunca homojen özelliğe sahip kaza analiz kesimlerine bölünür. Kaza analiz kesimlerinin oluşturulmasıyla ilgili yöntem Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu homojen kesimlerin elde edilmesindeki en önemli amaç kaza sebeplerini kolayca ortaya koymak ve analiz kesimleri arasında istatistik çalışmalar yapabilmektir. Şekil 1'de; şerit sayısı, şerit genişliği ve hız gibi parametreler dikkate alınarak kaza analiz kesimleri oluşturulmuştur. Gerek yol geometrisi gerekse trafik değerleri ile ilgili ayrıntılı veriler olması durumunda çok daha homojen analiz kesimlerini oluşturmak mümkündür.

4.4 Kaza analiz kesimlerinde meydana gelen kaza istatistik bilgilerinin temin edilmesi

Bu aşamada, bir önceki aşamada belirlenen kaza analiz kesimlerine ait geçmişte meydana gelen trafik kaza verilerinin toplanması çalışması yapılır. Analizlerin doğru sonuç vermesi için kaza istatistiklerinde belirli bir zaman periyodu dikkate alınmalıdır. Dikkate alınan zaman periyodu içinde çalışma bölgesindeki yol geometrisinde herhangi bir değişim olmamalıdır. Mevsimsel ya da aylık olarak bir analiz yapılması istenmesi durumunda kaza verileri ilgili zaman dilimi için toplanabilir ve analizler gerçekleştirilebilir. Zaman dilimi belirlemek, yol geometrisinde fiziksel anlamda bir değişiklik olmadığı sürece çalışma yapan araştırmacılara bağlıdır.



Şekil 1: Kaza analiz kesimlerinin oluşturulması.

4.5 Kaza istatistik bilgilerinin gruplandırılması

Bu aşamada bir önceki aşamada toplanan belirli bir periyoddaki kaza verileri, kaza faktörleri ve şiddet durumuna göre gruplandırılır. Genelde yol kazalarına etki eden faktörler; yol, insan ve araç olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Meydana gelen kazaların şiddeti de; ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı olmak üzere yine üçe ayrılmaktadır. Bu çalışmada da bahsedilen şekilde bir gruplandırma yapılmıştır. Kaza analiz kesimleri aynı uzunlukta olmadığı durumlarda, kaza frekansları ile birlikte kaza yoğunlukları da hesaplanır. Analiz kesimlerinde meydana gelen kazaların matematik bağıntıları aşağıda ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Kaza kesimlerinde meydana gelen kazalar, kaza frekansı biriminde yani birim zamanda kaza sayıları türünden ($Kaza\ frekansı = Kaza/zaman$) aşağıdaki matriste gösterilmiştir. Bu matriste ks_n , n . kesimde meydana gelen toplam kaza sayısının kaza frekansı olarak karşılığını ifade etmektedir.

$$[KS] = \begin{bmatrix} ks_1 \\ \cdot \\ ks_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

İncelenecek yol kesiminde meydana gelen toplam kaza sayısı (KS) ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$KS = \sum_n ks_n \quad (14)$$

Kaza analiz kesimlerinin farklı uzunluklarda olmasından dolayı kaza yoğunluk değerleri hesaplanarak işlemlere konmuştur. Kaza yoğunlukları kaza sayılarının analiz kesimi uzunluğuna bölünmesi ile tespit edilir. Aşağıdaki denklemde ky_n , n . kesimdeki kaza yoğunluğunu, d_n ise n . analiz kesimi uzunluğunu göstermektedir.

$$ky_n = \frac{ks_n}{d_n} \quad (15)$$

Her bir kaza kesiminde kaza faktörlerine (i) ve kaza şiddetine (j) bağlı kaza yoğunluğu matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$[KY^i] = \begin{bmatrix} ky_{11}^i & \dots & ky_{1j}^i \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ ky_{n1}^i & \dots & ky_{nj}^i \end{bmatrix} \quad (16)$$

Her bir kaza kesiminde meydana gelen kazaların kaza faktörleri (i) ve kaza şiddetleri (j) oranları mevcut kaza istatistikleri kullanılarak hesaplanabilir ve kaza oranları

matrisi $[KO^i]$ aşağıdaki gibi oluşturulabilir. ko_{nj}^i ; n . kesimde, i kaza faktörlü ve j kaza şiddetli kazanın yüzde cinsinden oranıdır.

$$[KO^i] = \begin{bmatrix} ko_{11}^i & \dots & ko_{1j}^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ko_{n1}^i & \dots & ko_{nj}^i \end{bmatrix} \quad (17)$$

Her bir kesim için, kaza faktörleri ile ilgili tüm kaza şiddetleri oranları toplamı bire (%100) eşittir.

$$ko_n = \sum_i \sum_j ko_{nj}^i = 1 \quad (18)$$

Her bir kesimin kaza yoğunluğu (ky_n^i) ile kaza oranı (ko_{nj}^i) çarpılırsa her bir kaza türünün kaza yoğunluğu (kyo_{nj}^i) hesaplanır.

$$kyo_{nj}^i = ky_n^i \cdot ko_{nj}^i \quad (19)$$

Kaza yoğunlukları matrisi $[KYO^i]$ aşağıda gösterilmiştir.

$$[KYO^i] = \begin{bmatrix} ky_1^i & \dots & ky_n^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ky_1^i & \dots & ky_n^i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ko_{11}^i & \dots & ko_{1j}^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ko_{n1}^i & \dots & ko_{nj}^i \end{bmatrix} \quad (20)$$

Sonuç olarak her bir kaza türünün kaza yoğunluğu matrisi $[KYO^i]$ aşağıdaki gibi yazılabilir. kyo_{nj}^i ; n . kesimde, j kaza şiddetli, i kaza faktörlü kazanın kaza yoğunluğudur.

$$[KYO^i] = \begin{bmatrix} kyo_{11}^i & \dots & kyo_{1j}^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ kyo_{n1}^i & \dots & kyo_{nj}^i \end{bmatrix} \quad (21)$$

4.6 Gruplandırılan kazalara ağırlık değerlerinin verilmesi

Bu aşamada, gruplandırılan trafik kazalarına etki eden faktörlere (yol, insan ve araç faktörleri gibi) ve meydana gelen kaza şiddetine (ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı) bir ağırlık değeri verilir. Bu ağırlık değerleri; anketlerle, uzman görüşleriyle ya da trafik kazası rapor sonuçlarından belirlenebilir. Bu çalışmada, trafik kazalarına etki eden faktörlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesinde mahkeme sonuç raporlarındaki kusur dağılımı yüzdelerinin kullanılması tavsiye edilmektedir. Kaza şiddeti ağırlık değerlerinin belirlenmesinde ise mevcut çalışmalar kullanılabilir (Denklem 11 veya 12). Aşağıdaki eşitlikte kazanın şiddetinin ağırlık değerleri verilmiştir. sf_j , j kaza şiddetli kazanın ağırlık değeridir.

$$[SF] = \begin{bmatrix} sf_1 \\ \vdots \\ sf_j \end{bmatrix} \quad (22)$$

Aşağıdaki eşitlikte ise kaza faktörlerinin ağırlık değerleri verilmiştir. ff_i , i kaza faktörlü kazanın yüzde cinsinden ağırlık

değeridir. Daha öncede belirtildiği gibi bu değerler mahkeme sonuç raporlarından belirlenebilir.

$$[FF] = \begin{bmatrix} ff_1 \\ \vdots \\ ff_i \end{bmatrix} \quad (23)$$

Kaza faktörü kaza kusur oranlarını belirlediğinden ağırlık değerleri % cinsinden olup toplamları 100'e eşittir.

$$\sum_i ff_i = 100 \quad (24)$$

4.7 Analiz kesimleri kaza şiddet ve karar matrislerinin oluşturulması

Bu aşamada her bir kaza faktörü için ayrı ayrı kaza şiddet matrisleri hesaplanır. Bu matrisler daha sonra birleştirilerek analiz kesimine ait karar matrisi elde edilir.

Kaza şiddet matrisi, kaza yoğunlukları ile kaza şiddet ağırlık değerlerinin çarpılması ile elde edilir. Aşağıdaki eşitlikte kaza şiddet matrisi $[SM^i]$ hesaplanmıştır. Burada; sm_n^i , n . kesimde, i kaza faktörlü kazanın şiddet değeridir.

$$[SM^i] = \begin{bmatrix} kyo_{11}^i & \dots & kyo_{1j}^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ kyo_{n1}^i & \dots & kyo_{nj}^i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} sf_1 \\ \vdots \\ sf_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sm_1^i \\ \vdots \\ sm_n^i \end{bmatrix} \quad (25)$$

Tüm kaza faktörlerine ait karar matrisi $[KM]$ ise aşağıdaki matriste gösterildiği gibi tüm faktörlere ait şiddet matrislerinin bir araya getirilmesi ile elde edilmiştir.

$$[KM] = \begin{bmatrix} sm_1^1 & \dots & sm_1^i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ sm_n^1 & \dots & sm_n^i \end{bmatrix} \quad (26)$$

4.8 Kaza olasılık matrisinin oluşturulması

Kazaların olasılığı, her bir kesimde kaza yoğunluğunun trafik hacmine bölünmesiyle bulunabilir. Kaza olasılık matrisinin oluşturulmasıyla ilgili bağıntılar aşağıda gösterilmiştir. Her bir kesimde ilgili kaza faktörünün (o_n^i) meydana gelme olasılığı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$o_n^i = \frac{sm_n^i}{1} \cdot \frac{\sum_t tr_{nt}}{\sum_t t} \quad (27)$$

Yukarıdaki eşitlikte tr_{nt} , n . kesimde t zaman aralığında geçen araç sayısı ifade etmektedir. t zaman aralığı bir yıl olarak alınır, yukarıdaki denklemin bölüm kısmı YOGT olarak dikkate alınabilir. Sonuç olarak, kaza faktörünün meydana gelme olasılığı YOGT değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$o_n^i = \frac{sm_n^i}{YOGT_n} \quad (28)$$

Herhangi bir kesimde herhangi bir faktöre bağlı kaza olma eğilimi (ke_n^i) ise aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilir:

$$ke_n^i = o_n^i \cdot sm_n^i \quad (29)$$

$$ke_n^i = \frac{(sm_n^i)^2}{YOGT_n} \quad (30)$$

Her bir kaza faktörü için kaza eğilim matrisi [KEi] ise aşağıdaki gibi gösterilir;

$$[KE^i] = \begin{bmatrix} ke_1^i \\ \cdot \\ ke_n^i \end{bmatrix} \quad (31)$$

Tüm faktörler için kaza eğilim matrisi [KE] ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[KE] = \begin{bmatrix} ke_1^1 & \cdot & ke_1^i \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ ke_n^1 & \cdot & ke_n^i \end{bmatrix} \quad (32)$$

4.9 Kaza analiz kesimleri önem matrisinin oluşturulması

Önem matrisleri, kaza analiz matrisleri ile 6. adımda belirlenen trafik kazalarına etki eden faktörlerin ağırlık değerleri ile çarpılması ile bulunur. Aşağıdaki eşitliklerde önem matrisinin [OM] hesaplanması gösterilmiştir. om_n , n . kesimin kaza önem değerini göstermektedir.

$$[OM] = [KE][FF] \quad (33)$$

$$[OM] = \begin{bmatrix} ke_1^1 & \cdot & ke_1^i \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ ke_n^1 & \cdot & ke_n^i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} ff^1 \\ \cdot \\ ff^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} om_1 \\ \cdot \\ om_n \end{bmatrix} \quad (34)$$

4.10 Kaza analiz kesimlerinin sıralanması

Bir önceki adımda bulunan analiz kesimleri önem matrisi değerleri küçükten büyüğe ya da büyükten küçüğe sıralanarak, kaza eğilimi düşük ya da yüksek olan bölgeler bulunabilir.

4.11 Kritik kaza oran değerlerinin belirlenmesi

Önerilen modelin en önemli avantajlarından birisi kritik kaza oranları değerlerinin belirlenmesinde diğer modellere göre çok daha hassas sonuçlar vermesidir. Çalışma bölgesi homojen özellikte analiz kesimlerine bölüdüğü için benzer özellikte analiz kesimleri ile karşılaştırmak daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Kritik kaza oranlarının belirlenmesinde Denklem 7 kullanılabilir.

5 Modelin test edilmesi

Önerilen modelin test edilmesiyle ilgili olarak aşağıda kuramsal olarak geliştirilen örnek bir kesim üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. KAK uzunluklarının Bölüm 4'de anlatıldığı gibi yol geometrisi ve trafik bilgileri dikkate alınarak belirlendiği kabul edilmiştir. Kaza yoğunlukları kilometre başına kaza sayısı olarak hesaplanmıştır. Örnek kesim

özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. İncelenen yol kesiminin uzunluğunun 23 km, toplam kaza sayısının (KS) ise 439 kaza/gün olduğu kabul edilmiştir (Adım 1, 2 ve 3). Bu çalışmada, sağlıklı bir karşılaştırmanın yapılabilmesi için kaza verilerinin kaza analiz kesimleri esasında toplandığı kabul edilmiştir. Örnek kesimde meydana gelen trafik kazaları, geçmiş kaza istatistikleri dikkate alınarak önce kaza faktörlerine (yol, araç ve insan) göre gruplandırılmıştır. Tablo 2'de kaza faktörleri ve bu çalışma için kabul edilen kusur dağılımları % cinsinden verilmiştir. Daha sonra her bir faktöre bağlı kaza şiddetlerine (ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı) göre bir alt gruplandırma yapılmış ve kabul edilen kaza oranları % cinsinden Tablo 3, 4 ve 5'te gösterilmiştir. Her bir kaza kesiminde gerçekleştiği kabul edilen kazaların kaza faktörleri (i) ve kaza şiddetleri (j) oranları (ko_{ij}) Tablo 3, 4 ve 5'te gösterilmiştir (Denklem 17).

Tablo 1: Test kesimine ait özellikler.

Kesimle r	KAK Uzunluğ u (km)	Kaza Frekansı (Kaza/gün)	Kaza Yoğunluğ u (Kaza/gün.km)	YOGT (Araç/gün)
K1	1	56	56.00	5000
K2	3	46	15.33	5000
K3	4	35	8.75	5000
K4	2	35	17.50	8000
K5	2	55	27.50	8000
K6	1	35	35.00	8000
K7	4	51	12.75	9000
K8	3	33	11.00	9000
K9	2	38	19.00	9000
K10	1	55	55.00	9000

Tablo 2: Kaza faktörleri ve kusur yüzdeleri.

Kesimler	Yol Faktörü (%)	Araç Faktörü (%)	İnsan Faktörü (%)	Toplam (%)
K1	15	21	64	100
K2	9	22	69	100
K3	12	25	63	100
K4	11	27	62	100
K5	10	16	74	100
K6	17	13	70	100
K7	8	19	73	100
K8	18	29	53	100
K9	16	24	60	100
K10	7	25	68	100

Tablo 3: Yol faktörüne ait kaza şiddetleri ve kusur yüzdeleri.

Kesimler	Yol faktörü		
	Ölümlü (%)	Yaralanmalı (%)	Maddi Hasarlı (%)
K1	1.5	0.6	12.9
K2	0.18	0.27	8.55
K3	0.24	0.6	11.16
K4	0.33	0.77	9.9
K5	0.9	0.8	8.3
K6	1.19	5.44	10.37
K7	0.4	2.48	5.12
K8	1.62	3.96	12.42
K9	1.28	8.8	5.92
K10	0.42	3.85	2.73

Tablo 4: Araç faktörüne ait kaza şiddetleri ve kusur yüzdeleri.

Kesimler	Araç faktörü		
	Ölümlü (%)	Yaralanmalı (%)	Maddi Hasarlı (%)
K1	0.84	4.41	15.75
K2	0.44	3.08	18.48
K3	1.5	13.75	9.75
K4	1.89	2.97	22.14
K5	1.28	3.04	11.68
K6	1.17	4.16	7.67
K7	0.57	4.18	14.25
K8	0.29	20.59	8.12
K9	0.72	2.64	20.64
K10	2.25	11	11.75

Tablo 5: İnsan faktörüne ait kaza şiddetleri ve kusur yüzdeleri.

Kesimler	İnsan faktörü		
	Ölümlü (%)	Yaralanmalı (%)	Maddi Hasarlı (%)
K1	1.28	14.72	48
K2	3.45	14.49	51.06
K3	5.04	20.79	37.17
K4	2.48	25.42	34.1
K5	5.92	31.08	37
K6	6.3	15.4	48.3
K7	0.73	15.33	56.94
K8	1.59	6.89	44.52
K9	4.8	9.6	45.6
K10	0.68	12.92	54.4

Kaza yoğunluğu (kyo_{ij}) (kaza/km) değerleri Denklem 21 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 6, 7 ve 8'de gösterilmiştir.

Tablo 6: Yol faktörü kaza yoğunluk değerleri.

Kesimler	Yol Faktörü		
	Ölümlü (%)	Yaralanmalı (%)	Maddi Hasarlı (%)
K1	0.840	0.336	7.224
K2	0.028	0.041	1.311
K3	0.021	0.053	0.977
K4	0.058	0.135	1.733
K5	0.248	0.220	2.283
K6	0.417	1.904	3.630
K7	0.051	0.316	0.653
K8	0.178	0.436	1.366
K9	0.243	1.672	1.125
K10	0.231	2.118	1.502

Tablo 7. Araç faktörü kaza yoğunluk değerleri.

Kesimler	Araç Faktörü		
	Ölümlü (%)	Yaralanmalı (%)	Maddi Hasarlı (%)
K1	0.470	2.470	8.820
K2	0.067	0.472	2.834
K3	0.131	1.203	0.853
K4	0.331	0.520	3.875
K5	0.352	0.836	3.212
K6	0.410	1.456	2.685
K7	0.073	0.533	1.817
K8	0.032	2.265	0.893
K9	0.137	0.502	3.922
K10	1.238	6.050	6.463

Tablo 8: İnsan faktörü kaza yoğunluk değerleri.

Kesimler	İnsan Faktörü		
	Ölümlü (%)	Yaralanmalı (%)	Maddi Hasarlı (%)
K1	0.717	8.243	26.880
K2	0.529	2.222	7.829
K3	0.441	1.819	3.252
K4	0.434	4.449	5.968
K5	1.628	8.547	10.175
K6	2.205	5.390	16.905
K7	0.093	1.955	7.260
K8	0.175	0.758	4.897
K9	0.912	1.824	8.664
K10	0.374	7.106	29.920

Tablo 1, 2, 3, 4 ve 5'te gösterilen ve bu çalışma için kabul edilen kaza verileri kullanılarak her bir analiz kesimi için kaza yoğunluğu (kyo_{ij}) (kaza/km) değerleri Denklem 21 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 6, 7 ve 8'de gösterilmiştir.

Şiddet indeksi hesaplamalarında Denklem 12 dikkate alınmıştır. Bu çalışmada kaza ağırlık değerleri her bir faktör için eşit kabul edilmiştir (%33.33). Daha öncede belirttiği gibi incelenen yol kesimiyle ilgili elde ayrıntılı verilerin olması durumunda gerçek durumu yansıtan ağırlık değerlerini kullanmak mümkündür. Kullanılan ağırlık değerleri matrisleri Denklem 22 ve 23'te belirtildiği gibi aşağıda verilmiştir.

$$[SF] = \begin{bmatrix} 9 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$[FF] = \begin{bmatrix} 33.33 \\ 33.33 \\ 33.33 \end{bmatrix} \quad (36)$$

Tablo 6, 7 ve 8 verileri kullanılarak, Bölüm 4.7'de anlatıldığı gibi analiz kesimlerinin kaza şiddet matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrisler daha sonra birleştirilerek analiz kesimlerine ait karar matrisi elde edilmiştir. Çalışma bölgesine ait karar matrisi denklemi aşağıda verilmiştir (Denklem 37).

$$[KM] = \begin{bmatrix} 15.792 & 87.259 & 55.194 \\ 1.684 & 26.987 & 17.140 \\ 1.323 & 11.419 & 10.915 \\ 2.657 & 36.761 & 21.483 \\ 5.170 & 31.768 & 43.956 \\ 13.090 & 28.938 & 44.100 \\ 2.060 & 18.023 & 13.589 \\ 4.277 & 14.865 & 8.045 \\ 8.330 & 36.936 & 18.696 \\ 9.933 & 77.550 & 53.108 \end{bmatrix} \quad (37)$$

Karar matrisi değerleri ve her bir kaza analiz kesimine ait YOGT değerleri kullanılarak Denklem 30 yardımıyla kaza eğilim matrisi hesaplanmıştır (Denklem 38).

Denklem 33 ve 34'te belirtildiği gibi önem matrisi, kaza eğilim matrisi ile trafik kazalarına etki eden faktörlerin ağırlık değerlerinin çarpılması ile hesaplanmıştır (Denklem 39).

Analiz kesimleri önem matrisi değerleri büyükten küçüğe sıralanarak, kaza eğilimi yüksek olan bölgeler bulunmuştur (K1>K10>K5>K6>K4>K2>K9>K7>K3>K8). Görüldüğü gibi en yüksek kaza eğilimi olan bölge K1 bölgesi, en düşük kaza eğilimi olan bölge K8 bölgesi olarak bulunmuştur. Geliştirilen KAK modeli diğer kaza analiz modelleriyle karşılaştırılması için kaza analiz kesimlerine ait veriler kullanılarak, her bir kesime ait kaza frekansı, kaza yoğunluğu, sıklık oran ve kaza şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Daha önce de değinildiği gibi, sağlıklı bir karşılaştırmanın yapılabilmesi için kaza verilerinin tüm kaza analiz modelleri için kaza analiz kesimleri arasında toplandığı kabul edilmiştir. Normal olarak diğer modellerde analiz kesimi uzunluğu dikkate alınarak tüm kesimi ifade eden ortalama değerler hesaplanmaktadır. Hesap değerleri Tablo 9'da gösterilmiştir.

$$[KE] = \begin{bmatrix} 0.050 & 1.523 & 0.609 \\ 0.001 & 0.146 & 0.059 \\ 0.000 & 0.026 & 0.024 \\ 0.001 & 0.169 & 0.058 \\ 0.003 & 0.126 & 0.242 \\ 0.021 & 0.105 & 0.243 \\ 0.000 & 0.036 & 0.021 \\ 0.002 & 0.025 & 0.007 \\ 0.008 & 0.152 & 0.039 \\ 0.011 & 0.668 & 0.313 \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$[OM] = \begin{bmatrix} 0.050 & 1.523 & 0.609 \\ 0.001 & 0.146 & 0.059 \\ 0.000 & 0.026 & 0.024 \\ 0.001 & 0.169 & 0.058 \\ 0.003 & 0.126 & 0.242 \\ 0.021 & 0.105 & 0.243 \\ 0.000 & 0.036 & 0.021 \\ 0.002 & 0.025 & 0.007 \\ 0.008 & 0.152 & 0.039 \\ 0.011 & 0.668 & 0.313 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 33.33 \\ 33.33 \\ 33.33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 72.733 \\ 6.833 \\ 1.675 \\ 7.583 \\ 12.367 \\ 12.307 \\ 1.903 \\ 1.126 \\ 6.604 \\ 33.086 \end{bmatrix} \quad (39)$$

Tablo 9: Kaza analiz modellerinin karşılaştırılması.

Kesim	Kaza Frekansı Modeli	Kaza Yoğunluğu Modeli	Sıklık Oran Modeli	Kaza Şiddeti Modeli	KAK Modeli
K1	56	56.000	0.311	94.315	72.733
K2	46	15.333	0.256	25.797	6.833
K3	35	8.750	0.194	19.646	1.675
K4	35	17.500	0.194	34.286	7.583
K5	55	27.500	0.306	64.526	12.367
K6	35	35.000	0.194	76.748	12.307
K7	51	12.750	0.283	20.091	1.903
K8	33	11.000	0.183	20.997	1.126
K9	38	19.000	0.211	37.331	6.604
K10	55	55.000	0.306	100.287	33.086

Tablo 9'da hesaplanan her model değeri büyükten küçüğe doğru sıralanarak, her bir model için kaza kesimleri kaza önem değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 10'da gösterilmiştir.

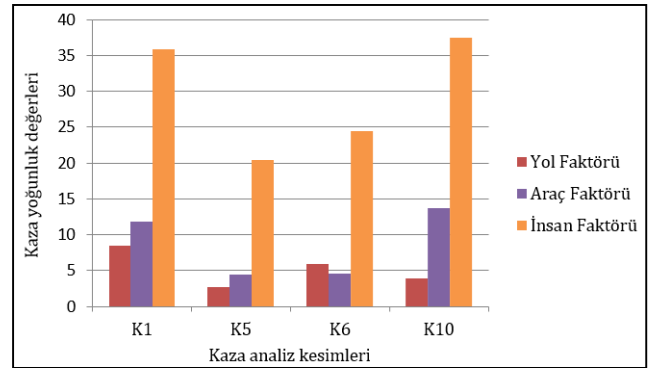
Tablo 10: Kaza modelleri sonuçları.

Önem derecesi	Kaza Frekansı Modeli	Kaza Yoğunluğu Modeli	Sıklık Oran Modeli	Kaza Şiddeti Modeli	KAK Modeli
1	K1	K1	K1	K10	K1
2	K5	K10	K5	K1	K10
3	K10	K6	K10	K6	K5
4	K7	K5	K7	K5	K6
5	K2	K9	K2	K9	K4
6	K9	K4	K9	K4	K2
7	K3	K2	K3	K2	K9
8	K4	K7	K4	K8	K7
9	K6	K8	K6	K7	K3
10	K8	K3	K8	K3	K8

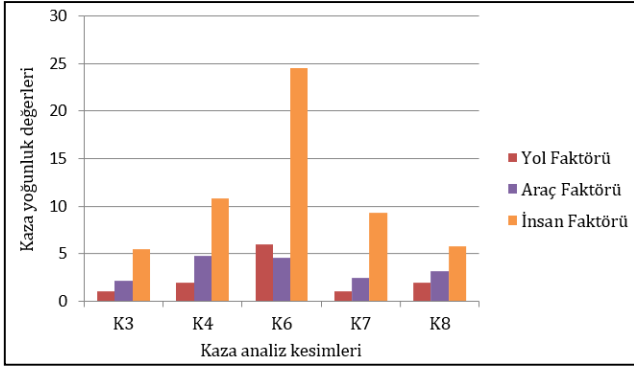
Kaza frekans modelinde ilk üç sırada: K1, K5 ve K10, kaza yoğunluk modelinde ilk üç sırada: K1, K10 ve K6, kaza sıklık modelinde ilk üç sırada: K1, K5 ve K10, kaza şiddet modelinde ilk üç sırada: K10, K1 ve K6, KAK modelinde ilk üç sırada: K1, K10 ve K6 bulunmaktadır. Bu bölgelerin kaza grafikleri aşağıda verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi K1 ve K10 bölgeleri diğer bölgelere göre daha yüksek önem derecesine sahiptirler. Kaza şiddet değerleri ve YOGT değerleri dikkate alındığında K1 bölgesi diğer bölgelere göre daha yüksek bir öneme sahiptir.

Benzer şekilde, son üç sırada kaza frekans modelinde: K4, K6 ve K8, kaza yoğunluk modelinde: K7, K8 ve K3, kaza sıklık modelinde: K4, K6 ve K8, kaza şiddet modelinde: K8, K7 ve K3, KAK modelinde ise: K7, K3 ve K8 bulunmaktadır.

Şekil 3'te görüldüğü gibi K3, K7 ve K8 bölgeleri diğer bölgelere göre daha az önem derecesine sahiptirler. En az önem derecesine sahip bölgenin ise K3 bölgesi olduğu görülmektedir. Oysa KAK modelinde K8 bölgesi en az önem derecesine sahiptir. K3 ve K8 bölgelerinin YOGT değerleri incelendiğinde sırasıyla 5000 ve 9000 araç/gün olduğu görülmektedir. Kaza şiddet değerleri ile birlikte YOGT değerleri dikkate alındığında K8 bölgesi diğer bölgelere göre daha az bir öneme sahiptir. KAK modelinde çoklu bir değerlendirme işlemi yapıldığı için ortaya çıkan sonuçların daha doğru bir sıralama olduğu söylenebilir.



Şekil 2: Kaza önem derecesinde ilk sırada bulunan bölgeler.



Şekil 3: Kaza önem derecesinde son sırada bulunan bölgeler.

6 Sonuçlar

Geliştirilen KAK modelinin diğer kaza analiz modellerine göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Diğer modellerde sadece tek boyutlu bir değerlendirme yapılırken KAK modelinde çok boyutlu bir değerlendirme söz konusudur. Kaza frekansı modelinde kaza sayıları, kaza yoğunluğu modelinde kaza sayıları ve uzunluk değerleri, sıklık oran modelinde ise kaza sayıları ve trafik hacim değerleri ağırlıklı olarak dikkate alınmaktadır. Kaza şiddet modelinde ise sadece kazanın şiddetine bağlı olarak bir sonuç çıkarılmaktadır. Geliştirilen KAK modelinde diğer modellerin değerlendirme kriterleri yanında, kaza kesimlerinde kazaya etki eden faktörler ve bu faktörlerin şiddet değerleri de analize dâhil edilmiştir. Kaza analizlerinden beklenen en önemli fayda kazaya sebep olan faktörü belirlemek ve sonuç olarak can ve mal kayıplarını en aza indirmektir. KAK modelinin en önemli avantajlardan birisi de homojen analiz kesimlerinin oluşturulması ve bu kesimler arasında yapılacak istatistik çalışmaları her bir parametrenin kazaya olan etkisinin belirlenebilmesidir. Geliştirilen bu modeli hem şehir içi hem de şehirlerarası yollara uygulamak mümkündür. Yapılacak korelasyon, regresyon gibi istatistik analiz ve testlerle kazaya etkili parametreler belirlenebilir ve gerekli müdahaleler yapılabilir.

Bu çalışmada ağırlık faktörleri tüm bileşenler (insan, yol ve araç) için %33.33 yani eşit alınmıştır. Gerek uzman görüşleri gerekse mahkeme sonuç raporları dikkate alınarak insan, yol ve araç için mevcut durumu yansıtan farklı ağırlık değerleri olarak analizleri gerçekleştirmek mümkündür.

Geliştirilen KAK modeli verileri teorik olarak üretilen kuramsal bir yol kesiminde test edilmiştir. KAK modeli üzerine daha ileri düzeyde bir çalışma yapılarak geliştirilebilir. Verileri tam olarak sağlanan bir çalışma bölgesinde uygulama yapılarak kazaya etkili parametrelerin kaza üzerine etki dereceleri belirlenebilir. Ayrıca geliştirilen kaza analiz modeli aylık ya da mevsimsel periyotlarda kullanılarak meydana gelen kazalarda zamanın etkisi de belirlenebilir.

7 Kaynaklar

- [1] World Health Organization. "Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020". Geneva, Switzerland, 2010.
- [2] Al-Haji G. Traffic Safety in Developing Countries- New Approaches in Technology Transfer by Using Distance Education Technique, MSc Thesis, Linköping University, Linköping, Sweden, 2001.
- [3] Smeed RJ. "Some statistics aspects of road safety research". *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, (General)*, 112(1), 1-34, 1949.
- [4] Adams J. "Smeed's Law: Some further thoughts". *Journal of Traffic Engineering and Control*, 10(7), 70-73, 1987.
- [5] Oppe S. "Macroscopic models for traffic and traffic safety". *Accident Analysis and Prevention*, 21(3), 225-232, 1989.
- [6] Koornstra MJ. "The evolution of road safety and mobility". *IATSS (International Association of Traffic and Safety Sciences) Research*, 16(2), 129-148, 1992.
- [7] Navin F, Bergan A, Qi JA. "Fundamental Relationship for Roadway Safety: A Model for Global Comparisons". Transportation Research Board, Transportation Research Record, Washington DC, USA, 1441, 1994.
- [8] Cheng W, Washington SP. "Experimental evaluation of hotspot identification methods". *Accident Analysis and Prevention*, 37(5), 870-881, 2005.
- [9] Boroujerdian M, Saffarzadeh M, Abolhasannejad V. "Developing a model for prioritising high crash road segments". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 163(1), 19-28, 2010.
- [10] Carey J. "Arizona Local Government Safety Project Analysis Model (Final Report 504)". Phoenix, Arizona, USA, 2001.
- [11] Qin X, Ivan JN, Ravishanker N. "Selecting Exposure Measures in Crash Rate Prediction for Two-Lane Highway Segments". *Accident Analysis and Prevention*, 36(2), 183-191, 2003.
- [12] Pulugurtha SS, Krishnakumar VK, Nambisan SS. "New Methods to Identify and Rank High Pedestrian Crash Zones: An illustration". *Accident Analysis and Prevention*, 39(4), 800-811, 2007.
- [13] Hallmark SL, Basavaraju R, Pawlovich M. "Evaluation of the IOWA DOT's Safety Improvement Candidate List Process". Iowa State University, Department of Transportation, Ames IA, USA, 2002.
- [14] McGuigan DRD. "Non-Junction accident rates and their use in "black-spot identification". *Traffic Engineering Control*, 23(2), 60-65, 1982.
- [15] United States Federal Highway Administration. "Highway Safety Improvement Program (HSIP) Manual. US. Department of Transportation". Washington DC, USA, 1981.
- [16] Ma J, Kockelman K. "Crash frequency and severity modeling using clustered data from Washington state". *Proceedings of the IEEE ITSC, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Toronto, Canada, 17-20 September 2006.
- [17] Monsere CM, Bosa PG, Bertini RL. "Combining climate, crash, and highway data for improved ranking of speed and winter-weather related crash locations in Oregon". *Journal of Transportation Engineering*, 134(7), 287-296, 2008.
- [18] Stokes RW, Mutabazi MI. "Rate-Quality control method of identifying hazardous road locations". *Transportation Research Record*, 1542, 44-48, 1996.
- [19] Sayed TAA. Highway Safety Expert System: A New Approach to Safety Programs. PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1995.
- [20] Elvik R. "The predictive validity of empirical bayes estimates of road safety". *Accident Analysis and Prevention*, 40(6), 1964-1969, 2008.

- [21] Hauer E. "On the estimation of the expected number of accidents". *Accident Analysis and Prevention*, 18(1), 1-12, 1986.
- [22] Bureau of Transport Economics. "Evaluation of the Black Spot". Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 1995.
- [23] Hauer E, Harwood DW, Council FM, Griffith MS. "Estimating safety by the empirical Bayes method: A tutorial". Transportation Research Record, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA, 1784, 2002.
- [24] Hilge JL, Witkowski JM. "Bayesian identification of hazardous locations". Transportation Research Record, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA, 1185, 1988.
- [25] Murat YŞ, Şekerler A. "Trafik kaza verilerinin kümelenme analizi yöntemi ile modellenmesi". *İMO Teknik Dergi*, 20(3), 4759-4777, 2009.
- [26] Kardeşahin M, Terzi S. "Coğrafi bilgi sistemleri ile Isparta-Antalya-Burdur karayolunun kara nokta analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(3), 305-311, 2003.
- [27] Saplıoğlu M, Kardeşahin M. "Coğrafi bilgi sistemi yardımı ile Isparta ili kentiçi trafik kaza analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 321-332, 2006.
- [28] Eminağa ZA. An Approach to Investigate Relationship Between Speed and Safety on Urban Arterials. MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2008.
- [29] Ünal SZ. An Optimizing Approach for Highway Safety Improvement Programs. MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2004.
- [30] Ozan C, Başkan Ö, Haldenbilen S, Derici E. "Trafik kazalarının tehlike indeksi metodu ile analizi: denizli örneği". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 325-333, 2010.
- [31] Atalay A, Tortum A, Gökdağ M. "Türkiye'de 1977-2006 yılları arasında meydana gelen aylık trafik kazalarının zamansal analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 221-229, 2012.
- [32] Atalay A, Tortum A, Çodur YM. "Faktör analizi kullanılarak trafik kazalarının modellenmesi". *Uluslararası Trafik ve Ulaşım Güvenliği Dergisi*, 1(1), 35-54, 2014.
- [33] Çodur MY, Tortum A, Çodur M. "Genelleştirilmiş lineer regresyon ile Erzurum kuzey çevre yolu kaza tahmin modeli". *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 79-84, 2013.
- [34] Çodur MY, Tortum A. "An artificial neural network model for highway accident prediction: A case study of Erzurum". *Turkey Promet-Traffic & Transportation*, 27(3), 217-225, 2015.
- [35] Akgüngör AP, Doğan E. "Farklı yöntemler kullanılarak geliştirilen trafik kaza tahmin modelleri ve analizi". *International Journal Engineering Research & Development*, 2(1), 16-21, 2010.
- [36] Akgüngör AP, Doğan E. "Smeed ve andreassen kaza modellerinin Türkiye uygulaması: Farklı senaryo analizleri". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 821-827, 2008.
- [37] Andreassen DC. "Linking deaths with vehicles and population". *Traffic Engineering & Control*, 26(11), 547-549, 1985.
- [38] Irgat O, Güler H, Aslan A. "Traffic safety analysis using macroscopic modeling techniques a case study for Sakarya region". *International Science and Technology Conference*, Rome, Italy, 25-27 June 2013.
- [39] Sjolinder K. *Kara Nokta El Kitabı*. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2001.