

ANKARA ŞEHİR İÇİ OTOBÜS KAZALARININ ANALİZİ VE BÖLGE RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİRÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR MODELİ

Müge UĞUR ÖZÇELİK¹, Hadi GÖKÇEN², Metin DAĞDEVİREN^{3*}

¹Eğitim ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü, 06520, Ankara.

mugeugur.ozcelik@euas.gov.tr

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, 06570, Ankara.

hgokcen@gazi.edu.tr

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, 06570, Ankara.

metindag@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi: 02.01.2013

Kabul Tarihi: 20.03.2013

ÖZET

Bu çalışmanın amacı trafik kazalarına neden olan faktörleri ve bunların risk değerlerini önceden tespit ederek, ölümlerin, geçici ve kalıcı sakatlıkların, iş gücü ve maddi hasarların oluşmasını engellemektir. Bu amaç doğrultusunda, çalışmada trafik kazalarının nedenlerinin belirlenmesi ve riskli durumların tespiti için bir karar metodolojisi ve bunun ışığında bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Model trafik kazalarına neden olan faktör ve alt faktörleri kapsamaktadır. Bölgeye bağlı kaza riski (BKR) düzeyini belirlemede ve faktör ve alt faktörlerin ağırlıklarının tespitinde Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Model Ankara İlinde faaliyet gösteren EGO Genel Müdürlüğüne bağlı toplu taşıma araçları baz alınarak geliştirilmiş ve kurum kapsamında bulunan beş bölge üzerinde uygulanmıştır. Geliştirilen model yapılacak değişikliklerle farklı kurumlar ve işletmelerde de rahatlıkla kullanılabilir yapıya sahiptir.

Anahtar kelimeler: *Trafik Kazaları, Kaza Sebepleri, Bulanık çok kriterli karar analizi; Bulanık analitik hiyerarşi süreci; Bulanık dilsel ölçek*

SUMMARY

The aim of this study is predetermining the factors that cause traffic accidents and their risk assessments, and preventing death, temporary and permanent disabilities, manpower and material damages or losses. In accordance with this purpose, for determining the reasons of the traffic accidents and establishing risk situations a decision methodology and a model in the light of these is targeted. This model contains factors of the traffic accident reasons and subfactors of these. A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method was used due to determine accident risk levels and their factors and subfactors according to the area. Model is based on the public transport vehicles of Ankara EGO Head Office and based on it. Same model was performed for the 5 area of the EGO corporation. Developed Model has a easy structure which will be used for other corporations or facilities with minor revisions.

Keywords: *Traffic accidents, Reasons of Accidents, Fuzzy and Multi Criterion Decision Analyses, Fuzzy Analitici Hierarchy Process, Fuzzy Linguistic Norm*

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışı ve ekonomik gelişmeler beraberinde araç sayısının hızla artmasına, araç sayısındaki bu artış ise karayolu ağı üzerindeki taşıt hareketliliğinin büyümesine sebep olmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 1990 yılında 56 milyon olan ülkemizin nüfusu yaklaşık 1,32 kat artarak 2011 yılı verilerinde 74 milyonu aşmış ayrıca Türkiye'de 2000 yılında 8 milyon 320 bin 449 olan araç sayısı 2011 yılının Eylül ayında 15 milyon 892 bin 396'ya ulaşmıştır [1].

Araç sayısı ve trafik hareketlerindeki bu hızlı artışın bir sonucu olarak da ülkede meydana gelen trafik kazaları bugün ciddi boyutlara ulaşmıştır. Trafik kaza verilerine bakıldığında; 2000 yılında meydana gelen trafik kaza sayısı 501.000 iken, bu rakam 2011 yılında 1.228,928 olarak belirlenmiştir [2]. Verilerden görüldüğü üzere, 2000-2011 yılları arasında trafik kazalarındaki artış % 245'ten fazladır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre ise dünyada ortalama olarak yılda 1,2 milyondan fazla kişi trafik kazalarından ölmekte, 20 - 25 milyon kişi yaralanmakta ya da sakat kalmakta olup 2030 yılına kadar ise trafik kazalarında yaralanma sonrası ölümler, tüm ölüm nedenleri arasında beşinci sıraya yükseleceği ve 13 - 14 yaş arasındaki ölümlerin nedenleri sıralamasında trafik kazalarının ilk sırada olacağı belirtilmiştir. Bütün bu nedenlerden dolayı trafik kazalarının Türkiye'de ve tüm dünyada en önemli halk sağlığı ve güvenlik sorunu olduğu vurgulanmaktadır [3].

Ölüm ve yaralanmalarla sonuçlanan birçok trafik kazasının önüne geçebilmek, trafik ve yol güvenliğini artırabilmek adına, ilgili planlama ve politikaların belirlenmesinde ve karar verilmesinde kriter sayısı arttıkça bu problemlere çözüm bulabilmek amacıyla çeşitli bilimsel metotlar ortaya konmuştur.

Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilen çok ölçütlü karar verme tekniklerinden birisi olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) karar almada, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir [4].

Karar vericiler genellikle sabit değerli yargılara varmaktansa belirli aralıklar dâhilinde yargılara varmayı tercih ederler. Bunun sebebi karar vermede, alternatifleri karşılaştırma sürecinin bulanık doğası gereği kişinin kendi tercihlerini tam olarak belirtmemesidir. Bu yüzden, her kriterin ikili karşılaştırılması sonucu elde edilen değerleri üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Böylece, karar vericilerin deneyimlerinden ve öznel algıdan kaynaklanan belirsizliğin üstesinden gelinmiştir [5].

Bu çalışmada; Ankara EGO Genel Müdürlüğü kapsamında bulunan toplu taşıma araçlarından otobüslerin sürücülere, yolcular ve trafikteki yayaların can ve mal bütünlüğünü koruyabilme, güvenliklerini artırabilme ve devamlılığını sağlayabilme ölçütleri esas alınmıştır. Çok kriterli karar verme metotlarından Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses metodu kullanılarak trafik kazalarına sebep olabilecek faktörlerin belirlenmesi, ağırlıklarının hesaplanarak bölgeye bağlı risklerinin tespit edilmesini sağlayacak bir model oluşturulması hedeflenmiştir.

Bu amaçla; trafik kazalarına sebep olan ana ve alt kriterler belirlenmiş ve Ankara İli beş bölgesi (Oran, Yenimahalle, Mamak, Keçiören ve Sincan) için analiz yapılarak her bölge için öncelikli kaza sebepleri ortaya çıkartılmış ve her bölge için kaza risk düzeyi, riskli durumlar ve risk nedenleri araştırılmış, kaza nedenlerinin bölgeler bazında önceliklerini belirlemeye yönelik bir model oluşturulmuştur. Ayrıca ileriye yönelik bir takım atıflarda da bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Trafik Kazaları Analizlerine Yönelik Çalışmalar

Kaza, beklenmedik bir zamanda, beklenmedik bir şekilde meydana gelen bir hatalar bütünüdür. “Hata” ise genelde uygun görülen, tasarlanan ve beklenen davranış standardından sapma olarak tanımlanmaktadır [6]. Trafikte hatalı davranışların insan faktörü üzerinde neden olduğu sonuçlar oldukça önemlidir. Örneğin; can ve mal kaybı, yaralanmalar ve psikolojik etkiler insan hayatına yönelik istenmeyen sonuçlardır. Hatalar bütünü sonunda oluşan trafik kazalarını tamamıyla ortadan kaldırmak mümkün olmamakla beraber önleyici tedbirler almak mümkündür. Bu amaçla yol güvenliği ile ilgili geleceğe yönelik kaza tahmin modellerinden yararlanılmaktadır. Bu alanda geleceğe ışık tutan, farklı yöntemlerle geliştirilmiş birçok kaza tahmin modeli ve birçok çalışma yer almaktadır.

Örneğin;

Mekky [7], gelişmekte olan ülkelerde taşıtlardaki hızlı artışın ölüm oranlarına olan etkisini araştırmış ve bu araştırmalarına bağlı olarak sanayileşmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkelerde araç başına ölüm oranları ile motorlu taşıt sayıları arasında ters bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur. Laberge-Nadeau ve ark. [8], sürücü yaşının ve sürücülük deneyiminin kazalara karışma da ne denli etkin olduğu araştırmıştır. Özgüven [9], trafik kazalarının oluşumuna etken unsuların başında gösterilen sürücüler içerisinde sadece ticari araç şoförlerin durumlarını çeşitli boyutları ile incelemiştir. Hijar ve ark. [10], ki-kare ve t-test kullanılarak Meksika’da iki ayrı noktada araştırma yaparak otoyollardaki trafik kaza sebeplerinin analizini yapmıştır. Abdel-Aty, Radwan [11], yöntem olarak sürüş güvenilirlik ve hata analiz yöntemi (Dream version 3.0) kullanılarak Merkez Filorida’da bir ana arter üzerinde 3 yıl içinde gerçekleşen 1606 kaza incelenmiş ve kazaya etki edenlerin analizi yapılmıştır. Chliaoutakis ve ark. [12], Faktör analizi ve Lojistik regresyon metodu kullanılarak Atina’da genç sürücülerin yaşam tarzlarının yaptıkları yol kazalarında risk etkisi araştırılmıştır. Kalyoncuoğlu [13], 5520 sürücü üzerinde yaptığı araştırmada trafik güvenliğine etki eden sürücü davranışlarını incelemiş ve sürücü faktörüne bağlı trafik kazalarının azaltılması için yapılması gerekenleri ve alınması gereken tedbirleri ortaya koymuştur. Yüksel ve Dağdeviren [14], Bulanık AHP yöntemini kullanarak çalışma sistemleri için hatalı davranış risklerinin belirlenmesi ve bu hatalı davranışların oluşmadan çalışma sisteminin güvenli hale getirilmesi için model oluşturulmuştur. Uyar, Kurt ve Dizdar [15], AHP yöntemini kullanarak trafik güvenliğini etkileyen faktörleri incelemiş ve göreceli öncelikleri belirlemiştir. Hermans, Bossche ve Wets [16], yol güvenlik verileri için en önemli ağırlık metotlarını (faktör analizi, AHP, bütçe Tahsisi, veri zarflama analizi ve eşit ağırlık) kullanarak bu metotların avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırmasını yapmıştır. Ma, Lou ve Wang [17], AHP yöntemini kullanarak yol trafik kazaları için bir model oluşturmuş ve sürücülerin kaza sırasındaki kişisel hataları incelenerek tespit edilmiştir.

Literatür araştırmalarında da görüleceği gibi trafik kazalarının sebepleri ve kazaları etkileyen faktörler değişik açılardan incelenmiş ve pek çok yöntemle analizleri kullanılmıştır. Ayrıca yol güvenliğini sağlamak için performans indeksleri üzerinden değişik yöntemler kullanılarak avantajları ve dezavantajları

karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda AHP'nin iyi bir yöntem olduğu belirtilmiştir [16]. Ayrıca AHP yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur [14,15,16,17].

Bu çalışmada toplu taşıma araçlarının sebebiyet verdiği kaza faktörlerinin tespit edilerek her bir faktör için ağırlıkların Bulanık AHP yöntemiyle hesaplanması ve beş bölge için tek tek risk değerlerinin belirlenmesi mevcut diğer literatür çalışmalarından farkındalık yaratmıştır. Ayrıca risk değerlendirmesi aşamasında tüm faktörler hesaba katılmakta ve ihmal edilmemektedir.

Karar verme sürecinde eksik ve sayısal olmayan veriler olması durumunda bulanık küme teorisi, karar verme sürecine dahil edilerek daha etkin kararlara ulaşılabilir. Ayrıca karar vermek subjektif bir süreçtir ve belirsizlik içermektedir. Klasik karar verme yöntemleri, belirsiz ve kesin olmayan durumları ele almada yetersiz kaldığından bu gibi durumlarda bulanık karar verme yöntemlerini kullanmak uygun olmaktadır. Bu çalışmada, fiziksel varlığı olmayan, elle tutulamayan, gözle ayırt edilemeyen, karar vericinin algıya dayalı yargıları olduğundan dolayı Bulanık AHP tekniği daha başarılı sonuçlar üreteceği öngörüldüğü için bu teknikle çalışılmıştır [18].

2.2.Bulanık AHP Çalışmaları

Karar vermede insan yargılarının kullanımı son zamanlarda dikkat çeken bir ölçüde artmıştır. AHP ile karar vericilerin farklı psikolojik ve sosyolojik durumlardaki gözlemleri de dikkate alınarak kendi karar verme mekanizmalarını tanıma olanağı sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemle karar vericilerin daha etkin karar vermeleri amaçlanmıştır [19]. Yöntem oldukça büyük bir ilgi görmüş ve gerçek hayatta birçok karar verme probleminin çözümünde kullanılmış ve başarılı sonuçlar üretilmiştir. AHP uygulamaları ile ilgili detaylı bir literatür araştırması sunulmuştur [20].

AHP yönteminde 1 ile 9 arasında numaralandırılmış ölçeklerin kullanımı basit olmasına rağmen bir takım tutarsızlıklar bulunmaktadır. Ayrıca, karar vericiler genel olarak aralıklı karar vermeyi sabit değerli karar vermeye göre daha rahat bulmaktadır. Dolayısıyla, bu yöntem, karar vericinin kararları ile belirsizliğin açıklanması ve sayılara dökülmesi konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, insani düşünme şeklini yansıtmak amacıyla Bulanık AHP geliştirilmiştir[21].

Bu çalışmada trafik kazalarının faktörlerinin ve beş bölge için risk değerlendirmelerin belirlenmesinde Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık AHP konusunda en erken 1983 yılında Van Laorhoven ve Pediyaz [22] tarafından üçgenel üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış bulanık oranları karşılaştırdıkları çalışmalarında görülmüştür. Buckley [23], bulanık karşılaştırma oranlarının önceliklerini yamuksal üyelik fonksiyonları ile belirtilmiştir. Chang [24], bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma skalası için üçgenel bulanık sayıların kullanılmasını ve ikili karşılaştırmaların sentatik mertbe değerleri için mertbe analiz tekniğinin kullanılmasını içeren yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Cheng çalışmasında [25], donanmada kullanılan trafik füze sistemlerinin değerlendirilmesi için üyelik fonksiyonun sınıf değerine dayanan bir yaklaşım geliştirmiştir. Lee, Phan ve Zhang [26], AHP'nin temelindeki ana fikirlere dayanarak, karşılaştırma aralığı kavramını ortaya koymakta ve global tutarlılığı sağlamak ve karşılaştırma sürecinin bulanıklığını göz önüne almak için stokastik optimizasyona dayalı bir metodoloji önermektedir. Leung ve Cao [27], bulanık AHP'deki alternatifler için tolerans sapmasını dikkate alan bulanık tutarlılık tanımı önermişlerdir. Tolerans sapmalarına izin veren göreceli önlemlerin bulanık oranları, yerel önceliklerin üyelik derecelerinde kısıtlar olarak formüle edilmektedir. [28], gri ilişki ve ikili karşılaştırma kavramlarını birleştirerek yeni bir bulanık AHP tekniği

geliştirilmiştir. Gu ve Zhu [29], bir bulanık simetri matrisi, rastgele değişkenlerin kovaryans tanımına başvurulması yoluyla, bulanık karar verme matrisini temel alan nitelik değerlendirme uzayı olarak yapılandırılmıştır. Kulak ve Kahraman [30], Bulanık AHP yöntemi ile bulanık çok ölçütlü aksiyomatik tasarım yaklaşımını karşılaştırmışlardır. Öztürk, Ertuğrul ve Karakaşoğlu [31], Denizli Makine İmalat Sanayiinde faaliyet gösteren bir işletmenin nakliye firması seçim problemine bulanık AHP ve TOPSİS yöntemiyle çözüm aranmış ve bu iki yöntem karşılaştırılmıştır. Aydın [32], Ankara’da açılacak bir hastane için en uygun yerin belirlenmesi amacıyla dört farklı uzmandan görüş almış, görüşlerin sayısal olmaması ve subjektif değerlendirmeler içermesi nedeniyle klasik yöntemler yerine, bu yöntemlere bulanık yaklaşımlarda bulunmuştur. Uzman görüşleri bulanık sayılarla ifade edilerek “Bulanık AHP” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle, Ankara’da açılacak bir hastane için en uygun yer seçiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bayar [33], İstanbul Boğaziçi bölgesinde bu güne kadar yaşanmış kazaların oluşma nedenleri üzerinde Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (fuzzy-AHP) ve Hata Türleri ve Etki Analizi (FMEA) yöntemleri ile analiz yapılarak, İstanbul halkı ve çevresi için Boğaz trafiğinin oluşturduğu riskler belirlenmiştir. Kaplan ve Arıkan [34], hava savunmasında kullanılan askerî sistemlerin bakım ve onarımı konusunda hizmet veren Hava İkmal Bakım Merkezlerinin (HİBM) tezgâh yatırım proje tekliflerinin önceliklendirilmesi için bir değerlendirme modeli geliştirilmiş ve çok kriterli değerlendirmede, ikili karşılaştırma yargılarındaki sözel belirsizliği daha iyi ifade etmek amacıyla, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (Bulanık AHP) tekniklerinden biri olan Chang’ın Mertebe Analiz Yöntemini kullanmışlardır.

Literatürde yer alan çeşitli yazarlar tarafından ortaya konmuş olan bir çok bulanık analitik hiyerarşik proses metodu bulunmaktadır. Çizelge 1 teorik yapıları önemli farklılıklar barındıran, literatürdeki bulanık AHP yöntemlerinin karşılaştırmalarını vermektedir. Karşılaştırma her metot için avantaj ve dezavantajları içermektedir.

Çizelge 1. Literatürdeki Bulanık AHP Yöntemlerinin Karşılaştırılması [22-25].

Araştırmacılar	Yöntemin Temel Özellikleri	Avantaj ve Dezavantajlar	Yayın Yılı
Van Laarhoven ve Pedrycz	1- Saaty'nin AHP metodunun üçgensel bulanık sayılar kullanılarak doğrudan genişletilmesi	(A)Karar vericilerin tercihleri ikili karşılaştırma matrisinde modellenebilmektedir. (D)Doğrusal denklemlerin her zaman çözümü yoktur.	1983
	2- Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans skorları elde etmek için Lootsma'nın en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır	(D)Küçük bir problem için bile hesaplama gereksinimleri çok büyüktür. (D)Yalnızca üçgensel bulanık sayıların kullanımına izin verir.	
Buckley	1- Saaty'nin AHP metodunun yamuk bulanık sayılar ile genişletilmesi	(A)Bulanık durumlara genişletilmesi kolaydır. (A)İkili karşılaştırma matrisine tek bir çözüm garanti eder.	1985
	2- Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans skorları elde etmek için Geometrik Ortalama yöntemini kullanır.	(D)Hesaplama gereksinimi çok büyüktür.	
Boender ve diğerleri	1- Van Laarhoven ve Pedrycz'nin yöntemini modifiye etmektedir.	(A)Karar vericinin fikirleri modellenebilmektedir. (D)Hesaplama gereksinimi çok büyüktür.	1989
	2- Lokal önceliklerin normalize edilmesine daha sağlam bir yaklaşım sunmaktadır.		
Chang	1- Sentetik derece değerleri	(A)Hesaplama gereksinimi görece düşüktür. (D)Klasik AHP adımlarını takip eder, yeni işlemler içermemektedir.	1996
	2- Tabakalar halinde basit sıralama	(D)Yalnızca üçgensel bulanık sayıların kullanımına izin verir.	
Cheng	1- Bulanık standartlar inşa eder.		1996
	2- Performans skorlarını üyelik fonksiyonları ile ortaya koyar.	(A)Hesaplama gereksinimi çok büyük değildir. (D)Olasılık dağılımı bilinirken entropi kullanılır. Yöntem hem olasılık hem de olabilirlik ölçümlerine dayanmaktadır.	
	3- Toplam ağırlıkların hesaplanmasında entropi kavramlarını kullanır.		

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, önceliklerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Chang (1996) tarafından önerilen Genişletilmiş Analiz Metodu kullanılmıştır. Genişletilmiş Bulanık AHP yöntemi, insani düşünce belirsizliğini ele alma yeteneğine sahiptir ve çok kriterli karar verme problemlerini çözmekte etkilidir.

3.1. Genişletilmiş Bulanık AHP Yöntemi Algoritması

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ nesnel kümesi ve $U=(u_1, u_2, \dots, u_n)$ bir hedef kümesi olsun. Chang'in genişletilmiş analiz yöntemine göre, her bir nesne ele alınarak her hedef için g_i değerleri oluşturulur. Böylece, her bir nesne için m genişletilmiş analiz değerleri;

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Şeklinde elde edilir. Burada verilen tüm $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$)

Değerleri üçgensel bulanık sayıdır. Chang'ın genişletilmiş analiz yönteminin adımları aşağıda tek tek gösterilmiştir.

1. Adım: Bulanık yapay büyüklük değeri, i. nesneye göre şöyle tanımlanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ ifadesini elde etmek için, m değerleri üzerinde bulanık sayılarda toplama işlemini belirli bir matris için şu şekilde gerçekleştiririz:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (3)$$

ve $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ ifadesini elde etmek için, $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) değerleri üzerinde bulanık toplama işlemi yapılır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (4)$$

ve bu adımın en son aşaması olarak (2)'deki denklemdeki vektörün tersi hesaplanır.

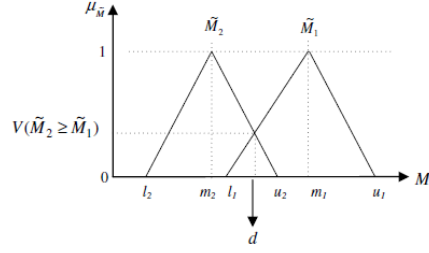
$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_j} \right) \quad (5)$$

2. Adım: $M_1 = (l_1, m_1, u_1) \leq M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ifadesinin olasılık derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (6)$$

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel (konveks) bulanık sayılar olmak üzere:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & , m_1 \geq m_2 \\ 0 & , l_1 \geq m_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_1 - u_2) - (m_1 - l_1)} & , \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (7)$$



Şekil 1. M_1 ve M_2 üçgen bulanık sayılarının kesişimi

ifadesi elde edilir. Şekil 1’de görüldüğü gibi $V(M_2 \geq M_1)$ ifadesi $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel bulanık sayılarının kesişiminin noktasının ordinatıdır. Diğer bir ifadeyle üyelik fonksiyonunun değeridir.

M_1 ve M_2 ’yi karşılaştırmak için, $V(M_2 \geq M_1)$ ve $V(M_1 \geq M_2)$ değerlerinin her ikisinin de bulunması gerekir.

3. Adım: Konveks bir bulanık sayının olasılık derecesinin k konveks sayıdan M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) daha büyük olması aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

$k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq j$ için $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ olarak alınırsa, ağırlık vektörü aşağıdaki şekilde elde edilmiş olur.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (9)$$

Burada A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n elemandan oluşur.

4. Adım: 9’da verilen ağırlık vektörü normalize edildiğinde:

$$W' = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (10)$$

vektörü bulunur. Artık bu W ağırlık vektörü bulanık bir sayı değildir.

4. ÖNERİLEN BULANIK AHP MODELİ

Otobüs kazalarının analizi ve bölge bazlı risklerini belirlemek amacıyla önerilen model şu adımlardan oluşmaktadır.

1. Adım: Modelde kullanılacak faktör ve alt faktörlerin belirlenmesi.

2. Adım: AHP modelinin hiyerarşik olarak yapılandırılması. Birinci kademe amaçlar, ikinci kademe faktörler ve üçüncü kademe alt faktörler olmak üzere.

3. Adım: Faktör ve alt faktörler için yerel ağırlıkların ikili karşılaştırma matrisleri ile belirlenmesi. Nispi ağırlıkları ölçmek için nispi öneme ihtiyaç duyulan bulanık ölçek Çizelge 2’de verilmiştir. Öztürk [31] tarafından bu ölçek önerilmiş ve literatürde bulanık karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmıştır.

Çizelge 2. Değerlendirmede kullanılan sözel değişkenlerin üçgen bulanık sayı cinsinden karşılıkları

Sözel Değişken	Üçgensel Bulanık Ölçek	Üçgensel Karşılık Ölçek
Eşit Derecede Önem	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Orta Derecede Önem	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli Derecede Önem	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok Kuvvetli Derecede Önem	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Mutlak Derecede Önem	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

4. Adım: Alt faktörler için genel ağırlıkların hesaplanması. Genel alt faktör ağırlıkları alt faktörün yerel ağırlığı ile ait olduğu faktörün yerel ağırlıklarının çarpılması ile belirlenir.

5. Adım: Alt faktörlerin ölçülmesi. Bu adımda Cheng [25] tarafından önerilen dilsel değişkenler kullanılmaktadır. Bu dilsel değişkenlerin üyelik fonksiyonları Şekil 2’de gösterilmiş ve bu değişkenler ile ilgili ortalama değerler Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Risk ölçümü için dilsel değişkenler ve skala değerleri

Dilsel Değişkenler	Skala Değeri
Çok Yüksek (ÇY)	1
Yüksek (Y)	0.75
Orta (O)	0.5
Düşük (D)	0.25
Çok Düşük (ÇD)	0

6. Adım: Belirlenen genel alt faktör ağırlıkları ve geliştirilen ölçüm skalası kullanılarak beş bölge için kaza riski belirlenir. Belirlenen bölgeye bağlı kaza riskine (BKR) bakarak aşağıda verilen kararlar alınır.

- $BKR \geq 0.75$ ise; **YÜKSEK RİSK** olup ilgili bölge için yeniden yapılandırma veya alternatif çözümler oluşturulur.
- $0.5 \leq BKR < 0.75$ ise; **ORTA RİSK** olup riske sebep olan kök neden belirlenerek kurum içi düzeltici faaliyetler açılır ve riskin azaltılması sağlanır.
- $BKR < 0.5$ ise; **DÜŞÜK RİSK** olup ilgili bölge periyodik kontrollerle çalışmasına devam eder.

Yukarıda belirtilen risk aralıkları değerlendirme ekibi tarafından belirlenmiştir.

Önerilen otobüs kazalarının analizi ve bölge risklerinin belirlenmesi analiz modeli şematik diyagramı Şekil 3’de verilmiştir.

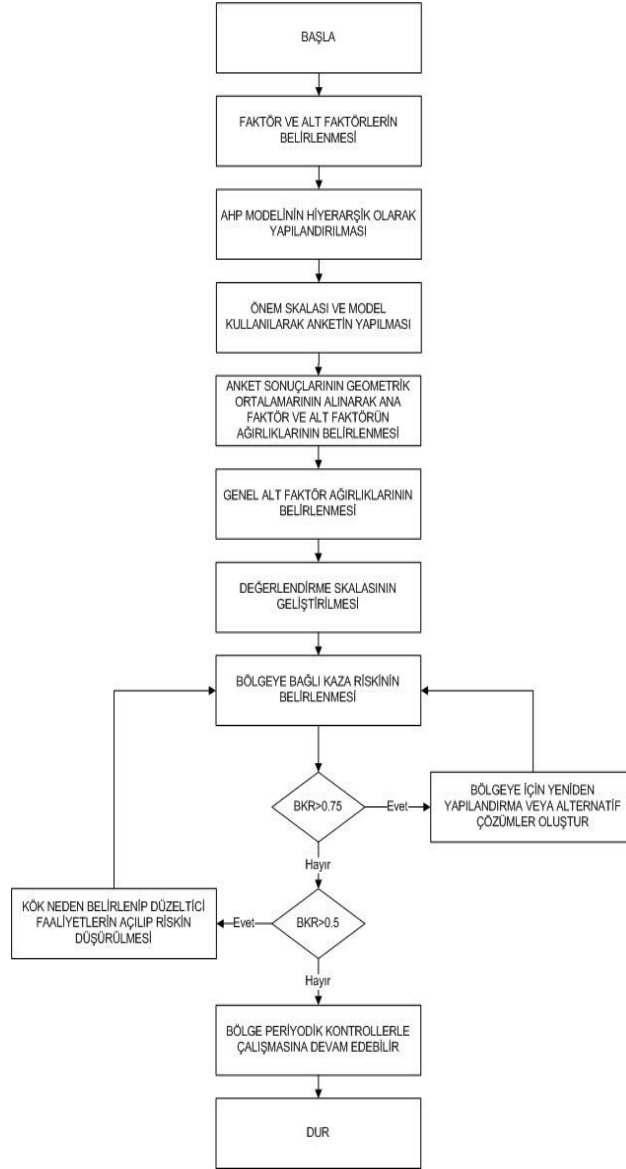
3.3. Önerilen Modelin Sayısal Uygulaması

Önerilen otobüs kazalarının analizi ve bölge risklerinin belirlenmesi modeli Ankara İlinde EGO Genel Müdürlüğüne bağlı otobüsler baz alınarak yapılmıştır. Uygulama için toplam 21 kişi olmak üzere bir değerlendirme ekibi oluşturulmuştur ve bu ekipte aşağıda belirtilen görev ve sayıda personel çalışmıştır.

- Trafik Bilir Kişiler (6 kişi)
- Başmemur (10 kişi)
- Hareket memuru (2 kişi)
- Bölge Müdürü (1 kişi)
- Uzman Şoför (2 kişi)

Ankara EGO Genel Müdürlüğüne bağlı aşağıdaki 5 bölge için önerilen otobüs kazalarının analizi ve bölge risklerinin belirlenmesi modeli hesaplanmıştır. Bu bölgeler;

- 1 Bölge; Oran
- 2 Bölge; Yenimahalle
- 3 Bölge; Mamak
- 4 Bölge; Keçiören
- 5 Bölge; Sincan'dır.



Şekil 3. Bölgeye bağlı kaza risklerinin belirlenmesi modelinin şematik diyagramı

1. Adım: Bu adımda değişik kaynaklardan belirlenen faktörler değerlendirme ekibi tarafından incelenmiş ve oy çokluğu yöntemi ile 4 ana faktöre bağlı 16 alt faktörün kullanılmasına karar verilmiştir. Bu 4 ana faktör; sürücü, çevre/yol, araç ve yaya/yolcu şeklindedir.

Yukarıda bahsedilen 4 ana faktöre bağlı 16 alt faktör aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Sürücü Faktörü

- Sürücü trafik kurallarına uyum
- Sürücü psikolojisi (psiko sosyal faktörler, sosyo ekonomik faktörler, örgütsel ve yönetsel faaliyetler vb. kapsar.)
- Sürücü trafik deneyimi (eğitimler, iş tecrübesi vb. kapsar.)
- Sürücü fiziksel kapasite (yaş, beş duyu organlarının bozuklukları, genel sağlık koşulları, refleksler vb. kapsar.)
- Yönetim/ denetim (molalar, cezai yaptırım, lokal kontrol, merkezi yönetim ve kontrol sistemi vb. kapsar.)

Çevre / Yol Faktörü

- Yol işaretleme/ trafik işaretleri
- Yol niteliği (yol kaplama, dönüş çapı, yol eğimi, yol deformasyonu,tel/çift yön, aydınlatma vb. kapsar.)
- Yol bakım/ onarım
- İklim koşulları (buzlanma, sis, yağmur, çok sıcak veya çok soğuk havayı kapsar.)
- Zaman dilimi (gün ve saat detaylarını kapsar.)

Araç Faktörü

- Araç ömrü
- Araç donanım (frenler, hava yastığı, emniyet kemeri vb. kapsar.)
- Araç bakım/onarım

Yaya/ Yolcu Faktörü

- Yaya/yolcu trafik kurallarına uyum
- Yaya/yolcu dikkatsizlik/ bilgisizlik
- Yaya/yolcu kültür düzeyi (Eğitim seviyesi, psikoloji, kültürel birikim vb. kapsar.)

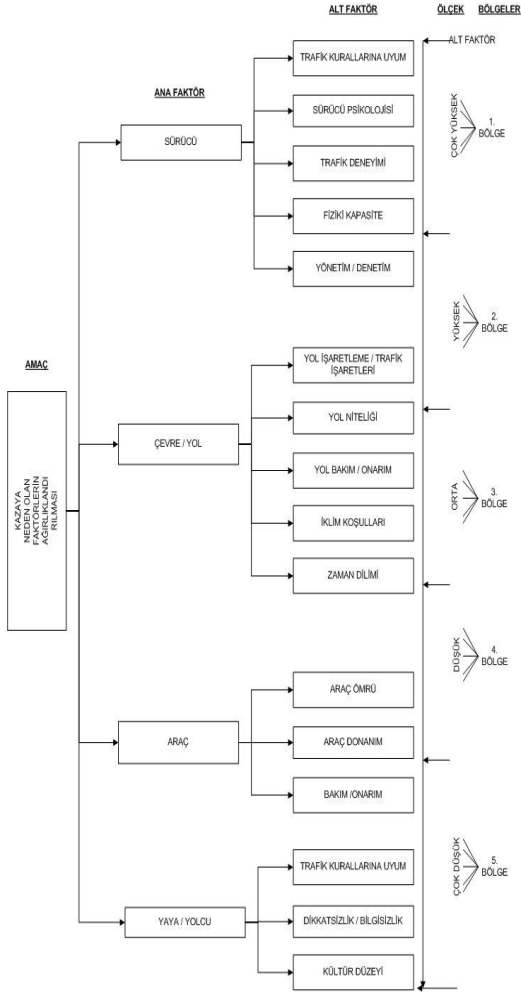
2. Adım: Birinci adımda belirlenen faktör ve alt faktörler kullanılarak belirlenen AHP modeli Şekil 4’de gösterilmiştir. AHP modeli 5 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, alt faktör ağırlıklarının belirlenmesi için hedef belirlenir. Bu faktörler ikinci aşamada yerleştirilir ve bunlara ait alt faktörler üçüncü aşamada yer alır. Modelin dördüncü aşamasında alt faktörlerin hesaplanması için kullanılan bulanık ölçüm yer alır. Beşinci aşamada Ankara EGO Genel Müdürlüğünün taşıma yaptığı beş bölgenin her biri için BKR hesaplanır.

3. Adım: Bu adımda Şekil 4’de verilen AHP modelinin ikinci aşamasında yer alan ana faktörler ve üçüncü aşamada yer alan alt faktörlerin yerel ağırlıkları hesaplanır. Uzman ekip tarafından Çizelge 3’te verilen ölçek baz alınarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Faktörlere ait ikili karşılaştırma verileri Çizelge 4’te verilmiştir. Uzman ekip tarafından ikili karşılaştırma şu şekilde yapılır; “ Otobüs kazalarında sürücünün kazaya sebebiyet vermesi çevre/yola göre ne kadar önemlidir?” ve eğer cevap kuvvetli derecede önemli ise (KDÖ) Çizelge 3’teki ölçek kullanılarak üçgen bulanık sayı cinsinden karşılığı olan (3,5,7) değeri alınarak Çizelge 4’teki ilgili yere yazılır. Bütün faktörler ikili karşılaştırma yapılarak sayısal verileri Çizelge 4’e

yazılır. Faktörlerin yerel ağırlıkları ise Çizelge 3'te verilen bulanık karşılaştırma verileri kullanılarak Chang's genişletilmiş analiz yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplama aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4. Faktörlerin yerel ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrisleri

Faktörler	S	ÇY	A	YY	Yerel Ağırlıklar
Sürücü (S)	(1,1,1)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	0.372
Çevre / Yol (ÇY)	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)	0.218
Araç (A)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(3,5,7)	0.107
Yaya / Yolcu (YY)	(1/5,1/3,1/1)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.3



Şekil 4. Önerilen otobüs kazalarının analizi ve bölge risklerinin belirlenmesi analiz modeli

$$SS = (6, 12, 8) \times (1/41.33, 1/25.85, 1/13.14) \approx (0.145, 0.464, 0.169)$$

$$SÇY = (2.34, 4.53, 7.33) \times (1/41.33, 1/25.85, 1/13.14) \approx (0.056, 0.175, 0.557)$$

$$SA = (1.6, 1.99, 4) \times (1/41.33, 1/25.85, 1/13.14) \approx (0.038, 0.076, 0.304)$$

$$SYY = (3.2, 7.33, 12) \times (1/41.33, 1/25.85, 1/13.14) \approx (0.077, 0.283, 0.913)$$

Buradan vektörler belirlenir;

$$V(SS \geq SÇY) = 1.00, V(SS \geq SA) = 1.00, V(SS \geq SYY) = 1.00$$

$$V(SÇY \geq SS) = 0.587, V(SÇY \geq SA) = 1.00, V(SÇY \geq SYY) = 0.816$$

$$V(SA \geq SS) = 0.290, V(SA \geq SÇY) = 0.714, V(SA \geq SYY) = 0.523$$

$$V(SYY \geq SA) = 0.809, V(SYY \geq SÇY) = 1.00, V(SYY \geq SS) = 1.00$$

Öncelik vektörü belirlenir; $W = (1.00, 0.587, 0.290, 0.809)^T$ ve normalize edilerek; $W = (0.372, 0.218, 0.107, 0.300)^T$ bulunan yerel ağırlıklar Çizelge 4'e yerleştirilir. Her bir faktör ve alt faktör için yerel ağırlıklar aynı şekilde hesaplanır. Alt faktörlerin ikili karşılaştırma matrisleri ve yerel ağırlıkları Çizelge 5-8 arasında verilmiştir.

Çizelge 5. Sürücü alt faktörlerinin yerel ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrisleri

Sürücü alt faktörleri	TK	SP	TD	FK	YD	Yerel Ağırlıklar
Trafik Kurallarına Uyum (TK)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	0.321
Sürücü Psikolojisi (SP)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	0.256
Trafik Deneyimi (TD)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,3,5)	0.208
Fiziki Kapasite (FK)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1/1)	0.066
Yönetim/Denetim (YD)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.146

Çizelge 6. Çevre/yol alt faktörlerinin yerel ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrisleri

Çevre/yol alt faktörleri	Yİ	YN	BO	İK	ZD	Yerel Ağırlıklar
Yol İşaretleme/ Trafik İşaretleri (Yİ)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1/1)	0.089
Yol Niteliği (YN)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	0.214
Yol Bakım/ Onarım (BO)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	0.168
İklim Koşulları (İK)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1,3,5)	0.281
Zaman Dilimi (ZD)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	0.245

Çizelge 7. Araç alt faktörlerinin yerel ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrisleri

Araç alt faktörleri	AÖ	AD	BO	Yerel Ağırlıklar
Araç Ömrü (AÖ)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	0.178
Araç Donanım (AD)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1/1)	0.365
Bakım/ Onarım (BO)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	0.458

Çizelge 8. Yaya/yolcu alt faktörlerinin yerel ağırlıkları ve ikili karşılaştırma matrisleri

Yaya/yolcu alt faktörleri	TK	DB	KD	Yerel Ağırlıklar
Trafik Kurallarına Uyum (TK)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,3,5)	0.444
Dikkatsizlik/ Bilgisizlik (DB)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(1,3,5)	0.363
Kültür Düzeyi (KD)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	0.191

4. Adım: Bu adımda faktörler ve alt faktörler için belirlenen yerel ağırlıklar kullanılarak genel alt faktör ağırlıkları belirlenmiştir. Genel alt faktör ağırlıkları alt faktörün yerel ağırlığı ile ait olduğu faktörün ağırlığının çarpılması ile belirlenmiş ve Çizelge 9’da gösterilmiştir. Buna göre ilk beş alt faktör; yaya / yolcu trafik kurallarına uyum, sürücü trafik kurallarına uyum, , yaya / yolcu dikkatsizlik/ bilgisizlik, sürücü psikolojisi, sürücü trafik deneyiminden kaynaklanan durumlar kazaya sebep olan riskli durumlar olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 9. Alt faktörler için genel ağırlıkların hesaplanması

Z	Alt faktörler	Bölgesel Ağırlık	Genel Ağırlık
Sürücü (S) (0,371)	sürücü trafik kurallarına uyum (STKU)	0,321	0,119
	sürücü psikolojisi (SM)	0,256	0,094
	sürücü trafik deneyimi (STD)	0,208	0,077
	sürücü fiziksel kapasite (SFK)	0,066	0,024
	yönetim/denetim (Y/D)	0,146	0,054
Çevre/yol (Ç/Y) (0,218)	yol işaretleme/trafik işaretleri (Yİ/Tİ)	0,089	0,019
	yol niteliği (YN)	0,214	0,046
	yol bakım/onarım (YB/O)	0,168	0,036
	iklim koşulları (İK)	0,281	0,061
	zaman dilimi (ZD)	0,245	0,053
Araç (A) (0,107)	araç ömrü (AÖ)	0,178	0,019
	araç donanım (AD)	0,365	0,039
	araç bakım/onarım (AB/O)	0,458	0,049
Yaya/yolcu (Y/Y) (0,300)	yaya/yolcu trafik kurallarına uyum (YTKU)	0,444	0,133
	yaya/yolcu dikkatsizlik/bilgisizlik (YD)	0,363	0,108
	yaya/yolcu kültür düzeyi (YKD)	0,191	0,057

5. ve 6. Adım: Bu aşamalarda Çizelge 3’te belirtilen 5 dilsel değişkenden oluşan ve karşılığında ölçüm değerleri belirtilen ve alt faktörlerin ölçülmesi için geliştirilen skala kullanılarak EGO Genel Müdürlüğündeki beş bölge için kaza riskleri belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar Çizelge 10-14’de mevcuttur.

Çizelge 10. 1. Bölge için belirlenen kaza riski

Alt faktörler	Genel ağırlıklar (ga)	Sözel değişkenler	Ölçek değeri (öd)	gaxöd
STKU	0,119	D	0,25	0,02975
SM	0,094	Y	0,75	0,0705
STD	0,077	D	0,25	0,01925
SFK	0,024	O	0,5	0,012
Y/D	0,054	D	0,25	0,0135
Yİ/Tİ	0,019	O	0,5	0,0095
YN	0,046	O	0,5	0,023
YB/O	0,036	O	0,5	0,018
İK	0,061	ÇY	1	0,061
ZD	0,053	Y	0,75	0,03975
AÖ	0,019	D	0,25	0,00475
AD	0,039	Y	0,75	0,02925
AB/O	0,049	D	0,25	0,01225
YTKU	0,133	Y	0,75	0,09975
YD	0,108	D	0,25	0,027
YKD	0,057	O	0,5	0,0285
			1. Bölge :	0,49775

Çizelge 11. 2. Bölge için belirlenen kaza riski

Alt faktörler	Genel ağırlıklar (ga)	Sözel değişkenler	Ölçek değeri (öd)	gaxöd
STKU	0,119	O	0,5	0,0595
SM	0,094	Y	0,75	0,0705
STD	0,077	D	0,25	0,01925
SFK	0,024	ÇD	0	0
Y/D	0,054	D	0,25	0,0135
Yİ/Tİ	0,019	O	0,5	0,0095
YN	0,046	D	0,25	0,0115
YB/O	0,036	Y	0,75	0,027
İK	0,061	Y	0,75	0,04575
ZD	0,053	D	0,25	0,01325
AÖ	0,019	Y	0,75	0,01425
AD	0,039	O	0,5	0,0195
AB/O	0,049	D	0,25	0,01225
YTKU	0,133	Y	0,75	0,09975
YD	0,108	Y	0,75	0,081
YKD	0,057	O	0,5	0,0285
			2. Bölge :	0,525

Çizelge 10. 3. Bölge için belirlenen kaza riski

Alt faktörler	Genel ağırlıklar (ga)	Sözel değişkenler	Ölçek değeri (öd)	gaxöd
STKU	0,119	O	0,5	0,0595
SM	0,094	Y	0,75	0,0705
STD	0,077	ÇD	0	0
SFK	0,024	ÇD	0	0
Y/D	0,054	D	0,25	0,0135
Yİ/Tİ	0,019	ÇD	0	0
YN	0,046	ÇD	0	0
YB/O	0,036	ÇD	0	0
İK	0,061	D	0,25	0,01525
ZD	0,053	D	0,25	0,01325
AÖ	0,019	O	0,5	0,0095
AD	0,039	O	0,5	0,0195
AB/O	0,049	D	0,25	0,01225
YTKU	0,133	Y	0,75	0,09975
YD	0,108	O	0,5	0,054
YKD	0,057	O	0,5	0,0285
3. Bölge :				0,3955

Çizelge 10. 4. Bölge için belirlenen kaza riski

Alt faktörler	Genel ağırlıklar (ga)	Sözel değişkenler	Ölçek değeri (öd)	gaxöd
STKU	0,119	O	0,5	0,0595
SM	0,094	D	0,25	0,0235
STD	0,077	D	0,25	0,01925
SFK	0,024	ÇD	0	0
Y/D	0,054	D	0,25	0,0135
Yİ/Tİ	0,019	D	0,25	0,00475
YN	0,046	D	0,25	0,0115
YB/O	0,036	D	0,25	0,009
İK	0,061	D	0,25	0,01525
ZD	0,053	D	0,25	0,01325
AÖ	0,019	O	0,5	0,0095
AD	0,039	D	0,25	0,00975
AB/O	0,049	D	0,25	0,01225
YTKU	0,133	Y	0,75	0,09975
YD	0,108	D	0,25	0,027
YKD	0,057	D	0,25	0,01425
4. Bölge :				0,342

Çizelge 10. 5. Bölge için belirlenen kaza riski

Alt faktörler	Genel ağırlıklar (ga)	Sözel değişkenler	Ölçek değeri (öd)	gaxöd
STKU	0,119	D	0,25	0,02975
SM	0,094	O	0,5	0,047
STD	0,077	D	0,25	0,01925
SFK	0,024	D	0,25	0,006
Y/D	0,054	D	0,25	0,0135
Yİ/Tİ	0,019	ÇD	0	0
YN	0,046	O	0,5	0,023
YB/O	0,036	O	0,5	0,018
İK	0,061	Y	0,75	0,04575
ZD	0,053	Y	0,75	0,03975
AÖ	0,019	D	0,25	0,00475
AD	0,039	D	0,25	0,00975
AB/O	0,049	D	0,25	0,01225
YTKU	0,133	ÇY	1	0,133
YD	0,108	Y	0,75	0,081
YKD	0,057	D	0,25	0,01425
5. Bölge :				0,497

Yapılan hesaplama sonucunda kaza riskleri; 1. Bölge “Oran”ın **0,498**, 2. Bölge “Yenimahalle”nin **0,525**, 3. Bölge “Mamak”ın **0,3955**, 4. Bölge “Keçiören”in **0,342** ve 5. Bölge “Sincan”ın **0,497** olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle en riskli bölge 2. Bölge “Yenimahalle”dir. Risk sıralamasına bakılacak olursa;

1. riskli bölge; YENİMAHALLE
2. riskli bölge; ORAN
3. riskli bölge; SİNCAN
4. riskli bölge; MAMAK
5. riskli bölge; KEÇİÖREN’dir.

2. Bölge olan YENİMAHALLE; 0,525 değeri ile $0.5 \leq BKR < 0.75$ aralığına girdiğinden **ORTA RİSK** grubunda olup riske sebep olan kök neden belirlenerek kurum içi düzeltici faaliyetler açılması ve riskin azaltılmasının sağlanması gerekir. Diğer bölgeler ise $BKR < 0.5$ olduğu için **DÜŞÜK RİSK** grubunda olup ilgili bölge periyodik kontrollerle çalışmasına devam edilebilir. Bunun yanı sıra 1. ve 5. Bölgelerin BKR’leri 0,5’e çok yakın değerler olduğundan bu bölgelerde ORTA RİSK grubunda değerlendirilebilir.

Sonuçlar detaylı olarak incelendiğinde; ana faktörlerden sürücü ve yaya/yolcunun trafik kaza riskini artıran faktörler olduğu tespit edilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi insan faktörü trafik kazalarının oluşumunda önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca her bir bölge için alt faktörler incelendiğinde sürücülerin ve yaya/yolcuların trafik kurallarına uymamasının trafik kazalarının oluşmasında büyük risk oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra alt faktörlerden yaya/yolcu dikkatsizliği ve bilgisizliği ile sürücü psikolojisi tüm bölgeler için kaza riskini artıran durumlar olarak belirlenmiştir.

Bütün bunlardan yola çıkarak orta risk grubunda olan 2. Bölge’de yaya/yolcuların dikkatsiz oluşu üst yapı ve alt yapının uygun olmayışından dolayı iklim şartlarından çok etkilenmesinden dolayı sürücülerin eğitimlerinin artırılarak bu bölgeye tecrübeli sürücülerin verilmesi ve sürücünün çalışma sürelerinin

azaltılması böylelikle sürücünün trafik kurallarına uyum ve sürücü psikolojisi alt faktörlerinin etkisini artırarak kaza oluşma riski azaltılması sağlanabilir.

5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Zamanımızın gerek yaya, gerek sürücü olarak önemli bir bölümünü kaplayan trafik; kuralları, içerdiği insan ilişkileri ve sonuçlarıyla da hayatımızı etkilemektedir. Sayısı ve hızı artan motorlu araçlar yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası olurken, birçok insanın yaşamına son vermekte, kişileri sakat bırakmakta; büyük parasal kayba neden olmaktadır[24]. Trafik kazaları, Türkiye'de olduğu gibi dünyada da ölümlere, geçici ve kalıcı sakatlıklara, iş gücü ve maddi hasarlara neden olması ve ulusal gelir kaybına yol açması nedeniyle önemli bir toplum sağlığı sorunudur. Trafik kazalarına daha çok insan faktörü (sürücü, yolcu, yaya), yol ve çevre faktörleri ve araç donanım faktörleri sebep olmaktadır. Toplu taşıma araçlarına sahip firmalar, emniyet müdürlüğü ve ilgili devlet kurumları trafik kazalarına neden olan faktörleri belirleyerek ve bu faktörlerin düzeltilmesine yönelik önlemler alarak trafik kazalarının oluşma riskini azaltabilirler. Bu çalışmada toplu taşıma araçlarının sebep olduğu trafik kaza riskini belirlemek amacıyla bir model oluşturulmuştur.

Geliştirilen model bir trafik kazasına neden olabilecek en önemli faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlere ilişkin düzeltici önlemlerin alınması esasına dayanmaktadır. Modelde faktör ve alt faktörlerin belirlenmesi için Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Önerilen model yapılan çalışmanın sonuçlarının başarılı bir şekilde yorumlanabilmesini sağlamıştır. Bulanık AHP ile belirlenen faktör ağırlıkları ile trafik kazalarına sebep olan faktörlerin görülebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, faktörler ile alt faktörler arasındaki bağımlılıkların incelenmesine de imkan sağlamaktadır. Trafik kazalarının bölgesel bazlı risk değerlerinin belirlenmesi ve bu risk düzeylerinin alternatif durumlarının neler olabileceği saptanabilmektedir. Model spesifik bir bölge için geliştirilmiş olsa bile yapılacak küçük değişiklikler ile her işletme, bölge vb. için rahatlıkla kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Avrupa Komisyonu, “Türkiye 2011 Yılı İlerleme Raporu”, AK,1201, Brüksel, 76(2011).
- [2] Emniyet Genel Müdürlüğü, “2011 Yılı Kaza İstatistikleri”, EGM, Ankara, 1-7(2011).
- [3] World Health Organization, “The World Health Report 2003”, WHO, 15424, İsveç, 121-140(2003).
- [4] E.N. Dizdar, “Üretim Sistemlerinde Olası İş Kazaları İçin Bir Erken Uyarı Modeli”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1998).
- [5] G. Büyüközkan, C. Kahraman, “A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection”, International Journal of General Systems, 33(2–3), 259–280(2004).
- [6] H.S. Özgüven, I. Sayıl, “Suicide Attempts in Turkey: Results of the WHO–EURO Multicentre Study on Suicidal Behaviour”, Canadian Psychiatric Association, 48, 324-329(2003)
- [7] A. Mekky, “Effect of road increase in road motorisation levels on road fatality rates in some rich developing countries”, Accident Analysis and Prevention, 17(2), 101–109(1985).
- [8] C. Laberge-Nadeau, U. Maag, R. Bourbeau, “The effects of age and experience on accidents with injuries: Should the licensing age be raised?”, Accident Analysis & Prevention, 24(2), 107-116(1992).
- [9] İ. E. Özgüven, İ. Yıldırım, Y. Akman, F. Korkut, H. Çilingiroğlu, “Ticari Araç Sürücülerinin Nitelikleri, Sorunları ve Trafik Kazalarının Nedenleri”, Türkiye Şoförler ve Otomobiller Federasyonu, (1997).
- [10] M. Hajar, C. Carrillo, M. Flores, R. Anaya, V. Lopez, “Risk Factors In Highway Traffic Accidents: A Case Control Study”, Accident Analysis & Prevention, 32, 703-709(200).
- [11] M. A. Abdel-Aty, A .E. Radwan, “Modeling traffic accident occurrence and involvement”, Accident Analysis & Prevention, 32(5), 633-642(1999).
- [12] J. E. Chliaoutakis, C. Darviri, P. T. Demakakos, “The İmpact Of Young Drivers’ Lifestyle On Their Road Traffic Accident Risk In Greater Athens Area”, 31, 771-780(1999).
- [13] Ş. F. Kalyoncuoğlu, “Sürücü Niteliklerinin Trafik Kazaları Üzerine Etkisi”, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi – Sergisi, 230-238(1999).
- [14] M. Dağdeviren, İ. Yüksel, “Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management”, Science Direct, 178, 1717-1733(2008).
- [15] Y. Uyar, M. Kurt, E. N. Dizdar, “Trafik Kazalarını Etkileyen Faktörlerin AHP Yaklaşımı İle Görelî Önlemlerinin Belirlenmesi”, Teknoloji, 1-2, 63-68(2003).
- [16] E. Hermansa, F. V. Bosscheb, G. Wets, “Modeling traffic accident occurrence and involvement”, Accident Analysis & Prevention, 40(4), 1337-1344(2008).
- [17] Y. Ma, Y. Lou, Y. Wang, “Road Traffic Accidents Model and Its Application Based on Driver’s Self-Mistakes”, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 10(4), 101-105(2010).
- [18] L.C. Leung, D. Cao, “On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP”, European Journal of Operational Research, 124(1), 102-113(2000).

- [19] İ. Yüksel, M. Dağdeviren, “Sosyo-Teknik Sistemlerde Hatalı Davranış Riskini Belirlemeye Yönelik Bir Erken Uyarı Modeli”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 791-799(2006).
- [20] S. V. Omkarprasad, K. Sushil, “Analytic hierarchy process: An overview of applications”, European Journal of Operational Research, 169, 1-29(2006).
- [21] H. Çanlı, A. Kandakoğlu, “Hava Gücü Mukayesesi İçin Bulanık AHP Modeli”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3(1), 71-82(2007).
- [22] P. J. M. Laarhoven, W. Pedrycz, “A Fuzzy Extension Of Saaty’s Priority Theory”, Fuzzy Sets and Systems, 229–241(1983).
- [23] J.J. Buckley, “Fuzzy Hierarchical Analysis”, Fuzzy Sets and Systems, 233–247(1985).
- [24] D.Y. Chang, “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, European Journal of Operational Research, 95, 649–655(1996).
- [25] C.H. Cheng, “Evaluating Naval Tactical Missile Systems By Fuzzy AHP Based On The Grade Value Of Membership Function”, European Journal of Operational Research, 343–350(1996).
- [26] M. Lee, H. Pham, X. Zhang, “A Methodology For Priority Setting With Application To Software Development Process”, European Journal of Operational Research, 118(2), 375-389 (1999).
- [27] L.C. Leung, D. Cao, “On Consistency And Ranking Of Alternatives In Fuzzy Ahp”, European Journal of Operational Research, 102–113(2000).
- [28] M. S. Kuo, G. S. Liang, ve W. C. Huang, “Extensions Of The Multicriteria Analysis With Pairwise Comparison Under A Fuzzy Environment”, International Journal of Approximate Reasoning, 268-285(2006).
- [29] X. Gu, ve Q. Zhu, “Fuzzy Multiattribute Decision-Making Method Based On Eigenvector Of Fuzzy Attribute Evaluation Space”, Decision Support Systems, 400-410 (2006).
- [30] O. Kulak, C. Kahraman, “Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design And Analytic Hierarchy Process”, Information Sciences 170, 191–210(2005).
- [31] A. Ozturk, “Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSİS Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, XXV(2), 787-824(2008).
- [32] Ö. Aydın, “Bulanık AHP ile Ankara İçin Hastane Yer Seçimi, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24, 87-104(2009).
- [33] N. Bayar, “İstanbul Boğazında Deniz Trafik Güvenliğinin Risk Tabanlı Bulanık AHP ve FMEA Yöntemleri İle İncelenmesi, Doktora Tezi, FBE Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, (2010).
- [34] S. Kaplan, F. Arıkan, “Hava Savunma Sektörü Tezgaah Yatırım Projelerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Değerlendirilmesi”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 5, 23-33(2012).