

Araştırma Makalesi

Trafik kazalarını etkileyen faktörlerin ağırlıklarının BMW ve SWARA yöntemleri ile belirlenmesi

Mesut Ulu^{1,*}, Yusuf Sait Türkan², Kenan Mengüç³

¹ Graduate Education Institute, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Turkey

² Engineering Faculty, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Turkey

³ Business Faculty, Istanbul Teknik University, Istanbul, Turkey

*Correspondence: mesut.ulu@yahoo.com

DOI: 10.51513/jitsa.1084833

Özet: Genç ve yetişkinler arasında önde gelen ölüm ve yaralanma nedeni olan trafik kazaları dünya çapında bir endişe kaynağı olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2018 yılında yol güvenliğine ilişkin küresel durum raporuna göre, trafik kazaları nedeniyle her yıl yaklaşık 1,35 milyon kişi hayatını kaybetmekte ve 50 milyon kişi yaralanmaktadır. Karayolu trafik sistemi, insan, araç, yol ve doğal çevre gibi kapsamlı faktörleri içeren karmaşık bir sistemdir. Bu karmaşık sistem uygun iyileştirmeler olmadığı takdirde can kayıplarına, yaralanmalara, maddi hasara ve trafik sıkışıklığına neden olacaktır. Bu nedenle, trafik güvenliğini artırmak için trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Mevcut literatürde trafik kazalarını etkileyen ekonomi, iklim, yol yapısı, trafik bilgileri ve trafik güvenliği kanunları gibi çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bu çalışmada trafik kazalarına etki eden sürücü dışındaki kriterler ve bunların alt kriterleri belirlenmiştir. Ardından çok kriterli karar verme yöntemleri olan BMW ve SWARA metotları ile ayrı ayrı uygulanarak trafik kazalarına etki eden faktörlerin ağırlıkları hesaplanarak karayolu kazalarının azaltılması için öneri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: BMW, ÇKKV, SWARA, trafik kazaları, ulaşım

Determining the weights of the factors affecting traffic accidents by BMW and SWARA methods

Abstract: Traffic accidents, the leading cause of death and injury among youth and adults, have been a worldwide concern. According to the World Health Organization's (WHO) global status report on road safety in 2018, approximately 1.35 million people die and 50 million are injured every year due to traffic accidents. The road traffic system is a complex system that includes comprehensive factors such as people, vehicles, roads and the natural environment. This complex system will cause loss of life, injuries, property damage and traffic jams unless appropriate improvements are made. Therefore, in order to improve traffic safety, it is necessary to analyze the effective factors affecting traffic accidents. In the current literature, there are many factors affecting traffic accidents such as economy, climate, road structure, traffic information and traffic safety laws. In this study, the criteria other than the driver that affect traffic accidents and their sub-criteria were determined. Then, BMW and SWARA methods, which are multi-criteria decision-making methods, were applied separately and suggestions were presented to reduce road accidents by calculating the weights of the factors affecting traffic accidents.

Keywords: BMW, MCDM, SWARA, traffic accidents, transportation

* Corresponding author.

E-mail address: mesut.ulu@yahoo.com

ORCID: 000-0002-5591-8674¹, 0000-0001-7240-183X², 0000-0002-7536-2124³

Received 08.03.2022; accepted 17.08.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Karayolu trafik güvenliği, küresel kamuoyunu ilgilendiren bir sağlık ve güvenlik sorunudur. Karayolu kazaları, dünyanın birçok ülkesinde yaralanmaların ve ölümlerin önde gelen nedenlerinden biridir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, küresel olarak karayolu trafik kazaları yılda yaklaşık 1,35 milyon ölüme ve 518 milyar ABD dolarına mal olmaktadır (Zou vd., 2021). 50 milyon yaralanma ile dünya çapında karayolu kazalarından kaynaklanan ölümlerin sayısı kabul edilemez derecede yüksek olmaktadır. Karayolu trafik kazaları, 5-29 yaş arası çocuklarda ve genç yetişkinlerde önde gelen ölüm nedenidir (WHO, 2018). Türkiye'deki Trafik kaza istatistikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kaza İstatistikleri (URL1)

Yıllar	Toplam Kaza Sayısı	Ölümlü ve Yaralanmalı Kaza Sayısı	Maddi Hasarlı Kaza Sayısı	Ölü Sayısı		Yaralı Sayısı	
				Kaza Yerinde	Kaza Sonrası		
2010	1105201	116804	988397	4045	-	4045	211496
2011	1228928	131845	1097083	3835	-	3835	238074
2012	1296634	153552	1143082	3750	-	3750	268079
2013	1207354	161306	1046048	3685	-	3685	274829
2014	1199010	168512	1030498	3524	-	3524	285059
2015	1313359	183011	1130348	3831	3699	7530	304421
2016	1182491	185128	997363	3493	3807	7300	300812
2017	1202716	182669	1020047	3534	3893	7427	300383
2018	1229364	186532	1042832	3368	3307	6675	307071
2019	1168144	174896	993248	2524	2949	5473	283234
2020	983808	150275	833533	2197	2669	4866	226266

Trafik kazaları, 2030 yılına kadar yedinci ölüm nedeni olacağı tahmin edilerek, dünya çapında önde gelen ölüm nedenlerinden biridir. Günümüzde, bu ölümlerin büyük bir kısmı, trafik sıkışıklığı ve yüksek yoğunluktaki araç ve yayalarla ilişkili risk faktörlerinin bir arada bulunduğu kentsel ve metropol alanlarda meydana gelmektedir (Ramirez ve Valencia, 2021). Bu nedenle, etkili önleyici tedbirlerin oluşturulması, trafik güvenliğinden sorumlu kurumlar ve politika yapıcılar için bir önceliktir.

Trafik güvenliğini artırmak için trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Karayolu trafik sistemi, insan, araç, yol ve doğal çevre gibi kapsamlı faktörleri içeren karmaşık bir sistemdir. Karayolu kazalarında, genellikle altyapı (yol durumu), araç (aracın durumu) ve sürücü (insan durumu) ile ilişkili olarak gruplandırılan birden fazla faktör etkileşim halindedir (Pérez-Acebo vd., 2021).

Bu çalışmada trafik kazalarına etki eden faktörlerin çok kriterli karar verme yöntemleri olan BWM ve SWARA metotları ile ağırlıkları belirlenecektir.

2. Literatür taraması

Trafik kazalarını etkileyen çok fazla unsur/kriter bulunması nedeniyle literatürdeki birçok çalışmada çok kriterli karar verme modellerinden yararlanıldığı görülmektedir (Bao vd., 2012; Fancello vd., 2015; de Almeida vd., 2017; Keymanesh vd., 2017). Trafik kazaları incelenirken, kaza ile ilgili unsurlar genellikle doğrudan unsurlar ve dolaylı unsurlar olmak üzere iki farklı grupta ortaya konulabilmektedir. Araç yoğunluğu, yol bilgisi vb. unsurlar doğrudan unsurlar olarak değerlendirilirken hava durumuna ait bilgiler gibi unsurlar ise dolaylı unsurlardır. Son yıllardaki çalışmaların önemli bir bölümü hem doğrudan hem de dolaylı unsurların birlikte incelendiği çalışmalardır (Chen vd., 2015; Fancello vd., 2015; Grdini'c-Rakonjac ve Pajkovi'c, 2020; Yang vd., 2021).

Mevcut literatürde trafik kazalarını etkileyen ekonomi, iklim, yol yapısı, trafik bilgileri, araç türleri, trafik güvenliği kanunları ve denetimler gibi çok sayıda faktör bulunmaktadır (Zou vd., 2021; Touahmia, 2018; Wang vd., 2013). Bu faktörler dışında araç paylaşım platformlarının kullanılması da yoğunluğu dolayısıyla trafik kazası riskini azaltır (Yaprak ve Ercan, 2021).

Bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) probleminde kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için adım adım ağırlık değerlendirme oran analizi (SWARA) (Hashemkhani Zolfani vd., 2018), analitik hiyerarşi süreci (AHP) (Ecer, 2020; Badi ve Abdulshahed, 2019), analitik ağ süreci (ANP) (Ömürbek ve Şimşek, 2014), karar verme yolu ve değerlendirme laboratuvarı (DEMATEL) (Birgün ve Ulu, 2020; Ulu ve Şahin, 2021) Bulanık DEMATEL (Şahin vd., 2022) tam tutarlılık yöntemi (FUCOM) (Pamuçar vd., 2018), kriterler arası korelasyon yoluyla kriterlerin önem tespiti (CRITIC) (Rostamzadeh vd., 2018) ve en iyi en kötü yöntem (BWM) (Demir ve Bircan, 2020) gibi bazı ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır.

BWM, kriter ağırlıklarını çıkarmak için ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. Sadece 2n-3 yaparak ikili karşılaştırmalar sırasında karşılaşılan tutarsızlık sorununun üstesinden gelir. SWARA ise karar vericiye önceliklerini seçme şansı veren uzman odaklı bir yöntemdir.

Literatürde BWM ve SWARA yöntemleri çeşitli alanlarda sıklıkla uygulanmaktadır. Stevic vd., (2018) döner kavşak inşaatı yer seçimi için BWM ve WASPAS yöntemlerinden yararlanmışlardır. Moslem vd., (2020), yol güvenliğiyle ilgili sürücü davranışı faktörlerini değerlendirmek için BWM ve üçgen bulanık kümelerle entegre bir yaklaşım uygulamışlardır. Farooq vd., (2021), yol güvenliğine ilişkin sık şerit değiştirmeyi etkileyen önemli faktörlerin değerlendirilmesinde AHP-BWM yöntemini kullanmışlardır. Vrtagic vd., (2021), yol bölümlerini sıralamak için bulanık SWARA yöntemini kullanmışlardır.

Geçtiğimiz beş yıl boyunca, BWM ve SWARA yöntemleri enerji, tedarik zinciri yönetimi, ulaşım, üretim, eğitim, yatırım, performans değerlendirme, havayolu endüstrisi, iletişim, sağlık, bankacılık, teknoloji gibi çok sayıda gerçek dünya probleminde halihazırda kullanılmıştır. Ayrıca sadece BWM ya da SWARA yönteminin kullanıldığı (tekli entegrasyon) çok sayıda çalışma ve bu yöntemin diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığı (çoklu entegrasyon) makaleler bulunmaktadır.

3. Yöntem

3.1. Best worst method (BWM) yöntemi

BWM, 2015 yılında Rezaei tarafından önerilen bir ÇKKV yöntemidir (Rezaei, 2015). AHP'ye benzer şekilde BWM, ikili karşılaştırma fikrine yani iki kriter arasındaki karşılaştırmaya dayanmaktadır. Ancak BWM, ikili karşılaştırma açısından AHP'den farklıdır. BWM sistematik bir karşılaştırmadır. BWM için öncelikle karar vericilerin yorumlarına göre en iyi kriter ve en kötü kriter belirlenecektir. İkinci olarak, en iyi kriter ve en kötü kritere ilişkin referans karşılaştırmaları yani en iyi kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar ve en kötü kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılacaktır. Üçüncüsü, iki kriter arasındaki ikili karşılaştırma değerinin (1-9 ölçeğinde) mümkün olduğunca bu iki kriter ağırlıklarının oranına eşit olması gerektiği felsefesinden hareketle, kısıtlı bir objektif optimizasyon problemi oluşturulacaktır. Son olarak, oluşturulan kısıtlı objektif optimizasyon problemi çözümlenerek kriterlerin ağırlıkları elde edilebilir (Van de Kaa vd., 2019; Demir ve Bircan, 2020). BWM'nin belirli adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Araştırma konusuna göre, öncelikle farklı alternatiflerin performanslarını yansıtabilecek makul bir karar verme kriter sistemi oluşturulmalıdır. Diyelim ki karar verme kriter sisteminde n tane kriter var ise $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ belirlenmektedir.

Adım 2: En iyi ve en kötü kriter belirlenir.

Adım 3: 1-9 ölçeğini kullanarak tüm kriterlere göre en iyi kriterin tercihi belirlenir. 1-9 ölçeği, en iyi kriterin diğer kriterlere göre önemini gösterir. En iyi kriter seçilen kriter kadar önemliyse, bu seçilen kritere göre en iyi kriterin tercihine 1 değeri verilir. En iyi kriter seçilen kritere göre kesinlikle önemliyse bu seçilen kritere göre 9 olarak atanmalıdır. En iyi kriterin diğer kriterlere göre üstünlük vektörü (A_B) Eşitlik 1'deki gibi oluşturulur.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

Adım 4: 1-9 ölçeği kullanarak tüm kriterlerin en kötü kritere göre tercihi belirlenir. İşlemler Adım 3'deki gibi yapılarak en kötü kriterin diğer kriterlere göre üstünlük vektörü (A_w) Eşitlik 2'deki gibi oluşturulur.

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw}) \quad (2)$$

Adım 5: Kriterler için optimal ağırlıkların belirlenmesinde tüm j'ler için maksimum mutlak fark en aza indirilmelidir. Bu sebeple ilk başta $|w_B - a_{Bj}w_j|$ ve $|w_j - a_{jw}w_w|$ farklarının maksimumunu minimum yapan doğrusal programlama modeli oluşturulmalıdır. Doğrusal programlama modelini oluşturabilmek için problem ilk olarak 3, 4 ve 5. eşitliklerde gösterildiği gibi min-max modeli şeklinde oluşturulmalıdır.

$$\min \max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jw}w_w|\} \quad (3)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (4)$$

$$\text{Tüm } j\text{'ler için } w_j \geq 0 \quad (5)$$

Eşitlik (6-10)'da verildiği gibi elde edilen min-max modeli ise doğrusal programlama modeline dönüştürülmektedir.

$$\min \xi \quad (6)$$

$$|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi, \text{ bütün } j\text{'ler için} \quad (7)$$

$$|w_j - a_{jw}w_w| \leq \xi, \text{ bütün } j\text{'ler için} \quad (8)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (9)$$

$$\text{Tüm } j\text{'ler için } w_j \geq 0 \quad (10)$$

Optimal kriter ağırlıkları (w_1, w_2, \dots, w_n) ve tutarlılık oranını hesaplamak için kullanılan ξ değerine ulaşmak için Eşitlik (6-10)'daki doğrusal programlama modeli çözülmelidir.

Adım 6: Sonuçların güvenilir olup olmadığını ve karşılaştırmaların tutarlılığını kontrol etmek için hesaplanır. Tutarlılık indeksi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. BWM için Tutarlılık Endeks Değerleri

a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TE	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \xi / \text{Tutarlılık Endeks Değeri} \quad (11)$$

Tutarlılık oranı bire yaklaştıkça tutarlılık azalmakta ve sıfıra yaklaştıkça tutarlılık artmaktadır.

3.2. Step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) adım adım ağırlık değerlendirme oran analizi yöntemi, karar verme sürecinde önemli rol oynayan ağırlık değerlerini belirleme yöntemlerinden biridir. Yöntem Kersulienne ve arkadaşları tarafından 2010 yılında geliştirilmiştir (Kersulienne vd., 2010; Maruf ve Özdemir, 2021).

Yöntemin temel özelliği, kriterlerin ağırlıklarını belirleme sürecinde kriterlerin önemi hakkında uzmanların görüşlerini değerlendirme olasılığıdır. Karar verme sürecinde yer alan kriterler tanımlanarak bir listesi oluşturulur. Ardından SWARA yönteminin adımları aşağıdaki gibi oluşmaktadır (Radović ve Stević, 2018).

Adım 1: Kriterlerin önemlerine göre sıralanması gerekir. Bu adımda uzmanlar, tanımlı kriterleri sahip oldukları önem derecesine göre sıralarlar. Örneğin en önemli ilk sırada, en az önemli son sırada, aradaki kriterler ise önem derecesine göre sıralanır.

Adım 2: Bu adımda uzmanlar birinci sıradaki kriter haricinde kalan kriterlerin herbiri için göreceli önem değerleri belirlemektedir. Bu maksatla j kriteri bir önceki kriter olan j-1 ile karşılaştırılır. s_j (ortalama değer karşılaştırma oranı) değerine ulaşılır. s_j değerinin elde edilmesi ile j. kriterinin (j-1). kriterden

ne kadar önemli olduğu belirlenmektedir. Böylelikle art arda gelen kriterler karşılaştırılarak ağırlık değerleri hesaplanır. Tüm kriterlerin önem düzeyleri yüzdesel olarak belirlenir.

Adım 3: k_j katsayısı Eşitlik (12)'deki gibi hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_{j+1} & j > 1 \end{cases} \quad (12)$$

Adım 4: Tekrardan hesaplanan q_j ağırlığı Eşitlik (13)'deki gibi belirlenir.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ q_{j-1}/k_j & j > 1 \end{cases} \quad (13)$$

Adım 5: Toplamı bire eşit olan kriterlerin ağırlık değerleri hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^m q_j} \quad (14)$$

Eşitlik (14)'deki w_j , kriterlerin göreceli ağırlık değerini temsil eder.

4. Uygulama

Bu çalışmada metropol şehirlerde trafik kazalarına etki eden faktörlerin değerlendirilmesi için BWM ve SWARA metotları seçilmiştir. Bu iki ayrı metot kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

BWM yönteminin seçilmesinde işlem adımlarının basit bir algoritmaya dayanması ve güçlü bir kriter ağırlıklandırma yöntemi olması önemli olmuştur. BWM yöntemi karar vericilerin en kötü ve en iyi kriterlerine göre nihai ağırlıkların değeri üzerinde öznel bir etkiye sahiptir. Kriter sayısı n olmak üzere $(2n-3)$ karşılaştırma yapılır. Bunun için 1-9 ikili karşılaştırma ölçeği kullanılır. Elde edilen ağırlık vektörünün güvenilirliği tutarlılık oranının hesaplanmasıyla yapılır.

SWARA yönteminin seçilmesinin sebebi ise kriterlerin ağırlığını hesaplamak için güçlü bir ÇKKV yöntemi olmasıdır. Bu ÇKKV yönteminin kullanılmasının nedeni, belirsizliği ele alma ve insan yargısının belirsizliğini simüle etme yeteneği olmasıdır. Bu yöntemde uzmanlar kriterleri ilk sıraya koyar, yani en önemli kriter birinci sırayı alırken, en az önemli olan kriter son sırayı alır. Daha sonra SWARA yönteminin prosedürüne göre kriterler tartılır ve önceliklendirilir.

Çalışmada kapsamlı bir literatür taraması, açık veri paylaşımı ve uzman görüşü alınarak trafik kazalarını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu kapsamda trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi için psikolojik faktör dışında fiziksel ve çevresel faktörler belirlenerek kazaya etki eden kriterler Tablo 3'de verilmiştir. Bu kriterler sırasıyla Zaman (M1), Konum (M2), Saatlik Trafik Bilgileri (M3), Günlük Trafik Bilgileri (M4), Hava Koşulları (M5), Yol Bilgileri (M6), Nüfus ve Araç Bilgileri (M7) olarak Tablo 3'de verilmiştir. Bu çalışmada trafik kazalarını etkileyen faktörlerin BWM ve SWARA yöntemleri ile ağırlıkları araştırılmış olup, ağırlıkları belirlemek için ulaştırma sektöründe uzman üç kişinin görüşüne başvurulmuştur.

4.1. BWM bulguları

Kriterler belirlenerek Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Ana kriterler ve açıklamaları

No	Ana Kriterler	Açıklama (Alt Kriterler)
1	Zaman (M1)	Tarih
		Saat
		Gün
		Özel Gün
		Ay
2	Konum (M2)	Enlem ve Boylam
		Lokasyon
		İlçe
		Geohash
		Minimum Hız
3	Saatlik Trafik Bilgileri (M3)	Maksimum Hız
		Ortalama Hız
		Tekil Araç Sayısı
		Rotaya Bağlı Trafik Yüzdesi
		Minimum Trafik İndeksi
4	Günlük Trafik Bilgileri (M4)	Maksimum Trafik İndeksi
		Ortalama Trafik İndeksi
		Günlük Araç Sayısı
		Ortalama Hız
		Trafik Yüzdesi
5	Kaza Bilgileri (M5)	Kaza Durumu
		Kaza Tipi
		Kapalı Şerit Sayısı
		Kaza Şiddeti
		Olasılık
6	Hava Koşulları (M6)	Sıcaklık
		Nem
		Rüzgar ve Yönü
		Yağış Mikarı
		Yol Sıcaklığı
7	Yol Bilgileri (M7)	Hava Durumu
		Şerit Sayısı
		Kaplama Cinsi
8	Nüfus ve Araç Bilgileri (M8)	Yol Genişliği
		Toplama ve İlçelerin Nüfusu
		Toplam ve Bölgesel Araç Sayısı

Ardından uzman görüşü alınarak en kötü (en az önemli veya en az istenen) kriter ve en iyi (en önemli veya en çok istenen) kriter belirlenmiştir. Üç uzmanın en iyi ve en kötü kriterleri için verdiği karar aynı olup, Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. En iyi ve en kötü kriterler

En İyi Kriter	M3
En Kötü Kriter	M7

En iyi ve en kötü kriterin önceliğinin belirlenmesi için 1-9 aralığında ikili karşılaştırma ölçeği kullanarak Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. İkili Karşılaştırma

En İyi Kriterlere Göre Diğer Kriterlerin Önceliklendirmesi	M3	En Kötü Kriterlere Göre Diğer Kriterlerin Önceliklendirmesi		M7
		M3	M7	
M3	1	M3	9	
M5	2	M5	5	
M6	3	M6	4	
M1	3	M2	3	
M2	4	M1	3	
M4	5	M4	2	
M7	9	M7	1	

Kriterler için optimal ağırlıkları belirlemek ve bütün j'ler için maksimum mutlak farkı en aza indirilmelidir. Bu sebeple öncelik ile $|w_B - a_{Bj}w_j|$ ve $|w_j - a_{jw}w_w|$ farklarının maksimumunu minimum yapan doğrusal programlama modeli oluşturulmalıdır. Bu model Microsoft Excel Solver kullanılarak elde edilerek Şekil 1’de verilmiştir.

Criteria Number = 7	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Criterion 4	Criterion 5	Criterion 6	Criterion 7
Names of Criteria	M3	M5	M6	M2	M1	M4	M7
En iyi kriter	3						
En kötü kriter	7						
En iyi kritere göre	M3	M5	M6	M2	M1	M4	M7
3	1	2	3	3	4	5	9
En kötü kriterlere göre diğer kriterlerin önceliklendirilmesi							
M3	7						
M5	9						
M6	5						
M2	4						
M1	3						
M4	3						
M7	2						
M7	1						
Weights	M3	M5	M6	M2	M1	M4	M7
	0,35437431	0,18826135	0,12550757	0,12550757	0,09413068	0,07530454	0,03691399
Ksi*	0,02214839						

Çözücü Parametreleri

Hedef Ayarla: SCS24

Hedef: En Büyük En Küçük Değeri: 0

Değişken Hücreleri Değiştirerek: SCS22:\$IS22:\$CS24

Kısıtlamalara Bağlıdır:

SCS22:\$IS22 >= 0
SCS28 = 1
SCS30:\$IS31 <= SCS24
SCS33:\$IS34 <= SCS24

Kısıtlanmamış Değişkenleri Pozitif Yap

Cözme Yöntemi: Basit LP

Cözüm Yöntemi

Düzgün doğrusal olmayan Çözücü Problemleri için GRG Doğrusal Olmayan Altyapı
Doğrusal Çözücü Problemleri için Basit LP altyapısını seçin ve düzgün olmayan Çözücü Problemleri için Açılım altyapısını seçin.

Şekil 1. BWM Microsoft excel solver çözümü

Trafik kazalarını etkileyen kriterlerin tek uzman görüşüne göre kriter ağırlıkları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Kriter ağırlıkları

Kriter	Ağırlığı
M3	0,354
M5	0,188
M6	0,126
M1	0,126
M2	0,094
M4	0,075
M7	0,037

Diğer uzman görüşleri için yukarıdaki işlemler tekrar yapılır. Ardından her uzmanın bulduğu kriter ağırlıklarının ortalaması alınarak kriterlerin net ağırlıkları bulunur. Net kriter ağırlıkları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Net kriter ağırlıkları

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Net Ağırlık
M3	0,354	0,356	0,350	0,353
M5	0,188	0,199	0,200	0,196
M6	0,126	0,132	0,133	0,130
M2	0,126	0,099	0,100	0,108
M1	0,094	0,099	0,100	0,098
M4	0,075	0,079	0,080	0,078
M7	0,037	0,035	0,037	0,036

Trafik kazalarını etkileyen faktörlerin ağırlıklarının belirlenebilmesi için 7 kriter kullanılıp (2n-3)’den 11 karşılaştırma yapılarak doğrusal programlama kısıtları olarak her biri modelde yer almıştır. Tutarlık oranı, Eşitlik (11)’deki formül yardımıyla hesaplanarak 0,02 olarak bulunmuştur. Elde edilen değer $0,02 < 0,1$ olduğundan sonuçların güvenilir olduğu, aynı zamanda karşılaştırmaların da tutarlı olduğunu göstermektedir.

4.2. SWARA bulguları

Trafik kazalarına etki eden kriterler belirlenerek Tablo 3.’de verilmiştir. Bir uzman görüşü doğrultusunda kriterlerin önem sırası sırasıyla M3, M5, M6, M1, M2, M4, M7 olarak en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Ardından uzman görüşü alınarak kriterlerin karşılaştırmalı ağırlığı belirlenmiştir. Kriterlerin bu görel ağırlıklarının değeri (sj) belirlenerek sj değerleri, Tablo 8’de gösterilmiştir. Her kriterin katsayısı (kj) ise Eşitlik (12) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 8’de verilmiştir. Hesaplamalar için Microsoft Excel 2013 programı kullanılmıştır.

Tablo 8. Tek uzman görüşü için hesaplamalar

Kriterler	Önem Sırası	sj	kj
M3	1		1
M5	2	0,3	1,3
M6	3	0,4	1,4
M1	4	0,5	1,5
M2	5	0,25	1,25
M4	6	0,6	1,6
M7	7	0,75	1,75

Her kriterin toplam ağırlığı, Eşitlik (13) ve Eşitlik (14) ile bulunarak Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Kriter ağırlıkları

Kriterler	qj	wj
M3	1	0,306
M5	0,769	0,236
M6	0,549	0,168
M1	0,366	0,112
M2	0,293	0,090
M4	0,183	0,056
M7	0,105	0,032

Çoklu uzman görüşünde ise yukarıda yapılan işlemler her uzman için yapılır. Ardından her uzmanın bulunduğu kriter ağırlıklarının ortalaması alınarak kriterlerin net ağırlıkları bulunur. Üç uzmanın kriter ağırlıkları ve net ağırlık Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Çoklu uzman görüşü ve net kriter ağırlıkları

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Net Ağırlık
M3	0,306	0,312	0,320	0,313
M5	0,236	0,250	0,246	0,244
M6	0,168	0,185	0,170	0,174
M2	0,112	0,116	0,113	0,114
M1	0,090	0,072	0,075	0,079
M4	0,056	0,042	0,047	0,048
M7	0,032	0,024	0,028	0,028

5. Sonuç ve öneriler

Karayolu trafik güvenliği, küresel kamuoyunu ilgilendiren bir sağlık ve güvenlik sorunudur. Bu kapsamda trafik kazalarını etkileyen unsurların farklı metotlarla incelenmesi ve yaklaşım farklılıklarının sonuç üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi son derece önemlidir.

Çok kriterli karar modellerinde problem çözme yaklaşımları sıralama, seçme, derecelendirme gibi farklı amaçlara göre tasarlanabilmektedir. Bu kapsamda probleme uygun yöntemlerin tercih edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, trafik güvenliğini artırmak için trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir. BWM ve SWARA yöntemleri kullanılarak trafik kazalarını etkileyen kriterlerin ağırlıkları bulunmuştur. Her iki yöntemde de kriter ağırlıklarına göre sıralamanın M3>M5>M6>M2>M1>M4>M7 şeklinde olduğu görülmektedir. Her iki yöntem de sıralamanın paralel çıkması sonuçların güvenilir olduğu yorumu yapılabilir. BWM yönteminde hesaplanan tutarlılık ise sonuçların güvenilir olduğu ve karşılaştırmanın tutarlı olduğunu göstermektedir.

Bu kapsamda her iki yöntemde de ağırlık olarak büyük öneme sahip üç kriter sırasıyla saatlik trafik bilgileri (minimum hız, maksimum hız, ortalama hız, tekil araç sayısı, rotaya bağlı trafik yüzdesi), hava koşulları (sıcaklık, nem, rüzgar ve yönü, yağış miktarı, yol sıcaklığı, hava durumu) ve yol bilgileri (şerit sayısı, kaplama cinsi, yol genişliği) olmuştur. Benzer ağırlıklar ile her iki yöntemde en önemsiz üç kriter ise nüfus ve araç bilgileri, günlük trafik bilgileri ve konum bilgileri olmuştur.

Bu kapsamda etkili önleyici tedbirlerin oluşturulması, trafik güvenliğinden sorumlu kurumlar ve politika yapıcılar için bir önceliklidir. Bu amaçla, trafik kazasını etkileyen kriter analizi sonucuna bağlı olarak, risk faktörünün belirlenmesi, zamana ve konuma dayalı kaza tahmini için yararlı olacaktır.

Saatlik trafik bilgileri ile trafik hacminin düşürülmesi trafik kazalarını önemli ölçüde azaltacaktır. Şiddetli yağmur ve kar gibi hava koşulları, yol yüzeyi ile lastikler arasındaki sürtünmeyi ve bu durumlarla beraber sisli hava da görüş mesafesini azaltarak kaza risklerini artırır. Düşük sıcaklıklar yollarda buz oluşumuna neden olduğu için trafik kazalarını artırmaktadır. Bu durumların önceden tahmini ve ilgili kuruluşların önlem faaliyetleri geliştirilmelidir.

Yol şartlarının iyileştirilmesi, önemli günlerde erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi kazaları azaltacaktır. Trafik güvenliği için denetimler sıklaştırılmalıdır. Caydırıcı politikalar geliştirilerek trafik kurallarına uyulması teşvik edilmelidir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu makale, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Badi, I., & Abdulshahed, A. (2019). Ranking the Libyan airlines by using full consistency method (FUCOM) and analytical hierarchy process (AHP). *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(1), 1-14.

Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E., Janssens, D., (2012). Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. *Knowl.-Based Syst.* 32, 84–90.

Birgün, S., & Ulu, M. (2020). Site selection for a training centre focused on industry 4.0 by using DEMATEL and COPRAS. In *The International Symposium for Production Research* (pp. 37-50). Springer, Cham.

Chen, F., Wang, J., Deng, Y., (2015). Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS–RSR. *Saf. Sci.* 79, 39–54.

de Almeida, A.T., Alencar, M.H., Garcez, T.V., Ferreira, R.J.P., (2017). A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management. *IMA J. Manage. Math.* 28 (2), 153–184.

Demir, G., & Bircan, H. (2020). Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinden Bwm Ve Fucom Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Bir Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170-185.

Ecer, F. (2020). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: a case study of a home appliance manufacturer. *Operational Research*, 1-35.

Fancello, G., Carta, M., Fadda, P., (2015). A decision support system for road safety analysis. *Transp. Res. Procedia* 5, 201–210.

Farooq, D., Moslem, S., Jamal, A., Butt, F. M., Almarhabi, Y., Faisal Tufail, R., & Almoshaogeh, M. (2021). Assessment of Significant Factors Affecting Frequent Lane-Changing Related to Road Safety: An Integrated Approach of the AHP–BWM Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20), 10628.

Grđinić-Rakonjac, M., Pajković, V., (2020). Evaluating the road safety of local municipalities with application of GRA: Montenegro case study. *Trans. Transport Sci.* 11 (3), 4–11.

Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, 22(22), 7399-7405.

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258.

Keymanesh, M., Ziari, H., Roudini, S., & Nasrollahatabar Ahangar, A. (2017). Identification and prioritization of “black spots” without using accident information. *Modelling and Simulation in Engineering*.

Maruf, M., & Özdemir, K. (2021). Türkiye’deki ticari bankalara ait web sitelerin performanslarının SWARA ve ARAS yöntemi ile sıralanması. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 18(Yönetim ve Organizasyon Özel Sayısı), 1-1.

Moslem, S., Gul, M., Farooq, D., Celik, E., Ghorbanzadeh, O., & Blaschke, T. (2020). An integrated approach of best-worst method (bwm) and triangular fuzzy sets for evaluating driver behavior factors related to road safety. *Mathematics*, 8(3), 414.

Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22), 306-327.

Pamučar, D., Lukovac, V., Božanić, D., & Komazec, N. (2018). Multi-criteria FUCOM-MAIRCA model for the evaluation of level crossings: case study in the Republic of Serbia. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 108-129.

Pérez-Acebo, H., Ziolkowski, R., & Gonzalo-Orden, H. (2021). Evaluation of the Radar Speed Cameras and Panels Indicating the Vehicles’ Speed as Traffic Calming Measures (TCM) in Short Length Urban Areas Located along Rural Roads. *Energies*, 14(23), 8146.

Radović, D., & Stević, Ž. (2018). Evaluation and selection of KPI in transport using SWARA method. *Transport & Logistics: The International Journal*, 8(44), 60-68.

Ramírez, A. F., & Valencia, C. (2021). Spatiotemporal correlation study of traffic accidents with fatalities and injuries in Bogota (Colombia). *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105848.

Rezaei, J. (2015). “Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method”. *Omega*, 53, 49–57.

Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaeili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669.

Stević, Ž., Pamučar, D., Subotić, M., Antuchevičiene, J., & Zavadskas, E. K. (2018). The location selection for roundabout construction using Rough BWM-Rough WASPAS approach based on a new Rough Hamy aggregator. *Sustainability*, 10(8), 2817.

Şahin Y., Kulaklı A., & Birgün S., (2022). A Fuzzy Multicriteria Decision Making Approach for Lean Supplier Selection, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey

Touahmia, M. (2018). Identification of risk factors influencing road traffic accidents. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8(1), 2417-2421.

Ulu, M., & Şahin, H. (2021). An integrated approach for fire extinguishers selection with DEMATEL and TODIM methods. *Business & Management Studies: An International Journal*, 9(4), 1696-1707.

URL1,

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2020.pdf> (Erişim tarihi: 18.12.2021)

Van de Kaa, G., Fens, T., & Rezaei, J. (2019). Residential grid storage technology battles: a multi-criteria analysis using BWM. *Technology Analysis & Strategic Management*, 31(1), 40-52.

Vrtagić, S., Softić, E., Subotić, M., Stević, Ž., Dordevic, M., & Ponjavic, M. (2021). Ranking road sections based on MCDM model: New improved fuzzy SWARA (IMF SWARA). *Axioms*, 10(2), 92.

Wang, C., Quddus, M. A., & Ison, S. G. (2013). The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction. *Safety science*, 57, 264-275.

WHO (2018). Global Status Report on Road Safety 2018: Summary.

Yang, D., Xie, K., Ozbay, K., Yang, H., (2021). Fusing crash data and surrogate safety measures for safety assessment: development of a structural equation model with conditional autoregressive spatial effect and random parameters. *Accident Anal. Prevent.* 152, 105971.

Yaprak, B., & Ercan, S., (2021). Kapitalizmin Sözde Ölümü: Paylaşım Ekonomisine Eleştirel Bir Bakış. *Düşünce ve Toplum Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(5), 92-121.

Zou, Y., Zhang, Y., & Cheng, K. (2021). Exploring the impact of climate and extreme weather on fatal traffic accidents. *Sustainability*, 13(1), 390.