

Article Type / Makale Türü

Araştırma Makalesi -
Research Article

Application Date / Başvuru Tarihi

14.07.2023 / 07.14.2023

Admission Date / Yayına Kabul Tarihi

12.28.2023 / 28.12.2023



EURO NCAP ORGANİZASYONUNUNDAKİ EN GÜVENLİ AİLE ARABALARI KATEGORİSİNDE YER ALAN ARABALARIN HİBRİT ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİYLE ANALİZİ

HYBRID MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING ANALYSIS OF CARS IN THE SAFE FAMILY CATEGORY IN EURO NCAP ORGANIZATION

Gamze KILINÇ GEBİÇ¹, Nuri ÖMÜRBEK²

ÖZ: Dünya genelinde giderek artan trafik ve trafik kazalarının bir sonucu olarak insanlar için araba güvenliği son derece önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) organizasyonunun araba çarpışma testleri ile oluşturduğu yıldızlar ile derecelendirilmiş en güvenli aile arabaları kategorisi altındaki 55 arabanın güvenlik performansı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada Euro NCAP kapsamında ele alınan 55 araba Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile analiz edilmiştir. Veri seti Euro NCAP web sitesinden elde edilmiş olup, 2020-2022 dönemine ait verilerden oluşmaktadır. Çalışmada ENTROPI, CRITIC, CILOS, IDOCRIW, MABAC, MAIRCA, WASPAS ve BORDA SAYIM yöntemlerinden oluşan sekiz adımlı bütünlük bir yöntem uygulanmıştır. Çok kriterli karar verme çalışmalarında daha önce bu şekilde bütünlük bir yöneme rastlanılmamış olması sebebiyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Ulaştırma, Hibrit Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV), Ağırlıklandırma.

ABSTRACT: As a result of increasing traffic and traffic accidents around the world, car safety has become extremely important for people. In this study, it is aimed to evaluate the safety performance of 55 cars under the category of the safest family cars, rated with stars created by the car crash tests of the Euro NCAP (European New Car Assessment Programme). In this study, 55 cars handled within the scope of Euro NCAP were analyzed with Multi-Criteria Decision Making Methods. The data set was obtained from the Euro NCAP website and consists of data for the period 2020-2022. In this study, an integrated eight-step method consisting of ENTROPI, CRITIC, CILOS, IDOCRIW, MABAC, MAIRCA, WASPAS and BOARD COUNT was applied. It differs from other studies because such an integrated method has not been encountered in multi-criteria decision-making studies, before.

Keywords: Transportation, Hybrid Multi-Criteria Decision Making Methods (MCDM), Weighting.

1. Lojistik alt alanında YÖK 100/2000 ve TÜBİTAK 2211-A Doktora Bursiyeri, Süleyman Demirel Üniversitesi, gamzeeklncc@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7746-3634>

2. Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, nuriomurbek@sdu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0360-4040>

EXTENDED SUMMARY

Research Problem

The cars that the Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) organization evaluates in terms of safety performance are rated with stars. However, it is seen that cars with the same star rating do not have the same level of safety performance.

Research Questions

In this study, it is aimed to evaluate 55 cars in the safest family cars category within the scope of Euro NCAP tests. In this way, each star segment will be ranked in order of superiority within itself. Thus, it is thought that the crash test results of the Euro NCAP organization will be more clearly expressed.

Literature Review

When the studies on Euro NCAP are examined; Kullgren, Lie, and Tingvall (2010) compared Euro NCAP safety ratings, injury and disability data with real-world data. Girginer and Dal (2020) examined the car selection under seven criteria with the ELECTRE method, using Euro NCAP data under the safety criteria in order to determine the most suitable C segment car. Kundakcı (2016) used Euro NCAP data to determine the most suitable alternative among nine alternative cars for the general manager of the marble factory in Denizli. Within the scope of the safety criterion, it has been carried out with a unified MCDM approach based on the MACBETH and MULTI-MOORA methods with nine criteria. However, no study could be found that rank with MCDM for cars that were directly subjected to Euro NCAP tests.

Methodology

In this study, 55 cars handled within the scope of Euro NCAP were analyzed with Multi-Criteria Decision Making Methods over four criteria. The criteria used are adult occupant protection, child occupant protection, vulnerable road users and safety aid. Three different weighting processes were applied to these criteria with ENTROPI, CRITIC and CILOS methods. Then, it was made into an integrated weight with the IDOCRIW method. Then, after three different ranking methods with MABAC, MAIRCA, WASPAS methods, it was made into an integrated rank with the BOARD COUNT method.

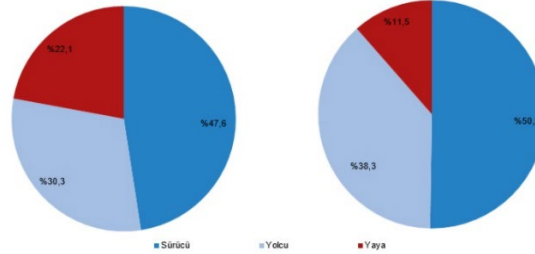
Results and Conclusions

As a result of the analysis, the most important criterion according to the IDOCRIW method is the "Child Passenger Protection" criterion; According to the BOARD COUNT method, "ARB12" was determined as the car with the highest safety performance among 55 cars.

1. GİRİŞ

Yolcu ve/veya yükleri bir noktadan başka bir noktaya taşımak için geliştirilmiş motorlu ve tekerlekli kara ulaşım arabaları, içerisinde birçok teknolojiyi de beraberinde barındırmaktadır. Dünya genelinde giderek artan trafik ile paralel olarak trafik kazaları da artış göstermektedir. Bu duruma ilaveten trafiğin seyrinde COVID-19 salgınının önemli ölçüde etkisi olmuştur. Salgın etkisi altında iken 2020 yılında durağan seyreden trafik, salgın etkisi azalmaya başlayınca yasakların bitmesi ve bireysel kullanımın da artmasıyla trafik yoğunluğunda artış yaşanmıştır. TÜİK karayolu kaza istatistiklerine göre; 2021 yılında Türkiye karayolu ağlarında gerçekleşen toplamda 1 milyon 186 bin 353 adet trafik kazasının 998 bin 390 adedi maddi hasarlı, 187 bin 963 adedi ölümlü yaralanmalı trafik kazalarından oluşmaktadır. Bu oranlar salgın etkisi altındaki 2020 yılı ile karşılaştırıldığında; %4,6 trafikteki motorlu kara taşıtı sayısı, %20,6 tüm kazaların sayısı, %25,1 ölümlü yaralanmalı kaza sayısı, %19,8 maddi hasara yol açan kaza sayısı, %10,2 tüm ölü sayısı ve %21,4 ile yaralı sayısı bir önceki yıla göre artış göstermiştir. Şekil 1 ile 2021 yılında Trafik Kazasında Ölenlerin Sürücü, Yolcu ve Yaya Dağılımı ile Trafik Kazasında Yaralananların Sürücü, Yolcu ve Yaya Dağılımı daire grafiğiyle verilmiştir. Daire grafiğine bakıldığında trafik kazalarında ölen kişilerin %47,6'sı sürücü, %30,3'ü yolcu, %22,1'i ise yayalardan oluşmaktadır. Trafik kazalarında yaralanan kişilerin ise %50,2'si sürücü, %38,3'ü yolcu, %11,5'i ise yayalardan oluşmaktadır. (TÜİK, 2022). Bu durum da araba satın almak isteyen bireyler için en güvenli ve dayanıklı otomobilleri satın almada önemli birer kriter olarak görmektedirler.

Şekil 1. 2021 yılında Trafik Kazasında Ölenlerin Sürücü, Yolcu ve Yaya Dağılımı ile Trafik Kazasında Yaralananların Sürücü, Yolcu ve Yaya Dağılımı (TÜİK, 2022)



Euro NCAP organizasyonu Avrupa pazarındaki arabaların güvenlikleri ve performanslarının incelenmesi amacıyla kurulmuş bir programdır. Bu programda elde edilen test sonuçlarında arabaların güvenlik performansı hem tüketicileri hem de araba üreticilerini yakından ilgilendirmektedir. Teknolojinin gelişimiyle beraber artan rekabet ortamında araba üreticileri de kendi donanım ve teknolojilerini pazar ile karşılaştırma imkânı bulmaktadırlar. Ancak, Euro NCAP organizasyonu sistemine göre gerçekleştirilen çarpışma testleri sonucunda arabalar 0'dan 5 yıldıza kadar derecelendirilmektedir. Test sonuçlarında aynı derecede yıldıza sahip hiç, bir ya da birden fazla araba olabilir. Burada aynı yıldız derecesine sahip olan arabaların aynı seviyede güvenlik performanslarına sahip olduğu yorumu eksik ve yanlış olacaktır.

Bu çalışmada Euro NCAP testleri kapsamında en güvenli aile arabaları kategorisinde yer alan 55 arabanın dört kriter altında değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden ENTROPI, CRITIC ve CILOS ağırlık yöntemleri, objektif yöntemler olması sebebi ile tercih edilmiştir. Elde edilen üç ayrı ağırlık katsayısını bütünlük olarak kullanılabilmek için IDOCRIW yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra literatüre son yıllarda kazandırılan MABAC, MAIRCA, WASPAS sıralama yöntemleri tercih edilmiştir. Elde edilen üç ayrı sıralamayı tek bir sıra halinde bütünlük olarak kullanabilmek için BORDA SAYIM yöntemi kullanılmıştır. Böylece bu çalışma, hem her bir yıldız segmentinin kendi içerisinde üstünlük sırasına göre sıralanmış olması hem de bu çalışmada önerilen hibrit çok kriterli karar verme yönteminin literatürdeki çalışmalardan daha kapsamlı olması yönüyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Bu çalışmada, giriş bölümünden sonra, ikinci bölümde, Euro NCAP organizasyonu sistemi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde metodoloji başlığı altında sırasıyla ENTROPI, CRITIC, CILOS, IDOCRIW, MABAC, MAIRCA, WASPAS ve BORDA SAYIM yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde literatür taramasına yer verilirken beşinci bölümde uygulama başlığı altında çalışmanın amacı ve bulgulara yer verilmiştir. Altıncı ve son bölümde ise sonuç ve öneriler yer almıştır.

2. EURO NCAP ORGANİZASYONU SİSTEMİ

Euro NCAP programı hem araba kullanıcıları hem de işletmeler için arabaları daha detaylı inceleme ve karşılaştırma imkânı bulacakları beş yıldız güvenlik derecelendirme sistemini oluşturmuştur. Bu derecelendirme sistemi Euro NCAP organizasyonu tarafından geliştirilen ve gerçekleştirilen bir takım araba testleri sonucu oluşmaktadır. Bu testler yasal bir zorunluluk barındırmamaktadır. Bu sebeple tüm yeni arabalar test örneğine girmemektedir. Güvenlik derecelendirmesi gerçek hayattaki karmaşıklığı ne kadar tam olarak yansıtamasa da yıllar içinde firmalar kendi donanımlarını diğer araba firmaları ile karşılaştırma imkânı bulmuştur. Böylece daha iyi güvenlik hizmeti verebilmek adına ekledikleri ve geliştirdikleri teknolojiler araba kullanıcıları ve toplum için oldukça faydalı gelişmelere sebep olmuştur.

Euro NCAP testlerinde kullanılan kriterler aşağıdaki şekildedir (Euro NCAP, 2022);

Yetişkin Yolcu Koruması Kriteri, arabaların önden alınan darbe, yan dan alınan darbe ve travma testleri ve acil ve güvenli kurtarma durumları ile arabadan çıkarma gibi bir dizi test sonucu ile belirlenir.

Çocuk Yolcu Koruma Kriteri, arabaların ön ve yan kısımlarından alınan çarpma test sonuçlarına göre çocuk koltuğu için sağlanan koruma incelenir. Bunun için arabanın, çocuk koltuklarının farklı boyut ve tasarımlarının yeterliliğini; çocukların arabada güvenli bir şekilde ulaşımını sağlamaları için tedariklerin kullanılabilirliği gibi durumlar bir dizi test sonucu ile belirlenir.

Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları Kriteri, araba dışındaki yayalar ve bisikletlilerin korunma düzeyini inceler. Bu kriter için, yayanın baş, leğen kemiği, üst ve alt bacaklarındaki olası yaralanma

durumları bir dizi test sonucu ile belirlenir. Zarar görebilecek yol kullanıcıları kriter puanı yüksek olan arabalar eğer otonom acil durum frenleme sistemlerine (AEB) sahip ise değerlendirilmede ek puan ilave edilecektir.

Güvenlik Yardımcısı Kriteri, sürücü yardım teknolojilerine uygulanan bir dizi test sonucu ile belirlenir. Bu testlerde sistem işlevini ve/veya kaza durumunda normal sürüş performansı değerlendirilir.

Beş yıldız güvenlik derecelendirme sistemine göre yıldızların sayısı arabanın Euro NCAP testlerinde ne kadar başarılı olduğunu göstermektedir. Teste tabi tutulan arabadaki yıldız sayısının yüksek olması sadece test sonucunun iyi olduğuna değil aynı zamanda araç üreticisinin tüm pazarlarda sunduğu güvenlik ekipmanlarının da iyi olduğunu göstermektedir. Yıldızların güvenlik performans yorumlamaları aşağıdaki şekildedir (Euro NCAP, 2022);

5 yıldız – Ciddi çarpışma korumasında iyi performans göstermektedir. Ciddi çarpışmalardan yeterli ölçüde kaçınma donanımına sahiptir.

4 yıldız – Çarpışma korumasında iyi performans göstermektedir. İlave çarpışmadan kaçınma donanımına sahip olabilir.

3 yıldız – Çarpışmadan kaçınma donanımına sahip değildir. Ayrıca yolcu koruması ortalama ile iyi arasında bir değere sahiptir.

2 yıldız – Nominal çarpışma korumasına sahiptir. Çarpışmadan kaçınma donanımına sahip değildir.

1 yıldız- Marjinal çarpışma korumasına sahiptir.

3. METODOLOJİ

Bu bölümde, çalışmada kullanılan ENTROPI, CRITIC, CILOS, IDOCRIW, MABAC, MAIRCA, WASPAS ve BORDA SAYIM yöntemlerinin aşamaları denklemler ile verilmiştir.

3.1. ENTROPI Yöntemi

ENTROPI kavramı bilgi kuramına göre, Claude E. Shannon tarafından bir yazının her bir harfinin ortalama üretilen bilgisini ölçmeye yarayan istatistiksel bir parametre olarak tanımlanmıştır. Sistemdeki düzen ya da düzensizlik miktarının ölçüsüdür. Bu sebeple ENTROPI yöntemi, nesnel kriterlerin ağırlıklarını ölçmek için kullanılmaktadır (Shannon, 1948: 379-423; Shannon, 1951: 50; Salehi ve Izadikhah, 2014: 227). Tablo 1 ile verilen ENTROPI yöntemi aşamaları 5 adımda gerçekleştirilir (Shannon, 1948: 392-423; Shannon, 1951: 50-64);

Tablo 1. ENTROPI Yöntemi Aşamaları

ENTROPI Yöntemi Aşamaları	ENTROPI Yöntemi Aşama Denklemleri	Eşitlik No
Veri Matrisi	$\begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$	
Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması	Fayda ve maliyet indekslerine göre kriterler eşitlik (1) ve eşitlik (2) yardımıyla karar matrisi elde edilir. $r_{ij} = x_{ij} / \max_i x_{ij}$ $r_{ij} = \min_i x_{ij} / x_{ij}$	(1) (2)
Adım 2: Karar Matrisinin Normalizasyonu	$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{p=1}^m x_{ip}}$, $(1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$	(3)
Adım 3: Entropi Değerlerinin Hesaplanması	$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$, $(k=1/\ln m, 1 \leq j \leq n)$	(4)
Adım 4: Farklılaşma Derecelerinin Bulunması	$d_j = 1 - e_j$, $(1 \leq j \leq n)$	(5)
Adım 5: Entropi Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması	$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}$	(6)

3.2. CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) Yöntemi

Diakoulaki, Mavrotas ve Papayannakis (1995) tarafından geliştirilen CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemi çok kriterli karar verme problemlerinde korelasyon analizi yardımıyla nesnel kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Tablo 2 ile verilen CRITIC yöntemi aşamaları 4 adımda gerçekleştirilir (Jahan vd.,2012: 413);

Tablo 2. CRITIC Yöntemi Aşamaları

CRITIC Yöntemi Aşamaları	CRITIC Yöntemi Aşama Denklemleri	Eşitlik No
Veri Matrisi	$\begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$	
Adım 1: Karar Matrisinin Normalizasyonu	mxn tipinde karar matrisinin normalize edilmesi; $r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$. $r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_j}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$.	(7) (8)
Adım 2: Korelasyon Katsayı Matrisinin Oluşturulması	$R = r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - \bar{z}_j) - (z_{ik} - \bar{z}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - \bar{z}_j)^2 - \sum_{i=1}^m (z_{ik} - \bar{z}_k)^2}}$, $j, k = 1, \dots, n$.	(9)
Adım 3: Her Bir Kriter için Bilgi Miktarının (C _j) Hesaplanması	$c_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - r_{jk})$, $j = 1, \dots, n$ σ_j : j. kriterin standart sapması	(10)
Adım 4: Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması	$w_j = \frac{c_j}{\sum_{k=1}^n (c_k)}$, $j = 1, \dots, n$. w_j : Ağırlık değeri	(11)

3.3. CILOS (Criterion Impact Loss) Yöntemi

Zavadskas ve Podvezko (2016) tarafından geliştirilen ve kriterlerin kayıp etkisine dayanan CILOS (Criterion Impact Loss-Kriter Etki Kaybı) yöntemi çok kriterli karar verme problemlerinde kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kriterlerden herhangi birinin optimal değer elde etmesi durumunda görece olarak diğer her bir kriterin ne kadar etki kaybı yaşayacağını belirlemektedir (Cereska vd., 2016: 7; Mirkin, 1974). ENTROPI yönteminde, kriter ile bu kriterin alternatiflerinin yakın değer alması durumunda ilgili kriterin ağırlığının azaldığı görülmektedir. CILOS yöntemi bu sorunu ortadan kaldırması sebebiyle ENTROPI yönteminden daha avantajlıdır (Cereska vd., 2016: 8). CILOS yöntemi için tüm kriterler maximizasyon yönlü olması gerekir. Tablo 3 ile verilen CILOS yöntemi aşamaları beş adımda gerçekleştirilir (Podvezko vd., 2020: 59-64);

Tablo 3. CILOS Yöntemi Aşamaları

CILOS Yöntemi Aşamaları	CILOS Yöntemi Aşama Denklemleri	Eşitlik No
<i>Veri Matrisi</i>	$\begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$	
<i>Adım 1: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması:</i>	Varsa minimizasyon yönlü kriterler eşitlik 12 ile maximize haline getirilir. $\tilde{x}_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}}$	(12)
<i>Adım 2: Dönüştürülmüş Karar Matrisinin Normalizasyonu</i>	$n_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \tilde{x}_{ij}}$	(13)
<i>Adım 3: A Kare Matrisinin Oluşturulması</i>	Her satırdaki en yüksek değer tespit edilir. En yüksek değeri içeren satırdaki tüm değerler köşegene gelecek şekilde taşınır. $h = j \Rightarrow r_{hj} = \max_i n_{ij}$	(14)
<i>Adım 4: P Dereceli Etki Kaybı Matrisinin Oluşturulması</i>	$p_{hj} = \frac{\max_j r_{hj} - r_{hj}}{\max_j r_{hj}}$	(15)
<i>Adım 5: F Ağırlık Sistem Matrisinin Oluşturulması</i>	$f_{hj} = \begin{cases} h = j \Rightarrow f_{hj} = -\sum_{h=1}^n p_{hj} \\ h \neq j \Rightarrow p_{hj} \end{cases}$ $\sum_{j=1}^n w_j = 1$	(16)

3.4. IDOCRIW (The Integrated Determination of Objective Criteria Weights) Yöntemi

Zavadskas ve Podvezko (2016) tarafından geliştirilen bütünleşik objektif kriter ağırlıklandırma yöntemidir. CILOS ve ENTROPI yöntemlerinin bir arada kullanılması ile IDOCRIW yöntemini önermişlerdir. Tablo 4 ile verilen IDOCRIW yöntemi aşamaları 4 adımda gerçekleştirilir (Zavadskas ve Podvezko, 2016: 3-8);

Tablo 2. IDOCRIW Yöntemi Aşamaları

<i>IDOWRIW Yöntemi Aşamaları</i>	<i>IDOWRIW Yöntemi Aşama Denklemleri</i>	<i>Eşitlik No</i>
<i>Adım 1: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması:</i>	$\begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$	
<i>Adım 2: ENTROPI Ağırlıklarının Belirlenmesi</i>	3.1. ENTROPI Yöntemi bölümünde açıklanmıştır.	
<i>Adım 3: CILOS Ağırlıklarının Belirlenmesi</i>	3.3. CRITIC Yöntemi bölümünde açıklanmıştır.	
<i>Adım 4: Nihai Ağırlıkların Belirlenmesi</i>	ENTROPI ağırlıkları w_j , CILOS ağırlıkları q_j , IDOCRIW ağırlıkları (ω_j) olmak üzere; $\omega_j = \frac{w_j \cdot q_j}{\sum_{i=1}^n w_j \cdot q_j}$	(17)

3.5. MABAC (Multi- Attributive Border Approximation Area Comparison) Yöntemi

Pamuçar ve Ćirović, (2015) tarafından geliştirilen MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison – Çok Nitelikli Sınır Yakınlık Alanı Kıyaslaması) yöntemi çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntem kriterlerin sınır yakınlık alanına uzaklıklarından yararlanarak hesaplanan alternatifleri sıralama yöntemidir. Tablo 5 ile verilen MABAC yöntemi aşamaları 7 adımda gerçekleştirilir (Pamuçar ve Ćirović, 2015: 3019-3021);

Tablo 5. MABAC Yöntemi Aşamaları

<i>MABAC Yöntemi Aşamaları</i>	<i>MABAC Yöntemi Aşama Denklemleri</i>	<i>Eşitlik No</i>
<i>Adım 1: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması:</i>	$\begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$	
<i>Adım 2: Karar Matrisinin Normalizasyonu</i>	mxn tipinde karar matrisinin normalize edilmesi; r_{ij} : i. alternatifin j. kriter açısından sahip olduğu normalize değer Fayda kriterleri için normalizasyon işlemi; $r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n.$ Maliyet kriterleri için normalizasyon işlemi $r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n.$	(18) (19)
<i>Adım 3: Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması</i>	v_{ij} : i. alternatifin j. kriter açısından sahip olduğu ağırlıklı normalize değer $v_{ij} = w_j(r_{ij} + 1)$	(20)
<i>Adım 4: Her Bir Kriter için Sınır Yakınlık Değerinin Belirlenmesi</i>	g_j : j. kriterin sınır yakınlık değeri $g_j = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m v_{ij}} \quad \forall j \text{ için}$	(21)
<i>Adım 5: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisindeki Değerlerin Sınır Yakınlık Alanından Uzaklıklarının Belirlenmesi</i>	q_{ij} : i. alternatifin j. kriter açısından sınır yakınlık alanına uzaklığı $q_{ij} = v_{ij} - g_j$	(22)
<i>Adım 6: Karar Alternatiflerinin Sınır Yakınlık Alanına Göre Durumlarının Belirlenmesi</i>	Alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklıklarının toplamı; S_i : i. alternatifin sınır yakınlık alanına uzaklığı $S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}$	(23)
<i>Adım 7: Karar Alternatiflerinin Sıralanması</i>	Eşitlik 23'e göre elde edilen değerler büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanır ve en büyüğü karar verme problemindeki en iyi alternatifi göstermektedir.	

3.6. MAIRCA (Multiatributive Ideal-Real Comparative Analysis) Yöntemi

Pamuçar vd. (2014) tarafından geliştirilen MAIRCA (MultiAtributive Ideal-Real Comparative Analysis – Çok Faktörlü İdeal- Gerçek Karşılaştırmalı Analizi) yöntemi çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntem ideal ve ampirik derecelendirmeler arasındaki boşlukları tanımlamaya dayalı alternatifleri sıralama yöntemidir. Tablo 6 ile verilen MAIRCA yöntemi aşamaları 7 adımda gerçekleştirilir (Pamuçar vd., 2014: 91);

Tablo 6. MAIRCA Yöntemi Aşamaları

MAIRCA Yöntemi Aşamaları	MAIRCA Yöntemi Aşama Denklemleri	Eşitlik No
Adım 1: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması:	$\begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$	
Adım 2: Alternatifler İçin Tercih Önceliklerinin Belirlenmesi	P_A : Alternatifler için tercih önceliği $P_A = \frac{1}{m}$	(24)
Adım 3: Teorik Derecelendirme Matrisinin Oluşturulması	t_{pj} : j. kriter için teorik derecelendirme $t_{pj} = P_A \cdot w_j$, $\forall j$ için Elde edilen değerler satır vektörünü oluşturur.	(25)
Adım 4: Gerçek Derecelendirme Matrisinin Tanımlanması	t_{rij} : i. alternatif j. kriter için gerçek derecelendirme değeri Fayda yönlü kriterler için; $t_{rij} = t_{pj} \left(\frac{x_{ij} - \min_j x_j}{\max_j x_j - \min_j x_j} \right)$ Maliyet yönlü kriterler için; $t_{rij} = t_{pj} \left(\frac{x_{ij} - \max_j x_j}{\min_j x_j - \max_j x_j} \right)$	(26) (27)
Adım 5: Toplam Boşluk Matrisinin Hesaplanması	g_{ij} : i. alternatif j. kriter için boşluk değeri $g_{ij} = t_{pj} - t_{rij}$, $\forall i, j$ için	(28)
Adım 6: Toplam Boşluğun Alternatifler İle Tanımlanması	Q_i : i. alternatif için toplam boşluk değeri $Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}$, $\forall i$ için	(29)
Adım 7: Karar Alternatiflerinin Sıralanması	Eşitlik 29'a göre elde edilen değerler küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır ve en küçüğü karar verme problemindeki en iyi alternatifi göstermektedir.	

3.7. WASPAS (Weighted Aggregates Sum Product Assessment) Yöntemi

Zavadskas vd. (2012) tarafından geliştirilen WASPAS (Weighted Aggregates Sum Product Assessment- Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi) yöntemi çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntem Ağırlıklı Toplam Modeli (WSM- Weighted Sum Model) ve Ağırlıklı Çarpım Modellerinin (WPM- Weighted Product Model) bütünleştirilmesi ile geliştirilmiş bir sıralama yöntemidir. Tablo 8 ile verilen WASPAS yöntemi aşamaları 6 adımda gerçekleştirilir (Zavadskas vd., 2012: 3-4);

Tablo 3. WASPAS Yöntemi Aşamaları

WASPAS Yöntemi Aşamaları	WASPAS Yöntemi Aşama Denklemleri	Eşitlik No
Adım 1: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması:	$\begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$	
Adım 2: Karar Matrisinin Normalizasyonu	Fayda ve maliyet indekslerine göre kriterler eşitlik (30) ve eşitlik (31) yardımıyla karar matrisi elde edilir. $r_{ij} = x_{ij} / \max_i x_{ij}$ $r_{ij} = \min_i x_{ij} / x_{ij}$	(30) (31)
Adım 3: Ağırlıklı Toplam Yöntemine (WSM)Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması	$\tilde{x}_{ij,sum}$; toplam kısmı ağırlıklı normalize karar matrisi değeri $\tilde{x}_{ij,sum} = w_j \cdot \tilde{x}_{ij}; \forall i, j$ için	(32)
Adım 4: Ağırlıklı Toplam Yöntemine (WPM)Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması	$\tilde{x}_{ij,mult}$; çarpım kısmı ağırlıklı normalize karar matrisi değeri $\tilde{x}_{ij,mult} = (\tilde{x}_{ij})^{w_j}; \forall i, j$ için	(33)
Adım5: Performans Puanlarının Göreli Önem Değerlerinin Hesaplanması	α : WASPAS toplam ve çarpım kısımlarının etkisini belirleyen katsayı; ($0 \leq \alpha \leq 1$) $WPS_i = (\alpha) \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij,sum} + (1 - \alpha) \prod_{j=1}^n \tilde{x}_{ij,mult}; \forall i, j$ için	(34)
Adım 6: Karar Alternatiflerinin Sıralanması	Eşitlik 34'e göre elde edilen değerler büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanır ve en büyüğü karar verme problemindeki en iyi alternatifi göstermektedir.	

3.8. BORDA SAYIM Yöntemi

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde alternatifler arasında sıralama yapmaya yarayan birçok uygulama vardır. Jean-Charles de Borda (1784) tarafından geliştirilen Borda Sayım yöntemi ise birden fazla sıralama yöntemini tek bir sıralama haline getiren bütünlük bir yöntemdir. Bu yöntem m adet karar alternatifine puanlar verilmesi ile hesaplanır. Birincisine m-1, ikincisine m-2 şeklinde birer azalan puan verilerek sonuncu alternatif 0 değerini alacak şekilde puanlar verilir. Tablo 8 ile verilen BORDA SAYIM yöntemi 2 adımda gerçekleştirilir (Lamboray, 2007:5);

Tablo 8. BORDA SAYIM Yöntemi Aşamaları

BORDA SAYIM Yöntemi Aşamaları	BORDA SAYIM Yöntemi Aşama Denklemleri	Eşitlik No
Adım 1: Borda Skorun Belirlenmesi	r_{ik} : k. kriter altındaki i. alternatifin sırası M : Toplam alternatif sayısı; $b_i = \sum_{k=1}^n (M - r_{ik})$	(35)
Adım 2: Nihai Sıralamanın Elde Edilmesi	Eşitlik 35'e göre elde edilen değerlerden en yüksek skora sahip olan alternatiften başlayarak sıralama belirlenir.	

4. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmada kullanılan yöntemlerle ilgili literatür taraması Tablo 9 ile verilmiştir.

Tablo 9. Literatür Taraması

<i>Çalışmanın yazar/ları</i>	<i>Çalışmanın Başlığı</i>	<i>Kullanılan Yöntem/ler</i>
Çalışmada kullanılan yöntemler ile ilgili bazı çalışmalar		
Özevin (2022)	Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının ENTROPI ve TOPSIS Yöntemleriyle Ölçülmesi: BIST Şirketleri Üzerine Bir Uygulama	ENTROPI ve TOPSIS
Çetin ve Kuvat (2022)	Türkiye’de Ekonomik Göstergeler Açısından Düzey 2 Bölgelerinin Geliştirilmiş ENTROPI ve CRITIC Temelli COPRAS Yöntemi ile Sıralanması	ENTROPI, CRITIC ve COPRAS
Pala (2021)	BİST Turizm Endeksinde Yer Alan Firmaların CILOS Ve MAIRCA Tabanlı Finansal Performans Analizi	CILOS VE MAIRCA
İtik ve Sel (2021)	Borsa İstanbul’da İşlem Gören Perakende Ticaret Sektörü Şirketlerinin Finansal Performansının CILOS Ağırlıklandırma ve TOPSIS Yöntemiyle İncelenmesi: 2013-2019	CILOS ve TOPSIS
Luo, vd. (2021)	Tourism attraction selection with sentiment analysis of online reviews based on probabilistic linguistic term sets and the IDOCRIW-COCOSO model	IDOCRIW ve COCOSO
Alao, Popoola ve Ayodele, (2021)	Selection of waste-to-energy technology for distributed generation using IDOCRIW-Weighted TOPSIS method: A case study of the City of Johannesburg, South Africa	IDOCRIW ve TOPSIS
Žižović, Miljković ve Marinković (2020)	Objective methods for determining criteria weight coefficients: A modification of the CRITIC method	CRITIC ve çalışmada önerilen CRITIC-M
Ulutaş (2019)	ENTROPI ve MABAC yöntemleri ile personel seçimi	ENTROPI ve MABAC
Akbulut (2019)	CRITIC ve EDAS yöntemleri ile İş Bankası'nın 2009-2018 yılları arasındaki performansının analizi	CRITIC ve EDAS
ULUTAŞ, (2019)	The Selection of Catering Firm With SWARA and MAIRCA Methods	SWARA ve MAIRCA
Pamuçar vd. (2018)	Multi-criteria FUCOM-MAIRCA model for the evaluation of level crossings: case study in the Republic of Serbia	FUCOM ve MAIRCA
Demircioğlu ve Coşkun (2018)	CRITIC-MOOSRA yöntemi ve UPS seçimi üzerine bir uygulama	CRITIC ve MOOSRA
Badi ve Ballem (2018)	Supplier selection using the rough BWM-MAIRCA model: A case study in pharmaceutical supplying in Libya	BWM ve MAIRCA
Yu, Wang ve Wang, (2017)	An interval type-2 fuzzy likelihood-based MABAC approach and its application in selecting hotels on a tourism website.	MABAC
Mardani vd. (2017)	A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments	SWARA ve WASPAS
Čereška, Podvezko ve Zavadskas (2016)	Operating Characteristics Analysis of Rotor Systems Using MCDM Methods	CILOS
Čereška, A. vd. (2016)	Sustainable assessment of aerosol pollution decrease applying multiple attribute decision-making methods	CILOS
Zavadskas ve Podvezko (2016)	Integrated determination of objective criteria weights in MCDM	ENTROPI ve CRITIC Yöntemlerinin Birleşimi İle IDOCRIW
Chakraborty, Zavadskas ve Antucheviciene, (2015)	Applications of WASPAS method as a multi-criteria decision-making tool	WASPAS
Kazan ve Özdemir (2014)	Financial performance assessment of large scale conglomerates via TOPSIS and CRITIC methods	CRITIC ve TOPSIS
Araba seçimi ile ilgili bazı çalışmalar		
Gavcar ve Kara (2020)	Elektrikli Otomobil Seçiminde ENTROPI ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması	ENTROPI ve TOPSIS
Nguyen vd. (2020)	CRITIC method and grey system theory in the study of global electric cars	CRITIC ve Gri Sistem Teorisi
Keleş (2019)	ENTROPI Temelli ELECTRE III Yöntemi ile B Segmenti Otomobil Markalarının Sıralanması	ENTROPI ve ELECTRE III
Biswas ve Das (2019)	Selection of commercially available electric vehicle using fuzzy AHP-MABAC	Bulanık AHP ve MABAC

5. UYGULAMA

Bu bölümde çalışmanın amacı, uygulama ve bulgulara yer verilmiştir.

5.1. Çalışmanın Amacı

Euro NCAP organizasyonu, gerçekleştirdiği testlerin sonuçlarında her bir arabaya yüzdeli değerler ve bu değerlerin sonucunda beş yıldız üzerinden derecelendirmeler ile puanlama yapmaktadır. Bu çalışmada analize dahil olan en güvenli aile arabaları kategorisindeki 39 araba beş yıldız, 10 araba dört yıldız, bir araba üç yıldız, iki araba iki yıldız, iki araba bir yıldız ve bir araba sıfır yıldız olmak üzere derecelendirilmiştir. Arabaların yıldız dereceleri sıralamaya tabi tutulmaksızın Tablo 10 ile verilmiştir. Arabalar doğrudan marka ve modelleri ile değil “ARB” kodu ile kodlanarak paylaşılması uygun görülmüştür. Ancak aynı yıldız derecesine sahip olan arabaların aynı seviyede güvenlik performanslarına sahip olduğu yorumu eksik ve yanlış olacaktır. Bu sebeple bu çalışmada Euro NCAP testleri kapsamında en güvenli aile arabaları kategorisinde yer alan 55 arabanın dört kriter altında değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu şekilde her bir yıldız segmenti de kendi içerisinde üstünlük sırasına göre sıralanmış olacak ve Euro NCAP organizasyonun gerçekleştirmiş olduğu çarpışma test sonuçları daha net ifade edilmeye çalışılacaktır.

Tablo 10. Arabaların Yıldız Dereceleri

5 Yıldız	4 Yıldız	3 Yıldız	2 Yıldız	1 Yıldız	0 Yıldız
ARB1	ARB6	ARB55	ARB39	ARB41	ARB43
ARB2	ARB7		ARB40	ARB42	
ARB3	ARB32				
ARB4	ARB33				
ARB5	ARB34				
ARB8	ARB35				
ARB9	ARB36				
ARB10	ARB37				
ARB11	ARB38				
ARB12	ARB54				
ARB13					
ARB14					
ARB15					
ARB16					
ARB17					
ARB18					
ARB19					
ARB20					
ARB21					
ARB22					
ARB23					
ARB24					

ARB25					
ARB26					
ARB27					
ARB28					
ARB29					
ARB30					
ARB31					
ARB44					
ARB45					
ARB46					
ARB47					
ARB48					
ARB49					
ARB50					
ARB51					
ARB52					
ARB53					

Kaynak: (Euro NCAP, 2022)

5.2. Uygulama ve Bulgular

Bu çalışmada Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) kapsamında en güvenli aile arabaları kategorisinde yer alan 55 araba Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu programda Avrupa pazarındaki otomobillerin güvenliği ve performanslarının değerlendirilmesi amacıyla dört kriter üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Bunlar; *yetişkin yolcu koruması*, *çocuk yolcu koruması*, *zarar görebilecek yol kullanıcıları ve güvenlik yardımcısı* kriterleridir. Bu çalışmada uygulanacak analiz sekiz adımda gerçekleştirilecektir. Kriterler öncelikle ENTROPI, CRITIC ve CILOS yöntemleri ile üç farklı ağırlıklandırma işlemi sonrasında IDOCRIW yöntemi ile tek bir bütünlük ağırlık haline getirilmiştir. Daha sonra MABAC, MAIRCA, WASPAS yöntemleri ile üç farklı sıralama yöntemi sonrasında BORDA SAYIM yöntemi ile tek bir bütünlük sıra haline getirilmiştir. Veri seti, 2020-2022 dönemine ait verilerden oluşmaktadır. 15.05.2022 tarihinde Euro NCAP web sitesinden (Euro NCAP, 2022) elde edilen veriler, Excel programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Karar matrisi Tablo 11 ile verilmiştir (Euro NCAP, 2022).

Tablo 4. Karar Matrisi (Euro NCAP, 2022)

En Güvenli Aile Arabaları 2020-2021-2022	Yetişkin Yolcu Koruması (Sürücü ve Yolcu)	Çocuk Yolcu Koruması	Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları	Güvenlik Yardımcısı
ARB1	85	88	65	79
ARB2	91	87	83	91
ARB3	94	84	71	70
ARB4	94	80	70	70
ARB5	85	86	74	65
ARB6	82	81	67	64
ARB7	82	75	72	78
ARB8	96	91	76	80
ARB9	91	91	70	95
ARB10	93	89	66	80
ARB11	93	89	80	83
ARB12	88	89	84	95
ARB13	93	89	76	85
ARB14	93	89	76	85
ARB15	94	89	71	82
ARB16	93	88	68	80
ARB17	91	87	73	81
ARB18	89	87	76	88
ARB19	91	87	77	91
ARB20	89	87	64	87
ARB21	91	87	66	88
ARB22	86	87	66	70
ARB23	96	87	71	81
ARB24	92	86	69	82
ARB25	88	86	63	88
ARB26	88	85	80	82
ARB27	82	84	72	92
ARB28	86	84	78	81
ARB29	84	82	69	79
ARB30	84	82	69	79
ARB31	85	81	70	71
ARB32	78	87	67	72
ARB33	78	87	67	72
ARB34	80	83	57	63
ARB35	76	82	76	67
ARB36	76	80	67	67
ARB37	80	75	55	80
ARB38	73	75	58	64
ARB39	70	72	41	42
ARB40	70	72	41	42
ARB41	70	69	41	39
ARB42	49	56	39	32

ARB43	43	52	41	14
ARB44	87	89	71	88
ARB45	91	88	71	80
ARB46	92	88	71	80
ARB47	91	87	68	73
ARB48	82	85	63	87
ARB49	85	85	71	79
ARB50	87	83	80	76
ARB51	89	81	68	73
ARB52	86	81	78	85
ARB53	86	81	78	85
ARB54	86	82	62	65
ARB55	69	75	52	59

Adım 1: ENTROPI Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırma

ENTROPI yöntemi için karar matrisine sırasıyla Eşitlik 1-6 uygulanarak ağırlıklandırma yapılmıştır. Her bir kriter için elde edilen ENTROPI ağırlıkları Tablo 12 ile verilmiştir.

Tablo 12. Her Bir Kriter için ENTROPI Ağırlıkları

	Yetişkin Yolcu Koruması (Sürücü ve Yolcu)	Çocuk Yolcu Koruması	Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları	Güvenlik Yardımcısı
w_j	0,1520	0,0841	0,2570	0,5069

Analiz sonucunda en önemli kriter “Güvenlik Yardımcısı” kriteri olmuştur.

Adım 2: CRITIC Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırma

CRITIC yöntemi için karar matrisine sırasıyla Eşitlik 7-11 uygulanarak ağırlıklandırma yapılmıştır. Her bir kriter için elde edilen CRITIC ağırlıkları Tablo 13 ile verilmiştir.

Tablo 5. Her Bir Kriter için CRITIC Ağırlıkları

	Yetişkin Yolcu Koruması (Sürücü ve Yolcu)	Çocuk Yolcu Koruması	Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları	Güvenlik Yardımcısı
w_j	0,2220	0,1756	0,3160	0,2864

Analiz sonucunda en önemli kriter “Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları” kriteri olmuştur.

Adım 3: CILOS Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırma

CILOS yöntemi için karar matrisine sırasıyla Eşitlik 12-16 uygulanarak ağırlıklandırma yapılmıştır. Her bir kriter için elde edilen CILOS ağırlıkları Tablo 14 ile verilmiştir.

Tablo 6. Her Bir Kriter için CILOS Ağırlıkları

	Yetişkin Yolcu Koruması (Sürücü ve Yolcu)	Çocuk Yolcu Koruması	Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları	Güvenlik Yardımcısı
w _j	0,1617	0,6118	0,1413	0,0852

Analiz sonucunda en önemli kriter “Çocuk Yolcu Koruması” kriteri olmuştur.

Adım 4: IDOCRIW Yöntemi ile Bütünleşik Ağırlıklandırma

ENTROPI, CRITIC ve CILOS yöntemleri ile her bir kriter için elde edilen üç ayrı ağırlık Eşitlik 17 kullanılarak IDOCRIW yöntemi ağırlık birleştirme yapılmıştır. Her bir kriter için elde edilen IDOCRIW ağırlıkları Tablo 15 ile verilmiştir.

Tablo 15. Her Bir Kriter için IDOCRIW Ağırlıkları

	Yetişkin Yolcu Koruması (Sürücü ve Yolcu)	Çocuk Yolcu Koruması	Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları	Güvenlik Yardımcısı
w _j	0,1206	0,3352	0,2572	0,2871

Analiz sonucunda en önemli kriter “Çocuk Yolcu Koruması” kriteri olmuştur. Sırasıyla “Güvenlik Yardımcısı”, “Zarar Görebilecek Yol Kullanıcıları” ve “Yetişkin Yolcu Koruması” kriterleri önem düzeylerine göre sıralanmıştır.

Adım 5: MABAC Yöntemi ile Sıralama

MABAC yöntemi için karar matrisine sırasıyla Eşitlik 18-23 uygulanarak sıralama elde edilmiştir. Kriterlerin ağırlığı için Tablo 15 ile verilen IDOCRIW ağırlıkları kullanılmıştır. MABAC S_i Değerleri ve Sıralaması Tablo 16 ile verilmiştir.

Adım 6: MAIRCA Yöntemi ile Sıralama

MAIRCA yöntemi için karar matrisine sırasıyla Eşitlik 24-29 uygulanarak sıralama elde edilmiştir. Kriterlerin ağırlığı için Tablo 15 ile verilen IDOCRIW ağırlıkları kullanılmıştır. MAIRCA Q_i Değerleri ve Sıralaması Tablo 16 ile verilmiştir.

Adım 7: WASPAS Yöntemi ile Sıralama

WASPAS yöntemi için karar matrisine sırasıyla Eşitlik 30-34 uygulanarak sıralama elde edilmiştir. Kriterlerin ağırlığı için Tablo 15 ile verilen IDOCRIW ağırlıkları kullanılmıştır. WASPAS Q_i Değerleri ve Sıralaması Tablo 16 ile verilmiştir.

Tablo 16 da görüldüğü üzere MABAC ve MAIRCA yöntemlerinden birebir aynı sıralama elde edilirken, WASPAS yönteminden ise bu iki yöntemle çok benzer bir sıralama elde edilmesiyle tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 7. MABAC, MAIRCA ve WASPAS Değerleri ve Sıralaması

MABAC			MAIRCA			WASPAS		
En Güvenli Aile Arabaları	Si	Sıra	En Güvenli Aile Arabaları	Qi	Sıra	En Güvenli Aile Arabaları	Qi	Sıra
ARB12	1,9607	1	ARB12	0,0006	1	ARB12	0,9824	1
ARB2	1,9304	2	ARB2	0,0012	2	ARB2	0,9638	2
ARB11	1,9067	3	ARB11	0,0016	3	ARB9	0,9495	3
ARB9	1,9047	4	ARB9	0,0017	4	ARB19	0,9454	4
ARB8	1,8972	5	ARB8	0,0018	5	ARB11	0,9398	5
ARB19	1,8961	6	ARB19	0,0018	6	ARB13	0,9338	6
ARB13	1,8909	7	ARB13	0,0019	7	ARB14	0,9338	6
ARB14	1,8909	7	ARB14	0,0019	7	ARB18	0,9307	8
ARB18	1,8752	9	ARB18	0,0022	9	ARB8	0,9289	9
ARB44	1,8593	10	ARB44	0,0025	10	ARB44	0,9197	10
ARB26	1,8574	11	ARB26	0,0025	11	ARB26	0,9160	11
ARB15	1,8540	12	ARB15	0,0026	12	ARB27	0,9102	12
ARB17	1,8378	13	ARB17	0,0029	13	ARB15	0,9100	13
ARB23	1,8378	14	ARB23	0,0029	14	ARB17	0,9024	14
ARB46	1,8337	15	ARB46	0,0030	15	ARB23	0,9022	15
ARB45	1,8315	16	ARB45	0,0030	16	ARB52	0,9020	16
ARB28	1,8293	17	ARB28	0,0030	17	ARB53	0,9020	16
ARB27	1,8249	18	ARB27	0,0031	18	ARB21	0,9013	18
ARB21	1,8227	19	ARB21	0,0032	19	ARB28	0,9007	19
ARB16	1,8189	20	ARB16	0,0032	20	ARB46	0,8978	20
ARB52	1,8177	21	ARB52	0,0032	21	ARB45	0,8966	21
ARB53	1,8177	21	ARB53	0,0032	21	ARB24	0,8905	22
ARB50	1,8166	23	ARB50	0,0033	23	ARB16	0,8895	23
ARB10	1,8160	24	ARB10	0,0033	24	ARB20	0,8893	24
ARB24	1,8122	25	ARB24	0,0033	25	ARB50	0,8885	25
ARB20	1,8031	26	ARB20	0,0035	26	ARB10	0,8865	26
ARB25	1,7901	27	ARB25	0,0037	27	ARB25	0,8841	27

ARB49	1,7885	28
ARB47	1,7809	29
ARB1	1,7800	30
ARB3	1,7685	31
ARB5	1,7646	32
ARB48	1,7643	33
ARB29	1,7490	34
ARB30	1,7490	34
ARB22	1,7475	36
ARB32	1,7421	37
ARB33	1,7421	37
ARB4	1,7284	39
ARB35	1,7283	40
ARB51	1,7248	41
ARB31	1,7200	42
ARB7	1,6979	43
ARB6	1,6713	44
ARB54	1,6639	45
ARB36	1,6596	46
ARB34	1,6232	47
ARB37	1,6033	48
ARB38	1,5478	49
ARB55	1,4867	50
ARB39	1,3401	51
ARB40	1,3401	51
ARB41	1,3036	53
ARB42	1,1079	54
ARB43	1,0075	55

ARB49	0,0038	28
ARB47	0,0039	29
ARB1	0,0039	30
ARB3	0,0041	31
ARB5	0,0042	32
ARB48	0,0042	33
ARB29	0,0045	34
ARB30	0,0045	34
ARB22	0,0045	36
ARB32	0,0046	37
ARB33	0,0046	37
ARB4	0,0049	39
ARB35	0,0049	40
ARB51	0,0049	41
ARB31	0,0050	42
ARB7	0,0054	43
ARB6	0,0059	44
ARB54	0,0060	45
ARB36	0,0061	46
ARB34	0,0068	47
ARB37	0,0071	48
ARB38	0,0082	49
ARB55	0,0093	50
ARB39	0,0119	51
ARB40	0,0119	51
ARB41	0,0126	53
ARB42	0,0161	54
ARB43	0,0180	55

ARB49	0,8754	28
ARB48	0,8701	29
ARB1	0,8669	30
ARB47	0,8615	31
ARB29	0,8572	32
ARB30	0,8572	32
ARB3	0,8541	34
ARB5	0,8429	35
ARB22	0,8395	36
ARB32	0,8391	37
ARB33	0,8391	37
ARB51	0,8379	39
ARB4	0,8368	40
ARB7	0,8353	41
ARB31	0,8329	42
ARB35	0,8302	43
ARB6	0,7974	44
ARB36	0,7962	45
ARB54	0,7933	46
ARB37	0,7848	47
ARB34	0,7670	48
ARB38	0,7375	49
ARB55	0,6974	50
ARB39	0,5955	51
ARB40	0,5955	51
ARB41	0,5752	53
ARB42	0,4773	54
ARB43	0,3872	55

Adım 8: BORDA SAYIM Yöntemi ile Bütünleşik Sıralama

MABAC, MAIRCA, WASPAS yöntemleri ile elde edilen üç farklı sıralama yöntemi, BORDA SAYIM yöntemi ile tek bir bütünleşik sıra haline getirilmiştir. Bu işlem için Eşitlik 35 uygulanmıştır. BORDA SAYIM yöntemi ile elde edilen puan ve sıralamalar Tablo 17 ile verilmiştir.

Tablo 8. BORDA SAYIM Puanı ve Sıralaması

En Güvenli Aile Arabaları	Puan	Sıralama	En Güvenli Aile Arabaları	Puan	Sıralama
ARB12	162	1	ARB47	76	29
ARB2	159	2	ARB1	75	30
ARB11	154	3	ARB48	70	31
ARB9	154	3	ARB3	69	32
ARB19	149	5	ARB5	66	33
ARB8	146	6	ARB29	65	34
ARB13	145	7	ARB30	65	34
ARB14	145	7	ARB22	57	36
ARB18	139	9	ARB32	54	37
ARB44	135	10	ARB33	54	37
ARB26	132	11	ARB4	47	39
ARB15	128	12	ARB51	44	40
ARB17	125	13	ARB35	42	41
ARB23	122	14	ARB31	39	42
ARB27	117	15	ARB7	38	43
ARB46	115	16	ARB6	33	44
ARB28	114	17	ARB54	29	45
ARB45	112	18	ARB36	28	46
ARB21	109	19	ARB34	23	47
ARB52	107	20	ARB37	22	48
ARB53	107	20	ARB38	18	49
ARB16	102	22	ARB55	15	50
ARB50	94	23	ARB39	12	51
ARB24	93	24	ARB40	12	51
ARB10	91	25	ARB41	6	53
ARB18	89	26	ARB42	3	54

ARB25	84	27	ARB43	0	55
ARB49	81	28			

MABAC, MAIRCA ve WASPAS yöntemlerinden elde edilen üç ayrı sıra, BORDA SAYIM yöntemi ile tek bir sıraya indirgenerek bütünleşik bir sonuç elde edilmiştir. BORDA SAYIM sıralamasına göre “ARB12” yüz altmış iki puanla 1. Sıraya yerleşirken “ARB43” sıfır puanla son sırada yerini almıştır.

Yıldız dereceleri bazında Tablo 10 ve Tablo 17 de yer alan sıralamalar birlikte incelendiğinde;

0 Yıldız: Euro NCAP test sonuçlarında sıfır yıldıza sahip tek araba “ARB43” olmuştur. Bu çalışmada gerçekleştirilen MABAC, MAIRCA ve WASPAS yöntemleri ile bütünleşik sıra sunan BORDA SAYIM yönteminde de ARB43 son sırada yer alarak çalışma tutarlı sonuç vermiştir.

1 Yıldız: Euro NCAP test sonuçlarında bir yıldıza sahip iki araba vardır. Bunlar; “ARB41” ve “ARB42” arabalarıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen MABAC, MAIRCA ve WASPAS yöntemleri ile bütünleşik sıra sunan BORDA SAYIM yönteminde de sıralamada sırasıyla 53. ve 54. sıralarda yerlerini alarak çalışma tutarlı sonuç vermiştir.

2 Yıldız: Euro NCAP test sonuçlarında iki yıldıza sahip iki araba vardır. Bunlar; “ARB39” ve “ARB40” arabalarıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen sıralamada da iki araba eşit oranda güvenlik performans düzeyi göstererek 51. Sırayı paylaşmışlardır. Bu sebeple çalışma tutarlı sonuç vermiştir.

3 Yıldız: Euro NCAP test sonuçlarında üç yıldıza sahip tek araba “ARB55” olmuştur. Bu çalışmada gerçekleştirilen sıralamada da 50. Sırada yer alarak çalışma tutarlı sonuç vermiştir.

4 Yıldız: Euro NCAP test sonuçlarında dört yıldıza sahip on araba vardır. Bunlar; “ARB6”, “ARB7”, “ARB32”, “ARB33”, “ARB34”, “ARB35”, “ARB36”, “ARB37”, “ARB38” ve “ARB54” arabalarıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen sıralama sonuçları incelendiğinde [37,49] sıra aralığında sıralanmışlardır. Euro NCAP yıldız derecelerine göre dört yıldıza sahip arabalar [40,49] aralığında sıralanacakları düşünülmektedir. Ancak yapılan analizler ve gerçekleştirilen tüm sıralama yöntemlerinde beş yıldıza sahip olan “ARB4”, “ARB51”, “ARB31” arabaları, dört yıldız derecesine sahip arabalar arasında yer almışlardır. Euro NCAP kriterleri dahilinde yapılan bu analizde “ARB32” ve “ARB33” arabaları “ARB4”, “ARB51”, “ARB31” arabalarından daha iyi performans göstermiş ve bu çalışmada yapılan tüm yöntemlerde aynı sonucu vermiştir.

5 Yıldız: Euro NCAP test sonuçlarında beş yıldıza sahip otuz dokuz araba vardır. Bu çalışmada Tablo 10 da listelenen beş yıldızlı arabalardan “ARB4”, “ARB51”, “ARB31” hariç olmak üzere diğer arabalar [1,36] aralığında sıralanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda “ARB4”, “ARB51”, “ARB31” arabaları, Euro NCAP değerlendirmelerine göre beş yıldız derecesine sahip olsalar da bu çalışmada gerçekleştirilen tüm yöntemlerde dört yıldız düzeyinde oldukları sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, gerçekleştirilen MABAC, MAIRCA ve WASPAS sıralama yöntemlerinin tümünde aynı sırayı paylaşan on iki araba bulunmaktadır. Bütünleşik sıralama yöntemi olan BORDA SAYIM yönteminde de sonuçlar paralellik göstermekte ve tutarlılık sağlanmaktadır. Bu durum bu arabaların aynı önem düzeyinde güvenlik performansları olduğu şeklinde yorumlanabilir. Aynı sırayı paylaşan arabalar aşağıdaki şekildedir;

- “ARB11” ve “ARB9” 3. sırayı paylaşmışlardır.
- “ARB13” ve “ARB14” 7. sırayı paylaşmışlardır.
- “ARB52” ve “ARB53” 20. sırayı paylaşmışlardır.
- “ARB29” ve “ARB30” 34. sırayı paylaşmışlardır.
- “ARB32” ve “ARB33” 37. sırayı paylaşmışlardır.
- “ARB39” ve “ARB40” 51. sırayı paylaşmışlardır.

Sonuç olarak bu çalışmada gerçekleştirilen ve arabaların güvenlik ve performansını ele alan bu sıralama, Euro NCAP organizasyonun yıldız sistemine göre arabaların performansını daha iyi yorumlayabilme imkânı sağlamaktadır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte artan trafik ve trafik kazaları araba güvenliğini ön plana çıkarmıştır. Araba güvenliği, sürücü ve yolcu açısından arabaların kaza anındaki bir dizi performans değerlendirme faktörlerine bağlıdır. Euro NCAP organizasyonu sürekli olarak geliştirilen çarpışma testleri ile araba güvenliklerini değerlendirmektedir. Bu çalışmada 2020-2022 dönemine ait veriler ile Euro NCAP kapsamında en güvenli aile arabaları kategorisinde yer alan 55 araba ele alınmıştır. Çalışmada geliştirilen Hibrit Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile bu 55 arabanın güvenlik ve performans sıralamaları yapılmıştır. Bu uygulama ile Euro NCAP sonuçlarını ifade etmek için kullanılan yıldız derecelenme sisteminin araba üreticileri ve tüketicileri açısından daha iyi yorumlanabilme kabiliyeti geliştirilmiştir. Çalışmada önerilen ve sekiz adımdan oluşan Hibrit Çok Kriterli Karar Verme modelinde Euro NCAP organizasyonunda kullanılan dört kriter kullanılmıştır. Bunlar; *yetişkin yolcu koruması*, *çocuk yolcu koruması*, *zarar görebilecek yol kullanıcıları* ve *güvenlik yardımcısı* kriterleridir. Kriterler öncelikle ENTROPI, CRITIC ve CILOS yöntemleri ile üç farklı ağırlıklandırma işlemi sonrasında IDOCRIW yöntemi ile tek bir bütünleşik ağırlık haline getirilmiştir. Daha sonra MABAC, MAIRCA, WASPAS yöntemleri ile üç farklı sıralama yöntemi sonrasında BORDA SAYIM yöntemi ile tek bir bütünleşik sıra haline getirilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen bütünleşik sıra sonuçlarına göre 0, 1, 2 ve 3 yıldıza sahip arabalar bütünüyle tutarlı sonuç göstermiştir. Daha açık bir anlatımla her bir yıldız derecesi kendi içerisinde sıralanmış ve yıldızlar arası kayma yaşanmamıştır. Ancak 4 ve 5 yıldıza sahip arabalarda ise üç araba Euro NCAP’tan farklı şekilde sıralanmıştır. Beş yıldız derecesine sahip olan “ARB4”, “ARB51”,

“ARB31” arabalar bu çalışmada gerçekleştirilen analiz yöntemlerinin tümünde aynı tutarlı davranışı göstererek dört yıldız derecesine sahip arabalar arasında yer almışlardır.

Bu çalışmanın kısıtı Euro NCAP organizasyonunun test sonuçlarını belirlediği matematiksel değerlendirmenin alt yapısındaki belirsizlikler olarak görülmüştür. Yapılan değerlendirmelerde dört kriterin her birine yüzde olarak bir performans puanı belirlemişlerdir. Ancak bu dört yüzdelerik değeri yıldız derecelenmesinde kategorize edebilmek için nasıl bir matematiksel değerlendirmeye tabi tutulduğu açıklanmamıştır. Bu dört değer tek bir değere indirgenip indirgenmemesi, indirgendi ise bu işlemin arkasındaki matematiksel sürecin nasıl işlediği ve ortaya çıkan tek değer hangi aralıklarda hangi yıldız derecelendirmesi kategorisine dahil olduğu araştırmacılar için belirsiz noktalar olarak tespit edilmiştir. Bu matematiksel sürecin daha net ifade edildiği bir durumda, araştırmacılar literatür ve uzman görüşlerle desteklenen ek yeni kriterler ile çalışma analizini zenginleştirme imkanına sahip olabilecekleri düşünülmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda araştırmacılar Euro NCAP kriterlerine ek olarak yeni kriterler ekleyebilir ve güncel literatürdeki yeni yöntemlerden de faydalanabilir. Böylece analiz aşaması, yöntem ve kullanılan kriterler açısından zenginleşmiş olacaktır.

KAYNAKÇA

- Akbulut, O. Y. (2019). CRITIC ve EDAS yöntemleri ile İş Bankası'nın 2009-2018 yılları arasındaki performansının analizi. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 249-263.
- Alao, M. A., Popoola, O. M., & Ayodele, T. R. (2021). Selection of waste-to-energy technology for distributed generation using Idocrw-Weighted Topsis method: a case study of the city of Johannesburg, South Africa. *Renewable Energy*, 178, 162-183.
- Badi, I., & Ballem, M. (2018). Supplier selection using the rough BWM-MAIRCA model: A case study in pharmaceutical supplying in Libya. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(2), 16-33.
- Biswas, T. K., & Das, M. C. (2019). Selection of commercially available electric vehicle using Fuzzy AHP-MABAC. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 100(3), 531-537.
- Čereška, A., Podvezko, V., & Zavadskas, E. K. (2016). Operating characteristics analysis of rotor systems using MCDM methods. *Studies in Informatics and Control*, 25(1), 60.
- Čereška, A., Zavadskas, E. K., Cavallaro, F., Podvezko, V., Tetsman, I. & Grinbergienė, I. (2016), Sustainable assessment of aerosol pollution decrease applying Multiple Attribute Decision-Making Methods, *Sustainability*, 8(7), S.586-597.
- Chakraborty, S., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2015). Applications of WASPAS method as a Multi-Criteria Decision-Making tool. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 49(1), 5-22
- Çetin, B., & Kuvat, Ö. (2022). Türkiye’de ekonomik göstergeler açısından düzey 2 bölgelerinin geliştirilmiş ENTROPI ve CRITIC temelli COPRAS yöntemi ile sıralanması. *Aksaray Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 11-36.

- Demircioğlu, M., & Coşkun, İ. T. (2018). CRITIC-MOOSRA yöntemi ve UPS seçimi üzerine bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 183-195.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in Multiple Criteria Problems: The Critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Euro NCAP, (2022). “En güvenli aile arabaları”, <https://www.euroncap.com/tr>, (Erişim Tarihi: 15.05.2022).
- Gavcar, E., & Nusret, K. A. R. A. (2020). Elektrikli otomobil seçiminde ENTROPI ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması. *İş ve İnsan Dergisi*, 7(2), 351-359.
- Girginer, N., & Dal, L. C segment otomobil selection by using Electre method. (2020) *Academic Studies in Science and Mathematics-II*, 37.
- İtik, Ü. M., & Sel, A. (2021). Borsa İstanbul’da işlem gören perakende ticaret sektörü şirketlerinin finansal performansının Cilos ağırlıklandırma ve Topsis yöntemiyle incelenmesi: 2013-2019. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 10(3), 2769-2795.
- Jahan, A., Mustapha, F., Sapuan, S. M., Ismail, M. Y., & Bahraminasab, M. (2012). A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(1-4), 411-420.
- Kazan, H., & Ozdemir, O. (2014). Financial performance assessment of large scale conglomerates via TOPSIS and CRITIC methods. *International Journal of Management and Sustainability*, 3(4), 203-224.
- Keleş, M. K. (2019). ENTROPI Temelli ELECTRE III yöntemi ile B segmenti otomobil markalarının sıralanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(33), 29-50.
- Kullgren, A., Lie, A., & Tingvall, C. (2010). Comparison between Euro NCAP test results and real-world crash data. *Traffic Injury Prevention*, 11(6), 587-593.
- Kundakçı, N. (2016). Combined multi-criteria decision making approach based on MACBETH and MULTI-MOORA methods. *Alphanumeric Journal*, 4(1), 17-26.
- Lamboray C. (2007). “A comparison between the prudent order and the ranking obtained with Borda's, Copeland's, Slater's and Kemeny's rules”, *Mathematical Social Sciences*, 54: 1-16.
- Luo, Y., Zhang, X., Qin, Y., Yang, Z., & Liang, Y. (2021). Tourism attraction selection with sentiment analysis of online reviews based on probabilistic linguistic term sets and the IDOCRIW-COCOSO model. *International Journal of Fuzzy Systems*, 23(1), 295-308.
- Mardani, A., Nilashi, M., Zakuan, N., Loganathan, N., Soheilrad, S., Saman, M. Z. M., & Ibrahim, O. (2017). A systematic review and Meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments. *Applied Soft Computing*, 57, 265-292
- Mirkin, B. G. (1974). The Problem of group choice. *Science*, Moscow.
- Nguyen, T. K. L., Le, H. N., Ngo, V. H., & Hoang, B. A. (2020). CRITIC Method and Grey system theory in the study of global electric cars. *World Electric Vehicle Journal*, 11(4), 79.
- Özevin, O. Kurumsal sürdürülebilirlik performansının ENTROPI ve TOPSİS yöntemleriyle ölçülmesi: BİST şirketleri üzerine bir uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (95), 75-98.

- Pala O. (2021). BİST turizm endeksinde yer alan firmaların CILOS ve MAIRCA tabanlı finansal performans analizi. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(2), 163-185.
- Pamučar, D. & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
- 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.
- Pamučar, D., Vasin, L., & Lukovac, L. (2014, October). Selection of railway level crossings for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MARICA model. In *XVI International Scientific-Expert Conference on Railway, Railcon* (Pp. 89-92).
- Podvezko, V., Zavadskas, E. K. & Podvezko, A. (2020), An extension of the new objective weight assessment methods CILOS and IDOCRIW to fuzzy MCDM, *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 54(2), S.59-75.
- Salehi, A. Ve Izadikhah, M. (2014). A novel method to extend saw for decision-making problems with interval data. *Decision Science Letters*, 3(2), 225-236.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *bell system Technical Journal*, 27(3), 379-423.
- Shannon, C. E. (1951). Prediction and ENTROPI of printed english. *The Bell System Technical Journal*, 30(1), 50-64.
- TÜİK, (2022). “Karayolu kaza trafik istatistikleri”, <https://www.tuik.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 10.12.2022)
- Ulutaş, A. (2019). ENTROPI ve MABAC yöntemleri ile personel seçimi. *OPUS International Journal of Society Researches*, 13(19), 1552-1573.
- Ulutaş, A. (2019). The selection of catering firm with SWARA and MAIRCA methods. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(4), 1467
- Yu, S. M., Wang, J., & Wang, J. Q. (2017). An interval type-2 fuzzy likelihood-based MABAC approach and its application in selecting hotels on a tourism website. *International Journal of Fuzzy Systems*, 19(1), 47-61.
- Zavadskas, E. K., & Podvezko, V. (2016). Integrated determination of objective criteria weights in MCDM. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(02), 267-283.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 122(6), 3-6.
- Žižović, M., Miljković, B., & Marinković, D. (2020). Objective methods for determining criteria weight coefficients: A modification of the CRITIC method. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 149-161.