

Araştırma Makalesi / Research Article

ŞEHİRLERARASI TAŞIMACILIKTA KULLANILAN OTOBÜSLERE İLİŞKİN SEÇİMLERİN AHP VE CRITIC TABANLI EDAS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Ömer Faruk GÖRÇÜN 

Kadir Has Üniversitesi, İİBF, İstanbul, (omer.gorcun@khas.edu.tr)

Dr. Öğr. Üyesi Hande KÜÇÜKÖNDER 

Bartın Üniversitesi, İİBF, Bartın, (hkucukonder@bartin.edu.tr)

ÖZET

Bu çalışma, şehirlerarası otobüs seçimlerini değerlendirmek için hibrit bir çok kriterli karar verme (MCDM) modeli önermektedir. Önerilen model üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada hazırlık süreci yürütülürken, ikinci aşamada kriterlerin ağırlıkları hesaplanmakta ve üçüncü aşamada alternatiflerin tercih dereceleri belirlenmektedir. Kriter ağırlıklarını belirlemek için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve CRITIC (Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi) uygulanmıştır. Daha sonra, karar alternatiflerinin tercih derecelerini belirlemek için EDAS (Ortalama Çözümünden Uzaklığa Dayalı Değerlendirme) tekniği uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre en belirleyici kriterler estetik ve konfordur. Ayrıca P14 Brand-TE Safari 13 HD'nin en iyi alternatif olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otobüs Seçimi, ÇKKV Yöntemleri, EDAS, AHP, CRITIC.

EVALUATION OF THE SELECTION OF BUSES USED IN INTERCITY TRANSPORTATION WITH THE EDAS TECHNIQUE BASED ON AHP AND THE CRITIC TECHNIQUES

ABSTRACT

This study suggests a hybrid multi-criteria decision-making (MCDM) model for evaluating the intercity bus selections. the proposed model consists of three phases. While in the first phase, the preparation process is carried out, in the second phase, the weights of the criteria are calculated and preference ratings of the alternatives are determined in the third phase. To identify the criteria weights the Analitik Hierarchy Process (AHP) and the CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) have been implemented. Next, EDAS (The Evaluation Based on Distance from Average Solution) technique has been applied to determine the preference ratings of the decision alternatives. According to results of the analysis, the most determinative criteria are asthetic and comfort. Also, it has been observed that P14 Brand-TE Safari 13 HD is the best alternative.

Keywords: Bus Selection, MCDM Methods, EDAS, AHP, CRITIC.

1. Giriş

Lastik tekerlekli taşıma sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen şehirlerarası yolcu taşımacılığı yolcu taşımacılığının ana bileşenlerinden birisidir. Kentsel lojistik açısından değerlendirildiğinde bireylerin ulaşım taleplerini en hızlı ve esnek şekilde karşılayabilen bir taşımacılık türüdür. Özellikle lastik tekerlekli taşıma sistemleri kısa mesafe yolcu taşımacılığında diğer taşıma türlerine göre daha yüksek düzeyde esneklik ve sıklıkla hizmet sağlayan bir taşıma modu olarak değerlendirilebilir.

Bunlara ek olarak, hava, deniz, demiryolu vb. diğer ulaşım türlerine göre düşük yatırım maliyeti gerektirdiğinden, ulaştırma aktörleri tarafından ulaştırma pazarına girişi son derece kolaydır. Diğer yandan, uluslararası hava taşımacılığı pazarındaki rekabetin bir sonucu olarak, havayolu şirketlerinin son yıllarda iç hat yolcu taşımacılığı pazarına odaklanmasının bir sonucu olarak uluslararası havayolu şirketleri, diğer şehirlerarası otobüs işletmecilerinin yanı sıra şehirlerarası otobüs işletmeciliği şirketleri için de zorlu rakipler haline gelmeye başlamıştır.

Günümüz koşullarında şehirlerarası otobüs firmalarının son derece rekabetçi iş ortamında kalabilmesi geçmişle kıyaslanamayacak şekilde zorlaşmıştır. Şiddetli rekabete ek olarak, ulaşım sistemleri kullanıcıları daha kaliteli ulaşım hizmetleri istediği için, yolcu taşımacılığı faaliyetleriyle ilgili süreçleri yönetmek daha zor hale gelmiştir. Örneğin iki artı bir (2+1) olarak adlandırılan otobüslerde yolcular tek kişilik koltukları tercih etmeye başlamıştır. Bu durum her sıradaki bir koltuğun azalması, dolayısıyla taşınacak yolcunun buna bağlı olarak da elde edilecek kârın azalması anlamına gelmektedir.

Geniş bir perspektiften değerlendirildiğinde, şehirlerarası yolcu taşımacılığı şirketleri, son derece karmaşık ve rekabetçi bir iş ortamında kalabilmek için kendi verimliliklerini ve üretkenliğini korumak zorundadırlar. Üretkenliği ve verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden biri, şirketler tarafından işletilen ulaşım araçlarıdır. Bu perspektifte, kendi filosuna herhangi bir taşıma aracı eklerken, nakliye operatörlerinin bu son derece hassas süreçleri iyi yönetmeleri zorunluluk haline gelmiştir. Yüksek yatırım maliyetlerine rağmen seçim sürecinde karar vericiler tarafından yapılan hatalar görece olarak elde edilebilecek karların düşmesine neden olabilir. Öte yandan seçim sürecini etkileyen birçok faktör ve değişken olduğu için doğru ve uygulanabilir kararlar verebilmek, karar vericinin sözlü yargı ve deneyimlerine bağlı olarak oldukça zor ve zaman alan bir süreçtir. Bu nedenle, etkili ve uygulanabilir bir metodolojik çerçevenin kullanılması, bu tür karar problemlerini çözebilmek için son derece önemli bir konudur.

Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi, araştırma sırasında elde edilen ve sayısal olmayan seçim kriterlerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu kapsamda konfor ve estetik gibi otobüs seçimine önemli ölçüde etki eden ve gerçekte sayısal değerlere sahip olmayıp karar vericilerin sözel yargılarına ve değerlendirmelerine dayanan bu kriterin sayısal değerlerinin tanımlanması için AHP yönteminden, sayısal değerlere sahip olan geri kalan kriterlerin ağırlık değerlerinin hesaplanması içinde CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) yönteminden yararlanılmıştır.

Başlangıçta bir hazırlık süreci planlanmış ve daha rasyonel ve gerçekçi sonuçlar elde etmek için dokuz üyeden oluşan bir uzmanlar kurulu oluşturulmuştur. Uzmanlar kurulu üyeleri şehirlerarası yolcu taşımacılığı şirketlerinin karar alma süreçlerinde önemli rol oynayan üst düzey yöneticiler arasından seçilmiştir. Aynı zamanda araştırma sürecinde kullanılacak tüm seçim kriterleri ve karar seçeneklerinin yanı sıra ikili karşılaştırma sorularına cevap verecek olan karar vericiler, düzenlenen yuvarlak masa toplantılarında uzmanlar kurulu üyeleri tarafından belirlenmiştir. Seçim kriterleri ve karar seçenekleriyle ilgili veriler, şehirlerarası otobüs üreticileri tarafından yayınlanan teknik veri sayfaları, resmi belgeler ve bilgi notlarından toplanırken aynı zamanda karar vericilerin, yedek parça üreticilerinin ve onarım servis yöneticilerinin sözlü yargı ve görüşleri bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen veriler uzmanlar kurulu üyeleri tarafından gözden geçirilerek doğrulandıktan sonra değerlendirme sürecine dahil edilmiştir. Hazırlık süreci tamamlandıktan sonra önerilen model üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, AHP ve CRITIC gibi iki farklı ağırlıklandırma tekniği kullanılarak seçim kriterlerinin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. İkinci aşamada, EDAS yöntemi yardımıyla karar alternatiflerinin skor değerleri hesaplanmış ardından tüm alternatifler bu puan değerlerine göre sıralandırılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, şehirlerarası otobüs seçimi ile ilgili literatüre bazı katkılarda bulunmaktır: Seçim kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterlerin ağırlık değerlerinin iki aşamalı olarak hesaplanması bu çalışmanın ilk katkısı olarak kabul edilebilir. İkinci olarak, bu makale hesaplanan karar seçeneklerinin skor değerlerini dikkate alarak doğru ve en iyi şehirlerarası otobüs alternatifinin belirlenmesi için hibrit bir karar verme modelinin kullanılmasını önermektedir. Üçüncü olarak, önerilen modelin rasyonel, uygulanabilir ve gerçekçi sonuçlar sağlayıp sağlamadığı ortaya konulmaktadır. Bu çalışma beş bölüm olarak organize edilmiştir: Birinci bölümde, araştırmanın amaçları ve kapsamı üzerinde durulmuş, ikinci bölümde ilgili literatür çerçevesinde daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde söz konusu karar probleminin çözümü için önerilen model ve uygulama adımları tanıtılmış, dördüncü bölümde ise en uygun otobüs markasının seçimine ilişkin sayısal bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde elde edilen sonuçlar tartışılırken, aynı zamanda ileriye yönelik yapılabilecek çalışmalar için bazı tavsiyelerde bulunmaktadır.

2. Literatür Taraması ve Önceki Çalışmalar

Literatürde toplu taşıma sistemlerinin çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak değerlendirildiği bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar arasında bazı dikkat çekici çalışmalar kronolojik olarak şu şekilde özetlenebilir: Janic & Reggiani (2002), AHP, SAW(Simple Additive Weighting) ve TOPSIS(Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution) yöntemleriyle havalimanları için yeni bir dağıtım sistemi geliştirmişlerdir. Tzeng vd. (2005) toplu taşıma sistemlerinde kullanılan alternatif enerji kaynaklarını TOPSIS ve VIKOR(VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje) yöntemlerini kullanarak analiz etmişlerdir. Kuo vd. (2008), Gri İlişkisel Analiz (GIA) yöntemi yardımıyla Tayvan'daki otobüs üreticilerinin hizmet kalitelerini incelemişlerdir. Çalışmalarının en önemli bulgusuna göre araştırmacılar tarafından önerilen model, otobüs üreticilerinin hizmet kalitesine ilişkin seçim kriterlerini belirlemede çok etkili sonuçlar

sağlayabileceği vurgulanmıştır. Vahdani vd. (2011) alternatif enerji kaynakları ile çalışan otobüsleri TOPSIS tekniği yardımıyla değerlendirmişlerdir. Kuo & Liang (2011), bulanık VIKOR yöntemine bağlı olarak yeni bir performans değerlendirme yöntemi önermiş ve şehirlerarası otobüs seçiminin değerlendirilmesi kendileri tarafından bir vaka çalışması olarak seçilmiştir. Genel olarak güvenlik, konfor, rahatlık gibi sayısal olmayan faktörleri incelemişlerdir. Çelik vd. (2013) toplu taşıma alternatiflerini TOPSIS ve GIA yöntemlerini kullanarak kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirmiştir.

Literatür genel olarak değerlendirildiğinde, doğrudan şehirlerarası otobüs seçimine odaklanan bir çalışmanın mevcut olmadığı ve hemen hemen tüm çalışmaların toplu taşıma sistemleri ve faaliyetleri ile ilgili olduğu görülmektedir. Ayrıca önceki çalışmalarda yazarların çoğunlukla TOPSIS yöntemini kullanmayı tercih ettikleri ve genellikle TOPSIS ve AHP yöntemlerinden oluşan entegre bir yaklaşım kullandıkları da dikkat çekicidir. Bu yönüyle bu çalışmada önerilen model daha önceki çalışmalarda kullanılmamış yeni bir model olarak değerlendirilebilir ve çalışmanın özgünlüğünün artmasında katkı sağlayabilir.

3. Araştırma Yöntemi

Bu çalışmada önerilen model, hazırlık aşaması, uygulama aşaması ve doğrulama aşaması olmak üzere üç ana aşamada uygulanmaktadır. Hazırlık süreci olarak da tanımlanan birinci aşamada araştırma sürecine yönelik olarak bir uzmanlar kurulu oluşturulmuş ve uzmanlar kurulu ile birlikte otobüs seçimine etki eden kriterler ve uygulamada değerlendirilecek karar alternatifleri belirlenmiştir. Seçim kriterlerinin belirlenmesi için uzmanlar kurulunun dokuz üyesine şehirlerarası taşımalarda kullanmak üzere otobüs satın almak istediklerinde dikkate alacakları kriterleri not etmeleri ve bir ay sonra yapılacak ikinci toplantıya kadar kendi listelerine istedikleri kadar seçim kriteri ekleyebilecekleri söylenmiştir.

Bir sonraki toplantıda listeler toplanarak, birleştirilmiş, aynı kriterler için tekrar edenler çıkartılarak nihai liste elde edilmiştir. Ardından uzmanlar kurulu üyelerine listede yer alan kriterler arasından çıkarılması gereken bir kriter olup olmadığı sorulmuş ve bunları işaretlemeleri istenmiştir.

Tüm üyeler çıkarılması gereken kriterleri işaretledikten sonra kendilerine liste okunarak itiraz edip etmedikleri sorulmuş, tüm üyelerin çıkarılmasında mutabık olduğu kriterler çalışmanın kapsamından çıkarılarak Tablo 1’de görülen nihai seçim kriterleri elde edilmiştir. Benzer şekilde uzmanlar kurulu üyeleri ile birlikte Türkiye ve Avrupa pazarında satılan şehirler arası otobüs marka ve modelleri arasında yer alan alternatifler Tablo 1 e eklenmiştir. Buna göre çalışma kapsamında ele alınacak olan seçim kriterleri ve karar alternatifleri Tablo 1’deki gibidir.

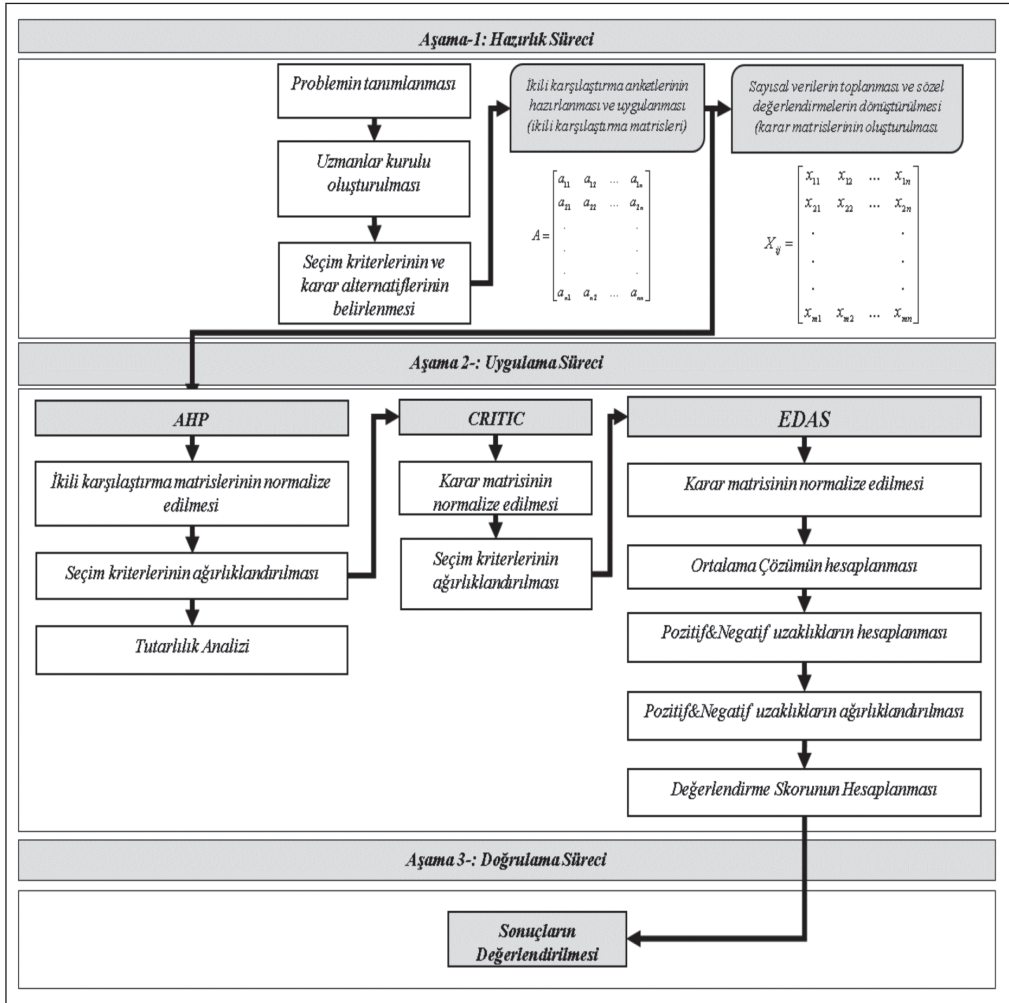
Tablo 1: Şehirlerarası Otobüsler için Değerlendirme Kriterleri ve Seçim Alternatifleri

Seçim Kriterleri			Alternatifler	
Kodu	Seçim Kriterleri	Yönü	Kodu	Karar Alternatifi
C ₁	Değer Kaybı	Min	P1	Marka-TE 15 RHD
C ₂	2. El Piyasa	Maks	P2	Marka-TE 16 RHD
C ₃	Yakıt Tüketimi	Min	P3	Marka-TE 16 RHD 2+1
C ₄	Yedek Parça	Min	P4	Marka-TR 15 SHD
C ₅	Servis Maliyeti	Min	P5	Marka M Lions Coach
C ₆	Estetik ve Konfor	Maks	P6	Marka-SE S 517 HDH
C ₇	Satınalma Fiyatı	Min	P7	Marka-SE S 515 HD
C ₈	Bakım Aralığı	Maks	P8	Marka-SE 516 HD/2
C ₉	Yakıt Deposu Büyüklüğü	Maks	P9	Marka-NE Skyliner
C ₁₀	Koltuk Sayısı	Maks	P10	Marka-NE Cityliner
C ₁₁	Motor Gücü	Maks	P11	Marka-NE Tourliner
C ₁₂	Euro Sınıfı	Maks	P12	Marka-D İrizar 16
C ₁₃	Garanti Süresi	Maks	P13	Marka-SC Touring
			P14	Marka-TE Safari 13 HD
			P15	Marka-VD Futura

Bir sonraki aşamada seçim kriterleri dikkate alınarak karar alternatifleri ile ilgili veriler toplanırken, aynı zamanda uzmanlar kurulu tarafından belirlenen karar vericilere yönlendirmek üzere ikili karşılaştırma soruları hazırlanmıştır. Ardından karar vericilere söz konusu sorular yöneltilmiş ve yanıtlara karşılık gelen sayısal değerlerin geometrik ortalaması alınarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen veriler çerçevesinde ikinci aşamaya geçilmiş ve AHP ve CRITIC yöntemleri kullanılarak seçim kriterlerinin ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Nihai olarak, her iki yöntem temelinde hesaplanan ağırlık değerleri kullanılarak EDAS yöntemi perspektifinde karar alternatiflerinin her biri için skor puanları hesaplanmış ardından bu değerlere göre alternatifler sıralandırılmıştır. Elde edilen sonuçların doğrulama aşaması içinde tekrardan uzman kurulunun görüşleri alınarak sonuçlar birlikte tartışılmıştır. Uygulanan modelin işlem adımları ile birlikte detaylandırıldığı genel gösterimi Şekil 1’de sunulmaktadır.

Şekil 1: Otobüs Seçimlerinin Değerlendirilmesi için Uygulanan Model



3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi

Modelin uygulama ilk aşamasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile hem karar vericilerin sözel değerlendirmelerine dayanan seçim kriterleri için sayısal değerler belirlenirken, aynı zamanda seçim kriterleri içinde ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Yöntemin uygulama aşamasında ilk olarak daha önce bahsedildiği üzere uzmanlar kurulu ile birlikte belirlenen seçim kriterleri ve karar alternatifleri için Tablo 2 de gösterilen Saaty'nin ikili karşılaştırma skalası (Saaty,1980) kullanılmış ve bu doğrultuda ikili karşılaştırma anketleri oluşturularak karar vericilere bu anketler yöneltilmiştir.

Tablo 2: İkili Karşılaştırma Tablosu (Saaty, 1980)

İkili karşılaştırmalar için dereceler	Tanım
1	Eşit önemli
3	Çok az önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Mutlak önemli
2,4,6,8	Ara değer
Tersleri	Tersi karşılaştırmalar

Karar vericilerden alınan cevapların geometrik ortalaması alınarak eşitlik 1 de gösterildiği gibi, ikili karşılaştırma matrisinin her bir elemanının sayısal değeri hesaplanarak A matrisi oluşturulmuştur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

AHP yöntemine ait üç uygulama adımı ile seçim kriterlerinin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Yöntemin uygulama adımları aşağıda gösterilmektedir (Saaty, 1980; Saaty, 1994; Saaty, 2008).

Adım-1 İkili Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi: Bu adımda ikili karşılaştırma matrisi $[A]_{n \times n}$ normalize edilmektedir. Normalizasyon işleminde eşitlik 2’de gösterilen denklem kullanılmaktadır. Buna göre ilk olarak A matrisinin sütun toplamları bulunmakta ardından her bir matris elemanı kendi sütun toplamına oranlanarak matris elemanlarının normalize değerleri elde edilmektedir. Elde edilen normalize matris C eşitlik 3’de verilmektedir.

$$c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adım-2 Seçim Kriterlerinin Ağırlıklandırılması: Normalize matris C oluşturulduktan sonra, matrisin her bir satırında yer alan elemanların aritmetik ortalaması alınarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Kriterlerin ağırlık değerleri için matris gösterimi eşitlik 4 de gösterilmektedir.

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım-3 Tutarlılık Analizi: AHP yönteminin uygulama adımlarının sonucusu olan bu aşamada karar noktalarının değerleri hesaplanırken gerçekleştirilen değerlendirmelerin tutarlılıkları analiz edilmektedir. Tutarlılık analizi toplamda dört alt adımda gerçekleşmektedir. Birinci alt adımda karar matrisinin elemanları ile w matrisinin elemanları ayrı ayrı çarpılmakta, ardından eşitlik 5 kullanılarak öz vektör olarak adlandırılan e vektör değerleri hesaplanmaktadır. Ardından eşitlik 6 da gösterildiği gibi, e sütun vektörü oluşturulmaktadır.

$$e_i = \frac{d_i}{w_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

İkinci alt adımda eşitlik 7 yardımıyla e sütun vektörünün elemanları toplanarak faktör sayısına oranlanarak öz değer (λ_{maks}) hesaplanmaktadır (Görçün, 2020). Öz değer, faktörlerin ortalamasını gösterirken aynı zamanda karar noktaları için belirlenen değerlendirmenin tutarlı olup olmadığının belirlenmesi içinde kullanılan bir ölçüttür (Saaty, 2008).

$$\lambda_{maks} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (7)$$

Üçüncü alt adımda eşitlik 8 kullanılarak tutarlılık göstergesi olarak tanımlanan CI değeri hesaplanmaktadır (Özel & Türkel, 2018).

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (8)$$

Dördüncü alt adımda ise eşitlik 9 yardımıyla tutarlılık göstergesi random indeks (RI) değerine oranlanmakta ve tutarlılık değeri (CR) hesaplanmaktadır. Eşitlikte verilen RI göstergesinin kriter sayısına göre değerleri Tablo'3 de (Saaty, 2008) verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Elde edilen tutarlılık değeri $CR \leq 0,10$ ise analiz tutarlı olarak kabul edilerek bir sonraki aşamaya ilerlenmektedir (Ömürbek vd., 2016). Eğer bu değer 0,10 dan yüksek ise bu durumda değerlendirme tutarsız olarak kabul edilerek başlangıç adımına geri dönmekte, değerlendirmeler gözden geçirilerek, gerekli olması halinde ikili karşılaştırma anketleri tekrarlanmaktadır.

Tablo 3: Rassallık Göstergeleri (Saaty, 2008)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,0	0,0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Nihai olarak sayısal olmayan kriterlerin sayısal değerlerini hesaplamak için karar vericilerin sözel değerlendirmelerine dayanan kriterler çerçevesinde karar alternatifleri için ikili karşılaştırma prosedürleri tekrarlanmış, söz konusu kriterler için sayısal değerler hesaplanmıştır.

3.2. CRITIC Yöntemi

Diakoulaki vd. (1995) tarafından ortaya atılan CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) tekniği farklı alanlarda karşılaşılan karar verme problemlerinde kriterlerin ağırlık değerlerini hesaplamak için kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu yöntem seçim kriterleri arasındaki farklılıklara ve korelasyona odaklanarak, iki indeks arasındaki çelişkinin değerini dikkate almaktadır. Çelişkinin yüksek olması durumunda korelasyon zayıf dolayısıyla faktörün ağırlık değeri görece olarak düşük olmaktadır.

CRITIC yöntemi, aşağıdaki gibi uygulama adımlarından oluşan basit bir algoritmaya sahiptir: (Diakoulaki vd., 1995; Deng vd., 2000; Wang & Luo, 2010).

Adım-1: Karar Matrisinin oluşturulması ve normalize Edilmesi: Bu yöntemin ilk adımında, AHP yöntemi ile sayısallaştırılan kriter değerleri saha araştırması ile elde edilen sayısal değerlere eklenerek karar matrisi oluşturulmaktadır. x_{ij} , j kriteri için i 'inci alternatifin performansını temsil etmektedir.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Karar matrisi oluşturulduktan sonra eşitlik 11 ve 12 yardımıyla karar matrisinin elemanları fayda/maliyet yönü dikkate alınarak normalize edilmektedir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (11)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \quad (12)$$

Adım-2: Seçim Kriterlerinin Ağırlıklarının Hesaplanması: İkinci adımda eşitlikler 13, 14 ve 15 kullanılarak seçim kriterlerinin ağırlık değerleri hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{i,k} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{i,k} \quad d_{i,j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n d_{i,k} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{i,k}^2 \quad \sum_{i=1}^n d_{i,j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{i,j}^2}} \quad (13)$$

Çelişki indeksi (C_i) yer alan indekslerin değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_i = \sigma \sum_{j=1}^n (1 - r_{ij}) \quad (14)$$

Her bir seçim kriterlerinin ağırlık değeri eşitlik 15 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_j = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^n C_i} \quad (15)$$

3.3. EDAS Yöntemi

EDAS (The Evaluation Based on Distance from Average Solution) yöntemi ilk olarak Keshavarz-Ghorabae ve arkadaşları tarafından 2015 yılında literatüre tanıtılmıştır (Ecer, 2020). Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yeni bir ÇKKV tekniği olan EDAS yöntemi umut verici bir yaklaşım olarak düşünülmektedir. Önceki çalışmalarda bu yöntemi kullanarak elde edilen sonuçlar, yöntemin farklı alanlarda karşılaşılan çok karmaşık nitelikteki karar verme problemlerini çözme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. EDAS yöntemi, en iyi çözümün ortalama çözüme olan mesafeye dayandığını ileri sürmektedir (Keshavarz vd., 2016). Karar vericiler ideal ve negatif ideal çözümlere ihtiyaç duymadığından, en iyi seçeneğin ortalama değerden uzaklığa göre belirlenmesi bu yöntemin diğerlerine göre en önemli avantajı olarak kabul edilebilir. Literatürde EDAS yöntemini kullanan bazı çalışmalar bulunmaktadır ve bunlardan bazıları şu şekilde özetlenebilir:

Konut planlarının değerlendirilmesi Juodagalvien vd. (2017), Hindistan pazarındaki akıllı telefonların değerlendirilmesi Aggarwal vd. (2018), işletmelerin değerlendirmesi Keshavarz vd. (2018), tedarikçi değerlendirmesi ve sipariş tahsisi Keshavarz vd. (2017),

tedarikçi seçimi Keshavarz vd. (2016), BT sektöründe personel seçimi Karabasevic vd. (2018), tedarikçilerin belirsizlik kapsamında değerlendirilmesi Stevic vd. (2019), kereste üreticisi firmaların değerlendirilmesi Stevic vd. (2018), bir tekstil atölyesi için dikiş makinesi seçimi Ulutaş (2017), ortak fon performansının değerlendirilmesi Karmakar vd. (2018), yeşil tedarikçi seçimleri Zhang vd. (2019), yenileme projeleri için kültürel miras yapılarının sıralaması Turskis, vd. (2017), otonom araçların değerlendirilmesi Zavadskas vd. (2019), üçüncü taraf lojistik (3pls) sağlayıcı seçimi Ecer (2017), altın madenlerinde temiz üretim değerlendirmesi Liang vd. (2018), risk sınıfı tahmini Ouenniche vd. (2018), malzeme seçimi sorunlarının analizi Zindani vd. (2019), PVC marangozluk üreticilerinin değerlendirilmesi ve seçimi Nunic (2018) buhar kazanı alternatiflerinin değerlendirilmesi Kundakci (2018)'dir.

EDAS yönteminin uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Keshavarz vd., 2017; Ulutaş, 2017; Özbek, 2019; Ecer,2020).

Adım-1: Ortalama Çözümlerin Belirlenmesi: EDAS yönteminin ilk adımında karar matrisinin her bir sütununun aritmetik ortalaması hesaplanmaktadır. Bu adımda CRITIC yönteminin ilk adımında kullanılan karar matrisi kullanılmaktadır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{m} \quad (16)$$

Adım-2: Negatif ve Pozitif Uzaklıkların Hesaplanması: Aşağıda gösterilen eşitlikler 17 ve 18 yardımıyla negatif ve pozitif uzaklık değerleri hesaplanmaktadır.

$$d_{ij}^+ = \frac{\max(0, (x_{ij} - x_{ij}^*))}{x_{ij}^*}; \in \Omega_{\max} \quad (17)$$
$$\frac{\max(0, (x_{ij}^* - x_{ij}))}{x_{ij}^*}; \in \Omega_{\min}$$

$$d_{ij}^- = \frac{\max(0, (x_{ij}^* - x_{ij}))}{x_{ij}^*}; \in \Omega_{\min} \quad (18)$$
$$\frac{\max(0, (x_{ij} - x_{ij}^*))}{x_{ij}^*}; \in \Omega_{\max}$$

Adım-3: Pozitif ve Negatif Uzaklıkların Ağırlıklandırılması: Ağırlıklı negatif ve pozitif uzaklık değerlerinin toplam değerlerini (Q_i^+ ve Q_i^-) hesaplamak için eşitlik 19 ve 20 kullanılmaktadır.

$$Q_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j . d_{ij}^+ \quad (19)$$

$$Q_i^- = \sum_{j=1}^n w_j . d_{ij}^- \quad (20)$$

Adım-4: Q_i^+ ve Q_i^- Değerlerinin Normalize Edilmesi: Bu adımda söz konusu değerler eşitlikler 21 ve 22 kullanılarak normalize edilmektedir.

$$S_i^+ = \frac{Q_i^+}{\max Q_i^+} \quad (21)$$

$$S_i^- = 1 - \frac{Q_i^-}{\max Q_i^-} \quad (22)$$

Adım-5: Değerlendirme Skorunun Hesaplanması: Beşinci adımda matematiksel açılımı eşitlik 23'de verilen denklem yardımıyla her bir karar alternatifi için skor değeri hesaplanmakta, ardından bu skor değerlerine göre karar alternatifleri sıralandırılmaktadır.

$$S_i = \frac{1}{2}(S_i^- + S_i^+); 0 \leq S_i \leq 1 \quad (23)$$

Değerlendirme skoru 0 ila 1 arasında değerler almaktadır. Bir alternatif 1'e ne kadar yakınsa tercih edilebilirliği o kadar yüksek olmaktadır. Dolayısıyla karar alternatifleri en yüksek değerden başlanarak sıralandırılmaktadır.

4. Sayısal Uygulama

Daha önce bahsedildiği gibi önerilen model üç çok kriterli karar verme yaklaşımından oluşmaktadır. Bu kapsamda önerilen model AHP, CRITIC ve EDAS yöntemleri kombine edilerek oluşturulmuştur. AHP yöntemi sözel ve karar vericilerin yargılarına dayanan kriterlerin sayısal değerlerini hesaplamak için kullanılırken, CRITIC seçim kriterlerinin ağırlıklandırılması, EDAS yöntemi ise karar alternatiflerinin sıralandırılması için kullanılmıştır.

4.1. AHP Yönteminin Uygulanması

Bütün seçim kriterleri gözden geçirilerek, C6 olarak kodlanan "Estetik ve Konfor" faktörü dışında kalan kriterlerin sayısal değerlere sahip oldukları, sadece söz konusu kriterin karar vericilerin yargılarına göre tanımlandığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla söz konusu kriter çerçevesinde karar vericilerden karar alternatiflerini karşılaştırmaları istenmiş ardından geometrik ortalama tekniği kullanılarak ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4'de verildiği üzere oluşturulmuştur.

Tablo 4: Estetik ve Konfor Kriteri İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
P1	1,00	1,00	1,20	0,89	0,85	0,97	1,03	1,00	1,07	0,74	0,53	0,79	0,70	0,80	0,50
P2	0,49	1,00	1,10	1,50	1,38	1,30	1,19	1,28	1,40	1,17	1,24	1,23	3,00	0,14	2,00
P3	0,59	0,62	1,00	1,50	1,50	1,20	1,04	1,20	1,10	1,20	1,58	0,87	0,50	1,00	0,17
P4	1,13	0,67	0,67	1,00	1,60	0,50	1,20	1,40	1,20	1,20	1,10	1,17	1,00	2,00	1,00
P5	1,18	0,72	0,61	0,50	1,00	1,00	0,97	1,12	1,38	1,04	1,16	0,91	0,25	0,13	0,11
P6	1,04	0,77	0,52	0,49	1,00	1,00	1,33	0,11	1,18	0,87	1,08	1,50	0,50	1,00	0,25
P7	0,97	0,84	0,96	0,55	1,03	0,75	1,00	1,14	1,27	1,27	1,20	0,94	0,50	0,50	0,25
P8	1,00	0,78	0,75	0,62	0,89	0,84	0,87	1,00	0,90	1,00	1,00	1,10	0,11	0,11	1,00
P9	0,93	0,71	0,62	0,52	0,72	0,84	0,79	1,16	1,00	1,30	1,00	0,50	0,33	1,00	0,50
P10	1,35	0,86	0,73	0,69	0,96	1,15	0,79	1,42	0,77	1,00	1,05	0,20	0,50	0,14	0,14
P11	1,90	0,81	0,63	0,74	0,86	0,92	0,83	0,86	0,31	0,64	1,00	0,50	0,25	0,50	0,50
P12	1,27	0,81	1,15	0,86	1,10	0,67	1,06	0,54	0,41	0,32	0,33	1,00	0,20	2,00	0,11
P13	1,43	0,33	2,00	1,00	4,00	2,00	2,00	9,00	3,00	2,00	4,00	5,00	1,00	0,33	1,00
P14	1,25	7,00	1,00	8,00	8,00	1,00	2,00	9,00	1,00	7,00	2,00	0,50	3,00	1,00	2,00
P15	2,00	0,50	6,00	1,00	9,09	4,00	4,00	1,00	2,00	7,00	2,00	9,00	1,00	0,50	1,00
Toplam	17,53	17,42	18,94	19,86	33,98	18,14	20,1	31,23	17,99	27,75	20,27	25,21	12,84	11,15	10,53

İkili karşılaştırma matrisi elde edildikten sonra her bir sütunun toplam değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 4’ün en alt satırında verilmiştir.

Adım-1 İkili Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi: Eşitlik 2 kullanılarak matrisin tüm elemanları normalize edilmiş, aşağıda Tablo 5 ile gösterilen normalize matris C oluşturulmuştur.

Tablo 5: Normalize Matris C

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
P1	0,057	0,057	0,063	0,045	0,025	0,053	0,051	0,032	0,059	0,027	0,026	0,031	0,055	0,072	0,047
P2	0,028	0,057	0,058	0,076	0,041	0,072	0,059	0,041	0,078	0,042	0,061	0,049	0,234	0,013	0,190
P3	0,034	0,036	0,053	0,076	0,044	0,066	0,052	0,038	0,061	0,043	0,078	0,035	0,039	0,090	0,016
P4	0,064	0,038	0,035	0,050	0,047	0,028	0,060	0,045	0,067	0,043	0,054	0,046	0,078	0,179	0,095
P5	0,067	0,041	0,032	0,025	0,029	0,055	0,048	0,036	0,077	0,037	0,057	0,036	0,019	0,012	0,010
P6	0,059	0,044	0,027	0,025	0,029	0,055	0,066	0,004	0,066	0,031	0,053	0,060	0,039	0,090	0,024
P7	0,055	0,048	0,051	0,028	0,030	0,041	0,050	0,037	0,071	0,046	0,059	0,037	0,039	0,045	0,024
P8	0,057	0,045	0,040	0,031	0,026	0,046	0,043	0,032	0,050	0,036	0,049	0,044	0,009	0,010	0,095
P9	0,053	0,041	0,033	0,026	0,021	0,046	0,039	0,037	0,056	0,047	0,049	0,020	0,026	0,090	0,047
P10	0,077	0,049	0,039	0,035	0,028	0,063	0,039	0,045	0,043	0,036	0,052	0,008	0,039	0,013	0,013
P11	0,108	0,046	0,033	0,037	0,025	0,051	0,041	0,028	0,017	0,023	0,049	0,020	0,019	0,045	0,047
P12	0,072	0,046	0,061	0,043	0,032	0,037	0,053	0,017	0,023	0,012	0,016	0,040	0,016	0,179	0,010
P13	0,082	0,019	0,106	0,050	0,118	0,110	0,100	0,288	0,167	0,072	0,197	0,198	0,078	0,030	0,095
P14	0,071	0,402	0,053	0,403	0,235	0,055	0,100	0,288	0,056	0,252	0,099	0,020	0,234	0,090	0,190
P15	0,114	0,029	0,317	0,050	0,268	0,221	0,199	0,032	0,111	0,252	0,099	0,357	0,078	0,045	0,095

Adım-2 Seçim Kriterlerinin Ağırlıklandırılması: Normalize matris C oluşturulduktan sonra her bir satırda yer alan elemanların aritmetik ortalaması alınarak karar noktalarının “Estetik ve Konfor” kriteri çerçevesinde sayısal değerleri Tablo 6’da ki gibi belirlenmiştir.

Tablo 6: Alternatiflerin Sayısal Değerleri (Ortalama değerler)

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
0,047	0,073	0,051	0,062	0,039	0,045	0,044	0,041	0,042	0,039	0,039	0,044	0,114	0,170	0,151

Adım-3 Tutarlılık Analizi: Bu aşamada eşitlikler 5 ve 6 kullanılarak, özvektör değerleri hesaplanmış ve bu değerler sırasıyla Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7: e^T Vektörünün Sayısal Değerleri

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
e _{ij}	17,50	18,26	17,16	19,16	15,24	17,07	16,46	16,60	17,67	15,81	16,75	19,09	16,30	18,59	16,05

Sonrasında öz vektör değerlerinin toplamı eşitlik 7 kullanılarak karar noktası sayısına bölünmüş, öz değer (λ_{maks}) hesaplanmıştır. Ardından eşitlik 8 yardımıyla CI değeri, eşitlik 9 kullanılarak da CR değeri hesaplanmıştır.

$$\lambda_{maks} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \Rightarrow \frac{257,7001}{15} = 17,18; CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \Rightarrow \frac{17,18 - 15}{15 - 1} = 0,156; CR = \frac{CI}{RI} \Rightarrow \frac{0,156}{1,59} = 0,098$$

Elde edilen tutarlılık rasyosu (CR=0.098) <0,10 olduğu için değerlendirme tutarlı olarak kabul edilerek, bir sonraki adıma ilerlenmiştir.

4.2. CRITIC Yönteminin Uygulanması

CRITIC yönteminin ilk adımında elde edilen veriler kullanılarak eşitlik 10 da gösterildiği gibi karar matrisi Tablo 8’deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 8: Karar Matrisi X

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
P1	100000	485000	27	600	2200	0,047	585000	45000	550	46	388	6	2
P2	70000	450000	21	550	2000	0,073	520000	45000	1111	52	388	5	2
P3	110000	500000	27	855	3000	0,051	610000	45000	1111	39	388	5	2
P4	95000	350000	28	710	2600	0,062	445000	60000	550	46	440	5	2
P5	96000	720000	13	700	3000	0,039	816000	75000	500	37	430	6	2
P6	150000	300000	19	270	1250	0,045	450000	120000	520	59	410	6	2
P7	150000	350000	19	190	1000	0,044	550000	120000	480	51	410	6	2
P8	305000	810000	19	550	1335	0,041	1115000	120000	550	53	410	6	2

Tablo 8 devam

<i>P9</i>	115000	185000	20	650	1100	0,042	300000	70000	500	54	460	6	2
<i>P10</i>	100000	320000	20	750	1500	0,039	420000	70000	450	46	400	6	2
<i>P11</i>	90000	475000	20	600	1250	0,039	565000	70000	540	48	422	6	2
<i>P12</i>	140000	420000	19	475	1335	0,044	560000	60000	550	57	412	5	3
<i>P13</i>	200000	600000	29	600	2340	0,114	800000	65000	580	59	450	5	2
<i>P14</i>	55000	270000	18	200	1000	0,170	325000	40000	583	59	360	5	2
<i>P15</i>	40000	1100000	13	1250	3700	0,151	1500000	40000	580	53	408	5	2

Ardından eşitlik 11 ve 12 kullanılarak karar matrisinin her bir elemanı normalize edilmiştir. Her bir seçim kriteri için kriterin maksimum ya da minimum yönlü olmasına göre sütunların en iyi değerleri bulunarak matrisin her bir elemanı bu değerlere bölünerek normalize edilmiş ve Tablo 9 da verilen normalize matris (X^*) oluşturulmuştur. Sonrasında her bir sütunun ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Son olarak normalize matrisin sütun değerleri arasındaki korelasyon hesaplanarak Tablo 10 da gösterilen korelasyon matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 9: Normalize Matris X^*

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
<i>P1</i>	0,400	0,441	0,481	0,317	0,455	0,276	0,513	0,375	0,495	0,780	0,843	1,000	0,667
<i>P2</i>	0,571	0,409	0,619	0,345	0,500	0,431	0,577	0,375	1,000	0,881	0,843	0,833	0,667
<i>P3</i>	0,364	0,455	0,481	0,222	0,333	0,298	0,492	0,375	1,000	0,661	0,843	0,833	0,667
<i>P4</i>	0,421	0,318	0,464	0,268	0,385	0,365	0,674	0,500	0,495	0,780	0,957	0,833	0,667
<i>P5</i>	0,417	0,655	1,000	0,271	0,333	0,229	0,368	0,625	0,450	0,627	0,935	1,000	0,667
<i>P6</i>	0,267	0,273	0,684	0,704	0,800	0,264	0,667	1,000	0,468	1,000	0,891	1,000	0,667
<i>P7</i>	0,267	0,318	0,684	1,000	1,000	0,259	0,545	1,000	0,432	0,864	0,891	1,000	0,667
<i>P8</i>	0,131	0,736	0,684	0,345	0,749	0,241	0,269	1,000	0,495	0,898	0,891	1,000	0,667
<i>P9</i>	0,348	0,168	0,650	0,292	0,909	0,248	1,000	0,583	0,450	0,915	1,000	1,000	0,667
<i>P10</i>	0,400	0,291	0,650	0,253	0,667	0,228	0,714	0,583	0,405	0,780	0,870	1,000	0,667
<i>P11</i>	0,444	0,432	0,650	0,317	0,800	0,232	0,531	0,583	0,486	0,814	0,917	1,000	0,667
<i>P12</i>	0,286	0,382	0,684	0,400	0,749	0,258	0,536	0,500	0,495	0,966	0,896	0,833	1,000
<i>P13</i>	0,200	0,545	0,448	0,317	0,427	0,671	0,375	0,542	0,522	1,000	0,978	0,833	0,667
<i>P14</i>	0,727	0,245	0,722	0,950	1,000	1,000	0,923	0,333	0,525	1,000	0,783	0,833	0,667
<i>P15</i>	1,000	1,000	1,000	0,152	0,270	0,890	0,200	0,333	0,522	0,898	0,887	0,833	0,667
<i>Ortalama</i>	0,416	0,445	0,660	0,410	0,625	0,393	0,559	0,581	0,549	0,858	0,895	0,922	0,689
<i>S.Sapma</i>	0,217	0,216	0,166	0,259	0,253	0,253	0,218	0,238	0,186	0,117	0,057	0,086	0,086

Tablo 10: Korelasyon Matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
C1	1,000	0,342	0,499	-0,084	-0,259	0,702	-0,016	-0,643	0,157	0,000	-0,381	-0,418	-0,166
C2	0,342	1,000	0,506	-0,454	-0,597	0,289	-0,895	-0,091	0,051	-0,158	0,017	-0,155	-0,080
C3	0,499	0,506	1,000	0,037	-0,010	0,213	-0,275	0,090	-0,281	-0,054	-0,050	0,168	0,040
C4	-0,084	-0,454	0,037	1,000	0,734	0,195	0,380	0,409	-0,207	0,449	-0,370	0,116	-0,011
C5	-0,259	-0,597	-0,010	0,734	1,000	-0,102	0,590	0,480	-0,376	0,521	-0,108	0,390	0,136
C6	0,702	0,289	0,213	0,195	-0,102	1,000	-0,023	-0,496	0,080	0,450	-0,306	-0,638	-0,147
C7	-0,016	-0,895	-0,275	0,380	0,590	-0,023	1,000	-0,097	-0,098	0,220	-0,038	0,086	-0,029
C8	-0,643	-0,091	0,090	0,409	0,480	-0,496	-0,097	1,000	-0,424	0,173	0,268	0,642	-0,094
C9	0,157	0,051	-0,281	-0,207	-0,376	0,080	-0,098	-0,424	1,000	-0,220	-0,388	-0,530	-0,081
C10	0,000	-0,158	-0,054	0,449	0,521	0,450	0,220	0,173	-0,220	1,000	0,010	-0,216	0,256
C11	-0,381	0,017	-0,050	-0,370	-0,108	-0,306	-0,038	0,268	-0,388	0,010	1,000	0,191	0,003
C12	-0,418	-0,155	0,168	0,116	0,390	-0,638	0,086	0,642	-0,530	-0,216	0,191	1,000	-0,286
C13	-0,166	-0,080	0,040	-0,011	0,136	-0,147	-0,029	-0,094	-0,081	0,256	0,003	-0,286	1,000

Bir sonraki aşamada eşitlik 14 ve 15 in uygulanması sonucunda kriterlere ilişkin ağırlık değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 11 de verilmiştir.

Tablo 11: Kriterlerin Ağırlık Değerleri

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
W	0,0948	0,1018	0,0657	0,0996	0,0953	0,1060	0,0948	0,0998	0,0948	0,0440	0,0266	0,0387	0,0382
Sıra	7	2	9	4	5	1	8	3	6	10	13	11	12

4.3. EDAS Yönteminin Uygulanması

Seçim kriterlerinin ağırlık değerleri hesaplandıktan sonra EDAS yönteminin uygulama adımları takip edilerek karar alternatifleri sıralandırılmıştır. İlk adımda CRITIC yönteminde kullanılan karar matrisi kullanılmıştır. Bu adımda her bir sütunun ortalama değerleri eşitlik 16 yardımıyla hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda eşitlik 17 ve 18 kullanılarak matris elemanları normalize edilmiş ve Tablo 12 ve 13’ de gösterilen sırasıyla Pozitif Uzaklık Matrisi (PDA) ve Negatif Uzaklık Matrisi (NDA) oluşturulmuştur.

Tablo 12: Pozitif Uzaklık Matrisi (PDA)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
P1	0,1740	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0822	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0843	0,0000
P2	0,4218	0,0000	0,0000	0,0782	0,0000	0,0975	0,1842	0,0000	0,8203	0,0277	0,0000	0,0000	0,0000
P3	0,0914	0,0225	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0430	0,0000	0,8203	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P4	0,2153	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0687	0,0000	0,0000
P5	0,2070	0,4724	0,3750	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0766	0,0000	0,0000	0,0444	0,0843	0,0000
P6	0,0000	0,0000	0,0865	0,5475	0,3446	0,0000	0,2940	0,7225	0,0000	0,1660	0,0000	0,0843	0,0000
P7	0,0000	0,0000	0,0865	0,6816	0,4757	0,0000	0,1371	0,7225	0,0000	0,0079	0,0000	0,0843	0,0000
P8	0,0000	0,6564	0,0865	0,0782	0,3001	0,0000	0,0000	0,7225	0,0000	0,0474	0,0000	0,0843	0,0000
P9	0,0501	0,0000	0,0385	0,0000	0,4233	0,0000	0,5293	0,0048	0,0000	0,0672	0,1172	0,0843	0,0000
P10	0,1740	0,0000	0,0385	0,0000	0,2136	0,0000	0,3411	0,0048	0,0000	0,0000	0,0000	0,0843	0,0000
P11	0,2566	0,0000	0,0385	0,0000	0,3446	0,0000	0,1136	0,0048	0,0000	0,0000	0,0249	0,0843	0,0000
P12	0,0000	0,0000	0,0865	0,2039	0,3001	0,0000	0,1214	0,0000	0,0000	0,1265	0,0006	0,0000	0,4516
P13	0,0000	0,2270	0,0000	0,0000	0,0000	0,7091	0,0000	0,0000	0,0000	0,1660	0,0929	0,0000	0,0000
P14	0,5457	0,0000	0,1346	0,6648	0,4757	1,5466	0,4901	0,0000	0,0000	0,1660	0,0000	0,0000	0,0000
P15	0,6696	1,2495	0,3750	0,0000	0,0000	1,2658	0,0000	0,0000	0,0000	0,0474	0,0000	0,0000	0,0000

Tablo 13: Negatif Uzaklık Matrisi (NDA)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
P1	0,000	0,008	0,298	0,006	0,153	0,298	0,000	0,354	0,099	0,091	0,058	0,000	0,032
P2	0,000	0,080	0,010	0,000	0,049	0,000	0,000	0,354	0,000	0,000	0,058	0,096	0,032
P3	0,000	0,000	0,298	0,433	0,573	0,240	0,000	0,354	0,000	0,229	0,058	0,096	0,032
P4	0,000	0,284	0,346	0,190	0,363	0,069	0,000	0,139	0,099	0,091	0,000	0,096	0,032
P5	0,000	0,000	0,000	0,173	0,573	0,416	0,280	0,000	0,181	0,269	0,000	0,000	0,032
P6	0,239	0,387	0,000	0,000	0,000	0,328	0,000	0,000	0,148	0,000	0,004	0,000	0,032
P7	0,239	0,284	0,000	0,000	0,000	0,340	0,000	0,000	0,214	0,000	0,004	0,000	0,032
P8	1,519	0,000	0,000	0,000	0,000	0,387	0,749	0,000	0,099	0,000	0,004	0,000	0,032
P9	0,000	0,622	0,000	0,089	0,000	0,369	0,000	0,000	0,181	0,000	0,000	0,000	0,032
P10	0,000	0,346	0,000	0,257	0,000	0,421	0,000	0,000	0,263	0,091	0,028	0,000	0,032
P11	0,000	0,029	0,000	0,006	0,000	0,408	0,000	0,000	0,115	0,051	0,000	0,000	0,032
P12	0,156	0,141	0,000	0,000	0,000	0,342	0,000	0,139	0,099	0,000	0,000	0,096	0,000
P13	0,652	0,000	0,394	0,006	0,227	0,000	0,255	0,067	0,050	0,000	0,000	0,096	0,032
P14	0,000	0,448	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,426	0,045	0,000	0,126	0,096	0,032
P15	0,000	0,000	0,000	1,095	0,940	0,000	1,353	0,426	0,050	0,000	0,009	0,096	0,032

Daha sonrasında Negatif Uzaklık Matrisi ile Pozitif Uzaklık Matrisinin elemanları eşitlik 19 ve 20 kullanılarak ağırlıklandırılmış ve Ağırlıklı Pozitif (Tablo 14) ve Negatif Uzaklık Matrisleri (Tablo 15) oluşturulmuştur. Son olarak elde edilen değerler eşitlik 21 ve 22 yardımıyla normalize edilmiş, S^{+i} ve S^{-i} değerleri hesaplanmış, bu değerlere bağlı olarak eşitlik 23 yardımıyla her bir alternatifte ait skor değeri hesaplanarak sırama sonuçları Tablo 16'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 14: Ağırlıklı Pozitif Uzaklık Matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
P1	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
P2	0,040	0,000	0,000	0,008	0,000	0,010	0,017	0,000	0,078	0,001	0,000	0,000	0,000
P3	0,009	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000
P4	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
P5	0,020	0,048	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000
P6	0,000	0,000	0,006	0,055	0,033	0,000	0,028	0,072	0,000	0,007	0,000	0,003	0,000
P7	0,000	0,000	0,006	0,068	0,045	0,000	0,013	0,072	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
P8	0,000	0,067	0,006	0,008	0,029	0,000	0,000	0,072	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000
P9	0,005	0,000	0,003	0,000	0,040	0,000	0,050	0,000	0,000	0,003	0,003	0,003	0,000
P10	0,016	0,000	0,003	0,000	0,020	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
P11	0,024	0,000	0,003	0,000	0,033	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000
P12	0,000	0,000	0,006	0,020	0,029	0,000	0,012	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,017
P13	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,075	0,000	0,000	0,000	0,007	0,002	0,000	0,000
P14	0,052	0,000	0,009	0,066	0,045	0,164	0,046	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000
P15	0,063	0,127	0,025	0,000	0,000	0,134	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000

Tablo 15: Ağırlıklı Negatif Uzaklık Matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
P1	0,000	0,001	0,020	0,001	0,015	0,032	0,000	0,035	0,009	0,004	0,002	0,000	0,001
P2	0,000	0,008	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000	0,035	0,000	0,000	0,002	0,004	0,001
P3	0,000	0,000	0,020	0,043	0,055	0,025	0,000	0,035	0,000	0,010	0,002	0,004	0,001
P4	0,000	0,029	0,023	0,019	0,035	0,007	0,000	0,014	0,009	0,004	0,000	0,004	0,001
P5	0,000	0,000	0,000	0,017	0,055	0,044	0,027	0,000	0,017	0,012	0,000	0,000	0,001
P6	0,023	0,039	0,000	0,000	0,000	0,035	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,001
P7	0,023	0,029	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,001
P8	0,144	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,071	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,001
P9	0,000	0,063	0,000	0,009	0,000	0,039	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,001
P10	0,000	0,035	0,000	0,026	0,000	0,045	0,000	0,000	0,025	0,004	0,001	0,000	0,001
P11	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,043	0,000	0,000	0,011	0,002	0,000	0,000	0,001
P12	0,015	0,014	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,014	0,009	0,000	0,000	0,004	0,000
P13	0,062	0,000	0,026	0,001	0,022	0,000	0,024	0,007	0,005	0,000	0,000	0,004	0,001
P14	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	0,004	0,000	0,003	0,004	0,001
P15	0,000	0,000	0,000	0,109	0,090	0,000	0,128	0,042	0,005	0,000	0,000	0,004	0,001

Tablo 16: Değerlendirme Skoru ve Alternatiflerin Sıralandırılması

	Q^+_i	Q^-_i	S^+_i	S^-_i	S_i	Sıralama
P1	0,0276	0,1187	0,0707	0,6872	0,3789	13
P2	0,1546	0,0552	0,3966	0,8545	0,6255	2
P3	0,0928	0,1947	0,2381	0,4867	0,3624	15
P4	0,0508	0,1447	0,1304	0,6185	0,3745	14
P5	0,1044	0,1727	0,2679	0,5447	0,4063	11
P6	0,2036	0,1121	0,5224	0,7044	0,6134	4
P7	0,2076	0,1092	0,5327	0,7122	0,6224	3
P8	0,1863	0,2668	0,4780	0,2967	0,3873	12
P9	0,1076	0,1296	0,2760	0,6583	0,4672	7
P10	0,0754	0,1362	0,1935	0,6409	0,4172	10
P11	0,0749	0,0612	0,1921	0,8387	0,5154	5
P12	0,0889	0,0924	0,2281	0,7565	0,4923	6
P13	0,1080	0,1504	0,2771	0,6035	0,4403	9
P14	0,3898	0,1006	1,0000	0,7347	0,8674	1
P15	0,3515	0,3793	0,9017	0,0000	0,4509	8

Sonuç ve Değerlendirme

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek önem değerine sahip faktör C6 olarak kodlanan Estetik ve Konfor kriteri olarak belirlenmiştir. Söz konusu faktör % 10.60 ile seçim süreçlerine en yüksek düzeyde etki eden faktördür. Bunu % 10.18 ile C2 ikinci el piyasa faktörü izlerken %2.66 ile C11 motor gücü en son sırada yer alan faktör olmuştur.

Karar alternatiflerinin görelî önem değerleri ve sıralanmaları gözden geçirildiğinde P14 koduna sahip Marka-TE Safari 13 HD alternatifinin 1'e en yakın değeri olarak en yüksek düzeyde seçilebilir araç olduğu görülmüştür. Bunu P2 kodlu Marka-TE 16 RHD alternatif izlemektedir. Genel olarak bakıldığında ilk beş sırada yer alan alternatiflerin skor puanları 0,5 değerinin üzerindedir. Bu skor puanlarına dayalı olarak bu beş alternatif rasyonel araçlar olarak tanımlanabilir. Buna karşılık diğer alternatiflerin skor puanları ise 0,5 değerinin altında kalmışlardır.

Türkiye'de gerçekleşen otobüs satışları dikkate alındığında küçük sapmalar haricinde elde edilen sonuçlar büyük oranda doğrudur. Aynı zamanda uzmanlar kurulu ile elde edilen sonuçlar gözden geçirildiğinde oy birliği ile sonuçların doğru olduğu ve gerçek hayatta uyumlu çıktılar elde edildiği kabul edilmiştir. Sonuç olarak önerilen karar modeline göre analiz sonuçları değerlendirildiğinde modelin uygulanabilir olduğu ve uygulamada yer alan karar vericiler tarafından metodolojik bir çerçeve olarak bu tür karar verme problemlerine uygulanabileceği görülebilmektedir. Bununla birlikte bu çalışmanın bazı sınırlılıkları mevcuttur. Bunlardan ilki, bu çalışmada şehirlerarası otobüs alternatiflerinin

seçimlerini değerlendirmek için 13 farklı seçim kriteri ele alınmıştır. Bu kriterlerin sayısı duruma göre artırılabilir veya alt kriterler eklenmesi ile daha detaylı bir değerlendirme çerçevesi oluşturulabilir. Bir diğer sınırlılığı ise değerlendirme ölçütleri arasında yer alan estetik ve konfor kriteri karar vericilerin sözel yargılarına ve değerlendirmelerine dayandığı için karar vericilere göre farklılık gösterebilir. Dolayısıyla farklı karar vericiler tarafından bu kriter değerlendirildiğinde çalışmadaki kriter ağırlıklarında değişme görülebilir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalar için farklı bir sübjektif ve objektif ağırlıklandırma tekniği kullanılabilir. Bu ağırlıklar bir toplama operatörü yardımıyla birleştirilerek kriterler için nihai bir ağırlık hesaplaması yapılarak EDAS yöntemi ile karar alternatiflerinin sıralandırılması incelenebilir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan ÇKKV teknikleri bulanık yaklaşımlar ile birleştirilerek karar problemi farklı hibrit modeller yardımıyla ele alınabilir, karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

Yazar Katkı Oranı Beyanı

Her yazar eşit katkıya sahiptir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş veya kişi ile mali çıkar çatışması olmadığını ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmadığını taahhüt ederler.

Kaynakça

- Aggarwal, A., Choudhary, C. & Mehrotra, D. (2018). Evaluation of smartphones in Indian market using edas. *Procedia Computer Science*, 132, 236-243.
- Celik, E., Bilisik, O. N., Erdogan, M., Gumus, A. T. & Baraclı, H. (2013). An integrated novel interval type-2 fuzzy MCDM method to improve customer satisfaction in public transportation for Istanbul. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 58, 28-51.
- Deng, H., Yeh, C. H. & Willis R. J. (2000). Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research*, 27(10), 963-973.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Ecer, F. (2017). Third-party logistics (3pls) provider selection via fuzzy ahp and edas integrated model. *Technological and Economic Development of Economy*, 1, 615-634.
- Ecer, F. (2020). Çok kriterli karar verme geçmişten günümüze kapsamlı bir yaklaşım. *Seçkin Yayıncılık*.
- Görçün, Ö. F. (2020). Verimlilik ve etkinlik çerçevesinde entegre AHP-GİA yöntemleri kullanılarak uluslararası taşımacılıkta alternatif güzergâhların değerlendirilmesi. *Verimlilik Dergisi*, 2.
- Janic, M. & Reggiani, A. (2002). An application of the multiple criteria decision making (MCDM) analysis to the selection of a new hub airport. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2(2), 113-141.
- Juodagalvienė, B., Turskis, Z., Šaparauskas, J., & Endriukaitytė, A. (2017). Integrated multi-criteria evaluation of house's plan shape based on the EDAS and SWARA methods. *Engineering Structures and Technologies*, 9(3), 117-125.

- Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Stanujkic, D., Popovic, G. & Brzakovic, M. (2018). An approach to personnel selection in the it industry based on the edas method. *Transformations in Business and Economics*, 17, 54–65.
- Karmakar, P., Dutta, P. & Biswas, S. (2018). Assessment of mutual fund performance using distance based multi-criteria decision making techniques-an Indian perspective. *Research Bulletin*, 44, 17-38.
- Keshavarz, G. M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. & Antucheviciene, J. (2018). A dynamic fuzzy approach based on the edas method for multi-criteria subcontractor evaluation. *Information*, 9, 1-15.
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K. & Antucheviciene, J. (2017). Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: A review of madm approaches. *Econ. Res. Ekon. Istraž.* 2017, 30, 1073–1118.
- Keshavarz, G. M., Zavadskas, E. K., Amiri, M. & Turskis, Z. (2016). Extended edas method for fuzzy multi-criteria decision-making: An application to supplier selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 11, 358-371.
- Keshavarz, G. M., Zavadskas, E. K., Olfat, L. & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26, 435-451.
- Kundakci, N. (2018). An integrated method using macbeth and edas methods for evaluating steam boiler alternatives. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 26, 27-34.
- Kuo, M. S. & Liang, G. S. (2011). Combining VIKOR with GRA techniques to evaluate service quality of airports under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1304-1312.
- Kuo, Y., Yang, T. & Huang, G. W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 80-93.
- Liang, W. Z., Zhao, G. Y. & Luo, S. Z. (2018). An integrated edas-electre method with picture fuzzy information for cleaner production evaluation in gold mines. *IEEE Access*, 6, 65747–65759.
- Nunic, Z. B. (2018). Evaluation and selection of manufacturer pvc carpentry using fucom-mabac model. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1, 13-28.
- Ouenniche, J., Uvalle Perez, O. J. & Ettouhami, A. (2018). A new edas-based in-sample-out-of-sample classifier for risk-class prediction. *Management Decision*, 99, 100-101.
- Ömürbek, N., Karaatli, M. & Cömert, H. G. (2016). AHP-SAW ve AHP-ELECTRE yöntemleri ile yapı denetim firmalarının değerlendirilmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(27), 171–199.
- Özbek, A. (2019). Türkiye’deki illerin EDAS ve WASPAS yöntemleri ile yaşanabilirlik kriterlerine göre sıralanması. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 177–200.
- Özel, S. & Türkel, A. (2018). AHP yöntemi kullanarak ERP sistemlerinin karşılaştırılması ve uygun sistemin belirlenmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(3), 305–317.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGrawHill.
- Saaty L. T. (1994). Highlights and critical points in the theory and application of the analytical hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 74, 426-447.
- Saaty, L. T. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences Series a Mathematics (RACSAM)*, 102(2), 251-318

- Stević, Ž., Vasiljević, M., Puška, A., Tanackov, I., Junevičius, R. & Vesković, S. (2019). Evaluation of suppliers under uncertainty: A multiphase approach based on fuzzy AHP and fuzzy EDAS. *Transport*, 34, 52-66.
- Stević, Ž., Vasiljević, M., Zavadskas, E. K., Sremac, S. & Turskis, Z. (2018). Selection of carpenter manufacturer using fuzzy EDAS method. *Engineering Economics*, 29(3), 281-290.
- Turskis, Z., Morkunaite, Z. & Kutut, V., (2017). A hybrid multiple criteria evaluation method of ranking of cultural heritage structures for renovation projects. *International Journal of Strategic Property Management*, 21, 318-329.
- Tzeng, G. H., Lin, C. W. & Opricovic, S. (2005). Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*, 33, 1373-1383.
- Ulutas, A. (2017). Sewing machine selection for a textile workshop by using edas method. *Journal of Business Research Turk*, 9, 169-183.
- Vahdani, B., Zandieh, M. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). Two novel FMCDM methods for alternative-fuel buses selection. *Applied Mathematical Modelling*, 35(3), 1396-1412.
- Wang, Y. M. & Luo, Y. (2010). Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 51(1), 1-12.
- Zavadskas, E. K., Stević, Ž., Turskis, Z. & Tomašević, M. (2019). Edas in minkowski space (edas-m) method for evaluating autonomous vehicles. *Studies in Informatics and Control*, 28(3), 255-264.
- Zhang, S., Gao, H., Wei, G., Wei, Y. & Wei, C. (2019). Evaluation based on distance from average solution method for multiple criteria group decision making under picture 2-tuple linguistic environment. *Mathematics*, 7, 1-14.
- Zindani, D., Maity, S. R. & Bhowmik, S. (2019). Fuzzy-EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) for Material Selection Problems. In R. Narayanan, S. Joshi, U. Dixit (Eds.), *Advances in computational methods in manufacturing. Lecture notes on multidisciplinary industrial engineering* (pp.755-771). Singapore: Springer.

EXTENDED SUMMARY

Research Questions & Purpose

The current paper examined how intercity can be more sustainable and more effective. For this purpose, it evaluates the intercity bus alternatives and presents a basic algorithm to the decision-makers responsible for selecting buses in companies conducting intercity passenger transportation activities to make it easy to business these practitioners. We noticed that there are many severe and surprising gaps in the related literature. First, no criteria set is commonly accepted in the industry for selecting an appropriate bus alternative. Secondly, according to the authors' information, there is no paper dealing with the intercity bus selection by applying an MCDM framework in the existing literature. At the beginning of the research process, we prepare a set of research questions as follows. i) is there any mathematical tool or decision support system used for evaluating the bus alternatives in the current industry? ii) do decision-makers decide when they perform an evaluation process based on their experiences and individual judgments? iii) what is the significant criteria influencing the selection process. iv) is it possible to apply a mathematical tool for solving these kinds of decision-making problems encountered in the intercity passenger transportation industry? The obtained results (i.e., according to the general opinions of the board of experts) show that there is no mathematical tool implemented for evaluating the bus alternatives, and decision-makers make decisions based on their judgments. Furthermore, these vehicles are costly, and they can affect the productivity and effectiveness of a company. Because of that, decision-makers should carry out extra detailed and sensitive evaluation processes, and they have to make more rational, reasonable, and optimal decisions in these processes. By keeping these kinds of requirements and motivations of the decision-makers in the industry in mind, we proposed a robust, applicable, and powerful MCDM framework to solve these kinds of decision-making problems effectively.

Literature Review

We performed a comprehensive literature review on scientific databases such as Web of Science, Scopus, and Google Scholar using keywords indicated in the text. The obtained results show that a significant part of the selection of buses is related to the urban transport systems, and unfortunately, there is no paper dealing with the intercity bus selection by implementing an MCDM approach. The available works on the bus selection in urban transit preferred to use mostly TOPSIS and AHP framework. However, the contributions of these techniques are limited because they have some limitations, drawbacks, and structural problems. First of all, they are not resistant to the rank reversal problem. It means any change (i.e., add or eliminate an alternative or criterion) can cause dramatic changes in the ranking performances of the alternatives. Hence, these approaches cannot present a sufficiently reliable decision-making environment to the decision-makers. While we also used the AHP technique to identify the crisp and numerical values for some subjective criteria, we decided to apply the CRITIC technique to identify the criteria weights, as the mathematical tool can provide objective evaluation opportunities and reduce the impacts of individual judgments of the decision-makers. Also, we applied the EDAS technique to determine the preference ratings of the alternatives in the current paper since it has an efficient basic algorithm and does not require comparisons and excessive calculations. It also shows the impacts of benefit and cost criteria separately in the ranking performance of the option. In addition, decision-makers can make an optimally and reasonably decision by following its algorithm.

Methodology

The current paper presents a decision-making tool supported with an empirical study for solving the decision-making problem of intercity bus selection for intercity passenger transportation companies. It is designed for collecting, processing, and evaluating data. First, the main problem(s) were identified by researchers and all criteria influencing the bus selection process by researchers together with decision-makers at the end of the comprehensive fieldwork. After the decision alternatives were determined by following the same way, data and information were collected from various sources such as producers' webpages, technical datasheets published by manufacturers, and product catalogs. Afterward, these data were processed by applying the proposed model, and the obtained results were evaluated. In the current study, we applied a hybrid MCDM framework consisting of three MCDM approaches, such as the AHP, the CRITIC, and the EDAS techniques. The AHP was implemented to determine the crisp and numerical values for some subjective criteria, and the CRITIC approach was applied for identifying the criteria weights. Finally, we applied the EDAS technique to identify the preference ratings of the alternatives and ranked these options by considering their relative significance score computed using the proposed model.

Results and Conclusions

The most influential factor is C6 Aesthetic and Comfort when the obtained results are evaluated. C2 being readily salable in the secondhand market follows the most important criteria. The obtained results can guide the bus designers and engineers to manufacture more marketable and preferable intercity buses. Also, it can help decision-makers make more rational and reasonable decisions related to the intercity bus selection. Besides, the obtained results indicate that some technical criteria such as engine power are not significant for intercity passenger transport companies compared to the others. Therefore, the findings of the current paper highlight that intercity bus manufacturers should focus on factors such as aesthetics and comfort rather than technical criteria.