

# Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Nakliye Aracı Seçimi\*

(Araştırma Makalesi)

*Transportation Vehicle Selection by Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques*

Doi:10.29023/alanyaakademik.1388286

Ayhan DEMİRCİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doç. Dr., Toros Üniversitesi, ayhan.demirci@toros.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-3788-4586

## ÖZET

**Anahtar Kelimeler:**  
Taşımacılık, Nakliye  
Aracı Seçimi, ARAS,  
ARCAS, CRITIC

**Makale geliş tarihi:**  
09.11.2023

**Kabul tarihi:**  
24.01.2024

Üretim süreçlerindeki iyileştirilme olanaklarının sınırlılığı dikkate alındığında, lojistik faaliyetlerin yaratacağı etkinin önemi ortaya çıkmaktadır. Her alanda olduğu gibi lojistik faaliyetlerde de süreçlerin titizlikle değerlendirilmesi ve özellikle büyük ölçekli yatırım gerektiren durumlarda ise işe doğru kararlarla başlanması önemlidir. Buna bağlı olarak lojistik faaliyetler son yıllarda bilimsel çalışmaların odağı haline gelmiştir. Bu kapsamda çalışmada; nakliye sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın, nakliye aracı alım kararına, bilimsel karar destek olanağı sunan çok kriterli karar verme teknikleri ile rasyonel bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada ARAS ve ARCAS teknikleri kullanılarak sonuçların karşılaştırılmasına olanak sunulmuştur. Karar kriterlerinin ağırlıklandırılmasında CRITIC tekniğinden yararlanılarak, kararın sezgisel olmasının önüne geçilmiştir. Her iki teknikte elde edilen sonuçların birbiriyle aynı olduğu belirlenmiş, kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinin güçlü sonuçlar sağladığı bulgulanmıştır.

## ABSTRACT

**Keywords:**  
Transportation,  
Transportation Vehicle  
Selection, ARAS,  
ARCAS, CRITIC

Considering the limited improvement opportunities in production processes, the importance of the impact of logistics activities becomes evident. As in every field, it is important to evaluate the processes meticulously in logistics activities and to start the work with the right decisions, especially in cases that require large-scale investment. Accordingly, logistics activities have become the focus of scientific studies in recent years. In this context, in the study; A rational approach to the transportation vehicle purchase decision of a company operating in the transportation sector is proposed with multi-criteria decision-making techniques that offer scientific decision support. In the study, it was possible to compare the results by using ARAS and ARCAS techniques. By using the CRITIC technique in weighting the decision criteria, the decision is prevented from being intuitive. It has been determined that the results obtained with both techniques are the same, and it has been found that the multi-criteria decision-making techniques used provide strong results.

\* Bu makale için Toros Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'nun 27.09.2023 tarihli ve 96 nolu kararınca etik kurul onayı alınmıştır.

## 1. GİRİŞ

Günümüz dünyası her türlü ürünün şeffaf olarak üretildiği ve kendine alıcı bulabildiği, bu anlamda en uzağın görülebildiği bir düzlem haline gelmiştir. Üretim süreçlerinin ve ürün niteliklerinin birbirine benzer niteliklerde olduğu dikkate alınırsa, eniyileme çabalarında lojistik faaliyetlerin ayrıca önem kazanacağı görülmektedir. Geleceğin dünyasını tasavvur eden Thoman L. Friedman'ın (2006), "Dünya Düzdür" adlı eserinde yer verdiği on temel düzleştiriciden beşini doğrudan, diğerlerini de dolaylı olarak lojistikle ilişkilendirmesi yerinde bir tespit olarak görülmektedir (Demirci, 2020-a: 91).

Lojistik, üretimin her aşamasında bir şekilde yer almakta ve tedarik zinciri yapılanmalarının baş aktör rolünü üstlenmektedir. Dolayısıyla bir ürün fiyatı içerisinde önemli bir paya sahip olan lojistik faaliyetlerin her aşaması titizlikle kontrol altına alınmalı ve iyileştirme çabalarında önemle üzerinde durulmalıdır. Ürün tercihinde maliyetin ilk sırada göze alındığı bir ortamda, lojistik maliyetlerin ürün içerisindeki payının önemi ortadadır. Yapılan bir çalışmaya göre; "lojistik maliyetlerdeki %5'lik azalmanın, kârlılık üzerine etkisi, satışların %20 artırılması sonrasında kârlılıkta elde edilecek etkiye eşit veya daha fazladır" saptaması yapılmıştır (Demir, 2003: 69).

Lojistik faaliyetler incelendiğinde maliyet oluşturan kalemlerin iki ana bölümde ele alınması uygun olacaktır. İşletmeler tarafından kontrol edilemeyen faktörler arasında politik ve yasal ortam, ekonomik koşullar, rekabet ortamı, sosyo-kültürel ortam, coğrafi koşullar ve teknolojik olanaklar sayılabilir. Bununla birlikte işletmenin kontrol altında tutabileceği ve kendi inisiyatifiyle alacağı kararlar doğrultusunda müdahale edebileceği, kontrol edilebilen faktörler arasında ise müşteri hizmetleri, stok işlemleri, paketleme, depolama ve ulaştırma gibi ana faaliyetler sayılabilmektedir (Stock ve Lambert, 2001: 526).

Lojistik faaliyetler önceleri sadece ulaşım ve depolama ile sınırlı olarak düşünülmüştür. Ancak zamanla karmaşıklaşan ürün yapıları, teknolojik gelişmeler ve buna dayalı müşteri ilişkileri nedeniyle anlamı genişlemiş ve talep tahmini, stok yönetimi, ulaştırma, malzeme taşıma, ambalajlama, yer seçimi ve sipariş alma faaliyetleri de lojistik faaliyetler içerisinde anılmaya başlanmıştır. İlerleyen zamanda bu faaliyetlere; müşteri hizmetleri, iade mal işlemleri, teslim alma, yedek parça ve servis desteği, hurda ve atık malların elden çıkarılması, etiketleme ve üretim çizelgeleme de dahil edilmiştir (Ceran ve Alagöz, 2007: 155-156; Sürmen ve Aygün, 2006: 55). Ancak konuya lojistik maliyetler açısından bakıldığında ilk akla gelen ve iyileştirme için önemli fırsatlar sunan faaliyet alanının nakliye hizmetleri olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, esasen karmaşık ve çok yönlü bir yapıya sahip olmasına rağmen nakliye hizmetlerinin, müşteri açısından göze görülmemeyen bir konumda olmasıdır. Dolayısıyla hem doğru tedarikçi ile buluşmak için hem de maliyet iyileştirme çabalarında başrolde olduğu için nakliye konusu ayrıca önem kazanmaktadır.

Ancak nakliye hizmetleri için kullanılacak bir aracın seçimi, farklı önem düzeylerine sahip birçok kritere bağlıdır. Bu noktada karar vericilerin rasyonel olması ve tüm bu kriterleri dikkate alarak doğru karar vermesi çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Karmaşık yapıdaki sorunların çözümünde başvurulan yöntemler; sezgisel, istatistiksel ve matematiksel yöntemler şeklinde üç başlıkta incelenebilir. Bunların arasında en rasyonel olanı kabul edilen matematiksel modeller, mutlak doğru sonucu garanti etmeseler de makul sürede, doğruya en yakın değerler üretebilirler.

Bu kapsamda çalışmada, özellikle son zamanlarda çeşitli karar alanlarında kullanılan matematiksel modellerden çok kriterli karar verme teknikleri kullanılmış ve bir nakliye aracı seçimi örneğine yer verilmiştir. Sezgisellikten uzak ve rasyonel bir çözüm olanağı sağlayan bu yöntemler, zaman zaman sonuçları itibarıyla eleştirilse de hibrit uygulama yoluyla yöntemlerin kıyaslanması sağlanarak, güçlü sonuçlar üretme durumları da ortaya konmuştur. Dolayısıyla çalışmada kriter ağırlıklandırma için CRITIC yönteminden yararlanılırken, ARAS ve ARCAS olmak üzere iki farklı çok kriterli karar verme tekniği ile nakliye firması seçimi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde çok sayıda araç ve/veya nakliye aracı seçimi kararı için yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Büyük bir kısmı çok kriterli karar verme teknikleri yardımıyla yapılan bu çalışmalardan bazıları Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1. Araç/Nakliye Aracı Seçimi için Yapılan Bazı Çalışmalar**

Yazar(lar)	Çalışma Yılı	Yöntem(ler)	Kriterler	Seçim Konusu
Puska, A., Stojanovic, I. ve Stilic, A.	2023	Entropi, Cttic, MEREK, SAW	Fiyat, Hızlanma, Azami Hız, Menzil, Toplam Güç, Kullanılabilir Kapasite, Şarj Süresi, Hızlı Şarj Süresi, Araç Tüketimi, Boş Ağırlık, Maks. Faydalı Yük, Kargo Hacmi	Elektrikli Araç Seçimi
Özgüner, M. ve Ovalı, E.	2022	Entropi, TOPSIS, ARAS	Fiyat, Yakıt, Güvenlik, Beygir Gücü ve Satış Sonrası Servis Hizmeti	Taşıma Aracı Seçimi

Khan Babar, A. H., Ali, Y. ve Khan, A. U.	2021	Bulanık SWOT, Bulanık Doğrusal Programlama	Kirlilik Kontrolü, Satın Alınabilirlik, Sürdürülebilirlik, Etkinlik, Ulusal Fayda, Teknik Avantaj, Enerji Sürdürülebilirliği, Küresel Teşvikler, Küresel Baskı, Yakıt Fiyatı	Elektrikli Araç Seçimi
Canbulut, G., Köse, E. ve Arık, O. A.	2021	Gri İlişkisel Analiz	Araç Uzunluğu, Araç Yüksekliği, Yolcu Kapasitesi (Oturarak), Yolcu Kapasitesi (Ayakta), Konfor, Fiyat (Euro), Boş Araç Ağırlığı, Kapı Sayısı, Maksimum Hız Kapasitesi	Toplu Taşıma Aracı Seçimi
Görçün, Ö. F., Senthil, S. ve Küçükönder, H.	2021	Bulanık SWARA, Bulanık CODAS	Satın Alma Maliyeti, Bakım Maliyeti, Yetkili Servis Sayısı, Kapasite, Malzeme Kalınlığı, Güvenlik, Yüklü Ağırlığı, Boş Ağırlığı, Tanker Uzunluğu, Bölme Sayısı, Basınç Değeri (Tasarım), Maksimum Isı Değeri (Tasarım), Minimum Isı Değeri (Tasarım)	Tanker Aracı Seçimi
Demirci, A. ve Manavgat, G.	2021	VZA, TOPSIS, VIKOR	Fiyat (USD), Yakıt Tüketimi (1 saatte), Yükleme Kapasitesi (lbs.), Motor Ömrü (saat), Satış Sonrası Destek Olanakları (1-10)	Forklift Aracı Seçimi
Özdağoğlu, A., Keleş, M. K. ve Genç, V.	2021	FUCOM, PROMETHEE	Motor Tork, Servis Yedek Parça Yayınlığı, Dönüş Çapı, İstihap Haddi	Ticari Araç Seçimi
Biswas, T., Chatterjee, P. ve Choudhuri, B.	2020	CoCoSo, CRITIC	Sera Gazı Emisyonu, Yakıt Tüketimi, Menzil, Hızlanma Süresi, Yıllık Yakıt Maliyeti, Araç Baz Model Fiyatı	Yolcu Taşıma Aracı Seçimi
Demirci, A.	2020-b	TOPSIS, VIKOR	Yakıt Sarfıyatı (100 Km.de), Motor Ömrü (1000 Km.de), Fiyat (1000 Euro), Satış Sonrası Destek, İkinci El Olanağı	Nakliye Aracı Seçimi
Khan, F., Ali, Y. ve Khan, A. U.	2020	Bulanık TOPSIS	Satın Alma Maliyeti, Sera Gazı Emisyonu, Güvenlik Donanımı, Yakıt Tüketimi (km./), Statü Sembolü, Çalışır Durumda Olma, Hibrit Batarya Ömrü, İkinci El Satış Fiyatı, Konfor, Güvenirlik	Elektrikli Araç Seçimi
Keleş, M. K.	2019	Entropi, ELECTRE III	Ulaştığı Maksimum Hız (km/h), Motor Gücü (bg), 0-100 km/h Hızlanma Süresi (sn), Şehir İçi Yakıt Tüketimi (lt/100km), Şehir Dışı Yakıt Tüketimi (lt/100km), Satış Fiyatı (TL), CO2 Emisyonu (g/km)	B Segmenti Otomobil Seçimi
Ulutaş, A. ve Yürüyen, A. A.	2019	PSI, ARAS, OCRA, MOORA	Azami yüklü ağırlık (ton), Azami güç (ps), Azami tork (Nm), Yakıt Tankı (lt), Aks Tahvil Oranı, Boş Ağırlık (ton), Fiyatı (TL)	Nakliye Aracı Seçimi
Anbarcı, M., Öz, B. ve Giran, Ö.	2017	MOORA	Azami Yüklü Ağırlık (ton), Azami Güç (ps), Azami Tork (Nm), Yakıt Tankı (lt), Aks Tahvil Oranı, Boş Ağırlık (ton), Fiyatı (TL)	Nakliye Aracı Seçimi
Aslan, H. M.	2017	AHP, ARAS	Garanti Süresi (yıl), Fiyat (x1000 Euro), Yakıt Tüketimi (Lt./100 km.), Güç (Hp)	Nakliye Aracı Seçimi

### 3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

Günlük hayatta birçok konuda farkında bile olmadan defalarca karar verilir. Sıradan ve çoğu rutin olan bu kararların sonuçları genellikle önemsizdir ve üzerinde fazla düşünmeyi gerektirmez. Ancak sonuçları itibariyle önemli olan ve karmaşık yapıdaki bir konuda verilecek karar, bu denli kolaylıkla verilemeyecektir.

Genel olarak birbirinden farklı ağırlıktaki çok sayıda kritere bağlı olarak verilecek kararlarda yaygın olarak başvurulan çok kriterli karar verme teknikleri, karar vericiye rasyonel bir çözüm sağlama olanağı da sunması açısından önemlidir. Söz konusu teknikler; karar vermeyi gerektirecek herhangi bir sorunun ortadan kaldırılmasına ilişkin en iyi çözümü seçmek için karar vericilerin ve paydaşların değer yargılarını ve teknik bilgilerini de içermektedirler. Bunun yanı sıra sahip oldukları matematiksel altyapıları sayesinde daha mantıklı ve rasyonel olarak kabul edilebilir bir kararın verilmesine yardımcı olmaktadır (Linkov ve Moberg, 2012: 3).

Karar problemleri için genel bir yaklaşım bulunmamakla birlikte Roy (1991), seçim problemi, sıralama problemi, sınıflama problemi ve tanımlama problemi olmak üzere dört karar türü üzerinde durmuştur. Bu listeye Bana e Costa (1996), eleme problemini, Keeney (1992) ise tasarım problemini eklemiştir. Ayrıca bu listeye ortaya çıkarma problemi de eklenebilir (Ishizaka ve Nemery, 2013: 3-4).

Günümüzde literatürde oldukça fazla ilgi gören ve çok farklı alanlarda karar verme problemlerinin çözümünde yararlanılan çok kriterli karar verme teknikleri, lojistik sahada; uygun personel seçimi, uygun tedarikçi seçimi, uygun firma ve araç ve/veya ekipman seçimi, uygun tesis yeri seçimi gibi lojistik alanda çok çeşitli konularda uygulama alanı bulmuştur.

Çalışmada kullanılan ARAS ve ARCAS yöntemleri, yakın tarihlerde ve aynı çalışma grubu tarafından önerilmiş olması nedeniyle, farklı karar verme problemlerinde sıklıkla birlikte kullanılmıştır. Literatürde her iki yöntemle hibrit olarak çözülen; personel seçimi problemi (Stanujkic vd., 2017), atık su geri dönüşüm alternatiflerinin değerlendirilmesi problemi (Ebrahimzadeh Azbari vd., 2022) gibi çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalarda yöntemlerin birbirini destekler nitelikte sonuç ürettikleri görülmüştür.

### 3.1. CRITIC

Çok kriterli karar verme tekniklerine yönelik uygulamalarda en önemli aşama, karara etki eden kriterlerin, özelliklerine uygun olarak ağırlıklandırılmasıdır. Kriterlerin, karar vericilerin subjektif yaklaşımlarına göre ağırlıklandırılması, genellikle karar vericilerin probleme göre deneyimi, bilgisi ve algısı tarafından şekillendirilir. Ancak bu durum, sonuçların güvenilirliğini olumsuz etkileyecek bir yaklaşım sunar. Buna karşılık subjektif çözümler yerine objektif ağırlıklandırma yaklaşımlarının kullanılması tercih edilir (Madic ve Radovanovic, 2015: 200).

Kriter ağırlıklandırılmasında uzman görüşü gibi subjektif yöntemlerin yerine, doğrudan karar matrisini kullanan ve diğer bazı ağırlıklandırma yöntemlerinin aksine ikili karşılaştırma yapmaya da gerek göstermeyen (Tuş ve Aytaç Adalı, 2019: 529) CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemi, Diakoulaki vd. (1995) tarafından literatüre kazandırılmıştır (Wang ve Zhao, 2016: 2385). Bu yönüyle yöntem, doğrudan bilgi kaynağı olarak karar matrisindeki kriterlerin değerlerini dikkate almakta ve böylece objektif kriter ağırlıklarının hesaplanabilmesine olanak sağlamaktadır (Akın, 2019: 25).

CRITIC yönteminin uygulama aşamaları şu şekildedir (Ayçin, 2020: 4-5; Madic ve Radovanovic, 2015: 199-200; Wang ve Zhao, 2016: 2385-2386);

**Karar matrisinin oluşturulması:** Bu aşamada, m sayıda karar alternatifi ve n sayıda karar kriteri yer alacak şekilde m x n boyutlu bir karar matrisi oluşturulur. Hazırlanan karar matrisi Eşitlik 1'de görüldüğü gibi olacaktır.

$$X = \begin{matrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0n} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \quad (1)$$

**Karar matrisinin normalize edilmesi:** Bu aşamada, kriterlerin fayda ve maliyet yönlü olmaları durumu dikkate alınarak karar matrisi normalize edilir ( $x_{ij}^*$ ). Fayda yönlü kriterlerin normalizasyonu için Eşitlik 2'den ve maliyet yönlü kriterlerin normalizasyonu için Eşitlik 3'ten yararlanır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2)$$

$$x_{ij}^* = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (3)$$

**İlişki katsayı matrisini oluşturulması:** Bu aşamada, kriterler arasındaki ilişkilerin ölçüsünü belirlemek için ilişki katsayı matrisi oluşturulur. Bu matris korelasyon katsayılarından meydana gelir. Doğrusal ilişki katsayılarından ( $\rho_{jk}$ ) oluşan bu matris Eşitlik 4 yardımıyla hazırlanır.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j) * (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 * \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (4)$$

**j. kriterde bulunan toplam bilginin ( $C_j$ ) hesaplanması:** Bu aşamada, kriterlerdeki zıtlık yoğunluğunu ve çelişkileri birleştiren ve j. kriterde bulunan toplam bilgi değeri ( $C_j$ ), Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanan ( $\sigma_j$ ) değeri kriterlerin standart sapma değerini ifade etmek üzere, Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m - 1}} \quad (5)$$

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad (6)$$

**Kriter ağırlıklarının belirlenmesi:** Bu aşamada, kriterlerin bilgi değerleri, toplam bilgi değerlerine oranlanmak suretiyle kriter ağırlıkları belirlenir. Bunun için Eşitlik 7 kullanılır.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad (7)$$

### 3.2. ARAS

Literatürdeki çok kriterli karar verme tekniklerinin önemli bir bölümü en iyi alternatifin seçimi için bir sıralama yapılmasına dayanmaktadır. Bunun için alternatiflerin göreceli olarak ideal çözüme uzaklıkları belirlenmekte veya çözümden elde edilen fayda fonksiyonu değerleri ideal çözüm değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Ancak Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından önerilen ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi diğerlerinden farklı olarak; alternatiflerin fayda fonksiyon değerleri ile karar vericinin sonradan dahil ettiği optimal alternatife ait fayda fonksiyon değeri karşılaştırılır (Ayçin, 2019: 51-52).

Yöntem ismini; uygulama aşamalarının en sonunda, alternatiflerin fayda fonksiyonunun optimal fayda fonksiyonuna oranlanmasından almakta ve fayda-oran analizi olarak da anılmaktadır (Dinçer, 2019: 47). Bu yönüyle ARAS yöntemi, niceliksel ölçümlere ve fayda teorisine dayanır (Özbek, 2017: 59).

ARAS yönteminin uygulama aşamaları şu şekildedir (Zavadskas ve Turskis, 2010: 163-165; Dinçer, 2019: 47-49; Pala, 2022: 5-6);

**Karar matrisinin oluşturulması:** Bu aşamada; diğer tüm çok kriterli karar verme tekniklerinin başlangıcında olduğu gibi Eşitlik 1'deki gibi bir başlangıç matrisi hazırlanır. Ancak burada, diğer çok kriterli karar verme tekniklerinden farklı olarak her bir kriter için belirlenen optimal değer satırına da yer verilir. Burada  $x_{ij}$ ; j. kritere göre i. alternatifin performans değerini ve  $x_{0j}$  ise; j. kriterin optimal değerini göstermektedir. Optimal değer satırının belirlenmesinde; fayda yönlü kriterler için Eşitlik 8 ve maliyet yönlü kriterler için Eşitlik 9'dan yararlanır.

$$x_{0j} = \max_i x_{ij} \quad (8)$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij} \quad (9)$$

**Normalize karar matrisinin oluşturulması:** Bu aşamada başlangıç matrisi, karar matrisindeki kriterlerin farklı ölçü birimleriyle elde edilmiş olması nedeniyle, [0,1] aralığında değerler alacak şekilde normalize edilir. Normalizasyon yapılırken fayda yönlü kriterler için Eşitlik 10 ve maliyet yönlü kriterler için Eşitlik 11 kullanılır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (10)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=0}^m (1/x_{ij})} \quad (11)$$

**Ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması:** Bu aşamada her bir kritere 0 ile 1 arasında ( $0 < w_i < 1$ ) olacak şekilde bir ağırlık değeri verilir ve Eşitlik 12'de belirtildiği şekilde, normalize karar matrisi ile çarpımı sonucunda ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} * w_{ij} \quad (12)$$

**Optimallik fonksiyonunun hesaplanması:** Bu aşamada ağırlıklandırılmış karar matrisi ve Eşitlik 13'ten yararlanılarak her bir alternatifin optimallik fonksiyonu ( $S_i$ ) hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} \quad (13)$$

**Fayda derecesinin belirlenmesi ve nihai sıralamanın elde edilmesi:** Yöntemin bu son aşamasında; Eşitlik 14 yardımıyla, bir karar alternatifinin optimallik değeri ( $S_i$ ) ile en iyi karar alternatifinin optimallik değerinin ( $S_0$ )

oranlanması yoluyla elde edilen fayda derecesi ( $K_i$ ) bulunur. Fayda derecesi ( $K_i$ ) değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması sonucunda, en iyiden itibaren alternatiflerin sıralaması yapılmış olur.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (14)$$

### 3.3. ARCAS

Grup kararlarının, bireysel kararlara göre çok daha etkili olduğu düşüncesine dayanarak Stanujkic ve Zavadskas (2015) tarafından literatüre kazandırılan ARCAS (Additive Ratio Compromise ASsessment) yaklaşımı; ARAS tekniği ile SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) tekniğinin uzlaşık çözümünü sunmaktadır. Tek karar vericiden çoklu karar verici ortamına geçilmesi, bir grubun üyeleri arasındaki olası anlaşmazlığın çözülmesi, üyeler arasında fikir birliğinin sağlanması gibi ilave zorluklar nedeniyle, yapılacak analizin daha da karmaşık bir hale gelmesine sebep olacaktır. Ancak hem uygulanan yöntemin güvenilirliği ve hem de farklı bakış açılarına sahip karar vericileri tek bir karar çevresinde toparlayabilmek için, grup karar verme yaklaşımı, bireysel tercihlere nazaran çok daha önemli görülebilir. Yöntemin sağladığı önemli bir yenilik ise ARAS tekniğinde uygulanan normalizasyon için, Eşitlik 15 ve Eşitlik 16'da sunulan, karar vericinin tercihlerine büyük ölçüde saygı duyan, tercih edilen derecelendirmelere olan mesafeye dayalı yeni bir prosedür önerisidir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^*}{x_j^+ - x_j^-} \quad ; \quad j \in \Omega_{maks.} \quad (15)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-} \quad ; \quad j \in \Omega_{min.} \quad (16)$$

Eşitlik 15 ve Eşitlik 16'da geçen indislerden;  $x_j^*$ , j. kriterin tercih edilen derecelendirmesini,  $x_{ij}$ , j. kritere göre i. alternatifin performans derecesini,  $x_j^+$ , j. kriterin en büyük performans derecesini,  $x_j^-$ , j. kriterin en küçük performans derecesini,  $\Omega_{maks.}$ , fayda yönlü kriter seti elemanlarını ve  $\Omega_{min.}$ , maliyet yönlü kriter seti elemanlarını göstermektedir.

Dahası Stanujkic ve Zavadskas (2015), Eşitlik 15 ve Eşitlik 16'yı basitleştirerek yerine Eşitlik 17'yi önermişlerdir. Buna göre  $r_{ij}$  değeri “-1 >  $r_{ij}$  > +1” olacaktır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{0j}}{x_j^+ - x_j^-} \quad (17)$$

Eşitlik 17'de yer alan indislerden;  $x_{0j}$ , j. kriterin optimallik derecesini göstermektedir. Ayrıca Eşitlik 17'deki indislerden;  $x_j^+$ , Eşitlik 18'de ve  $x_j^-$ , Eşitlik 19'da gösterildiği şekildedir.

$$x_j^+ = \begin{cases} \max_i x_{ij} & ; \quad j \in \Omega_{maks.} \\ \min_i x_{ij} & ; \quad j \in \Omega_{min.} \end{cases} \quad (18)$$

$$x_j^- = \begin{cases} \min_i x_{ij} & ; \quad j \in \Omega_{min.} \\ \max_i x_{ij} & ; \quad j \in \Omega_{maks.} \end{cases} \quad (19)$$

Son olarak Eşitlik 17 ile önerilen  $r_{ij}$  değerinin kriter ağırlık değerleri ile çarpımlarından elde edilen değerlerin toplamı ile ayarlanmış genel performans değeri ( $S_i$ ) hesaplanır ki bu değer en büyük olduğu alternatif karar alternatifini seçilecektir.

## 4. NAKLİYE ARAÇ SEÇİMİ İÇİN UYGULAMA

Tanımlanmış çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulama aşamaları, örnek bir uygulama üzerinden aktarılacaktır. Bu kapsamda bir nakliye firması tarafından ihtiyaç duyulan nakliye aracı seçim kararı üzerinden bir çalışma yapılmıştır. Bunun için daha önceden hazırlanan ve kullanılan veri seti aynı şekilde kullanılmış (Demirci, 2020-b: 22), böylece TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle aynı veriler kullanılarak yapılan çözümleme sıralamasının karşılaştırılmasına olanak sağlanmıştır. Bu kapsamda hazırlanan Başlangıç Matrisi Tablo hazırlanan Karar Matrisi Tablo 2'de sunulmuştur. Buna göre belirlenen kriterlerden K1 ve K2 maliyet yönlü, diğerleri fayda yönlü olmak üzere; Fiyat (1000 Euro) (K1), Yakıt Sarfiyatı (100 km.de) (K2), Motor Ömrü (1000 km.de) (K3), Satış Sonrası Destek (K4) ve İkinci El Piyasası (K5) şeklindedir.

İlk olarak karar kriter değerlerinin ağırlıklandırılması sağlanmıştır. Bu kapsamda uygulanan CRITIC tekniği, kriterlerin kişisel görüş ve sezgisellikten uzak bir şekilde rasyonel bir yaklaşım sağlaması açısından önemli görülmektedir.

**Tablo 2. Karar Matrisi**

	K1	K2	K3	K4	K5
	Min.	Min.	Maks.	Maks.	Maks.
A1	80	28	700	5	3
A2	110	29	1000	10	9
A3	90	29	700	5	5
A4	100	28	750	8	10
A5	85	28	700	8	7
A6	115	27	1250	7	8
A7	80	27	600	3	3
Maksimum	115	29	1250	10	10
Minimum	80	27	600	3	3

Ardından Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 yardımıyla başlangıç matrisi normalize edilerek sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 3. Normalize Karar Matrisi**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,0000	0,5000	0,8462	0,7143	1,0000
A2	0,8571	1,0000	0,3846	0,0000	0,1429
A3	0,2857	1,0000	0,8462	0,7143	0,7143
A4	0,5714	0,5000	0,7692	0,2857	0,0000
A5	0,1429	0,5000	0,8462	0,2857	0,4286
A6	1,0000	0,0000	0,0000	0,4286	0,2857
A7	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$\sigma$	0,4077	0,4082	0,3517	0,3386	0,4029

Daha sonra Eşitlik 4 yardımıyla kriterler arasındaki ilişkilerin ölçüsü belirlenmiş ve hazırlanan İlişki Katsayı Matrisi Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 4. İlişki Katsayı Matrisi**

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1,0000	0,0720	-0,9110	-0,6790	-0,7960
K2	0,0720	1,0000	0,1340	-0,4310	-0,2170
K3	-0,9110	0,1340	1,0000	0,5210	0,5580
K4	-0,6790	-0,4310	0,5210	1,0000	0,8800
K5	-0,7960	-0,2170	0,5580	0,8800	1,0000

Ardından hesaplanan kriterlerin zıtlık yoğunlukları ( $\sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk})$ ), Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5. Kriterlerin Zıtlık Yoğunluk Değeri**

	K1	K2	K3	K4	K5
$1 - \rho_{jk}$	0,0000	0,9230	1,9110	1,6790	1,7960
	0,9280	0,0000	0,8660	1,4310	1,2170
	1,9110	0,8660	0,0000	0,4790	0,4420
	1,6790	1,4310	0,4790	0,0000	0,1200
	1,7960	1,2170	0,4420	0,1200	0,0000
$\sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk})$	6,3140	4,4420	3,6980	3,7090	3,5750

Son aşamada Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 yardımıyla kriter ağırlıkları belirlenmiş ve Tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 6. Kriterlerin Toplam Bilgi Değeri ( $C_j$ ) ve Ağırlık Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5	Toplam
$C_j$	2,5739	1,8134	1,3006	1,2560	1,4402	8,3842
$w_j$	<b>0,3070</b>	<b>0,2163</b>	<b>0,1551</b>	<b>0,1498</b>	<b>0,1718</b>	<b>1,0000</b>

Örnek uygulama sonucunda CRITIC yöntemi kullanılarak, nakliye aracı tedariki için belirlenen kriterler ağırlıklandırılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; Fiyat kriterinin %30,70 oranında, Yakıt Sarfiyatı kriterinin %21,63 oranında, Motor Ömrü kriterinin %15,51 oranında, Satış Sonrası Destek kriterinin %14,98 oranında ve İkinci El Piyasası kriterinin ise %17,18 oranında bir ağırlık değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Ardından ilk olarak ARAS tekniği kullanılmış ve alternatiflerin tercih sıralaması oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle Eşitlik 10 ve Eşitlik 11 yardımıyla kriter değerlerinin normalize edilmesi sağlanmış ve elde edilen normalize karar matrisi Tablo 7’de sunulmuştur.

**Tablo 7. Normalize Karar Matrisi**

	K1	K2	K3	K4	K5
Optimal Dğ.	0,1418	0,1290	0,1799	0,1786	0,1818
A1	0,1418	0,1243	0,1007	0,0893	0,0545
A2	0,1031	0,1201	0,1439	0,1786	0,1636
A3	0,1260	0,1201	0,1007	0,0893	0,0909
A4	0,1134	0,1243	0,1079	0,1429	0,1818
A5	0,1334	0,1243	0,1007	0,1429	0,1273
A6	0,0986	0,1290	0,1799	0,1250	0,1455
A7	0,1418	0,1290	0,0863	0,0536	0,0545

Daha sonra Eşitlik 12 ile gösterildiği şekilde, kriter ağırlıkları ile normalize matris kriter değerlerinin çarpımı ile elde edilen ağırlıklandırılmış karar matrisi Tablo 8’de sunulmuştur.

**Tablo 8. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi**

	K1	K2	K3	K4	K5
Optimal Dğ.	0,0435	0,0279	0,0279	0,0268	0,0312
A1	0,0435	0,0269	0,0156	0,0134	0,0094
A2	0,0317	0,0260	0,0223	0,0268	0,0281
A3	0,0387	0,0260	0,0156	0,0134	0,0156
A4	0,0348	0,0269	0,0167	0,0214	0,0312
A5	0,0410	0,0269	0,0156	0,0214	0,0219
A6	0,0303	0,0279	0,0279	0,0187	0,0250
A7	0,0435	0,0279	0,0134	0,0080	0,0094

Son olarak tüm alternatifler için; Eşitlik 13 yardımıyla optimallik fonksiyonu ( $S_i$ ) ve Eşitlik 14 yardımıyla fayda derecesi ( $K_i$ ) hesaplanmıştır. Nihayet bu değerler dikkate alınarak alternatifler öncelik sırasına dizilerek sonuçları Tablo 9’da sunulmuştur.

**Tablo 9.  $S_i$  Değerleri,  $K_i$  Değerleri ve Alternatiflerin Sıralaması**

	$S_i$	$K_i$	Sıralama
Optimal Dğ.	0,1573	1,0000	
A1	0,1088	0,6916	6
<b>A2</b>	<b>0,1348</b>	<b>0,8570</b>	<b>1</b>
A3	0,1093	0,6947	5
A4	0,1311	0,8334	2
A5	0,1268	0,8058	4
A6	0,1298	0,8251	3
A7	0,1022	0,6497	7

ARAS tekniği ile yapılan analiz sonucunda nakliye firmasının ihtiyacını en optimum şekilde çözecek olan araç alternatifinin “Alternatif 2” olduğu belirlenmiştir.

Sonuçların karşılaştırılabilmesi ve güvenilirliğinin sağlanması amacıyla iki yöntemi içeren bu hibrit çalışmada, ikinci teknik olarak belirlenen ARCAS tekniği ile de Tablo 2’de sunulan başlangıç matrisi değerleri kullanılmıştır. Sektörde yetkin dört farklı uzman görüşü ile yapılan değerlendirmeler sonucunda belirlenen kriterlerin tercih oranları Tablo 10’da sunulmuştur.

**Tablo 10. Kriterlerin Tercih Oranları**

	K1	K2	K3	K4	K5
Uzman 1	6	6	5	6	5
Uzman 2	5	6	5	4	3
Uzman 3	5	5	4	3	3
Uzman 4	7	7	5	4	4

Daha sonra her bir uzman tarafından ayrı ayrı kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Detaylarına bu çalışmada yer verilmeyen SWARA tekniği (Karabasevic vd., 2016; Demirci, 2022) kapsamındaki bu ilk aşamada her bir uzman görüşüne bağlı olarak kriterlerin ağırlık değerleri belirlenmiş ve Tablo 11-Tablo 14’te sunulmuştur.

**Tablo 11. Uzman 1 Tarafından Belirlenen Kriter Ağırlık Değerleri**

	$s_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$
K1		1,00	1,00	0,28
K2	0,20	1,20	0,83	0,23



K3	0,15	1,15	0,72	0,20
K4	0,25	1,25	0,58	0,16
K5	0,40	1,40	0,41	0,12
<b>Toplam</b>			<b>3,55</b>	<b>1,00</b>

**Tablo 12. Uzman 2 Tarafından Belirlenen Kriter Ağırlık Değerleri**

	$s_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$
K1		1,00	1,00	0,29
K2	0,25	1,25	0,80	0,23
K3	0,15	1,15	0,70	0,20
K4	0,20	1,20	0,58	0,17
K5	0,35	1,35	0,43	0,12
<b>Toplam</b>			<b>3,50</b>	<b>1,00</b>

**Tablo 13. Uzman 3 Tarafından Belirlenen Kriter Ağırlık Değerleri**

	$s_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$
K1		1,00	1,00	0,29
K2	0,25	1,25	0,80	0,23
K3	0,30	1,30	0,62	0,18
K4	0,10	1,10	0,56	0,16
K5	0,20	1,20	0,47	0,14
<b>Toplam</b>			<b>3,44</b>	<b>1,00</b>

**Tablo 14. Uzman 4 Tarafından Belirlenen Kriter Ağırlık Değerleri**

	$s_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$
K1		1,00	1,00	0,27
K2	0,15	1,15	0,87	0,24
K3	0,20	1,20	0,72	0,20
K4	0,25	1,25	0,58	0,16
K5	0,20	1,20	0,48	0,13
<b>Toplam</b>			<b>3,66</b>	<b>1,00</b>

Görüşüne başvurulmuş dört uzmanın, değerlendirmeleri sonucunda elde edilen kriter ağırlık değerleri toplu halde Tablo 15’te sunulmuştur.

**Tablo 15. Kriter Ağırlık Değerleri**

	Uzman 1 $w_j^1$	Uzman 2 $w_j^2$	Uzman 3 $w_j^3$	Uzman 4 $w_j^4$
K1	0,28	0,29	0,29	0,27
K2	0,23	0,23	0,23	0,24
K3	0,20	0,20	0,18	0,20
K4	0,16	0,17	0,16	0,16
K5	0,12	0,12	0,14	0,13

Ardından her bir alternatif, belirlenen kriterlere göre, tüm uzman değerlendiriciler tarafından; 1: Çok Düşük, 2: Düşük, 3: Orta Düşük, 4: Orta, 5: Orta Yüksek, 6: Yüksek ve 7: Çok Yüksek anlamına gelmek üzere “1-7” arasında derecelendirilir. Yapılan değerlendirme sonuçları Tablo 16-Tablo 19’da sunulmuştur.

**Tablo 16. Uzman 1 Tarafından Yapılan Değerlendirme Sonuçları**

	K1	K2	K3	K4	K5
$w_j$	<b>0,28</b>	<b>0,23</b>	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>	<b>0,12</b>
Tercih Değeri	6	6	5	6	5
A1	7	4	5	4	6
A2	7	6	7	6	7
A3	5	5	6	7	7
A4	7	5	4	6	6
A5	6	5	5	7	7
A6	7	5	5	7	6
A7	7	4	3	5	7
Min./Maks.	5	4	7	7	7
Maks./Min.	7	6	3	4	6

**Tablo 17. Uzman 2 Tarafından Yapılan Değerlendirme Sonuçları**

	K1	K2	K3	K4	K5
$w_j$	<b>0,29</b>	<b>0,23</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>
Tercih Değeri	5	6	5	4	3

A1	6	6	4	5	3
A2	7	7	6	6	3
A3	5	5	7	7	5
A4	7	6	5	5	4
A5	6	6	6	6	4
A6	7	7	5	6	4
A7	6	6	5	5	2
Min./Maks.	5	5	7	7	5
Maks./Min.	7	7	4	5	2

**Tablo 18. Uzman 3 Tarafından Yapılan Değerlendirme Sonuçları**

	K1	K2	K3	K4	K5
$w_j$	<b>0,29</b>	<b>0,23</b>	<b>0,18</b>	<b>0,16</b>	<b>0,14</b>
Tercih Değeri	5	5	4	3	3
A1	7	4	6	3	3
A2	7	7	6	3	3
A3	5	5	7	4	4
A4	6	4	7	4	5
A5	7	7	7	2	2
A6	7	6	5	4	4
A7	6	5	4	3	3
Min./Maks.	5	4	7	4	5
Maks./Min.	7	7	4	2	2

**Tablo 19. Uzman 4 Tarafından Yapılan Değerlendirme Sonuçları**

	K1	K2	K3	K4	K5
$w_j$	<b>0,27</b>	<b>0,24</b>	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>	<b>0,13</b>
Tercih Değeri	7	7	5	4	4
A1	6	6	5	5	4
A2	6	7	6	6	5
A3	5	5	7	6	6
A4	6	7	5	5	6
A5	7	7	6	5	5
A6	7	6	6	6	5
A7	5	6	6	6	5
Min./Maks.	5	5	7	6	6
Maks./Min.	7	7	5	5	4

Daha sonra ARCAS yönteminin normalizasyonunda kullanılmak üzere önerilen Eşitlik 17. yardımıyla her bir değerlendirme sonucu ayrı ayrı normalize edilir. Bu kapsamda yapılan hesaplama sonuçları Tablo 20-Tablo 23'te sunulmuştur.

**Tablo 20. Tablo 16.'nın Normalize Edilmiş Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,50	-1,00	0,00	-0,67	1,00
A2	0,50	0,00	0,50	0,00	2,00
A3	-0,50	-0,50	0,25	0,33	2,00
A4	0,50	-0,50	-0,25	0,00	1,00
A5	0,00	-0,50	0,00	0,33	2,00
A6	0,50	-0,50	0,00	0,33	1,00
A7	0,50	-1,00	-0,50	-0,33	2,00

**Tablo 21. Tablo 17.'nin Normalize Edilmiş Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,50	0,00	-0,33	0,50	0,00
A2	1,00	0,50	0,33	1,00	0,00
A3	0,00	-0,50	0,67	1,50	0,67
A4	1,00	0,00	0,00	0,50	0,33
A5	0,50	0,00	0,33	1,00	0,33
A6	1,00	0,50	0,00	1,00	0,33
A7	0,50	0,50	0,00	0,50	-0,33

**Tablo 22. Tablo 18.'in Normalize Edilmiş Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	1,00	-0,33	0,67	0,00	0,00
A2	1,00	0,67	0,67	0,00	0,00

A3	0,00	0,00	1,00	0,50	0,33
A4	0,50	-0,33	1,00	0,50	0,67
A5	1,00	0,67	1,00	-0,50	-0,33
A6	1,00	0,33	0,33	0,50	0,33
A7	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tablo 23. Tablo 19.'ün Normalize Edilmiş Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	-0,50	-0,50	0,00	1,00	0,00
A2	-0,50	0,00	0,50	2,00	0,50
A3	-1,00	-1,00	1,00	2,00	1,00
A4	-0,50	0,00	0,00	1,00	1,00
A5	0,00	0,00	0,50	1,00	0,50
A6	0,00	-0,50	0,50	2,00	0,50
A7	-1,00	-0,50	0,50	2,00	0,50

Ardından tüm normalize edilmiş matrisler, ilgili uzman tarafından belirlenen kriter ağırlık değerleriyle çarpılarak elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris Tablo 24-Tablo 27'de sunulmuştur.

**Tablo 24. Tablo 20.'nin Ağırlıklandırılmış Normalize Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,14	-0,23	0,00	-0,11	0,12
A2	0,14	0,00	0,10	0,00	0,23
A3	-0,14	-0,12	0,05	0,05	0,23
A4	0,14	-0,12	-0,05	0,00	0,12
A5	0,00	-0,12	0,00	0,05	0,23
A6	0,14	-0,12	0,00	0,05	0,12
A7	0,14	-0,23	-0,10	-0,05	0,23

**Tablo 25. Tablo 21.'in Ağırlıklandırılmış Normalize Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,14	0,00	-0,07	0,08	0,00
A2	0,29	0,11	0,07	0,17	0,00
A3	0,00	-0,11	0,13	0,25	0,08
A4	0,29	0,00	0,00	0,08	0,04
A5	0,14	0,00	0,07	0,17	0,04
A6	0,29	0,11	0,00	0,17	0,04
A7	0,14	0,00	0,00	0,08	-0,04

**Tablo 26. Tablo 22.'nin Ağırlıklandırılmış Normalize Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,29	-0,08	0,12	0,00	0,00
A2	0,29	0,15	0,12	0,00	0,00
A3	0,00	0,00	0,18	0,08	0,05
A4	0,15	-0,08	0,18	0,08	0,09
A5	0,29	0,15	0,18	-0,08	-0,05
A6	0,29	0,08	0,06	0,08	0,05
A7	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tablo 27. Tablo 23.'ün Ağırlıklandırılmış Normalize Değerleri**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	-0,14	-0,12	0,00	0,16	0,00
A2	-0,14	0,00	0,10	0,32	0,07
A3	-0,27	-0,24	0,20	0,32	0,13
A4	-0,14	0,00	0,00	0,16	0,13
A5	0,00	0,00	0,10	0,16	0,07
A6	0,00	-0,12	0,10	0,32	0,07
A7	-0,27	-0,12	0,10	0,32	0,07

Son olarak ağırlıklandırılmış normalize matris satırlarının toplamı olan  $S_i$  değerlerine göre elde edilen sıra değerleri ile genel sıra değerleri belirlenmiş ve alternatifler öncelik sırasına göre dizilerek sonuçları Tablo 28'de sunulmuştur.

**Tablo 28. Alternatiflerin Sıra Değerleri**

Uzman 1		Uzman 2		Uzman 3		Uzman 4		Genel Sıra Değeri
$S_i$	S.Dğ.	$S_i$	S.Dğ.	$S_i$	S.Dğ.	$S_i$	S.Dğ.	

A1	-0,09	7	0,16	7	0,33	5	-0,10	7	7
<b>A2</b>	<b>0,48</b>	<b>1</b>	<b>0,63</b>	<b>1</b>	<b>0,56</b>	<b>1</b>	<b>0,35</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
A3	0,08	5	0,35	5	0,31	6	0,14	5	5
A4	0,09	4	0,41	4	0,42	4	0,15	4	4
A5	0,17	3	0,42	3	0,50	3	0,32	3	3
A6	0,19	2	0,61	2	0,55	2	0,36	1	2
A7	-0,02	6	0,18	6	0,15	7	0,09	6	6

ARCAS yöntemiyle dört farklı uzman görüşüne bağlı olarak yapılan nakliye aracı seçiminde de “Alternatif 2” en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. ARCAS yönteminin uygulamasında uzmanların her bir kritere ağırlık değeri verirken kendi kişilik özelliklerini de sonuçlara yansıtma ve görüşlerini serbest olarak verebilmelerine olanak sağlanmaktadır. Bundan dolayı farklı sıralama sonuçları elde edilmesi olasıdır. Diğer bir deyişle her bir kriterin önem seviyesi ve ağırlık değeri, kişilik özellikleri nedeniyle rasyonel davranış sergileyemeyen uzmanlar arasında farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak çalışma sonucunda ARCAS yöntemi için alternatifler sıralanırken, görüşleri alınan dört uzmanın değerlendirmeleri sonucunda elde edilen sıra değerlerinin geometrik ortalaması alınmış ve genel sıra değerleri bu şekilde elde edilmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda alternatif nakliye araçları arasında en uygun olanının, her iki tekniğin sonuçlarına göre de “Alternatif 2” şeklinde kodlanan araç olduğu belirlenmiştir. ARAS ve ARCAS teknikleri yardımıyla yapılan sıralama Tablo 29’da sunulmuştur.

**Tablo 29. ARAS ve ARCAS Teknikleriyle Elde Edilen Alternatiflerin Sıra Değerleri**

	ARAS Tekniği	ARCAS Tekniği
Alternatif 1	6	7
<b>Alternatif 2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Alternatif 3	5	5
Alternatif 4	3	4
Alternatif 5	4	3
Alternatif 6	2	2
Alternatif 7	7	6

Başlangıç Matrisinin alındığı ve TOPSİS ve VİKOR tekniklerinin kullanıldığı çalışma (Demirci, 2020-b) sonucunda elde edilen sıralamaya göre A2 ve A6 alternatifleri ilk sırayı paylaşmışlardır. ARAS ve ARCAS tekniklerinin kullanıldığı bu çalışmada da aynı alternatifler ilk iki sırayı paylaşmışlardır. Bu durum yöntemlerin güçlü ve tutarlı sonuç ürettiklerine işaret etmektedir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Uzun yıllar boyunca yararlanılacak ve yüksek yatırım maliyeti gerektiren konularda verilecek kararlar son derece hayati öneme sahiptir. Çünkü yanlış bir kararın sonucunun telafi edilebilmesi, çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu kapsamda çalışmada, lojistik faaliyet alanlarının en önemlisi ve en fazla maliyet payına sahip olan nakliye alanında faaliyet gösteren bir firmanın, tedarik edeceği nakliye araçları için farklı alternatiflerin değerlendirilmesinde rasyonel bir destek olarak yararlanılan çok kriterli karar verme teknikleri uygulanmıştır.

Buna göre daha önce kullanılan veri seti (Demirci, 2020-b) aynı şekilde alınmış ve farklı iki yöntemle (ARAS ve ARCAS) analiz edilmiştir. Literatürde çok sayıda yöntem olmasına rağmen, söz konusu sıralama yöntemleri, diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine nazaran güncel olmaları (ARAS yöntemi 2010 yılında, ARCAS yöntemi 2015 yılında önerilmiştir.) uygulama kolaylığı dikkate alınarak seçilmiştir. Bu yöntemlerden ARAS; bir başka şekilde elde edilen kriter ağırlık değerlerini (çalışmada kriterler, CRITIC yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır) kullanarak, tamamen alternatiflerin kriter değerlerine göre ve rasyonel bir sonuç üretme yeteneğine sahiptir. Buna karşılık ARCAS yöntemi; uzman görüşüne göre kriterlerin ağırlıklandırıldığı bir yöntemdir. Buna göre sezgisel bir davranış gösteren bu yöntemde sağlıklı bir sonuç elde edilmesi için uzman sayısının artırılması ve farklı kişilik yapılarındaki uzmanların görüşlerinin uzlaşık bir çözümünün elde edilmesi önemlidir. Buna istinaden çalışmada dört farklı uzman görüşü alınmış ve diğer yöntemle sonuçlarının karşılaştırılmasına olanak sağlanmıştır.

ARAS ve ARCAS olmak üzere iki farklı çok kriterli karar verme tekniği ile yapılan analiz sonuçlarına göre, sıralamada birbirinden farklılıklar olmakla birlikte, söz konusu nakliye firmasının, “Alternatif 2” olarak kodlanan aracı tedarik etmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bu sonuçlar, veri setinin elde edildiği diğer çalışma sonuçları ile de karşılaştırılmış ve burada kullanılan diğer iki yöntemin sonuçlarıyla da aynı olduğu ortaya konmuştur. Bu duruma göre çok kriterli karar verme tekniklerinin sağlıklı sonuçlar ürettikleri ve sonuçlarının güvenilirliklerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmada kullanılan ARAS yöntemi için kriter ağırlıklandırması CRITIC yöntemiyle yapılmıştır. Alternatiflerin kriter değerlerine göre rasyonel olarak elde edilen bu kriter ağırlık değerleri ve ARAS yöntemiyle yapılan çözümleme sonucunda alternatifler için “A2>A6>A4>A5>A3>A1>A7” sıralaması elde edilmiştir. Aynı çalışma,

dört uzman görüşü alınarak yapılan ağırlıklandırma değerlendirmesi sonucunda ARCAS yöntemiyle tekrarlandığında ise alternatiflerin sıralaması “A2>A6>A5>A4>A3>A7>A1” şeklinde meydana gelmiştir. Alternatiflerin sıralamasındaki farklılık, karara esas seçim sonucunu değiştirmemekle birlikte, yöntemlerin uygulama aşamalarındaki farklılıktan meydana gelmektedir. Buna göre özellikle uzman görüşüne dayalı sezgisel yöntemlerin uygulamasında hassas olunması gerektiği ve kısıtlı sayıda alınacak uzman görüşünün sonuçların doğruluğunu tehlikeye düşüreceği belirtilebilir. Ancak yeterli sayıda uzman görüşü alınması halinde, çalışmada da ortaya konduğu gibi, yöntemlerin ürettikleri sonuçlar örtüşmekte ve güvenilirlikleri yükselmektedir.

Esasen aynı verilerle yapılmış olan ve TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle çözümlenen sıralamaya göre de A2 ve A6 alternatifleri ilk sırayı paylaşmışlardır (Demirci, 2020-b). Bu durum yöntemlerin güçlü ve tutarlı sonuç ürettiklerine işaret etmektedir. Ancak benzer çalışmalarda, işlem hatalarına karşı hassasiyet oluşabileceği dikkate alınarak, hibrit olarak çözümlenmesinin doğru bir yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir.

Çok kriterli karar verme yöntemleriyle yapılan çalışmalarda en önemli husus kriterlerin belirlenmesidir. Bu aşamada alternatiflerin seçimine en fazla etki edecek kriterlerin seçilmesi ve başlangıç matrisinin doğru oluşturulması gerekmektedir. Aynı şekilde yöntem uygulama aşamalarının da doğru ilerletilmesi yine önemli bir başka husustur. Bu durum için genellikle hibrit yöntemlerin kullanılmasının, sonuçların karşılaştırılabilirliği ve güvenilirliği açısından yerinde olacağı değerlendirilmektedir.

Benzer çalışmaların, farklı tekniklerle tekrarlanmasının, tekniklerin birbirini destekleyen ve/veya birbirleriyle çelişen yönlerinin ortaya konabilmesi açısından uygun olacağı değerlendirilmektedir.

## EXTENDED SUMMARY

Considering that in today's world, similar production technologies are used for almost every type of product, resulting in similar quality, the primary promotion priority for customers in terms of marketing approach stands out as price. It can be said that raw material prices are also similar due to the same reason. Therefore, from the perspective of producers and sellers, logistics activities are seen as the most important factor that can affect or provide price efficiency. When viewed from the perspective of production and consumption, transportation is the most critical logistics activity. This is because a significant number of resources must be allocated for transportation. In this context, it is predicted that significant price advantages can be achieved and sustainable growth for businesses can be ensured if transportation costs are reduced in bringing any product to the customer. Accordingly, in this study, the transportation topic, which has become the focal point of scientific studies in recent years, is discussed as the most critical success factor in logistic activities.

It is known that fuel costs within transportation costs are uncontrollable. The only aspect under the control here is the correct choice of the vehicle and thereby increasing cost-effectiveness. The decision of choosing a transportation vehicle is a strategic decision that requires the consideration of many criteria. Making the wrong decision in this regard, which requires bearing high initial costs, inevitably leads to significant losses.

In the literature, there are numerous studies using different multi-criteria decision-making techniques to make the selection decision of various types of vehicles. Most of these studies are related to the selection of passenger vehicles or other types of vehicles. In this study, unlike other studies, a scientific decision support approach is proposed using multi-criteria decision-making techniques for the decision of a transportation company operating in the logistics sector on the selection of a transportation vehicle. Multi-criteria decision-making techniques, which provide important conveniences for decision-makers in situations where many criteria with different weights need to be considered simultaneously, have become the focus of scientific literature in recent years and have made significant developments. Various multi-criteria decision-making techniques developed in many different areas such as selection, ranking, classification, definition, elimination, design, and revelation are applied to support decision-makers.

In this study, the CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) technique is used for the weighting of criteria considered to affect the selection of the transportation vehicle, and based on the obtained criterion weight values, transportation vehicle selection is made using the Additive Ratio Assessment (ARAS) and Additive Ratio Compromise ASsessment (ARCAS) techniques.

The criterion weighting stage is the most important stage of multi-criteria decision-making techniques. In this stage, instead of subjective approaches based on experience, observation, and knowledge, the CRITIC technique, which brings an objective approach, is preferred. CRITIC is a technique that uses the decision matrix directly in criterion weighting and does not require binary comparisons, unlike some other weighting methods. In this sense, the technique considers the criteria in the decision matrix as a direct source of information without considering the subjective judgments of decision-makers, thus allowing the calculation of objective criterion weights. In addition, in the study, two different selection methods are used to demonstrate the power of multi-criteria decision-making techniques. In this context, the first method used is the ARAS technique, which is based on quantitative measurements and utility theory and is also known as benefit-to-cost analysis. Another method is the proposed

ARCAS technique, based on the belief that group decisions are much more effective than individual decisions. According to this, the aim is to make a more effective decision by allowing the consensus decision of an expert group. In the application phase of the ARCAS technique in the study, the opinions of 4 different experts were utilized.

In studies conducted with multi-criteria decision-making methods, the most important issue is the determination of criteria. At this stage, it is necessary to select the criteria that will have the most impact on the selection of alternatives and to correctly form the decision matrix. Similarly, the correct progression of method application stages is another important issue. For this situation, it is generally considered appropriate to use hybrid methods for the comparability and reliability of results. From this point, in the study, 7 alternative transportation vehicles are ranked with the help of both techniques, and the selection of the best alternative is ensured. It has been determined that the results obtained with both techniques are the same, and therefore, it has been found that the multi-criteria decision-making techniques used provide strong results.

## KAYNAKÇA

- Akın, N.G. (2019). Makine seçim probleminde ENTROPİ-ROV ve CRITIC-ROV yöntemlerinin karşılaştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 62, 20-39.
- Anbarcı, M., Öz, B., & Giran, Ö. (2017). İnşaat yönetiminde nakliye aracı seçiminde MOORA çok ölçütlü karar verme yöntemi ile bir uygulama. *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, 06-07 Ekim 2017, Samsun, 149-154.
- Aslan, H.M. (2017). AHP-ARAS hibrit yöntemi ile lojistik işletmelerinin en uygun araç seçimi. *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, 5(2), 271-282.
- Ayçin, E. (2020). Personel seçim sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerinin kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Ayçin, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme – Bilgisayar Uygulamalı Çözümler*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Bana e Costa, C. (1996). Les probl'ematiques de l'aide 'a la d'ecision: Vers l'enrichissement de la trilogie choix-tri-rangement. *RAIRO – Operations Research*, 30(2), 191–216.
- Biswas, T., Chatterjee, P., & Choudhuri, B. (2020). Selection of commercially available alternative passenger vehicle in automotive environment. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 16-27, DOI: 10.31181/oresta200113b.
- Canbulut, G., Köse, E., & Arık, O.A. (2021). Public transportation vehicle selection by the grey relational analysis method. *Public Transport*, DOI: 10.1007/s12469-021-00271-3.
- Ceran, Y., & Alagöz, A. (2007). Lojistik maliyet yönetimi: lojistik maliyetler ve lojistik maliyet muhasebesi. *Journal of Administrative Science, Yönetim Bilimleri Dergisi*, 5, 2.
- Demir, V. (2003). *Lojistik Yönetim sisteminde fiziksel tedarik ve dağıtım alt sistem maliyetlerinin hesaplanması ve bir öneri*. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (Yayımlanmamış Doktora Tezi), İstanbul.
- Demirci, A. (2022). The application of SWARA based COPRAS and OCRA methods to supplier selection problem. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 13(2), 43-55, <https://doi.org/10.18354/esam.1120887>.
- Demirci, A. (2020-a). Lojistik tedarikçi seçiminde aksiyomatik tasarım tekniği uygulaması. *International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences*, 3(1).
- Demirci, A. (2020-b). Nakliye aracı seçimi: Çok kriterli karar verme modeli önerisi. *Antalya Bilim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), 17-33.
- Demirci, A., & Manavgat, G. (2021). Veri zarflama analizi, TOPSIS ve VIKOR teknikleriyle forklift aracı seçimi: Karma model önerisi. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 1-27.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (2015). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. *Computers and Operations Research*, 22(1), 763-770, [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H).
- Dinçer, E. (2019). *Çok kriterli karar alma*, Gece Akademi, Ankara.
- Ebrahimzadeh Azbari, K., Ashofteh, P.S., Golfam, P., & Loaiciga, H.A. (2022). Application of the ARCAS group-hybrid decision-making method for wastewater reuse. *Environment, Development and Sustainability*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02822-5>.
- Friedman, L.T. (2006). *Dünya düzdür – Yirmi birinci yüzyılın kısa tarihi*, Boyner Yayınları, İstanbul.

- Görçün, Ö. F., Senthil, S., & Küçükönder, H. (2021). Evaluation of tanker vehicle selection using a novel hybrid fuzzy MCDM technique. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 4(2), 140-162, DOI: <https://doi.org/10.31181/dmame210402140g>.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis – Methods and software*, Wiley, United Kingdom.
- Karabasevic, D., Zavadskas, E.K., Turskis, V., & Stanujkic, D. (2016). The framework for the selection of personnel based on the SWARA and ARAS methods under uncertainties. *Informatica*, 27(1), 49-65, DOI: 10.15388/Informatica.2016.76.
- Keeney, R. (1992). *Value-focused thinking: A path to creative decision making*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 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.
- Khan Babar, A.H., Ali, Y., & Khan, A. U. (2021). Moving toward green mobility: Overview and analysis of electric vehicle selection, Pakistan a case in point. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 10994–11011, <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01101-5>.
- Khan, F., Ali, Y., & Khan, A.U. (2020). Sustainable hybrid electric vehicle selection in the context of a developing country. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13:489–499, <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00812-y>.
- Linkov, I., & Moberg, E. (2012). *Multi-criteria decision analysis: Environmental applications and case studies*, CRC Press, USA.
- Madić, M., & Radovanović, M. (2015). Ranking of some most commonly used nontraditional machining processes using ROV and CRITIC methods. *U.P.B. Scientific Bulletin, Series D, Vol. 77*, 193-204.
- Özbek, A. (2017). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ve excel ile problem çözümü*, Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara.
- Özdağoğlu, A., Keleş, M.K., & Genç, V. (2021). FUCOM ve PROMETHEE yöntemleri ile ticari araç seçimi: Peyzaj firmasında bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel Sayı), 231- 253, <https://doi.org/10.53487/ataunisobil.825910>.
- Özgüner, M., & Ovalı, E. (2022). Karayolu taşımacılığı yapan bir lojistik firmasının araç seçimi probleminin entropi tabanlı TOPSIS ve ARAS yöntemleri ile çözümlenmesi. *Alanya Akademik Bakış*, 6(3), 3287-3308, <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.1048672>.
- Pala, O. (2022). A mixed-integer linear programming model for aggregating multi-criteria decision making methods. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 5(2), 1-27, DOI: 10.31181/dmame0318062022p.
- Puska, A., Stojanovic, I., & Stilic, A. (2023). The influence of objective weight determination methods on electric vehicle selection in urban logistics. *Journal of Intelligent Management Decision*, 2(3), 117-129, DOI: 10.56578/jimd020302.
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31(1), <https://doi.org/10.1007/BF00134132>.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E.K., Karabasevic, D., Turskis, Z., & Kersulienė, V. (2017). New group decision-making ARCAS approach based on the integration of the SWARA and the ARAS methods adapted for negotiations. *Journal of Business, Economics and Management*, 18(4), 599-618, DOI: 10.3846/16111699.2017.1327455.
- Stanujkic, D., & Zavadskas, E.K. (2015). A modified weighted sum method based on the decision-maker's preferred levels of performance. *Studies in Informatics and Control*, 24(4), 461-469, DOI: 10.24846/v24i4y201510.
- Stock, J.R., & Lambert, D.M. (2001). *Strategic logistics management*, McGraw-Hill Higher Education, USA.
- Sürmen, Y., & Aygün, D. (2006). Türkiye’de lojistik faaliyetler ve muhasebe işlemleri – I. *Muhasebe ve Finansman Öğretim Üyeleri Bilim ve Araştırma Derneği (MUFAD) Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 30, Bursa.

- Tuş, A., & Aytaç Adalı, E. (2019). The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem. *OPSEARCH*, 56, 528-538, <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00371-6>.
- Ulutaş, A., & Yürüyen, A. -A. (2019). Nakliye aracı seçimi için karşılaştırmalı çalışma. 2. *International Conference on Empirical Economics and Social Science (ICEESS' 19)*, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, 20-22 Haziran 2019, Balıkesir, 861-868.
- Wang, D., & Zhao, J. (2016). Design optimization of mechanical properties of ceramic tool material during turning of ultra-high-strength steel 300m with AHP and CRITIC method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84, 2381-2390, DOI: 10.1007/s00170-015-7903-7.
- Zavadskas, E.K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172, DOI: 10.3846/tede.2010.10.