

## **VERİ ZARFLAMA ANALİZİ, TOPSİS VE VIKOR TEKNİKLERİYLE FORKLİFT ARACI SEÇİMİ: KARMA MODEL ÖNERİSİ**

Ayhan DEMİRCİ\*  
Gökçe MANAVGAT\*\*

### **Öz:**

Bir ürüne ait bileşenlerin hemen hemen her safhasında yer alan lojistik fonksiyon sahalarının her biri ayrı bir maliyet unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla karlılık ve rekabet edebilirlik konumunun korunması için üreticilerin, bu fonksiyon sahalarına yönelmeleri ve özellikle lojistik fonksiyon sahalarında maliyet iyileştirme alanları aramaları yerinde olacaktır. Bu noktada özellikle yüksek maliyetlere sebep olan ve önemli ölçüde sermaye gerektiren teknik donanım yatırımları, ilk defada doğru karar verilmesini gerektiren stratejik önemi haiz kararlardandır. İstif aracı tedarik konusu da bu kapsamda ele alınabilir. Zira üretim akışının neredeyse tüm aşamalarında yer alan elleçleme faaliyetinin ana unsurudur. Lojistik ana fonksiyon sahaları arasında önemli bir yer tutan ve üretim akışı boyunca neredeyse her aşamada ihtiyaç duyulan elleçleme faaliyetlerinin vazgeçilmez ekipmanı olan forklift araçlarını bu kapsamda ele almak yanlış olmayacaktır. Bu noktada çalışmada, günümüzde benzer stratejik kararlar için sıklıkla başvuru çok kriterli karar verme tekniklerinden Veri Zarflama Analizi, TOPSIS ve VIKOR teknikleri yardımıyla, benzer özelliklere sahip alternatifler arasından bir forklift aracı seçim kararı verilmiştir. Her üç yöntemle yapılan analizler sonucunda, lojistik süreci için optimal çözüm olabilecek, en iyi alternatif forklift aracının aynı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik Maliyetler, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri, İstif Aracı Seçimi, Veri Zarflama Analizi, TOPSIS, VIKOR.

**Jel Kodu:** C44, C49, C61

---

\* Doç.Dr., Toros Üniversitesi İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Mersin Türkiye, [ayhan.demirci@toros.edu.tr](mailto:ayhan.demirci@toros.edu.tr), ORCID: 0000-0003-3788-4586

\*\* Dr. Öğr. Üyesi, Toros Üniversitesi İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Mersin Türkiye, [gokce.manavgat@toros.edu.tr](mailto:gokce.manavgat@toros.edu.tr), ORCID: 0000-0003-3729-835X

**Makale gönderim tarihi:** 30.07.2020

**Makale kabul tarihi:** 09.12.2020

**Künye Bilgisi:** 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), 2-27.

## **Forklift Truck Selection by Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques**

### **Abstract**

Each of the logistics functions in almost every phase of a product's components emerges as a separate cost element. Therefore, in order to make possible profitability and competitiveness, it would be appropriate for manufacturers to focus and to look for cost improvement areas especially in logistics functions. At this point, technical hardware investments, which cause high costs and require significant capital, are strategic decisions that require the right decision for the first time. The matter of forklift truck procurement can also be covered in this context. Because it requires high value investment and also is the main element of the handling activity that takes place in almost all stages of the production flow. In this study, a selection decision was made among alternative forklift trucks with similar features by using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and VIKOR techniques, which are the multi-criteria decision-making techniques frequently used for similar strategic decisions. As a result of the analysis made with all three methods, it was determined that the best alternative forklift truck that would be optimal solution for the logistics process was the same.

**Key Words:** Logistics Costs, Multi-Criteria Decision Making Techniques, Forklift Truck Selection, Data Envelopment Analysis, TOPSIS, VIKOR.

**Jel Code:** C44, C49, C61

## **Giriş**

Günlük hayatta birçok konuda karar verilmektedir. Bu kararların büyük bir çoğunluğu sıradan, rutin konulardaki kararlar olmakla birlikte bazı kararlar da nadiren karşılaşılan durumlarda verilen ve sonuçları itibariyle önem arz eden kararlardır (Aladağ, 2014: 4-5). İşte yatırım kararları da bu türden kararlar arasında yer almaktadır.

Yatırım kararları gerek ödeme planı ve gerekse sağlayacağı faydalar dikkate alındığında, genellikle uzun vadeli olan stratejik kararlardır. Bu tür kararlar bir sabit sermaye yatırımı olan bina veya tesis kurma kararları olabileceği gibi yüksek maliyetli herhangi bir ekipman alımını da içerebilmektedir.

Bu tür ekipmanların tedarik aşamasında tüm kriterlerin göz önüne alınması ve katlanılacak maliyetin optimize edilmesi, dolayısıyla çok farklı yetenekler sunan çeşitli alternatifler arasından, ihtiyaçları karşılayacak en uygun olanının seçilmesi son derece önemlidir. Zira alım yapılacak bir ekipmandan beklenen verimin sağlanması, çoğu zaman katlanılacak maliyetin önüne geçmektedir. Aksi durumda gerek duyulmayan bir yetenek için ilave maliyetlere katılmak durumunda kalınmakta ve ekipmanla birlikte sunulan atıl yetenekler kullanılamamaktadır.

Birçok alanda depolama, istifleme ve kısmen üretim aşamalarında sıklıkla kullanılan forklift aracı alımı kararı da hem uzun vadeli kullanım beklentisi hem de yüksek maliyetleri nedeniyle önemli yatırım kararları arasında sayılabilir. Tedarik edilecek forklift aracı sayısının artması halinde bu maliyetlerin boyutu, kullanıcının geleceğini etkileyecek boyutlara da ulaşabilmektedir.

Bu kapsamda çalışmada, özellikle lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin depolama faaliyetlerinde önemli bir yardımcı araç olarak kullanılan forkliftin satın alması ya da yatırım kararında, farklı alternatifler karşısında optimal kararın verilmesini sağlayan karma çözümler yapılmış ve bu doğrultuda en iyi forklift alternatifine karar verilmiştir. Diğer bir deyişle, farklı forklift alternatifleri ve onlara özgü özellikler doğrultusunda depolama sürecine en etkin katkıyı sunacak aracın belirlenmesi sağlanmıştır. Zira bu tür yatırım kararları işletmeler açısından son derece önemli ve olası hatalı bir kararın sonradan düzeltilmesinin çoğu zaman olanaksız olduğu kararlardır. Böylece yapılacak sabit sermaye yatırımının hem maliyet hem de süreç etkinliğine olan katkısı farklı karar teknikleri kapsamında ele alınarak en iyi kararın verilmesine yönelik karma bir seçimde bulunulmuştur. Çalışmada, Veri

Zarflama Analizi, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılmış ve ortak çözüm kümesinde yer alan en iyi alternatif forklift aracı belirlenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde literatür kapsamında benzer Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile yapılan araç seçim çalışmalarına yer verilmiş ve kullanılan değişkenler incelenmiştir. İkinci bölümde karar ve karar verme kavramlarının yanı sıra çok kriterli karar verme teknikleri ve çalışmada kullanılan teknikler (Veri Zarflama Analizi, TOPSIS ve VIKOR) hakkında metodolojiye yer verilmiş ve çalışmada kullanılan alternatif karar verme birimleri (KVB) (forklift) ve değişkenler hakkında bilgiler aktarılmıştır. Üçüncü bölümde aynı veriler kullanılmak suretiyle, her üç yöntem sonucunda elde edilen bilgiler sunulmuş ve böylece tekniklerin ürettikleri sonuçların anlamlılığı üzerinde durulmuştur. Son olarak dördüncü bölümde elde edilen bulgular tartışılmış ve en iyi alternatife karar verilmesi sağlanmıştır.

## **1. Literatür Araştırması**

Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin son yıllarda muhtelif araç seçiminde de yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu bölümde farklı araç türleri için farklı yöntemlerle yapılan benzer çalışmalardan bazı örneklere yer verilmiş ve sıklıkla kullanılan kriterler belirlenmesi aşamasında bu çalışmalardan yararlanılmıştır.

Fazlollahtabar vd. (2019) fiyat (EUR), yaş (yıl), çalışma süresi (saat), yükleme kapasitesi (kg), maksimum lift yüksekliği (mm), ekolojik faktörler ve yedek parça temin olanakları kriterlerini kullanarak yedi farklı forklift aracı arasından en uygun alternatifin seçiminde FUCOM ve WASPAS tekniklerini kullanmışlardır.

Keleş (2019) benzer özelliklere sahip yedi farklı markaya ait B segmenti otomobil seçenekleri arasından en uygun olanının seçimini Entropi ve ELECTRE III tekniklerini kullanmıştır. Motor gücü (bg), 0-100 km/h hızlanma süresi (sn), ulaştığı maksimum hız (km/h), şehir içi yakıt tüketimi (lt/100km), şehir dışı yakıt tüketimi (lt/100km), CO2 emisyonu (g/km) ve satış fiyatı (TL) kriterlerinin kullanıldığı çalışmada en uygun aracın seçimi yapılmıştır.

Ulutaş ve Yürüyen (2019) en uygun kamyon aracı seçimini yapmak için PSI, ARAS, OCRA ve MOORA yöntemlerinden yararlanmışlardır. Anbarcı, Öz ve Giran (2017) tarafından kullanılan; Azami güç (ps), Azami tork (Nm), Yakıt tankı (lt), Azami yüklü ağırlık (ton), Aks Tahvil Oranı, Boş Ağırlık (ton) ve Fiyat (TL) kriterlerinin kullanıldığı çalışma sonucunda

farklı yöntemlerle 4 farklı kamyon alternatifi arasından en uygun olanının seçimi sağlanmıştır. Voćkić vd. (2018) elektrikli forklift seçiminde SWARA ve ARAS tekniklerini kullanmışlardır. Uygulamada fiyat (EUR), ömür devri (yıl), kullanım süresi (saat), maksimum kaldırma kapasitesi (mm), batarya kapasitesi (V) ve yük taşıma kapasitesi (kg.) kriterlerini kullanmışlardır.

Anbarcı, Öz ve Giran (2017) MOORA tekniğini kullanarak en uygun nakliye aracının seçimini yapmışlardır. Çalışmalarında Azami güç (ps), Azami tork (Nm), Yakıt tankı (lt), Azami yüklü ağırlık (ton), Aks Tahvil Oranı, Boş Ağırlık (ton) ve Fiyat (TL) şeklinde yedi kriteri kullanmışlar ve 4 alternatif arasından bir seçim gerçekleştirmişlerdir.

Arslan (2017) bir lojistik firması tarafından yapılacak olan toplu araç alımı için bilimsel bir karar destek sağlamak amacıyla; Garanti Süresi (Yıl), Fiyat (x1000 Euro), Yakıt Tüketimi (Lt./100 km.) ve Güç (Hp) kriterlerini kullanmıştır. AHP ve ARAS yöntemlerinin kullanıldığı çalışma sonucunda 4 alternatif arasından en uygun aracın seçimi önerilmiştir.

Soba (2012) PROMETHEE tekniğini kullandığı çalışmasında; fiyat, yakıt, maksimum hız, güvenlik, beygir gücü ve performans olmak üzere 6 kriter kullanmıştır. Aynı sınıftan 6 farklı panelvan aracı arasından en uygun olanının seçimi sağlanmıştır.

Ballı vd. (2007) fiyat, yakıt, performans ve güvenlik kriterlerini kullanarak Bulanık PROMETHEE tekniği ile araç seçimi yapmışlardır. Aynı sınıftan yedi farklı otomobil alternatifi arasından en uygun olanının seçimi sağlanmıştır.

Literatür araştırması sonucunda araç seçiminde genellikle “fiyat”, “yakıt tüketimi”, “yükleme kapasitesi”, “motor ömrü” ve “satış sonrası destek olanakları” kriterlerinin önemli görüldüğü ve kullanıldığı belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışmaya yön veren bu kriterler ele alınmış ve uygulama bölümünde kullanılmıştır.

## **2. Karar Verme ve Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri**

Günlük hayatta ulusal veya yerel düzeyde, bir şirket veya departman, hatta aile içinde sıklıkla verile kararlar, bir şeyi yapmak ya da yapmamakla ilgilidir (Roy, 1996: 3). Çok kriterli karar verme, birbiriyle çelişen kriterlerin aynı anda optimum tasarıma dahil edilerek, belirli kısıtlar altında bir hedefe ulaşılması problemlerini içerir (Tzeng ve Huang, 2011: 4).

Bir ihtiyacın giderilmesinde veya bir problemin ortadan kaldırılmasında en az iki farklı çözüm alternatifinin bulunması halinde karar verme işleminden bahsedilebilir. Dolayısıyla “karar

verme” sürecinin başlayabilmesi için ortada bir ihtiyaç veya problem bulunması gerekmektedir. Ancak karar vericiler için bundan daha da önemlisi, bu ihtiyacı giderebilecek veya problemin çözümünde kullanılacak en az iki farklı alternatifin olması gerekmektedir (Demirci, 2019: 237).

Kararı etkileyen çok sayıda ve farklı ağırlıklarda kriter bulunmaktadır. Geleneksel ve çağdaş karar verme yöntemleri şeklinde iki grupta incelenen karar teorisine göre kararlar; belirsizlik ortamı, risk ortamı ve belirlilik ortamı altında verilmektedir (Aktaş vd., 2015: 23-24). Burada belirsizliğin yoğunluğuna ve hatta karar sonucunun maliyet yüksekliğine bağlı olarak, kararı etkileyen kriter sayısının artacağı ve ağırlıklandırmalarının güçleşeceği söylenebilir. Dolayısıyla aynı konuda verilen benzer kararların aynı olması beklenemez.

Bu nedenle problemi parçalar halinde çözmeye kolaylığı sağlayan ve nispeten daha rasyonel sonuç üreten Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri, kararı etkileyen tüm kriterleri aynı anda çözüme dahil ederek birden fazla kriterin optimize edilmesine olanak sağlamakta ve en iyi alternatifin seçiminde karar vericiye tek bir karar dağılımı sunmaktadır (Yaralıoğlu, 2010: 13; Turan, 2015:15).

Günümüzde birbirinden farklı çözüm yolları kullanılarak birbirine yakın sonuçlar üreten çok sayıda çok kriterli karar verme teknikleri bulunmaktadır. Ancak yöntem sayısının artması bir zayıflığı da beraberinde getirmiştir. Zira sonuçlar arasındaki farklılıkların anlamları üzerinde bir yorum yapılabilme olanağı bulunmamaktadır (Ishizaka ve Nemery, 2013: 5-8).

Çalışmada bu yöntemlerden veri zarflama analizi (VZA), TOPSIS ve VIKOR kullanılarak forklift araç seçimi için örnek bir uygulama ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## **2.1. Veri Zarflama Analizi**

Farrell’in 1957 yılındaki etkinlik çalışmalarını (Farrell, 1957: 253-290) temel alan ve 1978 yılında geliştirerek (Charnes vd., 1978: 429-444) çoklu girdi çoklu çıktı ile etkinlik ölçümüne olanak sağlayacak şekilde kavuşturan Rhodes tarafından önerilen VZA; farklı ölçeklerle ölçülmüş birden çok girdi ve çıktının karşılaştırma yapmayı zorlaştırdığı durumlarda, karar birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmede kullanılan doğrusal programlama tabanlı bir tekniktir. VZA; KVB’lerini, ortalama değeri ifade eden regresyon doğrusuna göre değerlendiren parametrik yöntemlerin aksine, en iyi uygulamayı ifade eden Pareto etkinlik sınırına olan konumuna göre değerlendiren parametrik olmayan bir tekniktir. Parametrik yöntemlerde her

bir KVB'ni, basit regresyon denklemi temsil eder ve her bir KVB bu ortalama değere göre değerlendirilirken, VZA her bir bireysel gözlemi, bir değerine göre değerlendirir. Parametrik yaklaşım hata teriminin dağılımı hakkında bir ön koşul gerektirir (örneğin, hata teriminin genellikle normal dağıldığı kabul edilir), ancak VZA herhangi bir fonksiyonel formu ön koşul olarak zorunlu kılmaz. VZA, tüm KVB'lerini ayrı ayrı değerlendirmeye alarak, etkinlik sınırının üzerinde veya altında aldığı konuma göre değerlendirme yapar (Charnes vd., 1997, 2-4).

VZA, pazar payları ve üretim olanakları birbirinden farklı olmakla birlikte, benzer türden üretim gerçekleştiren KVB'ler arasında bir etkinlik puanlaması yapabilme özelliğine sahiptir. Dolayısıyla KVB'lerin belirli ortak özellikleri olması, aynı hedefe yönelik, benzer faaliyet alanlarında yer almaları önemlidir. Faaliyet alanına bağlı olarak, yoğunluk ve büyüklüklerindeki farklılıklar dışında, etkinlik düzeyinde öne çıkan kriterlerin de aynı olması şartları aranır (Kayalıdere ve Kargın, 2004).

Çoklu girdi ve çoklu çıktı değerlerin, ağırlıklandırılmak suretiyle, doğrusal olarak bir araya getirildiği VZA uygulamalarında bir KVB'nin ağırlıklı toplam girdisi,  $v_i$ ,  $x_i$  girdisinin ağırlık değeri olmak üzere, Eşitlik (1)'de belirtildiği şekilde hesaplanır (Charnes vd., 1982: 223-224; Charnes vd., 1985: 91-107).

$$\text{Toplam Ağırlıklı Girdi} = \sum_{i=1}^I v_i x_i \quad (1)$$

Aynı şekilde toplam ağırlıklı çıktı da,  $u_i$ ,  $y_i$  çıktısının ağırlık değeri olmak üzere, Eşitlik (2)'de belirtildiği şekilde hesaplanır.

$$\text{Toplam Ağırlıklı Çıktı} = \sum_{j=1}^J u_j y_j \quad (2)$$

Dolayısıyla oran analizinde olduğu gibi basit etkinlik ölçümlerinde kullanılan çıktıların girdilere oranı ifadesi, VZA uygulamalarında ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranı şeklini alır ve Eşitlik (3) ile gösterilen forma dönüşür.

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Toplam Ağırlıklı Çıktı}}{\text{Toplam Ağırlıklı Girdi}} = \frac{\sum_{j=1}^J u_j y_j}{\sum_{i=1}^I v_i x_i} \quad (3)$$

Literatürde yaygın kullanım alanı bulan VZA'nın uygulamada önemli bazı güçlü yönleri şu şekilde belirtilebilir (Kaini, 2008);

- Bütün KVB'lerinin tam etkin olduğu varsayımına dayanmaz ve etkinsiz performansın varlığını kabul eder,
- Toplam faktör verimliliğinin, teknolojik değişim ve teknik etkinlik değişimi şeklinde ayrıştırılmasını mümkün kılar,
- Analize ilave bir KVB eklenmesi, mevcut KVB'ler için hesaplanan teknik etkinlik skorunun artmasına sebep olmaz,
- Analize ilave girdi veya çıktı eklenmesi, teknik etkinlik skorunun azalmasına sebep olmaz,
- Çoklu girdi ve çıktı veri setlerine kolaylıkla uygulanabilir,

Ayrıca yöntemin; farklı ölçü birimlerinde girdi ve çıktı kullanabilme ve her bir KVB'yi birbirinden bağımsız değerlendirebilme (Biesebroeck, 2007), en iyiye göre etkinlik değerlendirmesi yaparak, her bir KVB için en iyi örnek tanımlama ve bir sınır yapılandırma, böylece bu sınır doğrultusunda bulunulan koordinata göre etkin veya etkinsiz kararı verme (Mok vd., 2007), etkinsiz KVB'ler için potansiyel gelişim noktalarını belirleyebilme ve böylece etkinlik sınırı ile zarf içine alınmış olan etkinsiz KVB'lerle, sınır üzerinde yer alan KVB'ler arasında yapılan bir karşılaştırma yoluyla kaynak kullanımı ile girdi ve çıktıların her biri için etkinlik seviyesi belirleyebilme (Şevkli vd., 2007), ekonomik teori ve metotlarla desteklenme, mutlak değil göreceli etkinlik üzerine odaklanma, çoklu girdi ve çıktıları eşgüdümlü olarak hesaplamaya dâhil edebilme ve en iyi örneği tanımlayarak hedef olarak belirleyebilme (Kontodimopoulos vd., 2007) ve az sayıda gözlem kümesiyle sonuca ulaşılabilme (Pasiouras, Liadaki ve Zopounidis, 2008) gibi bir çok güçlü yönü bulunmaktadır. Tüm bu güçlü yönlerinin yanı sıra VZA uygulamalarının belli başlı zayıf yönleri de aşağıda sıralanmıştır (Aydağın, 2003);

- VZA genel olarak fiziksel girdi ve çıktı ölçütleri ile test edildiğinden, sonuçlar teknik girdi-çıkıtı etkinliğiyle sınırlıdır. Yöntemin yetenekleri çıktı ve girdilere (eğer mümkünse) göreceli değerler ve öncelikli ağırlıklar atanarak güçlendirilebilir,
- Kalitatif (nitel) girdi ve çıktı ölçüleri, sonuçları zayıflatabilmektedir,
- İlgili girdi ve çıktıların üretim sürecini doğru olarak yansıtabilmesi, yöntemin sağlıklı sonuçlar vermesi açısından hayati önemdedir. Kritik bir girdi ya da çıktı inceleme dışı bırakıldığında yöntemin verdiği sonuçlar yanıltıcı ve yanlış olacaktır,
- VZA'da, gözlemlenen performansın en iyi performansla olan farkı, sadece



verimsizliğe bağlanmakta ve uç gözlem noktaları için ölçüm hataları göz ardı edilmektedir. Dışsalılıkların göz ardı edilmesi yanıltıcı sonuçlar doğurabilir,

- VZA modelleri, statik ve tek zaman kesitinde değerlendirilen modellerdir. Gerçek hayatta ise KVB'lerinin bazı girdilerini çıktılara dönüştürebilmesi belirli bir süre alacağından, üretim süreci dinamik bir özellik göstermektedir. Bu sebeple farklı periyotlardaki veriler için uygun indirgeme oranlarının kullanılması gerekecektir,
- Başvuru grubuna dâhil olan KVB'lerin kendi başlarına değerlendirildiğinde, gerçekten etkin olup olmadıkları hakkında bir yorum yapılabilmesi güçleşmektedir. Bu sebeple VZA etkinlik sonuçları, görecelik çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Parametrik olmayan yapısı gereği VZA için hipotez testinin bulunmaması ve dolayısıyla gözlenen farklılıkların anlam seviyeleri istatistiksel olarak açıklanamaması (Pereira, 2006), yöntemde kullanılan verilerdeki ölçüm ve modelleme hatalarına karşı hassasiyet (Hansson, 2007) ve orijinal VZA modelinin, etkin KVB'ler arasında belirli bir sıralama yapma olanağı bulunmaması (Zzadeh, 2008) gibi önemli bazı zayıflıkları da mevcuttur.

Ölçeğe göre değişken getiri koşullarında sonuç üreten CCR modeli, ölçeğe göre sabit getiri koşullarında sonuç üreten BCC modeli gibi yaygın kullanılan iki modelinin yanı sıra toplamsal ve çarpımsal modelleri de bulunan VZA uygulamalarında, diğer tüm çok kriterli karar verme tekniklerinde olduğu gibi benzer aşamalardan geçilerek sonuca ulaşılır (Golany ve Roll, 1989).

## **2.2. TOPSIS Tekniği**

Çok kriterli karar verme teknikleri arasında en kapsamlı karşılaştırmayı yaparak sonuç üreten TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilmiştir. Uygulamada alternatifler ideal çözümlere olan yakınlık ve uzaklıklarına göre kıyaslanması suretiyle alternatiflerin tercih sıralamasının belirlenmesinde kullanılan uzlaşık bir yöntemdir. Buna göre pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olan karar alternatifi tercih edilir (Aktaş vd., 2015: 229).

TOPSIS yönteminin uygulama aşamaları şu şekilde sıralanabilir (Yıldırım ve Önder, 2015: 135-139; Dinçer, 2019: 76-80; Özüdoğru ve Görener, 2018: 70-81; Çelikkbilek, 2018: 175-192; Özbek, 2017: 201-214; Özçalıcı, 2017: 57-67; Paksoy, 2017: 23-35; Yaralıoğlu, 2010: 23-28);

- Eşitlik (4)'deki gibi bir karar matrisinin oluşturulması,

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

- Eşitlik (5)'de yer verilen formül yardımıyla, Eşitlik (6)'daki bir normalize matrisin elde edilmesi,

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i = 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n) \quad (5)$$

$$A_{ij}^* = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

- Diğer bazı çok kriterli karar verme tekniklerinden veya uzman görüşünden yararlanılarak elde edilen kriter ağırlıkları ile normalize matrisin elemanlarının çarpımı sonucunda Eşitlik (7) ile gösterilen ağırlıklandırılmış normalize matrisin elde edilmesi,

$$V = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & \dots & w_n x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_2 x_{22} & \dots & w_n x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 x_{m1} & w_2 x_{m2} & \dots & w_n x_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

- Amaç fonksiyonunun maksimizasyon olması halinde Eşitlik (8) yardımıyla her sütundaki en büyük değeri, amaç fonksiyonunun minimizasyon olması halinde ise Eşitlik (9) yardımıyla her sütundaki en küçük değeri ifade eden ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin belirlenmesi,

$$A^* = \left\{ \max_j v_{ij} \mid j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n \right\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (8)$$

$$A^* = \left\{ \min_i v_{ij} \text{ olmak üzere} \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (9)$$

- $p$ : değişken sayısı,  $x_{ik}$ :  $i$ . gözlemin  $k$ . değişken değeri ve  $x_{jk}$ :  $j$ . gözlemin  $k$ . değişken değeri olmak üzere Eşitlik (10)'da gösterilen formül yardımıyla Öklidyen bağıntının ve Eşitlik (11) yardımıyla pozitif ideal uzaklık ile Eşitlik (12) yardımıyla negatif ideal noktaya uzaklık değerlerinin belirlenmesi,

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (10)$$

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (11)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (12)$$

- Eşitlik (13) yardımıyla her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının hesaplanması,

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (13)$$

Bu değer  $0 \leq C_i^* \leq 1$  şeklinde bir değer alır. Burada  $C_i^* = 1$  ilgili karar noktasının ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterirken,  $C_i^* = 0$  ise ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

### 2.3. VIKOR Tekniği

Farklı birimlerle ölçülmüş ve birbiriyle çelişen kriterlerin varlığı halinde, alternatifler arasında seçim yapılmasına olanak sağlayan VIKOR (VISeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) tekniği, S. Opricovic (1998) tarafından önerilen çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir. VIKOR yöntemi, çoğunluk için maksimum grup faydası, karşıt görüşlüler için ise minimum kişisel pişmanlığı sağladığı için karar vericiler tarafından kabul

edilebilir bir uzlaşık sonuç ürettiği ifade edilebilir ve  $J$ , alternatif sayısını;  $A_j = \{x_1, x_2, \dots\}$ , belirli  $x$  değeriyle elde edilen  $j$ 'inci alternatifi;  $f_{ij}$ ,  $A_j$  alternatifi için  $i$ 'inci kriter fonksiyonunu;  $n$ , kriter sayısını;  $mco$ , çok kriterli karar verme yöntemini belirtmek üzere matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir (Opricovic ve Tzeng, 2004: 445; Opricovic ve Tzeng, 2007: 516; Mardani vd., 2016: 3).

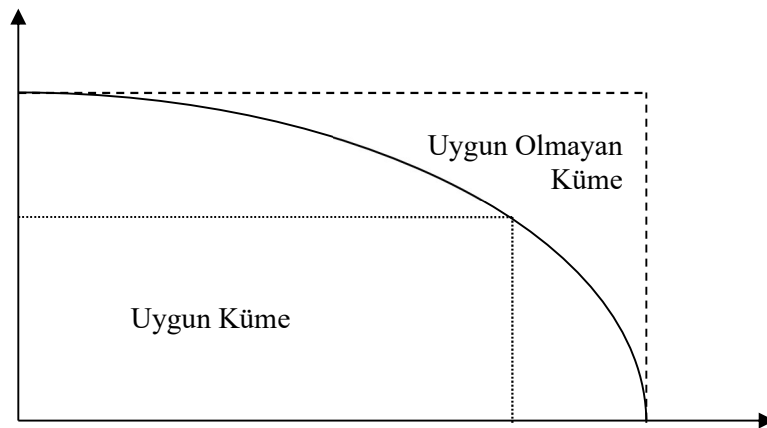
$$mco_j \{(f_{ij}(A_j), j = 1, \dots, J), i = 1, \dots, n\}$$

VIKOR yönteminin geliştirilmesi, Eşitlik (14) ile başlamıştır. Burada Duckstein ve Opricovic (1980) tarafından tanıtılan  $L_{p,j}$ ,  $A_j$  alternatifinin ideal çözüme olan mesafesini temsil eder. Buna göre Şekil 1.'de uygun küme ve uygun olmayan küme gösterilmiştir (Opricovic, 2009: 232);

$$L_{p,j} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)]^p \right\}^{1/p}, \quad 1 \leq p \leq \infty; j = 1, 2, \dots, J \quad (14)$$

Burada Duckstein ve Opricovic (1980) tarafından tanıtılan  $L_{p,j}$ ,  $A_j$  alternatifinin ideal çözüme olan mesafesini temsil eder. Buna göre Şekil 1'de uygun küme ve uygun olmayan küme gösterilmiştir (Opricovic, 2009: 232).

Şekil 1. Uygun Küme – Uygun Olmayan Küme



VIKOR tekniğinde de başlangıç aşaması Eşitlik (4) ile gösterilen karar matrisinin

hazırlanmasıdır (Özbek, 2017: 219-221). Daha sonra tüm kriterler için; Eşitlik (15) yardımıyla en iyi ( $f_j^+$ ) ve Eşitlik (16) yardımıyla en kötü ( $f_j^-$ ) değerleri belirlenir.

$$f_i^+ = \max_i x_{ij}, f_i^- = \min_i x_{ij}; j. \text{ fonksiyon fayda cinsinden ise} \quad (15)$$

$$f_i^+ = \min_i x_{ij}, f_i^- = \max_i x_{ij}; j. \text{ fonksiyon maliyet cinsinden ise} \quad (16)$$

Ardından en iyi ve en kötü değerler ile Eşitlik (17) kullanılarak Normalize Karar Matrisi elde edilir. Normalize matrisin elemanlarının, belirlenen kriter ağırlık değerleri ile çarpımı sonucunda VIKOR yönteminde olduğu şekilde, Eşitlik (7) ile gösterilen ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir.

$$(f_j^+ - x_{ij}) / (f_j^+ - f_j^-) \quad (17)$$

Sonraki aşamada;  $w_j$ , kriter ağırlıklarını ve göreceli önemlerini ifade etmek üzere, ağırlıklandırılmış karar matrisinde yer alan verilerden Eşitlik (18) yardımıyla  $S_i$  değerleri ve Eşitlik (19) yardımıyla  $R_i$  değerleri belirlenir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_j^+ - x_{ij}) / (f_j^+ - f_j^-) \quad (18)$$

$$R_i = \max_j [w_j (f_j^+ - x_{ij}) / (f_j^+ - f_j^-)] \quad (19)$$

Ardından  $v$  değeri maksimum ortak faydayı sağlayan strateji için ağırlığı ifade etmek üzere, Eşitlik (20) yardımıyla  $Q_i$  değeri hesaplanır.

$$Q_i = \frac{v(S_i - S^+)}{(S^- - S^+)} + \frac{(1 - v) * (R_i - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (20)$$

Tüm alternatifler, belirlenen  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri için, karar esas olmak üzere sıralanır. Burada en büyük değere sahip alternatif karar alternatifini olarak kabul edilebilir. Ancak alternatif sayısının çok olması halinde öne sürülen iki kabul şartı daha bulunmaktadır. Dolayısıyla son aşamada; Eşitlik (21)'e göre kabul edilebilir avantaj şartı, bunun sağlanamaması halinde ise Eşitlik (22)'ye göre kabul edilebilir istikrar şartları kontrol edilerek

uzlaşık en iyi sıralama belirlenir. Her iki şartın da sağlanamaması halinde ilk iki sıradaki alternatifler en iyi uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.

$$Q_2 - Q_1 \geq DQ \quad (21)$$

$$Q_{max.} - Q_1 < DQ \quad (22)$$

Eşitlik (21) ve Eşitlik (22)'de yer alan DQ değeri; j, alternatif sayısı olmak üzere

$$DQ = \frac{1}{j-1} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

### 3. Forklift Aracı Seçiminde Karma Uygulamalar

Depolama faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan forklift aracı tedariki aşamasında, farklı alternatifler arasından bir seçim yapılması maksadıyla birbirinden farklı yetenekler sunan 7 farklı alternatif ve tüm modeller için 5 farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerden; “fiyat (USD)” ve “yakıt tüketimi (1 saatte)” maliyet yönlü, “yükleme kapasitesi (lbs.)”, “motor ömrü (saat)” ve “satış sonrası destek olanakları (1-10)” ise fayda yönlü olarak ele alınmıştır.

Alternatifler için belirlenen kriterlere ait veriler ilgili markaların resmî web sitelerinden ve forklift operatörü uzman görüşüne dayanılarak elde edilmiştir. Marka gizliliği nedeniyle bu bilgiler açık olarak paylaşılmamış, tüm modeller “Alternatif” şeklinde kodlanmıştır. Elde edilen ve analizlerde kullanılan verilerden oluşturulan Karar Matrisi Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Karar Matrisi

İstif Aracı Markası	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek (1-10)
	<b>MİN.</b>	<b>MİN.</b>	<b>MAKS.</b>	<b>MAKS.</b>	<b>MAKS.</b>
Alternatif 1	10.000	28	6.000	15.000	5
Alternatif 2	11.500	30	10.000	12.500	6
Alternatif 3	14.000	26	5.000	17.000	5
Alternatif 4	41.000	33	14.500	22.500	10
Alternatif 5	27.500	35	6.613	20.000	8
Alternatif 6	17.500	29	5.750	18.000	6
Alternatif 7	24.000	27	4.000	23.500	8

### 3.1. Veri Zarflama Analizi Sonuçları

Veri zarflama analizi için yönteme özel hazırlanmış Frontier Analyst paket programı kullanılmış ve yöntemin her iki modeli ile (CCR ve BCC) analizler yapılmıştır. Analizlerde karar matrisinde yer alan maliyet yönlü kriterler girdi verileri olarak ve fayda yönlü kriterler de çıktı verileri olarak ele alınmıştır. Buna göre hesaplanan alternatiflerin etkinlik skorları ve bu skorlara göre yapılan sıralama Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Veri Zarflama Analizi Etkinlik Skorları

Karar Alternatifleri	CCR Skorları	Sıralama	BCC Skorları	Sıralama
Alternatif 1	100,00	2	100,00	2
Alternatif 2	100,00	4	100,00	4
Alternatif 3	100,00	1	100,00	1
Alternatif 4	100,00	5	100,00	5
Alternatif 5	84,30	7	89,86	7
Alternatif 6	93,74	6	93,70	6
Alternatif 7	100,00	3	100,00	3

Veri zarflama analizi ile esasen tam etkin alternatifler arasında bir sıralama yapılabilmesi mümkün olmamaktadır. Ancak yapılan sıralama, kullanılan paket programının sağladığı bir bilgi olan referans set sıklık dağılımı ile belirlenmiştir. Buna göre VZA ile yapılan çözümler sonucunda Alternatif 3 karar için en uygun seçenek olarak kabul edilmelidir. Bunu Alternatif 7 ve Alternatif 1 takip etmektedir.

Bunun yanı sıra elde edilen diğer bir bilgi de kriter ağırlıklarıdır. Kriter ağırlıkları analitik hiyerarşi süreci gibi başka bazı çok kriterli karar verme teknikleri yardımıyla elde edilebileceği gibi uzman görüşü ile de belirlenebilmektedir. Belirlenen kriter ağırlıkları Tablo 3’te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Kriter Ağırlıkları

Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek
0,31	0,48	0,02	0,15	0,04

Çalışmada kullanılan kriter ağırlıkları, veri zarflama analizi yardımıyla belirlenmiş ve TOPSIS ve VIKOR tekniklerinin uygulamasında da aynı ağırlıklar kullanılmıştır.

### 3.2. TOPSIS Tekniği Sonuçları

TOPSIS tekniği ile yapılan çözümlemede tüm aşamalar sırayla uygulanmış ve Eşitlik (5) yardımıyla, Tablo 1’de sunulan başlangıç matrisi normalize edilmiş, elde edilen normalize matris Tablo 4’te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Normalize Edilmiş Karar Matrisi

İstif Aracı Markası	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek
Alternatif 1	0,1633	0,3543	0,2785	0,3029	0,2673
Alternatif 2	0,1879	0,3797	0,4642	0,2524	0,3207
Alternatif 3	0,2287	0,3290	0,2321	0,3433	0,2673
Alternatif 4	0,6697	0,4176	0,6731	0,4543	0,5345
Alternatif 5	0,4492	0,4429	0,3070	0,4038	0,4276
Alternatif 6	0,2859	0,3670	0,2669	0,3635	0,3207
Alternatif 7	0,3920	0,3417	0,1857	0,4745	0,4276

Daha sonra Eşitlik (7) yardımıyla Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisi elde edilmiş ve Tablo 5’te sunulmuştur.

**Tablo 5.** Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisi

İstif Aracı Markası	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek
Alternatif 1	0,0506	0,1701	0,0056	0,0454	0,0107
Alternatif 2	0,0582	0,1822	0,0093	0,0379	0,0128
Alternatif 3	0,0709	0,1579	0,0046	0,0515	0,0107
Alternatif 4	0,2076	0,2005	0,0135	0,0681	0,0214
Alternatif 5	0,1393	0,2126	0,0061	0,0606	0,0171
Alternatif 6	0,0886	0,1762	0,0053	0,0545	0,0128
Alternatif 7	0,1215	0,1640	0,0037	0,0712	0,0171

Ardından Eşitlik (8) yardımıyla pozitif ideal çözüm değeri ve Eşitlik (9) yardımıyla negatif ideal çözüm değeri hesaplanır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 6’da gösterilmiştir.



**Tablo 6.** Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri ( $d_{ij}$ )

	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek
Pozitif İdeal Çözüm Değerleri	0,0506	0,1579	0,0135	0,0712	0,0214
Negatif İdeal Çözüm Değerleri	0,2076	0,2126	0,0037	0,0379	0,0107

Sonraki aşamada Eşitlik (11) yardımıyla hesaplanan pozitif ideal noktalara olan uzaklıklar Tablo 7’de ve Eşitlik (12) yardımıyla hesaplanan negatif ideal noktalara olan uzaklıklar Tablo 8’de sunulmuştur.

**Tablo 7.** Pozitif İdeal Noktalara Olan Uzaklıklar ( $S_i^*$ )

İstif Aracı Markası	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek	$S_i^*$
Alternatif 1	0,000000	0,000148	0,000062	0,000663	0,000114	0,0314
Alternatif 2	0,000058	0,000590	0,000018	0,001110	0,000073	0,0430
Alternatif 3	0,000410	0,000000	0,000078	0,000388	0,000114	0,0315
Alternatif 4	0,024642	0,001808	0,000000	0,000009	0,000000	0,1627
Alternatif 5	0,007853	0,002989	0,000054	0,000112	0,000018	0,1050
Alternatif 6	0,001442	0,000332	0,000066	0,000278	0,000073	0,0468
Alternatif 7	0,005026	0,000037	0,000095	0,000000	0,000018	0,0719

**Tablo 8.** Negatif İdeal Noktalara Olan Uzaklıklar ( $S_i^-$ )

İstif Aracı Markası	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek	$S_i^-$
Alternatif 1	0,024642	0,001808	0,000003	0,000057	0,000000	0,1628
Alternatif 2	0,022315	0,000923	0,000031	0,000000	0,000005	0,1526
Alternatif 3	0,018693	0,002989	0,000001	0,000186	0,000000	0,1479
Alternatif 4	0,000000	0,000148	0,000095	0,000917	0,000114	0,0357
Alternatif 5	0,004673	0,000000	0,000006	0,000516	0,000041	0,0724
Alternatif 6	0,014161	0,001328	0,000003	0,000278	0,000005	0,1256
Alternatif 7	0,007411	0,002362	0,000000	0,001110	0,000041	0,1045

Son aşamada Eşitlik (13) yardımıyla tüm alternatifler için ideal çözüme göreli yakınlık değerleri ve bu değerlere bağlı etkinlik sıralaması belirlenerek Tablo 9’da

sunulmuştur.

**Tablo 9.** İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değerleri ( $C_i^*$ ) ve Sıralama

İstif Aracı Markası	$C_i^*$	$C_i^*$ Sıralama	Sıralama
Alternatif 1	0,1617	7	1
Alternatif 2	0,2199	5	3
Alternatif 3	0,1754	6	2
Alternatif 4	0,8200	1	7
Alternatif 5	0,5920	2	6
Alternatif 6	0,2715	4	4
Alternatif 7	0,4077	3	5

Sonuç olarak beş kritere bağlı olarak yedi alternatif arasından TOPSIS tekniği ile yapılan seçimde ilk sırada Alternatif 1, ikinci sırada Alternatif 3 ve üçüncü sırada Alternatif 2 yer almıştır. Karar verme aşamasında en uygun forklift aracı Alternatif 1 olmalıdır.

### 3. VIKOR Sonuçları

VIKOR tekniği ile yapılacak uygulamada Tablo 1’de sunulan başlangıç matrisi ve Tablo 3’te sunulan kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Daha sonra fayda yönlü kriterler için Eşitlik (15) yardımıyla ve maliyet yönlü kriterler için Eşitlik (16) yardımıyla en iyi ( $f_j^+$ ) ve en kötü ( $f_j^-$ ) değerleri belirlenmiştir. Belirlenen en iyi ( $f_j^+$ ) ve en kötü ( $f_j^-$ ) değerleri Tablo 10’da gösterilmiştir.

**Tablo 10.** En İyi ( $f_j^+$ ) ve En Kötü ( $f_j^-$ ) Değerleri

Değerler	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek
$(f_j^+)$ Değerleri	10.000	26	14.500	23.500	10
$(f_j^-)$ Değerleri	41.000	35	4.000	12.500	5

Ardından Eşitlik (17) yardımıyla karar matrisinin normalizasyonu ve ağırlıklandırması yapılır. Bu kapsamda yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen normalize edilmiş karar matrisi Tablo 11’de ve ağırlıklandırılmış normalize matris de Tablo 12’de sunulmuştur.

**Tablo 11.** Normalize Edilmiş Karar Matrisi

İstif Aracı Markası	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek
Alternatif 1	0,00	0,22	0,81	0,77	1,00
Alternatif 2	0,05	0,44	0,43	1,00	0,80
Alternatif 3	0,13	0,00	0,90	0,59	1,00
Alternatif 4	1,00	0,78	0,00	0,09	0,00
Alternatif 5	0,56	1,00	0,75	0,32	0,40
Alternatif 6	0,24	0,33	0,83	0,50	0,80
Alternatif 7	0,45	0,11	1,00	0,00	0,40

**Tablo 12.** Ağırlıklandırılmış Normalize Matris

İstif Aracı Markası	Fiyat (USD)	Yakıt Sarfıyatı (1 saatte)	Yükleme Kapasitesi (lbs)	Motor Ömrü (Saat)	Satış Sonrası Destek
Alternatif 1	0,00	0,11	0,02	0,12	0,04
Alternatif 2	0,02	0,21	0,01	0,15	0,03
Alternatif 3	0,04	0,00	0,02	0,09	0,04
Alternatif 4	0,31	0,37	0,00	0,01	0,00
Alternatif 5	0,18	0,48	0,02	0,05	0,02
Alternatif 6	0,08	0,16	0,02	0,08	0,03
Alternatif 7	0,14	0,05	0,02	0,00	0,02

Sonraki aşamada Eşitlik (18) yardımıyla  $S_i$  değerleri ve Eşitlik (19) yardımıyla  $R_i$  değerleri ile bunlara bağlı olarak;  $S^+$  (en küçük  $S_i$  değeri),  $S^-$  (en büyük  $S_i$  değeri),  $R^+$  (en küçük  $R_i$  değeri) ve  $R^-$  (en büyük  $R_i$  değeri) değerleri belirlenir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler Tablo 13'te gösterilmiştir.

**Tablo 13.**  $S_i$ ,  $R_i$ ,  $S^+$ ,  $S^-$ ,  $R^+$  ve  $R^-$  Değerleri

İstif Aracı Markası	$S_i$ Değerleri	$R_i$ Değerleri
Alternatif 1	0,2788	0,1159
Alternatif 2	0,4189	0,2133
Alternatif 3	0,1867	0,0886
Alternatif 4	0,6970	0,3733
Alternatif 5	0,7338	0,4800
Alternatif 6	0,3587	0,1600
Alternatif 7	0,2293	0,1400
$S^+$ Değeri	0,1867	-
$S^-$ Değeri	0,7338	-
$R^+$ Değeri	-	0,0886
$R^-$ Değeri	-	0,4800

Daha sonra Eşitlik (20) yardımıyla  $Q_i$  değerleri hesaplanır. Formülde yer alan  $v$  ağırlık değeri için farklı değerler verilerek elde edilen  $Q_i$  değerleri ile  $S_i$  ve  $R_i$  değerleri Tablo 14’te sunulmuştur.

**Tablo 14.**  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  Değerleri

İstif Aracı Markası	$S_i$ Değerleri	$R_i$ Değerleri	$Q_i$ Değerleri				
			q=0,00	q=0,25	q=0,50	q=0,75	q=1,00
Alternatif 1	0,2788	0,1159	0,0697	0,0943	0,1190	0,1436	0,1682
Alternatif 2	0,4189	0,2133	0,3186	0,3451	0,3715	0,3980	0,4244
Alternatif 3	0,1867	0,0886	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Alternatif 4	0,6970	0,3733	0,7274	0,7788	0,8301	0,8814	0,9328
Alternatif 5	0,7338	0,4800	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Alternatif 6	0,3587	0,1600	0,1823	0,2153	0,2483	0,2813	0,3143
Alternatif 7	0,2293	0,1400	0,1312	0,1179	0,1046	0,0912	0,0779

Son olarak karar aşamasında kullanılmak üzere Tablo 14’teki değerler sıralanmış ve Tablo 15’te sunulmuştur.

**Tablo 15.**  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  Değerlerinin Sıralaması

İstif Aracı Markası	$S_i$ Değerleri Sıralaması	$R_i$ Değerleri Sıralaması	$Q_i$ Değerleri Sıralaması				
			q=0,00	q=0,25	q=0,50	q=0,75	q=1,00
Alternatif 1	3	2	2	2	3	3	3
Alternatif 2	5	5	5	5	5	5	5
Alternatif 3	1	1	1	1	1	1	1
Alternatif 4	6	6	6	6	6	6	6
Alternatif 5	7	7	7	7	7	7	7
Alternatif 6	4	4	4	4	4	4	4
Alternatif 7	2	3	3	3	2	2	2

VIKOR tekniği ile yapılan çözümlenme sonucunda Alternatif 3 en iyi alternatif olarak seçilmelidir. Ardından Alternatif 7 ve Alternatif 1 öne çıkmaktadır. Bu noktada kabul edilebilir avantaj şartı ve kabul edilebilir istikrar şartı da kontrol edilerek uzlaşık bir çözüm üretilmesi yerinde olacaktır. Eşitlik (21) yardımıyla kabul edilebilir avantaj şartının (KEAŞ), Eşitlik (22) yardımıyla kabul edilebilir istikrar (KEİŞ) şartının karşılanıp karşılanmadığı kontrol edilmiş ve sonuçları Tablo 16’da sunulmuştur.

**Tablo 16.** Uzlaşık Çözüm Karşılaştırma Sonuçları

Q Değeri	q=0,00	q=0,25	q=0,50	q=0,75	q=1,00
$Q_1$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$Q_2$	0,0697	0,0943	0,1046	0,0912	0,0779
$Q_{max.}$	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$Q_2 - Q_1$	0,0697	0,0943	0,1046	0,0912	0,0779
$Q_{max.} - Q_1$	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
DQ	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667
Kabul Edilebilir Avantaj Şartı	$Q_2 - Q_1 < DQ$ Karşılanmadı	$Q_2 - Q_1 < DQ$ Karşılanmadı	$Q_2 - Q_1 < DQ$ Karşılanmadı	$Q_2 - Q_1 < DQ$ Karşılanmadı	$Q_2 - Q_1 < DQ$ Karşılanmadı
Kabul Edilebilir İstikrar Şartı	$Q_{max.} - Q_1 > DQ$ Karşılanmadı	$Q_{max.} - Q_1 > DQ$ Karşılanmadı	$Q_{max.} - Q_1 > DQ$ Karşılanmadı	$Q_{max.} - Q_1 > DQ$ Karşılanmadı	$Q_{max.} - Q_1 > DQ$ Karşılanmadı
<b>Karar</b>	<b>Alternatif 3</b> <b>Alternatif 1</b>	<b>Alternatif 3</b> <b>Alternatif 1</b>	<b>Alternatif 3</b> <b>Alternatif 7</b>	<b>Alternatif 3</b> <b>Alternatif 7</b>	<b>Alternatif 3</b> <b>Alternatif 7</b>

VIKOR tekniğiyle yapılan uzlaşık çözüm sonucunda da Alternatif 3 ilk sırada olmak üzere Alternatif 7 ve Alternatif 1 öne çıkmaktadır.

### 3. Sonuç ve Değerlendirme

Literatürde çok sayıda çok kriterli karar verme tekniğinin yer aldığı görülmektedir. Bu tekniklerin uygulama aşamaları ve bu aşamalardaki işlem notasyonları birbirinden farklı olmakla birlikte ürettikleri sonuçların benzerlik veya farklılığı, ancak ve ancak aynı verilerin karma uygulamalarda kullanılmasıyla ortaya konabilecektir. Aksi halde bir teknikle yapılan çözümler, olası hatalara karşı hassas olabileceği gibi özellikle stratejik kararların verileceği durumlarda yeterli olmayabilecektir. Özellikle stratejik kararlar vermek durumunda kalan tüm karar vericiler için son zamanlarda önemli bir yardımcı konumuna gelen çok kriterli karar verme teknikleri bu çalışmaya da motivasyon kaynağı olmuştur.

Bu kapsamda çalışmada; forklift aracı tedariki için üç farklı çok kriterli karar verme tekniği (VZA, TOPSIS ve VIKOR) kullanılmış ve 5 kritere bağlı olarak 7 alternatif arasından en uygun olanının seçilmesi sağlanmıştır. Her üç teknikle yapılan çözümler sonucunda elde edilen sıralamalar Tablo 17’de topluca gösterilmiştir.

**Tablo 17.** VZA, TOPSIS ve VIKOR Sıralama Sonuçları

VZA (CCR)	VZA (BCC)	TOPSIS	VIKOR
Alternatif 3	Alternatif 3	Alternatif 1	Alternatif 3
Alternatif 1	Alternatif 1	Alternatif 3	Alternatif 7
Alternatif 7	Alternatif 7	Alternatif 2	Alternatif 1
Alternatif 2	Alternatif 2	Alternatif 6	Alternatif 6
Alternatif 4	Alternatif 4	Alternatif 7	Alternatif 2
Alternatif 6	Alternatif 6	Alternatif 5	Alternatif 4
Alternatif 5	Alternatif 5	Alternatif 4	Alternatif 5

Tablo 17'ye göre VZA'nın her iki modeliyle ve VIKOR tekniği ile yapılan analizler sonucunda Alternatif 3 en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Alternatif 3 TOPSIS tekniğinin uygulaması sonucunda da ikinci en iyi seçenek olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla çok kriterli karar verme tekniklerinden VZA, TOPSIS ve VIKOR tekniklerinin birbiriyle yakın sonuçlar verdiği belirtilebilir.

Ayrıca piyasada benzer özelliklere sahip birçok forklift aracı bulunmaktadır. Ancak çalışmada literatürdeki kriterler açısından verilerine ulaşılabilen markaların analize dahil edilmesi, çalışmanın en önemli kısıtını meydana getirmektedir. Elbette ki çok daha başka özelliklerin de kriterler arasına alınması çalışmanın sonuçlarında değişiklik yaratacaktır. Ancak kriter sayısının artması bazı çok kriterli karar verme teknikleri açısından olumsuzluk sebebidir. Yine diğer tüm çok kriterli karar verme tekniklerinde de olduğu gibi, kriterlerin uzman görüşüne bağlı olarak ağırlıklandırılması ve kişisel görüşlerin ön plana alınmış olması, sonuçları rasyonelliği açısından eleştiri konusudur.

Bu kapsamda çalışma sonuçları, üç farklı çok kriterli karar verme tekniğinin, ürettiği sonuçlar açısından karşılaştırılmasına olanak sağlaması açısından önemlidir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı kriter ve kriter ağırlıklarıyla çözümlenmeler yapılabileceği gibi benzer veri setinin farklı tekniklerle uygulaması da yapılabilir.

Yapılacak benzer çalışmalarda farklı çok kriterli karar verme tekniklerinin karma olarak kullanılmasının, tekniklerin birbirlerine görece güçlü ve zayıf yönlerinin ortaya konmasına da katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## **Kaynakça**

Aktaş, R., Doğanay, M.M., Gökmen, Y., Gazibey, Y. ve Türen, U. (2015). Sayısal Karar Verme Yöntemleri, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.

- Aladağ, Z. (2014). *Karar Teorisi*, Umuttepe Yayın No.: 45, Mühendislik Bilimleri Dizisi: 2, Umuttepe Yayınları, Kocaeli.
- Anbarcı, M, Öz, B. ve Giran, Ö. (2017). “İnşaat Yönetiminde Nakliye Aracı Seçiminde Moora Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ile Bir Uygulama”, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun.
- Arslan, H.M. (2017). “AHP-ARAS Hibrit Yöntemi ile Lojistik İşletmelerinin En Uygun Araç Seçimi”, *The Journal of Operational Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems (alphanumeric journal)*, 5(2).
- Aydağün, A. (2003). “Veri Zarflama Analizi”, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, HUTEN Yıl Sonu Semineri, İstanbul.
- Ballı, S., Karasulu, B. ve Korukoğlu, S. (2007). “En Uygun Otomobil Seçimi Problemi İçin Bir Bulanık Promethee Yöntemi Uygulaması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Biesebroeck, J.V. (2007). “Robustness of Productivity Estimates”, *The Journal of Industrial Economics*, LV (3), September.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Golany, B., Seiford, L., Stutz, J. (1985). “Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions”, *Journal of Econometrics*, 30(1), pp. 91-107.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M. (1997). *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application*, Kluwer Academic Publishers, USA.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978). “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp. 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Seiford, L., Stutz, J. (1982). “A Multiplicative Model for Efficiency Analysis”, *SocioEconomic Planning Sciences*, 16(5), pp. 223-224.
- Çelikkbilek, Y. (2018). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri – Açıklamalı ve Karşılaştırmalı Sağlık Bilimler Uygulamaları ile*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Demirci, A. (2019). *Sağlık Kurumları Yönetimi. İçinde Demirci A. ve Manavgat G. (Eds.). Sağlık Kurumlarında Karar Verme Teknikleri (ss. 237-262)*. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Dinçer, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Alma*, Gece Akademi, Ankara.
- Farrell, M.J. (1957). “The Measurement of Productive Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3), pp. 253-290.

- Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A. ve Stević, Ž. (2019). “FUCOM Method In Group Decision-Making: Selection Of Forklift In A Warehouse”, *Decision Making: Applications in Management and Engineering* 2(1), 2019, pp. 49-65.
- Golany, B., Roll, Y. (1989). “An Application Procedure For DEA”, *International Journal of Management Science*, 17(3).
- Hansson, H. (2007). “The Links Between Management’s Critical Success Factors and Farm Level Economic Performance on Dairy Farms in Sweden”, *Food Economics, Acta Agriculturae Scandinavica Section C*, 4.
- Ishizaka, A. ve Nemery, P (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis – Methods and Software*, Wiley, United Kingdom.
- Kayalidere, K., Kargın, S. (2004). “Çimento ve Tekstil Sektöründe Etkinlik Çalışması ve Veri Zarflama Analizi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1).
- Kaini, A.K. (2008). “An Empirical Analysis of TFP Gains in The Agricultural Crop-Sub-Sector of Punjab: A Multi-Criteria Approach”, *European Journal of Scientific Research*, 24 (3).
- Keleş, M.K. (2019). “Entropi Temelli Electre Iıı Yöntemi İle B Segmenti Otomobil Markalarının Sıralanması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(33).
- Kontodimopoulos, N., Moschovakis, G., Aletras, V., Niakas, D. (2007). “The Effect of Environmental Factors on Technical and Scale Efficiency of Primary Health Care Providers in Greece”, *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, BioMed Central Publishes.
- Mardani A., Zavadskas E.K., Govindan K., Senin A.A. ve Jusoh A. (2016). “VIKOR Technique: A Systematic Review of the State of the Art Literature on Methodologies and Applications”, *MDPI Sustainability*.
- Mok, V., Yeung, G., Han, Z., Li, Z. (2007). “Leverage, Technical Efficiency and Profitability: An Application of DEA to Foreign-Invested Toy Manufacturing Firms in China”, *Journal of Contemporary China*, 16(51).
- Opricovic, S. (2009). “Compromise in Cooperative Game and The VIKOR Method”, *Yugoslav Journal of Operations Research*, 19(2).
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. (2007). “Extended VIKOR Method in Comparison With Outranking Methods”, *European Journal of Operational Research*, 178, Elsevier.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. (2004). “Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”, *European Journal of Operational Research*, 156, Elsevier.



- Özbek, A. (2017). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü, Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara.
- Özçalıcı, M. (2017). MATLAB ile Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Özüdoğru, A.G. ve Görener, A. (2018). Sağlık Yönetiminde Karar Verme – I, Çok Kriterli Karar Verme Uygulamalarıyla. İçinde E. Önder ve B.F. Yıldırım (Eds.). Hastane Yeri Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı (ss. 63-84). Doya Basın Yayın Dağıtım, Bursa.
- Paksoy, S. (2017). Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar, Karahan Kitabevi, Adana.
- Pasiouras, F., Liadaki, A., Zopounidis, C. (2008). “Bank Efficiency and Share Performance: Evidence From Greece”, Applied Financial Economics, 18.
- Pereira, A. (2006). *Economies of Scale in Blood Banking: A Study Based on Data Envelopment Analysis*, Vox Sanguinis, 90.
- Roy, B (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Springer-Science+Business Media, B.V.
- Soba, M. (2012). “PROMETHEE Yöntemi Kullanarak En Uygun Panelvan Otomobil Seçimi ve Bir Uygulama”, Journal of Yaşar University, 28(7).
- Şevkli, M., Koh, S.C. Lenny, Zaim, S., Demirbağ, M., Tatoğlu, E. (2007). “An Application of Data Envelopment Analytic Hierarchy Process for Supplier Selection: A Case Study of BEKO in Turkey”, International Journal of Production Research, 45(9).
- Tzeng, G.H. ve Huang, J.J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications*, CRC Press, Taylor&Francis Group, New York.
- Turan, G. (2015). İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, İçinde B.F. Yıldırım ve E. Önder (Eds.). Çok Kriterli Karar Verme (ss. 15-20). Dora Yayın Dağıtım, Bursa.
- Ulutaş, A. ve Yürüyen, A.A. (2019). “Nakliye Aracı Seçimi İçin Karşılaştırmalı Çalışma”, İçinde Full Paper Proceeding, II. International Conference on Empirical Economics and Social Science (ICEESS’ 19).
- Voćkić, M., Stojić, G. ve Stević, B. (2018). “Integrated Rough SWARA-ARAS Model for Selection of Electric Forklift”, ICMNEE 2018 The 2nd International Conference on Management, Engineering and Environment, 216-227.
- Yaralıoğlu, K. (2010). Karar Verme Yöntemleri, Detay Yayıncılık, Ankara.

Yıldırım, B.F. ve Önder, E. (2015). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Basın Yayın Dağıtım, Bursa.

Zzadeh, A., Ghaderi, S.F., Javaheri, Z., Saberi, M. (2008). "A Fuzzy Mathematical Programming Approach to DEA Models", American Journal of Applied Sciences, 5(10).