



# Ulaştırma modu seçimi probleminin bütünleşik en iyi-en kötü ve WASPAS yöntemleriyle çözülmesi

## Solving transport mode selection problem with integrated best-worst and WASPAS methods

Hakan ARSLANHAN<sup>1\*</sup> , Ömür TOSUN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye.  
hakanarslanhan@ohu.edu.tr

<sup>2</sup>Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.  
omur.tosun@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 30.07.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 22.05.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 22.05.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.23427  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Taşımacılıkta belirlenen bir güzergâh için en düşük maliyetle kaliteli hizmet verecek taşımacılık türünü seçmek çok önemlidir. Çünkü her bir taşımacılık türünün diğerine göre avantajları ve buna bağlı olarak ek maliyetleri mevcuttur. İşletmeler en uygun taşıma modunu seçerken birden çok kriteri ve alternatifleri birlikte değerlendirmek durumundadırlar. Bu değerlendirme birçok değişkenin aynı anda analiz edilmesini gerektiren karmaşık bir süreçten oluşmaktadır. Bu karmaşıklığın çözüm yollarında çok kriterli karar verme teknikleri kullanılabilir. Bu çalışmada, Kayseri ilinde kiraz üretimi üzerinde faaliyet gösteren ve ihracat yapan bir lojistik firmasının taşıma modu seçim problemi ele alınmıştır. Taşıma modu seçim problemi için literatürün taranmasıyla elde edilen ve alanında uzman kişiler olan karar vericiler ile görüşmeler sonucu on üç kriter ve dört alternatif belirlenmiştir. Problemin çözümü için literatürde bu problemin çözümünde henüz kullanılmamış olan En İyi-En Kötü yöntemiyle kriterlerin önem ağırlıkları ve WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) yöntemiyle de seçenekler değerlendirilerek en uygun alternatifin seçimi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Taşıma modu seçimi, Çok kriterli karar verme, En iyi-en kötü metodu, WASPAS.

### Abstract

It is very important to choose the mode of transportation that will provide quality service at the lowest cost for a route determined in transportation. Because, each transportation mode has advantages over another and additional costs, accordingly. Businesses have to evaluate multiple criteria and alternatives together when selecting the most appropriate transport mode. This assessment consists of a complex process that requires many variables to be analyzed at the same time. Multi-criteria decision making techniques can be used in solving this complexity. In this study, the transportation mode selection problem of a logistics company operating on cherry production and exporting in Kayseri province is discussed. Through a literature review and interview with the decision makers, who are experts in their field, thirteen criteria and four alternatives have identified for the transport mode selection problem. In order to solve the problem, importance weight of the criteria is determined with the Best-Worst Method and then supplier alternatives are ranked using the WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) method.

**Keywords:** Transportation mode selection, Multi criteria decision making, Best-Worst method, WASPAS.

## 1 Giriş

Lojistik faaliyetler müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla her çeşit hammadde, yarı mamul ve malların ürünün başlangıç noktasından son noktasına ulaşana kadar, verimli ve etkin bir şekilde planlanmasını, yürütülmesini, ürünün teslimatını, depolanmasını, elleçlenmesini ve bu süre içerisinde taraflara bilgi akışını sağlanması gibi unsurları içermektedir [1]. İşletmeler lojistik faaliyetlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmeleri için lojistiğin yedi doğru unsuruna (doğru ürün, doğru miktar, doğru zaman, doğru koşullar, doğru yer, doğru maliyet ve doğru müşteri) uymaları gerekmektedir. Özellikle doğru ürün, doğru zaman ve doğru yer unsurları, taşıma modunun doğru seçilmesine bağlıdır. Doğru taşıma modu seçimiyle, lojistik operasyonlarda ve firmanın organizasyonel faaliyetlerinde rekabet avantajı sağlanmaktadır.

Doğru taşıma modu seçimi firmaların hem tedarikçilerinden hammadde temini açısından hem de müşterilerine istenilen zamanda ve minimum maliyetle teslim yapabildiğini

sağlaması açısından önemlidir. Teslimat sırasında yaşanabilecek en ufak bir gecikme, üretim planlarının aksamasına neden olarak siparişlerin gecikmesine yol açabilecektir. Bu anlamda işletmelerin rekabet ortamında stratejik ve doğru kararlar vermeleri gerekmektedir. Karar vericiler maliyet veya zaman gibi sayısal; esneklik veya şikayet gibi sayısal olmayan pek çok faktörü eş zamanlı olarak göz önünde bulundurmak zorundadır. İşte bu karmaşık süreç, problemin çözümü için çok kriterli karar verme (ÇKVV) yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

Kayseri ilinde kiraz üretimi üzerinde faaliyet gösteren ve ihracat yapan bir lojistik firması için taşıma modu seçim probleminin çözüm bulmak bağlamında literatür taraması ve uzman görüşleri sonucunda belirlenen 13 kriter (süre, taşıma maliyeti, depolama maliyeti, güvenilirlik, ambalajlama, nakliye seferlerinin sıklığı, farklı ebatla/ağırlıkta ürünleri taşıyabilme esnekliği, rotada esneklik, taşınan ürün sayısında esneklik, zaman çizelgesinin değişebilirliği, teslimat noktasında esneklik, nakliye sırasında oluşabilecek hasar oluşumu, çevre üzerindeki etkiler) alanlarında uzman olan karar vericiler tarafından

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

analiz edilmiş ve belirlenen dört taşıma modu alternatifi (Kara-Demir-Hava-Çokmodlu) arasından en uygun taşıma modu seçilmiştir.

## 2 Taşıma modu seçimi

Yük taşıma esnasında belirlenen güzergâh doğrultusunda minimum maliyet ile maksimum hizmet kalitesini verecek taşımacılık türünü belirlemek önemlidir. Her bir taşıma türünün diğer taşıma türlerine göre avantajları ve farklı türlerin kullanımından doğan ek maliyetleri mevcuttur. Bu nedenle, sunulan hizmet ile ortaya çıkan maliyetler arasındaki optimum denge noktasının belirlenmesi gereklidir. Optimum maliyetlerle taşıma modunu belirleyebilmek lojistik faaliyetlerin ana problemlerindedir. Nakliyecilerin performansı dahi şirketlerin tüm lojistik işlevlerinin verimliliğini etkilediğinden, taşıma faaliyetlerinde etkin ve verimli olabilmek için taşıma modu seçiminin dikkatli yapılması gerekmektedir.

Taşıma modu seçim problemi güzergâha etki edebilecek birçok faktörün sistematik şekilde değerlendirilmesini, bu kriterlere göre alternatiflerin belirlenmesini ve en uygun taşıma modunun seçilmesini içeren karmaşık bir süreçten oluşmaktadır. İşletmelerin toplam lojistik maliyetlerinin yarısından fazlasını dağıtım maliyetleri oluşturduğundan dağıtım ekipmanının ve personelinin etkili ve verimli bir şekilde kullanılması işletme yöneticilerinin önem verdiği bir konudur. Dağıtımdan kaynaklı maliyetlerin azaltılabilmesi ve müşterilere sunulan hizmet kalitesinin artırılabilmesi için en düşük maliyetlerle, en az sürede en kısa mesafeyi verecek olan taşıma türünün bulunması son derece önemlidir [2]. Tüm işletmelerin ve lojistik hizmet sağlayıcıların en kısa sürede, en kısa yolu takip ederek ve en güvenli şekilde operasyonlarını tamamlamaları ve hedef noktaya varmaları, kompleks, stokastik ve çok amaçlı/kriterli bir karar verme sürecini gerektirmektedir [3].

## 3 Çok kriterli karar verme

Çok kriterli karar verme, karar verme sürecinde kompleks çok sayıda bilginin organize edilmesi ve alınan karardan pişman olma potansiyelini minimize edecek şekilde tüm kriterleri ve faktörleri değerlendirme hususunda karar vericiye yardımcı olan bir çözüm yöntemidir [4]. Alınacak kararın etkisini anlamak ve değerlendirmek için, kriterlere ait bilgiyi sayısallaştırarak ölçülebilen bir duruma dönüştürmektedir. Böylece alternatiflere ait skorlar üreterek, karar vericiye en iyi alternatif hakkında bilgi sunarak doğru kararlar vermesini sağlamaktadır [5].

### 3.1 Taşıma modu seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleriyle ilgili literatür taraması

Taşıma modu ve güzergâh seçiminin doğru yapılması, bir şirketin tüm lojistik işlevinin verimliliğini etkilemektedir. Şirketler taşımacılık için tespit edilen güzergâhı seçerken sadece güzergâh türünü değil, güzergâh seçimini etkileyen etmenleri de göz önünde bulundururlar. Örneğin güzergâh üzerinde doğal afet, trafik durumu, otoyol üzerindeki bakım çalışmaları, kaza trafik hacmi, hava koşulları, teknik sorunlar, siyasi ve gümrük sorunları gibi nedenlerle meydana gelen aksamlara ulaştırma ağının güvenilirlik ve verimliliğini önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Taşıma modu seçimini etkileyen kriterleri belirlemek ve bu kriterleri analiz etmek için taşıma modu seçiminde ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı geçmiş çalışmalar incelenmiştir. Yapılan literatür taraması Tablo 1'de ortaya konmuştur.

Taşıma modu seçimi, çok sayıda kriteri ve alternatifi içinde barındıran bir karar verme problemidir. Tablo 1'de yer alan literatür araştırması doğrultusunda taşıma modu ve güzergâh seçimi ile ilgili çeşitli ÇKKV içeren çalışmalara rastlanmaktadır. Özellikle 2000'li yıllarda yapılmış olan bu çalışmalar, taşıma modu seçiminin ne kadar önemli olduğunun bir kanıtıdır.

Tablo 1. Taşıma modu seçim probleminde kullanılan kriterler ve ÇKKV yöntemleri.

Table 1. Criteria and MCDM methods used in transport mode selection problem.

Makaleler	Taşıma Modu Seçiminde Kullanılan Kriterler	Kullanılan ÇKKV Yöntemleri
Tuzkaya ve Önüt [6]	Ürün Karakterleri Esneklik Güvenilirlik Hız İzlenebilirlik Maliyetler Güvenlik Sorunları Risk Ekonomik Özellikler Servis Özellikleri	Bulanık ANP
Toker ve Görener [7]	Maliyetler İzlenebilirlik Çevre Güvenilirlik Esneklik Hız Ürün Karakteristikleri	AHP TOPSIS
Lee ve diğ. [8]	Taşıma Mesafesi Taşıma Süresi Taşıma Maliyeti Maliyet Zaman	ENTROPY TOPSIS
Kumru ve Kumru [9]	Güvenilirlik Güç Gereksinimi Erişilebilirlik Ürün Koruması	AHP

Tablo 1. Devamı.

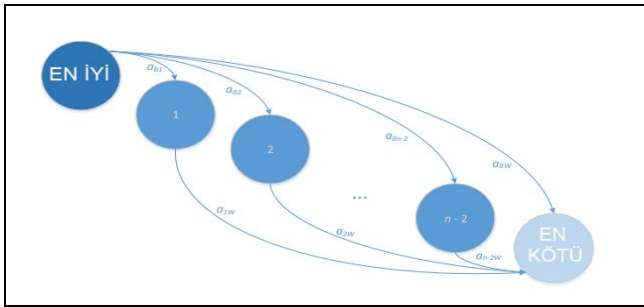
Table 1. Continued.

Makaleler	Taşıma Modu Seçiminde Kullanılan Kriterler	Kullanılan ÇKKV Yöntemleri
Ütücüler [10]	Maliyet Hız Güvenilirlik Taşıma Kapasitesi Yakıt Fiyatı Teslimat Esneklik Nicel Kriterler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taşıma Mesafesi</li> <li>• Taşıma Süresi</li> <li>• Taşıma Maliyeti</li> </ul>	AHP
Moon ve diğ. [11]	Nitel Kriterler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taşıma Hizmeti</li> <li>• Güvenlik</li> <li>• Farkındalık</li> </ul>	TOPSIS
Rahman ve Pereda [12]	Taşıma Süresi Maliyet Güvenilirlik Güvenlik	TOPSIS ENTROPY
Pham ve diğ. [13]	Ulaşım Süresi Ulaşım Maliyeti Güvenilirlik Rota Özellikleri Depolama Maliyeti	Bulanık TOPSIS
Chen ve diğ. [14]	Taşıma Maliyeti Nakliye süresi Teslim Süresi Tedarik Fiyatı Maliyet	AHP
Bolesevic ve diğ. [15]	Demiryolu Hizmet Kalitesi Güvenilirlik Ulaştırma Politikası Ekonomik ve Çevresel Etkiler	Bulanık VIKOR ENTROPY

AHP: Analitik hiyerarşi prosesi. ANP: Analitik ağ süreci. TOPSIS: Technique for order preference by similarity ideal solution. ENTROPY: The entropy method. VIKOR: Vise kriterijumska optimizacija i kompromisno rešenje.

### 3.2 En iyi-en kötü (Best and Worst) yöntemi

En İyi-En Kötü yöntemi Rezaei (2015) tarafından ÇKKV yöntemi olarak geliştirilen en yeni yöntemlerden bir tanesidir. Bu metotta en iyi (en önemli, en çok istenen) ve en kötü (en önemsiz, en az istenen) kriterler karar verici tarafından tanımlanmakta olup kriterlerin ağırlıklarını ve alternatiflerin puanlarını belirlemek için Şekil 1'de işleyişi gösterilen ikili karşılaştırma vektörü kullanılmaktadır. Her bir alternatif ve kriter setlerine vektör ağırlık değerleri tanımlanarak son puanlar belirlenmekte ve en iyi alternatif seçilmektedir [16].



Şekil1. En iyi-en kötü referans karşılaştırma [17].

Figure 1. Best and Worst Reference Comparison [17].

En İyi-En Kötü yöntem adımları aşağıdaki gibi gerçekleştirilmektedir [18].

**Adım 1.** Uzmanlar tarafından karar kriterlerinin belirlenmesi.

Karar problemine etki eden kriterler  $(c_1, c_2, \dots, c_n)$  belirlenir.

**Adım 2.** Kriterler arasından en iyi (örneğin en çok istenen, en önemli) ve en kötü (en az istenen, en önemsiz) kriterin belirlenmesi.

Uzmanlar en iyi veya en kötü olarak iki veya daha fazla kriterle karar verirse, en iyi ve en kötü kriterler keyfi olarak seçilir.

Karar vericinin genel olarak en iyi ve en kötü kriterleri belirlediği bu aşamada karşılaştırma yapılmaz.

**Adım 3.** Diğer kriterlere göre en iyi kriterin tercihini 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak belirlenmesi.

Burada 1, kriterlerin eşit derecede önemini belirtirken, 9, en iyi kriterin, söz konusu kriterle karşılaştırıldığında çok daha önemli olduğu anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak, diğer kriterler için en iyi karşılaştırma vektörü aşağıdaki gibi elde edilir:

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

Burada,  $a_{Bj}$  kriter  $j$  üzerinde en iyi kriterin ( $B$ ) tercihini belirtir.  $a_{BB} = 1$  olduğu anlamına gelir.

**Adım 4.** Diğer kriterlere göre en kötü kriterin tercihini 1 ile 9 arasında bir sayı kullanılarak belirlenmesi.

Diğer kriterler için en kötü karşılaştırma vektörü aşağıdaki gibi elde edilir:

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

Burada  $a_{jw}$   $j$  kriterinin en kötü kriter olan ( $w$ ) ye göre tercih edilebilirliğini belirtir. Ayrıca en iyi kriterin durumu ile aynı olduğundan, en kötü kriterin kendisiyle karşılaştırılan değeri 1'e eşittir yani  $a_{ww} = 1$ .

**Adım 5.** Kriterlerin optimum ağırlıkların bulunması ( $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ ).

Kriterler için en uygun ağırlık, her bir  $w_B/w_j$  ve  $w_j/w_w$  çifti için  $w_B/w_j = a_{Bj}$  ile  $w_j/w_w = a_{jw}$  değerleridir.

Tüm  $j$ 'nin koşullarını yerine getirmek için, maksimum mutlak farklılıkların minimize edildiği  $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$  ve  $\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right|$  bir çözüm bulunmalıdır. Ağırlıkların toplam koşuluna ve negatif olmama durumuna bakıldığında, aşağıdaki problem ortaya çıkmaktadır:

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\} \quad (1)$$

kısıtları altında

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0 \forall j.$$

Denklem doğrusal hale aşağıdaki gibi çevrilebilir:

$$\text{Min } \xi \quad (2)$$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0 \forall j.$$

Bu modelin çözümü ile kriter ağırlıkları ve  $\xi$  elde edilir.

**Adım 6.** Karşılaştırmaların tutarlılığını kontrol etmek için Tablo 2'de yer alan tutarlılık endeks formülü uygulanır. Eğer,  $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{Bw}$  tüm  $j$  kriterleri şartını sağlıyorsa karşılaştırmalar tamamen tutarlıdır [18].

Tutarlılık oranı,  $\xi^*$  ve yukarıda verilen ilgili tutarlılık endeks değeri kullanılarak hesaplanabilir:

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\xi^*}{\text{Tutarlılık Endeksi}} \quad (3)$$

Değer sıfıra yaklaştıkça tutarlılık artar. Birin altındaki değerlerin yeterli bir tutarlılığa sahip olduğu kabul edilir [20].

### 3.3 WASPAS yöntemi

WASPAS yöntemi (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) 2012 yılında Zavadskasve diğ.tarafından önerilmiştir. WASPAS "Ağırlıklı Toplam Modeli" ve "Ağırlıklı

Çarpım Modeli" olmak üzere iki farklı modelin sonuçlarını birleştiren ve son dönemlerde ÇKKV yöntemlerinde başvurulan yaygın bir yöntem haline gelmiş bir yaklaşımdır [19]. Bu iki modelin sonuçlarına göre birleşik optimal kriterlerin değeri hesaplanmakta ve alternatifler sıralanmaktadır. Ayrıca yöntemin işleyişine duyarlılık analizi yapılarak çıkan sonucun tutarlılığı kontrol edilebilmektedir [20].

WASPAS işlem adımları aşağıdaki gibidir;

WASPAS yönteminde problemi ilk olarak  $m \times n$  boyutunda bir matris formatında ele alınmaktadır. Matriste  $m$  seçenekleri ( $A_i, i = 1, 2, \dots, m$ ) ve  $n$  ise kriterleri ( $K_j, j = 1, 2, \dots, n$ ) gösterirken,  $w_j$  kriterlerin ağırlığını ifade etmektedir.

WASPAS yöntemi 8 adımdan oluşmakta ve bütün ÇKKV yöntemleri gibi karar matrisi ile başlamaktadır. Yönteme ait bu 8 adım sırasıyla aşağıda yer almaktadır [20].

**Adım 1:** İlk olarak seçeneklerin kriterlere göre performanslarını gösteren karar verme matrisi ( $X$ ) oluşturulur. Aşağıdaki Eşitlik (4) ile bu matris gösterilmiştir. Bu matriste  $x_{ij}$ ;  $i$ . seçeneğin  $j$ . kriterine göre performansını göstermektedir.

$$X = [X_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

**Adım 2:** Kriterlerin maliyet ya da fayda yönlü oluşlarına göre doğrusal normalizasyon yöntemiyle karar matrisi normalize edilir. Kriterlerin fayda yönlü olduğu durumda (5), maliyet yönlü olduğu durumda ise (6) No.lu Eşitlik kullanılır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (5)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (6)$$

**Adım 3:** Bu adımda seçeneklerin göreceli performansı, WSM (Ağırlıklandırılmış Toplam Model) yöntemiyle her bir kriterine göre seçenek değerlerinin ağırlıklı toplamı olarak belirlenir. Bu durum Eşitlik (7) ile formüle edilmiştir.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n x_{ij}^* w_j \quad (7)$$

**Adım 4:** Bu adımda seçeneklerin göreceli performansı, WPM (Ağırlıklandırılmış Çarpım Modeli) yöntemiyle her bir kriterine göre seçeneğin performans değerinin aynı indisli kriter ağırlığı kadar kuvvetinin çarpımı alınarak belirlenir. Bu durum Eşitlik (8) ile gösterilmiştir.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (x_{ij}^*)^{w_j} \quad (8)$$

Tablo 2. Tutarlılık endeks değerleri.

Table 2. Consistency index values.

$a_{BW}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tutarlılık Endeksi	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

**Adım 5:** Seçeneklerin genel sıralamadaki pozisyonları gösteren nihai performansı  $Q_i$  Eşitlik (7) ve (8)'e göre hesaplanan görelî performanslarının toplanmasıyla bulunur. Eşitlik (9) ile bu durum ifade edilmiştir.

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad (9)$$

Karar verme sürecinin etkinliğini ve doğruluğunu artırmak için Eşitlik (10) kullanılabilir.  $\lambda$ , 0 ile 1 arasında değer alabilen bir parametredir. WASPAS yöntemi,  $\lambda=0$  olarak belirlendiğinde WPM yöntemine;  $\lambda=1$  olarak belirlendiğinde ise WSM yöntemine dönüşmektedir. Karar verici,  $\lambda$  değerini istediği gibi belirleyebilmektedir. [19]  $\lambda$  değeri için 0,5 değerini belirlemiş ancak  $\lambda$  için en uygun değerini hesaplanmasını önermektedir.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad (10)$$

**Adım 6:** Seçeneklerin nihai sıralamalarını belirlemek için  $Q_i$  değerleri azalan düzeyde sıralanır. İlk sıradaki seçenek en uygun alternatif olarak belirlenir.

**Adım 7:** Farklı  $\lambda$  değerleri için duyarlılık analizi yapılır ve alternatiflerin sıralamadaki değişiklikleri incelenir.

**Adım 8:** Eşitlik (11)'e göre optimal  $\lambda$  bulunarak sıralamanın doğruluğu kontrol edilir.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i^{(2)}}{\sum_{i=1}^m Q_i^{(1)} + \sum_{i=1}^m Q_i^{(2)}} \quad (11)$$

#### 4 Kayseri ilinde faaliyet gösteren bir lojistik firmasının taşıma modu seçimi üzerine bir uygulama

Literatür taramasında yer alan çalışmalar incelendiğinde AHP, TOPSIS, ENTROPI ve ANP gibi yöntemlerin en çok kullanılan ANN, ELECTRE, VIKOR gibi yöntemlerin ise daha az tercih edilen yöntemler olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların hiçbirinde En İyi-En Kötü ve WASPAS yöntemleri birlikte kullanılmamıştır. Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda çalışmanın sonucuna göre kriterler ağırlandırılarak taşıma modu ve güzergâh alternatifleri sıralanmıştır. Bu bulgulardan hareketle, bu çalışma kapsamında Kayseri ilinde faaliyet gösteren ve ihracat yapan bir lojistik firmasının taşıma modu seçim probleminin çözümü için bir uygulama yapılmış ve öncelikle literatürde bu problemin çözümünde daha önce uygulanmamış yöntemlerden biri olan En İyi- En Kötü yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenmiş olup bir diğer yöntem olan WASPAS yöntemiyle de alternatifler arasından en iyisi değerlendirilmiş ve taşıma modu seçimi probleminde çözümlenmiştir.

##### 4.1 Kriterlerin belirlenmesi

Kriterlerin belirlenmesi için öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Literatürde yer alan "güzergâh ve ulaştırma modu seçimi" ve "çok kriterli karar verme teknikleri" anahtar kelimelerine sahip yayınlar incelenerek çeşitli kriterler belirlenmiştir. İşletmede lojistik ve tedarik departmanındaki uzmanlarla yapılan karşılıklı görüşmeler ve literatür taraması sonucu tespit edilen taşıma modu seçim kararına etki eden kriterler değerlendirilmiş ve uygulama için toplamda 13 tane kriter seçilmiştir. Seçilen kriterler Tablo 3'te yer almaktadır. Seçme işlemi yapılırken çalışmanın amacına uygun olarak taşımacılık modu seçiminde doğrudan etkisi olabilecek

kriterler ile rota veya güzergâh seçiminde kullanılan kriterler seçilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan kriterler.

Table 3. Criteria used in the study.

Süre
Taşıma Maliyeti
Güvenilirlik
Depolama Maliyeti
Ambalajlama
Nakliye Seferlerinin Sıklığı
Farklı Ebatla/Ağırlıkta Ürünleri Taşıyabilme Esnekliği
Rotada Esneklik
Taşınan Ürün Sayısında Esneklik
Teslimat Noktasında Esneklik
Çevre Üzerindeki Etkiler
Nakliye Sırasında Oluşabilecek Hasar Oluşumu
Zaman Çizelgesinin Değişebilirliği

##### 4.2 En iyi-en kötü yöntemi ile WASPAS yönteminin bütünleştirilmesi

Bir taşıma modu seçiminde optimal taşıma türünü belirleyebilmek, zor ve karmaşık bir karar verme sürecidir. Taşıma modunun sunduğu hizmet ile ortaya çıkardığı maliyetin optimum denge noktasını belirlemek gerekmektedir. Yükün hangi taşıma moduyla yapılması gerektiği sorusuna ilişkin araştırmalar yaklaşık 50 yıldır devam etmekte ve bu seçim probleminin çözümüne ilişkin sistemler geliştirilmiş ve bunlara göre modeller ortaya konmuştur. Bu modellerin ortak amacı; taşıma maliyetlerini ve taşıma esnasında oluşabilecek riskleri minimum seviyelere düşürmek ve sunulan hizmet kalitesini maksimum yaparak taşımayı gerçekleştirmektir. En İyi-En Kötü yöntemi, son yıllarda ÇKKV problemleri için önerilmiş bir yöntemdir. AHP gibi ikili karşılaştırma esasına dayanmaktadır ancak daha az ikili karşılaştırma yapmakta ve daha tutarlı sonuçlar ürettiği belirtilmektedir [18]. WASPAS yöntemi ise diğer analizlere kıyasla daha doğru sonuçlar verme kabiliyetine sahip olması, son yıllarda etkin bir karar verme aracı olarak kabul edilmesine neden olmuştur [21]. Bu bağlamda taşıma modu seçim problemini öncelikle ÇKKV tekniklerinden olan En İyi-En Kötü yöntemiyle kriterlerin önem dereceleri belirlenecek daha sonra WASPAS yöntemiyle de alternatifler arasından en uygun taşıma modu seçilmeye çalışılacaktır.

**Adım 1:** İlk adımda karar vericiler, kriterler ve alternatifler (taşıma modları) belirlenerek ilgili veriler toplanmıştır. Hem lojistik şirketlerinden hem de üniversiteden oluşan beş karar vericinin görüşlerine dayanarak kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterler:  $K_1$ : Süre,  $K_2$ : Taşıma Maliyeti,  $K_3$ : Güvenilirlik,  $K_4$ : Depolama Maliyeti,  $K_5$ : Ambalajlama,  $K_6$ : Nakliye Sefer Sıklığı,  $K_7$ : Farklı Ebatla/Ağırlıkta Ürünleri Taşıyabilme Esnekliği,  $K_8$ : Rotada Esneklik,  $K_9$ : Taşınan Ürün Sayısında Esneklik,  $K_{10}$ : Teslimat Noktasında Esneklik,  $K_{11}$ : Çevre Üzerindeki Etkiler,  $K_{12}$ : Nakliye Sırasında Hasar oluşumu,  $K_{13}$ : Zaman Çizelgesinin Değişebilirliği.

**Adım 2:** Düzenlenen anket formu ile karar vericilere en iyi ve en kötü kriterleri belirlemelerini, daha sonra Tablo 4'te verilen ölçeği kullanarak belirledikleri en iyi ve en kötü kriteri diğer kriterlere göre kıyaslayarak puanlamaları istenmiştir.

**Adım 3:** Kriter ağırlıkları En İyi-En Kötü yöntemi kullanılarak hesaplanır. Her karar vericinin bağımsız değerlendirmesi nedeniyle, her karar vericinin belirlediği kriter ağırlığı bulunur. Daha sonra bu kriter setlerinin aritmetik ortalaması çalışma için kullanılmıştır.

Her karar vericinin en iyi ve en kötü kriteri ve bu kriterlerin diğerlerine karşı ikili olarak karşılaştırılması Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5'e göre Karar Verici-1 için örnek vermek gerekirse belirlenen kriterler doğrultusunda en iyi kriter yani taşıma seçimi problemi için en önemli olan kriteri  $K_2$  Taşıma Maliyetini seçmiştir. Daha sonra seçtiği en iyi kriteri diğer kriterlere göre kıyaslayarak puan vermiştir.  $K_2$  kriterini  $K_1$  ile kıyasladığında 3 puanını vermiştir yani seçtiği  $K_2$  kodlu Taşıma Maliyeti  $K_1$  kodlu Süre kriterinden 3 kat daha önemlidir şeklinde yorumlamıştır.

Tablo 6'ya göre Karar Verici-1 için örnek vermek gerekirse belirlenen kriterler doğrultusunda en kötü kriter yani taşıma seçimi problemi için en az önemli olan kriteri  $K_{11}$  Çevre Üzerindeki Etkiler olarak seçmiştir. Daha sonra seçtiği en kötü kriteri diğer kriterlere göre kıyaslayarak puan vermiştir.  $K_{11}$  kriterini  $K_1$  ile kıyasladığında 7 puanını vermiştir yani seçtiği  $K_{11}$  kodlu Çevre Üzerindeki Etkiler  $K_1$  kodlu Süre kriterinden 7 kat daha az önemlidir şeklinde yorumlamıştır.

Her karar vericiye ait puanlamalar eşitlik (2) kullanılarak çözümlenir ve kriter ağırlıkları bulunur. Örneğin, en iyi ve en kötü ikili karşılaştırma vektörlerini sırasıyla Tablo 5'te ilk satır ve Tablo 6'da ilk sütun kullanılarak Karar Verici 1 (KV-1) için model aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} & \min \xi \\ & \text{Kısıtlar} \\ & \left| \frac{w_2}{w_1} - 3 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_3} - 3 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_4} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_5} - 3 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_6} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_7} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_8} - 7 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_9} - 8 \right| \leq \xi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left| \frac{w_2}{w_{10}} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_{11}} - 8 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_{12}} - 7 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_{13}} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_1}{w_{11}} - 7 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_2}{w_{11}} - 9 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_3}{w_{11}} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_4}{w_{11}} - 7 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_5}{w_{11}} - 3 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_6}{w_{11}} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_7}{w_{11}} - 3 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_8}{w_{11}} - 4 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_9}{w_{11}} - 5 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_{10}}{w_{11}} - 8 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_{12}}{w_{11}} - 7 \right| \leq \xi \\ & \left| \frac{w_{13}}{w_{11}} - 5 \right| \leq \xi \end{aligned}$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 + w_9 + w_{10} + w_{11} + w_{12} + w_{13} = 1$$

$$w_j \geq 0 \text{ tüm } j \text{ değerleri için}$$

Yukarıdaki modeli çözerken, kriter ağırlık seti KV-1 için  $w_1^* = 0.09$ ,  $w_2^* = 0.31$ ,  $w_3^* = 0.05$ ,  $w_4^* = 0.09$ ,  $w_5^* = 0.05$ ,  $w_6^* = 0.04$ ,  $w_7^* = 0.04$ ,  $w_8^* = 0.03$ ,  $w_9^* = 0.04$ ,  $w_{10}^* = 0.11$ ,  $w_{11}^* = 0.03$ ,  $w_{12}^* = 0.09$ ,  $w_{13}^* = 0.04$  ve  $\xi^* = 3.59$  olarak bulunur.

Tablo 4. Kriterler arası karşılaştırma ölçeği.

Table 4. Benchmark comparison scale.

Ölçek	1	3	5	7	9	2, 4, 6, 8
Değer Tanımı	Eşit	Orta	Güçlü	Çok Güçlü	Mutlak Üstün	Ara Değerler

Tablo 5. En iyi kriter ve diğer kriterler arasındaki ikili karşılaştırma.

Table 5. Binary comparison between best criteria and other criteria.

Karar Vericiler	En İyi	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$
$KV_1$	$K_2$	3	1	3	5	3	5	5	7	8	5	8	7	5
$KV_2$	$K_2$	3	1	5	1	3	7	5	9	3	4	8	5	4
$KV_3$	$K_2$	3	1	3	3	5	4	5	9	7	2	9	2	2
$KV_4$	$K_1$	1	2	3	2	4	2	5	5	5	6	9	3	4
$KV_5$	$K_3$	3	3	1	5	3	4	3	6	4	5	7	9	5

$K_1$ -Süre,  $K_2$ -Taşıma Maliyeti,  $K_3$ -Güvenilirlik,  $K_4$ -Depolama Maliyeti,  $K_5$ -Ambalajlama,  $K_6$ -Nakliye Sefer Sıklığı,  $K_7$ -Farklı Ebatla/Ağırlıkta Ürünleri Taşıyabilme Esnekliği,  $K_8$ -Rotada Esneklik,  $K_9$ -Taşınan Ürün Sayısında Esneklik,  $K_{10}$ -Teslimat Noktasında Esneklik,  $K_{11}$ -Çevre Üzerindeki Etkiler,  $K_{12}$ -Nakliye Sırasında Hasar oluşumu,  $K_{13}$ -Zaman Çıelgesinin Değişebilirliği.

Tablo 6. En kötü kriter ve diğer kriterler arasındaki ikili karşılaştırma.  
Table 6. Binary comparison between worst criteria and other criteria.

	$KV_1$	$KV_2$	$KV_3$	$KV_4$	$KV_5$
<i>Kriterler</i>	EnKötü: $K_{11}$	EnKötü: $K_{11}$	EnKötü: $K_{11}$	EnKötü: $K_{11}$	EnKötü: $K_{12}$
$K_1$	7	7	7	9	6
$K_2$	9	9	9	8	8
$K_3$	5	5	8	8	5
$K_4$	7	5	6	7	5
$K_5$	3	3	6	6	5
$K_6$	5	6	3	5	4
$K_7$	3	4	8	4	8
$K_8$	4	5	7	3	8
$K_9$	5	5	5	4	7
$K_{10}$	8	7	6	5	6
$K_{11}$	1	1	1	1	5
$K_{12}$	7	4	9	7	1
$K_{13}$	5	6	8	6	6

Tutarlılık oranı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\xi^*}{\text{Tutarlılık Endeksi}}$$

Tutarlılık Endeksi değeri Tablo 2'de yer almaktadır. Buna göre Karar Verici-1 için en iyi ve en kötü olarak seçtiği kriterlerin kesişimindeki değer dikkate alınarak Tablo 2'de karşılık gelen endeks değeri baz alınır.

Bundan hareketle tutarlılık oranı:  $3.59/4.47 = 0.80$ 'dir.

Diğer karar vericiler için de aynı hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Tablo 7'de verilmektedir.

Her bir kriter puanlarının aritmetik ortalaması alınır. Kriter ağırlıklarının ortalama değerlerine dayanarak, kriterlerin önem sırası;

$$w_2^* > w_1^* > w_4^* > w_3^* > w_5^* > w_7^* > w_{10}^* > w_{13}^* > w_6^* > w_{12}^* > w_9^* > w_8^* > w_{11}^*$$

olup, (K2) Taşıma Maliyeti > (K1) Süre > (K4) Depolama Maliyeti > (K3) Güvenilirlik > (K5) Ambalajlama > (K7) Farklı Ebatla/Ağırlıkta Ürünleri Taşıyabilme Esnekliği > (K10) Teslimat Noktasında Esneklik > (K13) Zaman Çizelgesinin Değişebilirliği > (K6) Nakliye sefer sıklığı > (K12) Nakliye Sırasında Hasar Oluşumu > (K9) Taşınan Ürün Sayısında Esneklik > (K8) Rotada Esneklik > (K11) Çevre Üzerindeki Etkiler şeklinde yorumlanabilir. Bu sonuçtan hareketle en önemli kriterin en büyük puana sahip olan  $K_2$  ile Taşıma maliyeti olduğu ve en az önemli olan kriterin de  $K_{11}$  ile Çevre üzerindeki etkiler olduğu görülmektedir.

**Adım 4:** En İyi-En Kötü yöntemiyle hesaplanan kriter ağırlıkları (Tablo 7), dikkate alınarak WASPAS yöntemi uygulanacaktır. WASPAS yöntemi için yine aynı kriterlerle, aynı karar vericilere, seçilen 4 taşıma modu (Alt-1 Karayolu, Alt-2 Demiryolu, Alt-3 Havayolu, Alt-4 Çokmodlu Taşımacılık) alternatifleri aşağıda yer alan Tablo 8'e göre puanlamaları istenmiştir.

**Adım 5:** WASPAS çözümünde kullanılacak anket örneği her bir karar verici tarafından doldurulmuş ve bir karar vericinin puanladığı anket örneği Tablo 9'da verilmiştir.

**Adım 6:** Beş karar vericinin vermiş oldukları puanların geometrik ortalaması alınarak, Tablo 10'daki karar matrisi elde edilir.

**Adım 7:** Kriterlerin maliyet ya da fayda yönlü oluşlarına göre doğrusal normalizasyon yöntemiyle karar matrisi normalize edilir (Tablo 11). Kriterlerin fayda yönlü olduğu durumda (5), maliyet yönlü olduğu durumda ise (6) numaralı Eşitlik kullanılır.

**Adım 8:** Tablo 11 kullanılarak, Ağırlıklı Toplam Modeline (WSM) göre alternatiflere ait  $Q^{(i)}$  değerleri hesaplanmıştır. Bunun için öncelikle En İyi-En Kötü yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları ile normalize karar matrisindeki her bir alternatif değeri çarpılmış ve daha sonrasında alternatifler düzeyinde toplama işlemi yapılmıştır (Eşitlik 7). Böylelikle Tablo 12'de gösterilen  $Q^{(i)}$  değerlerine ulaşılmıştır.

**Adım 9:** Tablo 11'deki normalize karar matrisindeki veriler üzerinden Eşitlik 8 yardımıyla her bir alternatife ait  $Q^{(2)}$  değerleri hesaplanmış ve Tablo 13'te elde edilmiştir.

**Adım 10:** Eşitlik 9 kullanılarak ( $\lambda = 0.5$  olarak alınmıştır), alternatiflerin göreceli ve toplam önem düzeyleri  $Q_i$  hesaplanmış ve elde edilen skorlar sıralamaya tabi tutulmuş ve Tablo 14'te gösterilmiştir.

Burada  $Q_i$ , WASPAS yöntemine göre  $i$ . alternatifin toplam nisbi önemini göstermektedir.  $\lambda$  ise  $[0, 1]$  aralığında değişen ve karar verme probleminin duyarlılığını ifade eden bir kontrol parametresidir.  $\lambda = 0$  ve  $\lambda = 1$  olarak alındığında WASPAS yöntemi, sırasıyla WPM ve WSM yöntemlerine dönüşmektedir. Burada,  $\lambda$  değerinin seçimi, karar vericiye bağlıdır.  $\lambda$  değerinin ne olacağı konusunda [19] optimal  $\lambda'$  nın hesaplanmasını önermektedir. WASPAS yönteminde alternatiflerin sıralaması,  $Q_i$  değerleri dikkate alınarak yapılmaktadır.  $Q_i$  değeri en yüksek olan  $i$  alternatifi, en iyi alternatif olarak seçilmektedir.

Buna göre Tablo 14'e bakıldığında taşıma modu seçiminde en iyi alternatifin havayolu taşımacılığı olduğu, ikinci sırada karayolu taşımacılığın, üçüncü sırada çokmodlu taşımacılığın, dördüncü ve son sırada ise demiryolu taşımacılığın olduğu görülmektedir.

**Adım 11:** Bir önceki adımda hesaplanan alternatiflerin göreceli önemleri ( $Q_i$ ) için, Eşitlik (10) yardımıyla duyarlılık analizi yapılarak alternatiflerin sıralamadaki değişiklikleri incelenir. Elde edilen duyarlılık analizinin sonucu Tablo 15'te gösterilmiştir. Buna göre  $\lambda$  değerinin değiştirilmesi Adım 8'de elde edilen alternatif sıralamasını Alt-3 > Alt-1 > Alt-4 > Alt-2

değiştirmemektedir. Dolayısıyla  $\lambda$  değerinin seçimi sonucu etkilemediğinden  $\lambda=0.5$  değeri seçilmiştir.

Onbirinci adımda, En İyi-En Kötü yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda en uygun taşıma modu belirlenmiştir. WASPAS yönteminde alternatiflerin sıralaması,  $Q_i$  değerleri dikkate

alınarak yapılmaktadır. En yüksek  $Q_i$  değerine sahip alternatif, en iyi alternatif olarak seçilmiştir.

Dolayısıyla firma için en uygun taşıma modunun, Alt-3 olan havayolu taşımacılığının olduğu tercih edilmesi gereken en son ki taşıma modu ise Alt-2 olan demiryolu taşımacılığı olduğu tespit edilmiştir.

**Adım 12:** Denklem (Eşitlik 11)'e göre optimal  $\lambda$  bulunarak sıralama kontrol edilir.

Tablo 7. Hesaplanan ağırlık ve tutarlık oranlar.  
Table 7. Calculated weight and consistency ratios.

bKV	ww <sub>1</sub> *	ww <sub>2</sub> *	ww <sub>3</sub> *	ww <sub>4</sub> *	ww <sub>5</sub> *	Ww <sub>6</sub> *	Ww <sub>7</sub> *	Ww <sub>8</sub> *	Ww <sub>9</sub> *	Ww <sub>10</sub> *	Ww <sub>11</sub> *	Ww <sub>12</sub> *	Ww <sub>13</sub> *	$\xi \xi^*$	CR
DKV <sub>1</sub>	00.09	00.31	00.05	00.09	00.05	00.04	00.04	00.03	00.04	00.11	00.03	00.09	00.04	33.59	00.80
DKV <sub>2</sub>	00.10	00.28	00.05	00.07	00.04	00.07	00.04	00.05	00.04	00.10	00.03	00.04	00.07	33.12	00.69
DKV <sub>3</sub>	00.12	00.14	00.13	00.11	00.11	00.02	00.12	00.03	00.05	00.02	00.01	00.05	00.04	44.22	00.80
DKV <sub>4</sub>	00.13	00.12	00.12	00.10	00.07	00.08	00.05	00.05	00.04	00.03	00.01	00.10	00.07	22.12	00.40
DKV <sub>5</sub>	00.10	00.11	00.09	00.08	00.08	00.08	00.11	00.04	00.10	00.08	00.03	00.01	00.08	33.85	00.73
w <sub>j</sub> */n	00.11	00.19	00.09	00.09	00.07	00.06	00.07	00.04	00.06	00.07	00.02	00.06	00.06		

Tablo 8. Alternatifler arası karşılaştırma ölçeği.  
Table 8. Comparison between alternatives scale.

Puan	1	2	3	4	5	6
Değer	Çok Kötü	Kötü	Biraz Kötü	Orta	İyi	Biraz İyi
						Çok İyi

Tablo 9. Birinci karar vericiye ait örnek anket değerleri.

Table 9. Sample questionnaire values of the first decision maker.

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>	K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>	K <sub>13</sub>
A <sub>1</sub>	6	4	3	5	6	7	7	7	7	7	1	4	7
A <sub>2</sub>	2	6	4	4	3	5	7	3	7	3	4	3	3
A <sub>3</sub>	7	1	7	3	6	3	2	2	3	3	1	7	3
A <sub>4</sub>	5	3	5	6	4	5	5	5	5	5	3	4	4

Tablo 10. Grup kararı sonucu elde edilen karar matrisi.

Table 10. Decision matrix resulted from group decision.

Geo Ort.	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>	K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>	K <sub>13</sub>
Kriterin Özelliği	Min	Min	Maks	Min	Min	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Maks
A <sub>1</sub>	5.14	4.10	2.99	4.62	3.84	6.15	4.45	7.00	4.21	7.00	1.15	2.17	6.38
A <sub>2</sub>	3.29	6.38	5.33	5.30	4.82	2.83	5.12	1.93	5.47	2.67	3.95	4.64	2.70
A <sub>3</sub>	6.79	1.00	6.35	1.64	2.79	4.32	1.32	2.00	1.89	1.93	4.00	6.35	2.99
A <sub>4</sub>	4.48	3.44	3.68	3.25	3.13	4.32	3.90	4.13	4.13	4.57	3.52	3.31	4.37

Tablo 11. Normalize karar matrisi.

Table 11. Normalized decision matrix.

Kriterler	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>	K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>	K <sub>13</sub>
Kriterin Ağırlığı	0.11	0.19	0.09	0.09	0.07	0.06	0.07	0.04	0.06	0.07	0.02	0.06	0.06
Alternatifler													
A <sub>1</sub>	0.64	0.24	0.47	0.36	0.72	1.00	0.87	1.00	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00
A <sub>2</sub>	1.00	0.16	0.84	0.31	0.58	0.46	1.00	0.28	1.00	0.38	0.29	0.47	0.42
A <sub>3</sub>	0.48	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.26	0.29	0.35	0.28	0.29	0.34	0.47
A <sub>4</sub>	0.73	0.29	0.58	0.51	0.89	0.70	0.76	0.59	0.75	0.65	0.33	0.65	0.69



Tablo 12. Ağırlıklı toplam modeli (WSM) ile alternatiflerin toplam görelî önemlerinin hesaplanması.  
Table 12. Calculating the total Relative Importance of alternatives with the weighted sum model (WSM).

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$Q^{(1)}$
$A_1$	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.07	0.02	0.06	0.06	<b>0.63</b>
$A_2$	0.09	0.03	0.07	0.03	0.04	0.03	0.07	0.01	0.06	0.03	0.01	0.03	0.02	<b>0.51</b>
$A_3$	0.05	0.19	0.09	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	<b>0.64</b>
$A_4$	0.07	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04	0.01	0.04	0.04	<b>0.57</b>

Tablo 13. Ağırlıklı çarpım modeli (WPM) ile alternatiflerin toplam görelî önemlerinin hesaplanması.  
Table 13. Calculation of Total Relative Importance of Alternatives with Weighted Product Model (WPM)

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$Q^{(2)}$
$A_1$	0.94	0.76	0.94	0.91	0.98	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	<b>0.58</b>
$A_2$	0.99	0.70	0.99	0.90	0.96	0.96	1.00	0.95	1.00	0.94	0.98	0.96	0.95	<b>0.45</b>
$A_3$	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.91	0.95	0.94	0.92	0.98	0.94	0.96	<b>0.59</b>
$A_4$	0.95	0.79	0.95	0.94	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	<b>0.56</b>

Tablo 14. Alternatiflerin görelî ve toplam önem düzeyleri.  
Table 14. Relative and total importance levels of alternatives.

	$Q^{(1)}$	$Q^{(2)}$	$Q_i$	Sıralama
A1	0.63	0.58	0.61	2
A2	0.51	0.45	0.48	4
A3	0.64	0.59	0.62	1
A4	0.57	0.56	0.57	3

Tablo 15. Farklı  $\lambda$  değerleri için yapılan duyarlılık analizi.  
Table 15. Sensitivity analysis for different  $\lambda$  values.

$\lambda$ Değerleri	Alt-1	Alt-2	Alt-3	Alt-4
$Q_i(1)$	0.63	0.51	0.64	0.57
$Q_i(2)$	0.58	0.45	0.59	0.56
$Q_{0.1}$	0.59	0.46	0.60	0.56
$Q_{0.2}$	0.59	0.46	0.60	0.56
$Q_{0.3}$	0.60	0.47	0.61	0.56
$Q_{0.4}$	0.60	0.47	0.61	0.56
$Q_{0.5}$	0.61	0.48	0.62	0.57
$Q_{0.6}$	0.61	0.49	0.62	0.57
$Q_{0.7}$	0.62	0.49	0.63	0.57
$Q_{0.8}$	0.62	0.50	0.63	0.57
$Q_{0.9}$	0.63	0.50	0.64	0.57
$Q_1$	0.63	0.51	0.64	0.57

Tablo 16. Optimal  $\lambda$  değerleri.  
Table 16. Optimal  $\lambda$  values.

Alternatifler	Optimal $\lambda$	Alternatiflerin Göreceli Önemi
Alt-1	0.479	0.6040
Alt-2	0.469	0.4781
Alt-3	0.480	0.6140
Alt-4	0.496	0.5650
Alternatiflerin Sıralanması		Alt-3>Alt-1>Alt-4>Alt-2

Her bir alternatif için Tablo 16'da verilen optimal  $\lambda$  değerleri incelendiğinde Alt-3>Alt-1>Alt-4>Alt-2 olan sıralamanın değişmediği görülmekte ve bundan hareketle yöntemlerin tutarlı sonuçlar verdiği görülmektedir.

## 5 Sonuç

Lojistik faaliyetlerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi bazı seçim süreçlerine bağlıdır. Bu süreçlerden birisi de taşıma modu seçimidir. Bir taşıma aracının performansı, bir şirketin tüm lojistik işlevinin etkililiğini ve verimliliğini etkilemektedir.

Ayrıca, taşıma modu seçimi pek çok firma için hem rekabet üstünlüğü sağlamak hem de sürdürülebilir büyüme için oldukça önemlidir. Bu nedenle, taşıma modu seçim sürecinin doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için birçok kriterin belirlenmesi ve analiz edilmesi ayrıntılı bir çerçeveye gerektirmektedir. Bu çalışmada, Kayseri ilinde faaliyet gösteren ve ihracat yapan bir lojistik firmasının taşıma modu seçim problemi ele alınmıştır.

ÇKKV problemi olan taşıma modu seçim probleminin kriterleri ve alternatifleri başlangıçta, literatür taramasıyla elde edilen

sonuçlar doğrultusunda belirlenmiştir. Sonrasında belirlenen kriterler ve alternatifler uzman karar verme grubuna iletilmiştir. Karar verme grubu; çalışma kapsamındaki firmanın genel müdür yardımcısı, ihracat-ithalat departman müdürü ve lojistik firmasının bölge operasyon yöneticisi ile iki akademisyenden oluşmaktadır. Uzman grubun görüşleri doğrultusunda, alternatifler ve kriterler revize edilmiş ve son şeklini almıştır. Belirlenen kriterler (süre, taşıma maliyeti, depolama maliyeti, güvenilirlik, ambalajlama, nakliye seferlerinin sıklığı, farklı ebatta/ağırlıkta ürünleri taşıyabilme esnekliği, rotada esneklik, taşınan ürün sayısında esneklik, zaman çizelgesinin değişebilirliği, teslimat noktasında esneklik, nakliye sırasında oluşabilecek hasar oluşumu, çevre üzerindeki etkiler), alternatifler ise karayolu, demiryolu, havayolu ve çokmodlu taşıma türleridir.

İlk olarak En İyi-En Kötü yöntemi kullanılarak kriterlerin önem dereceleri belirlenmiş daha sonra WASPAS yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar sıralanmıştır. Belirlenen kriterler doğrultusunda alanlarında uzman kişilere yapılan anketlerde taşıma modu seçimi için en önemli kriter nedir diye sorulduğunda her uzman soruyu kendi çalıştığı sektörden değerlendirmiş ve ona göre belirlediği en önemli kriteri diğer kriterlere göre kıyaslama yoluyla puanlamıştır.

Yapılan analizler sonucu kriter önem sıralaması aşağıdaki gibi elde edilmiştir, Taşıma Maliyeti > Süre > Depolama Maliyeti > Güvenilirlik > Ambalajlama > Farklı Ebatta/Ağırlıkta Ürünleri Taşıyabilme Esnekliği > Teslimat Noktasında Esneklik > Zaman Çizelgesinin Değişebilirliği > Nakliye sefer sıklığı > Nakliye Sırasında Hasar Oluşumu > Taşınan Ürün Sayısında Esneklik > Rotada Esneklik > Çevre Üzerindeki Etkiler. Bu sonuçtan hareketle en önemli kriterin en büyük puana sahip olan Taşıma Maliyeti olduğu ve en az önemli olan kriterin de Çevre Üzerindeki Etkiler olduğu görülmektedir. Öte yandan analizler sonucu bulunan alternatiflerin yani taşıma modu seçiminin en önemli taşıma türünün önem sıralaması havayolu taşımacılığı, karayolu taşımacılığı, çokmodlu taşımacılık ve demiryolu taşımacılığı olarak tespit edilmiştir. Havayolu taşımacılığının ilk sırada çıkmasının nedeni firmanın Çin Halk Cumhuriyeti'ne ihracat yapması ve kirazın kısa bir sürede bozulma riskinin bulunmasıdır.

Çalışmadan da anlaşılacağı gibi taşıma modu seçim kriterleri çok çeşitlidir ve bu kriterler sektörden sektöre, firmadan firmaya hatta yöneticilerden yöneticilere bile değişiklik gösterebilmektedir. Firmalar için doğru taşıma modu seçimi ancak kriterlerin doğru bir şekilde belirlenmesiyle ve kriterlerin analiz yapılacağı yöntemlerinde güvenilir ve tutarlı sonuçlar vermesiyle mümkündür. Küreselleşme ve gelişen teknolojiyle birlikte taşıma modu seçim kriterleri değişebilir ve çeşit çoğaldıkça karar vermek zorlaşabilir. Çalışma, farklı karar verme teknikleri kullanılarak ve farklı taşıma modu alternatifleri seçilerek geliştirilebilir. Diğer ÇKKV teknikleri ile problem çözülüp mevcut sonuçlar ile karşılaştırma yapılabilir. Ayrıca, karar vericilerin kesin olmayan yargılarının dikkate alınabileceği bulanık mantık destekli modeller oluşturulabilir.

## 6 Conclusion

Successful logistics activities depend on some selection processes. One of these processes is the choice of the transport mode. The performance of a transport vehicle affects the effectiveness and efficiency of a company's entire logistics function. In addition, the choice of transport mode is very important for many companies both for providing competitive advantage and for sustainable growth. Therefore, the

determination and analysis of many criteria requires a detailed framework in order to carry out the transport mode selection process correctly. In this study, the transportation mode selection problem of a logistics company operating in Kayseri province is discussed.

The criteria and alternatives to the transport mode selection problem, which is a multi-criteria decision making (MCDM) problem, were initially determined with the results obtained by the literature review. The criteria and alternatives determined were then forwarded to the expert decision-making group. Decision making group consists of the deputy general manager of the company, the export-import department manager, and the regional operations manager of the logistics company, and two academics. In line with the opinions of the expert group, alternatives and criteria were revised and took their final form. Determined criteria (transport duration, transportation cost, storage cost, reliability, packaging, frequency of transportation, flexibility to carry products of different sizes / weights, flexibility in the route, flexibility in the number of products transported, variability of the timeline, flexibility at the point of delivery, formation of damage during transportation, environment effects on it) and alternatives are the road, railway, airline and multimodal transport.

Firstly, the importance of the criteria was determined by using the Best-Worst method, and then the alternatives are ranked using the WASPAS method. When asked what the most important criterion for transportation mode selection in the surveys is, each expert evaluated the question over the sector he worked in and scored the most important criterion he determined according to the other criteria.

As a result of the analysis, the criteria importance was obtained as follows, Transportation Cost > Duration > Storage Cost > Reliability > Packaging > Flexibility to Carry Different Sizes / Weights > Flexibility at Delivery Point > Variability of Timeline > Freight Frequency > Damage During Transport > Flexibility in Number of Products Carried > Flexibility in Route > Effects on Environment. Based on this result, it is seen that the most important criterion is the transportation cost and the least important criterion is the effects on the environment. On the other hand, the importance order of the alternatives found as a result of the analysis, namely the choice of the mode of transport, has been determined as airline, road transport, multimodal transport and railway. The reason for airline transportation to come first is because the company exports to the People's Republic of China and there is a risk of cherry spoiling in a short time.

As it can be understood from the study, the selection criteria of transportation mode are very diverse and these criteria can vary from industry to industry, from company to company, even from managers to managers. Choosing the right mode of transportation for companies is only possible by accurately determining the criteria and providing reliable and consistent results in the methods in which the criteria will be analyzed. With the globalization and developing technology, the selection criteria of the transport mode may change and it can be difficult to make decisions as the variety increases. The study can be improved by using different decision making techniques and by choosing different modes of transport. Problems can be solved with other MCDM techniques and comparison with existing results can be made. In addition, fuzzy logic supported models can be created in which the imprecise judgments of decision makers can be taken into account.

## 7 Kaynaklar

- [1] Koban E, Keser HY. *Dış Ticarete Lojistik*. Bursa, Türkiye. Ekin Basım Yayın Dağıtım, 2015.
- [2] Karahan A. Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Faaliyetlerinin Optimize Edilmesine Yönelik Bir Model Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Türkiye, 2003.
- [3] Murat YŞ, Kulak O. "route selection in transportation networks using information axiom". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 11(3), 425-435 2005.
- [4] Aytaç M, Gürsakal N. *Karar Verme*. Bursa, Türkiye, Dora Yayıncılık, 2015.
- [5] Paksoy S. *Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar*, Adana, Türkiye, Karahan Kitabevi, 2017.
- [6] Tuzkaya UR, Önüt S. "A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between turkeyand germany: a case study". *Information Sciences*, 178(15), 3133-3146, 2008.
- [7] Toker K,Görener A. "Lojistik yönetimi kapsamında ulaştırma modunun seçimi: Tekstil sektöründe bir uygulama". *İ.Ü. İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 24(74), 16-37, 2013.
- [8] Lee EK, Kim DJ, Moon DS. "A study on competitiveness analysis of international transportation routes between korea and EU With Entropy-TOPSIS". *The Journal of Productivity*, 27(4), 123-149, 2013.
- [9] Kumru M, Kumru PY. "Analytic hierarchy process application in selecting the mode of transport for a logistics company". *Journal of Advanced Transportation*, 48(8), 974-999, 2014.
- [10] Ütücüler ÜM. Uluslararası Taşımacılık Yapan Lojistik İşletmesinin Taşıma Türünün Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle Seçimi: Vestel Beyaz AŞ'te Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Uşak Türkiye, 2015. (Yayımlanmamış).
- [11] Moon DS, Kim DJ, Lee EK. "A study on competitiveness of sea transport by comparing international transport routes between koreaand EU". *The Asianjournal of Shippingand Logistics*, 31(1), 1-20, 2015.
- [12] Rahman MA, Pereda VA. "Freight Transport and Logistics Evaluation Using Entropy Technique Integratedto TOPSIS Algorithm".  
[https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=xTMDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA63&dq=freight+mode+choice,+mcdm&ots=yZo4YITnAE&sig=jjrIGP2JHFZfWjpl5hkPOxN7X64&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=xTMDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA63&dq=freight+mode+choice,+mcdm&ots=yZo4YITnAE&sig=jjrIGP2JHFZfWjpl5hkPOxN7X64&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false), (21.04.2019).
- [13] Pham T, Kim K, Yeo GT. "The panama canal expansion and its impact on east-west liner shipping route selection". *Sustainability*, 10(12), 1-16, 2018.
- [14] Chen HL, Shih SZ, Lirn TC. "The study of grain importers transport mode choice behavior". *International Symposium on Logistics Big Data Enabled Supply Chain Innovations*, Bali, Indonesi, 8-11 July 2018.
- [15] Belošević I, Kosijer M, Ivić M, Pavlović N. "Group decision making process for earlystage evaluations of infrastructure projects using extended VIKOR method under fuzzy environment". *European Transport Research Review*, 10(2), 1-14, 2018.
- [16] Işıldar A. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Katı Atık Bertaraf Yöntemi Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2018.
- [17] Nispeling T. Multi-Criteria Supplier Selection in the Edible Oil Industry: The Case of a New Oilsand Fats Plant in China. PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft The Netherlands, 2015.
- [18] Rezaei J. "Best-Worst multi-criteria decision-making method". *Omega*, 53, 49-57, 2015.
- [19] Zavadskas EK, Turskis Z, Antucheviciene J, Zakarevicius A. "Optimization of weighted aggregatedsum product assessment". *Elektronika ir Elektrotechnika*, 122(6), 3-6 2012.
- [20] Rençber ÖF, Avcı T. "BİST'te işlem gören bankaların sermaye yeterliliklerine göre karşılaştırılması: WASPAS yöntemi ile uygulama". *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(18), 169-175, 2018.
- [21] Chakraborty S, Zavadskas EK. "Applications of WASPAS Method in Manufacturing Decision Making". *Informatica*, 25(1), 1-20, 2014.