

Doğuş Üniversitesi Dergisi, 12 (1) 2011, 144-155

## MALZEME TAŞIMA SİSTEMİ ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE BULANIK-PROMETHEE YAKLAŞIMI

### EVALUATING MATERIAL HANDLING SYSTEM ALTERNATIVES USING FUZZY-PROMETHEE APPROACH

Gülfem TUZKAYA<sup>(1)</sup>, Doğan ÖZGEN<sup>(2)</sup>, Bahadır GÜLSÜN<sup>(3)</sup>

<sup>(1,2,3)</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

<sup>(1)</sup>gtuzkaya@yildiz.edu.tr, <sup>(2)</sup>dozgen@yildiz.edu.tr, <sup>(3)</sup>bahadir@yildiz.edu.tr

**ÖZET:** Malzeme taşıma sistemlerinin doğru seçimi, üretim ortamının toplam verimliliği üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu önemli etki göz önüne alındığında, malzeme taşıma sistemi seçimi problemi için sistematik bir yaklaşım geliştirilmesi gerekliliği de görülmektedir. Bu çalışmada, söz konusu problem için, çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan PROMETHEE yaklaşımından faydalanılmıştır. Değerlendirme sürecindeki belirsizlikler ve karar vericilerden değerlendirmelerini sözel olarak almanın kolaylığı nedeniyle bulanık kümelerden faydalanılması uygun görülmüştür. Bu anlamda PROMETHEE'in bulanık sayıların kullanıldığı bir şekli tanıtılmıştır. Kullanılan metodolojinin daha net anlaşılabilmesi ve kullanılabilirliğinin örneklenmesi için üretim sektöründen bir firmanın ambar bölümü için gerçek bir uygulama yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Malzeme Taşıma Sistemleri; Alternatif Değerlendirme; Çok Kriterli Karar Verme; PROMETHEE; Bulanık Kümeler

**ABSTRACT:** Material handling system selection process has an important effect on productivity of manufacturing systems. Considering the importance of this process, it can be seen that there is a necessity to establish a systematic approach. In this study, to determine the best material handling system alternative, PROMETHEE approach is utilized. With the aim of taking into account the vagueness in the evaluation process and obtaining decision maker evaluations in an easier way with linguistic terms, fuzzy sets are utilized. To this end, a modified version of PROMETHEE is used. To foster the better understanding of the methodology, a real life application of a manufacturer is realized.

**Keywords:** Material Handling Systems; Alternative Evaluation; Multi-Criteria Decision Making; PROMETHEE; Fuzzy Sets

**JEL Classifications:** C44; D81; L23

### 1. Giriş

Malzeme taşıma sistemi (MTS) seçimi, firmaların uzun vadeli stratejik planlarını birbir etkileyen karmaşık ve çok kriterli bir problemdir. Günümüzde giderek küreselleşen ve rekabetin hızla arttığı üretim ve dağıtım sektörlerinde stratejik kararların doğru verilmesi, firmaların pazarda uzun süreli kalabilmek ve rakipleriyle rekabet edebilmek için ihtiyaç duyduğu en önemli noktalardan bir tanesidir. Malzeme taşıma sistemlerinin doğru seçimi; optimum kaynak kullanımını, üretim sürecinin basitleştirilmesi ve hızlandırılmasını, iş güvenliğini vb. arttıracaktır. Malzeme taşıma maliyetlerinin tüm üretim maliyetlerinin içinde %13-40 arasında bir orana sahip olduğu (Yurdakul ve İpek, 2005) ve iyi bir seçimin toplam fabrika işletim maliyetlerini %15-30 düşürebileceği (Sule, 1994; Kulak, 2005) düşünülecek olursa, taşıma

sisteminin doğru seçimi daha da önem kazanmaktadır. Doğru MTS seçimi ve bu sistemin tesis içinde doğru yerleştirilmeleri üretkenliği artırıp, yatırım ve işletme masraflarını düşürür.

Çok çeşitli tipte ve modelde malzeme taşıma aracının satılması ve farklı tipteki araçların alımında farklı kriterlere bakılma zorunluluğu seçim problemini zorlaştırmaktadır. Yeni bir ekipman seçimi, karar verici (KV), yönetici ve mühendisler için oldukça deneyim isteyen, zaman alıcı, zorlu ve karmaşık bir süreçtir (Ayağ ve Özdemir, 2006). Diğer ekipman seçimlerinde olduğu gibi MTS seçiminde de KV'lerin karşılamaya çalışacakları üç ana unsur şöyledir (Luong, 1998): 1)Seçilecek teknolojinin firmanın operasyonel kabiliyetlerine uygunluğu ve firma amaçlarını orta ve uzun vadede karşılayabilecek optimum teknoloji seviyesi, 2)Yatırımın finansal analizi, 3)Seçim yapıp, sistem alındıktan sonra sistemin devreye sokulacağı bir işletme planı. MTS seçim sürecinde bu ekipmanı satan firmaların bilgi ve uzmanlık düzeyleri, sistemi alacak firmalardan çok daha fazla olmalıdır. Satış ve pazarlama yetkilileri sattıkları malzemelerin teknik özelliklerini çok iyi bilmelidir ve bu özelliklerin alıcı firmanın orta ve uzun vadeli ihtiyaçlarını nasıl karşılayacağı karşılıklı görüşme ve toplantılarla tespit edilmelidir.

MTS seçimi çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olduğu için bünyesinde birçok kantitatif ve kalitatif kriteri içermektedir. Son yıllarda tesis yerleşimindeki sık değişiklikler, mamul hayat eğrilerinin kısılması, yüksek kaliteli ürün çıktıları, daha kısa tedarik süreleri ve artan ürün çeşitliliği bu alandaki araştırmaların önemini arttırmıştır (Park, 1996). İlk başlarda seçim sürecinde sadece MTS yatırım ve işletme maliyetleri en temel kriter olarak ele alınsa da (Tabucanon vd., 1994) son yıllarda maddi olmayan kalitatif faktörleri de sistematiik şekilde seçim süreci içine dahil eden metodolojiler, araştırmacılar tarafından sıkça incelenmiştir. Belton ve Stewart (2002) bu metodolojileri üç başlık altında incelemiştir: Değer ölçümleme modelleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP); ELECTRE; PROMETHEE ve TOPSIS. Son yıllarda yapılan çalışmalar, sıkça bu metodolojileri birbirleriyle veya uzman sistemler gibi başka tekniklerle entegre etmiştir. Ayrıca AHP'nin yatay hiyerarşideki ilişkileri temsil edebilen versiyonu olan Analitik Ağ Prosesi (ANP) de son yıllarda ÇKKV problemlerinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Dağdeviren (2008) en iyi ekipman seçim için AHP-PROMETHEE yaklaşımını kullanmıştır. Tabucanon vd. (1994) AHP'yle bütünleşik uzman sistemler kullanarak MTS seçimi için kural tabanlı bir uzman sistemi geliştirmişlerdir. Chen vd., (2001), AHP ile entegre edilmiş akıllı sistem (bilgisayar tabanlı danışman) geliştirmişlerdir. Ayağ ve Özdemir (2006), Chakraborty ve Banik (2006), makine ekipman seçimi için bulanık AHP'yi kullanmışlardır. Yurdakul ve İpek (2005), MTS seçiminde AHP, TOPSIS ve ekonomik analiz yöntemlerinden en uygun sonucu tercih eden UZMANIM programını geliştirmişlerdir.

Diğer sıralama metodlarından farklı olarak PROMETHEE'de kriterler farklı tercih fonksiyonları olarak tanımlanabilirler (Dağdeviren, 2008). Ayrıca PROMETHEE, diğer ÇKKV metodlarına göre anlaması ve uygulaması kolay bir metottur. Buna ek olarak, kısıtlı sayıda alternatifin birden fazla ve çoğu zaman birbiriyle çelişen kriterler açısından karşılaştırılması gereken problemlere kolay adapte edilebilir (Bilsel vd., 2006). Ülengin vd. (2001)'e göre PROMETHEE'in bazı avantajları şu şekilde özetlenebilir: (i) PROMETHEE, kullanımı kolay bir sıralama metodudur, (ii) gerçek yaşamdaki planlama problemlerinde başarıyla uygulanabilir ve (iii) PROMETHEE I

ve PROMETHEE II, basitlik özelliğini korurken, alternatiflerin, kısmi ve tam sıralamasının yapılmasına olanak verir.

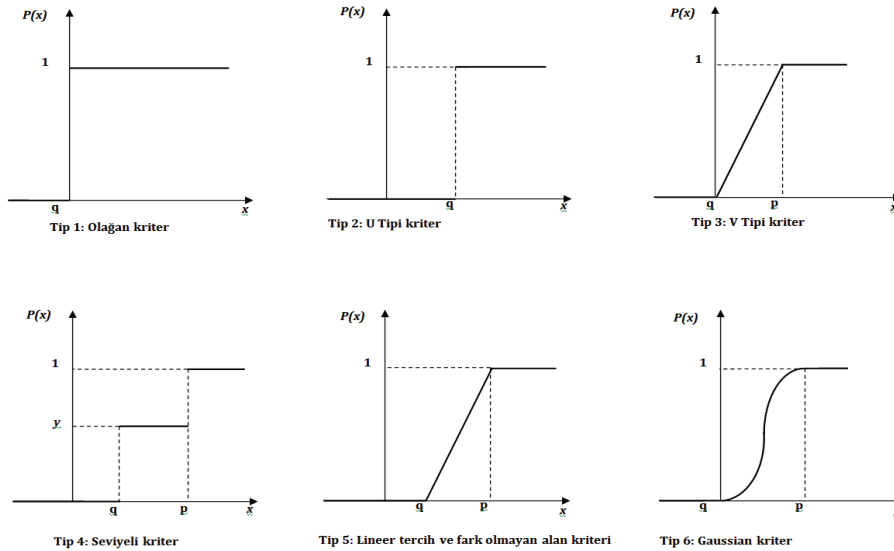
Son yıllarda yapılan birçok alandaki araştırmalarda gerçek yaşam problemlerini daha iyi temsil edebilmek için ilk Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisi metodolojilerin içine dahil edilmeye başlanmıştır. Bulanık sayı kümelerinde, sayılar kesin ve tek sayılar yerine çeşitli dağılımlara uyan çoklu sayılarla ifade edilmektedirler. Özellikle ÇKKV yöntemlerinde bu kümeler düşüncelerin sayısallaştırılmasında oldukça fazla kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle karar vericilerin fikirlerinde oluşabilecek belirsizlikler ve/veya kararsızlıklar daha aza indirgenmekte ve problem içerisinde temsil edilebilmektedirler. Literatürde en sık kullanılan kümeler üçgen, trapezoidal ve  $s$ -fonksiyonlarıdır (Ayağ ve Özdemir, 2006).

Bu çalışmada, bulanık-PROMETHEE tekniğinden faydalanılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde PROMETHEE ve bulanık-PROMETHEE teknikleri tanıtılmıştır. 3. Bölüm'de üretim sektöründen bir firmanın ambar bölümü için uygun malzeme taşıma ekipmanı seçilmiştir. Son bölüm sonuç bölümüdür.

## 2. PROMETHEE – Bulanık PROMETHEE

PROMETHEE'in açıklaması ve işlem adımları aşağıda özetlenmiştir, daha detaylı bilgi için Geldermann vd. (2000) ve Araz vd. (2007)'den faydalanılabilir.

$i (i=1,2,\dots,m$  ve  $i \in A)$  alternatifleri,  $j (j=1,2,\dots,n$  ve  $j \in C)$  kriter kümesini ve  $g_j(i)$  alternatif  $i$ 'nin, kriter  $j$  için tercih edilme değerini verir.  $g_j(i)$  değerleri ilk adımda hesaplandıktan sonra,  $i$ . alternatifin  $i'$ . alternatifle  $j$ . kriter açısından tercih edilme derecesini gösteren, tercih fonksiyonu,  $F_j(i,i') = g_j(i) - g_j(i') = x_j$ , Şekil 1'de verilmiş olan altı farklı genelleştirilmiş fonksiyon tipinden biri olarak belirlenir (Brans vd., 1986).



**Şekil 1. Genelleştirilmiş tercih fonksiyonları**(Brans vd., 1984; Vego vd., 2008, Tuzkaya, 2009)

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1, & x > q \end{cases} \quad (2)$$

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ x/p, & q < x < p \\ 1, & x \geq p \end{cases} \quad (3)$$

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ y, & q < x < p \\ 1, & x \geq p \end{cases} \quad (4)$$

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ (x-q)/(p-q), & q < x < p \\ 1, & x \geq p \end{cases} \quad (5)$$

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1 - e^{-x^2/2z^2}, & q < x < p \\ 1, & x \geq p \end{cases} \quad (6)$$

Tercih edilme değerleri hesaplandıktan sonra, bu değerler kullanılarak, her alternatif çifti için birleştirilmiş tercih fonksiyonları hesaplanır. Sonraki adım, Denklem 7 ile, tüm kriterler için tercih fonksiyonu  $P(x_j)$ 'nin ağırlıklı ortalaması olan tercih indeksi  $\pi(i, i')$ 'nin hesaplanması adımıdır. Burada,  $w_j$  kriterlere atanan ağırlıklardır (Tuzkaya, 2009; Brans and Mareschal, 2008).

$$\pi(i, i') = \frac{\sum_{j=1}^n w_j P(x_j)}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (7)$$

$\pi(i, i')$  değerlerinin toplamı alternatif  $i \in A$ 'nin gücünü gösterir. Böylece,  $i$ 'nin pozitif üstünlük değerleri Denklem 8'deki gibi hesaplanır.

$$\Phi^+(i) = \frac{1}{m-1} \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^m \pi(i, i') \quad \forall i \in A \quad (8)$$

Diğer bir ölçü ise  $i \in A$  alternatifin zayıflığını gösteren negatif üstünlükleridir.  $i$  alternatifi için bu değer Denklem 9'daki gibi hesaplanır.

$$\Phi^-(i) = \frac{1}{m-1} \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^m \pi(i', i) \quad \forall i \in A \quad (9)$$

Yukarıdaki hesaplamalardan faydalanılarak PROMETHEE-I ve PROMETHEE-II ile gerekli sonuçlar elde edilir. PROMETHEE I pozitif ve negatif üstünlük değerleri karşılaştırılarak, zayıf ve karşılaştırılmayan tercihlerin ön bir sıralamasını yapar (Tuzkaya, 2009; Brans and Mareschal, 2008). Denklem 10-12'den herhangi biri sağlandığında  $i$ . alternatifin  $i'$ . alternatifden üstün olduğu söylenebilir.

$$\Phi^+(i) > \Phi^+(i') \text{ ve } \Phi^-(i) < \Phi^-(i') \quad (10)$$

$$\Phi^+(i) > \Phi^+(i') \text{ ve } \Phi^-(i) = \Phi^-(i') \quad (11)$$

$$\Phi^+(i) = \Phi^+(i') \text{ ve } \Phi^-(i) < \Phi^-(i') \quad (12)$$

Eğer Denklem 13 sağlanıyorsa,  $i$ . alternatifle,  $i'$ . alternatifin aynı tercih seviyesinde olduğu söylenebilir.

$$\Phi^+(i) = \Phi^+(i') \text{ ve } \Phi^-(i) = \Phi^-(i') \quad (13)$$

Eğer Denklem 14-15'den biri sağlanıyorsa  $i$  ve  $i'$  alternatiflerinin karşılaştırılmadığı söylenebilir.

$$\Phi^+(i) > \Phi^+(i') \text{ ve } \Phi^-(i) > \Phi^-(i') \quad (14)$$

$$\Phi^+(i) < \Phi^+(i') \text{ ve } \Phi^-(i) < \Phi^-(i') \quad (15)$$

PROMETHEE I'le kısmi sıralamalar elde edilmiş olsa da, genellikle PROMETHEE II ile tam sıralamaların elde edilmesine ihtiyaç duyulduğu görülür. Tam sıralamalar ise PROMETHEE II olarak adlandırılan ve pozitif ve negatif akışların farkıyla elde edilen net akışların (Denklem 16) karşılaştırılmasını gerektiren bir hesaplama ile elde edilir (Brans and Mareschal, 2008).

$$\Phi^{net}(i) = \Phi^+(i) - \Phi^-(i) \quad (16)$$

Bu çalışmada karar probleminin belirsizlik içermesinden dolayı bulanık PROMETHEE yaklaşımı tercih edilmiştir. Literatürde bulanık PROMETHEE yaklaşımını kullanmış olan birkaç çalışma şöyledir; Goumas ve Lygerou (2000), Bilsel vd. (2006), Geldermann ve Spengler (2000) ve Chou vd. (2007). Bulanık PROMETHEE için gerekli olan bazı temel bulanık işlemler Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1. Temel Bulanık İşlemler**

Toplama	$(m,a,b)_{LR} \oplus (n,c,d)_{LR} = (m+n, a+c, b+d)_{LR}$
Tersini alma	$-(m,a,b)_{LR} = (-m,b,a)_{LR}$
Çıkarma	$(m,a,b)_{LR} - (n,c,d)_{LR} = (m-n, a+d, b+c)_{LR}$
Bir sayı ile çarpma	$(m,a,b)_{LR} \otimes (n,0,0)_{LR} = (mn, an, bn)_{LR}$
Bulanık bir sayı ile çarpma	
$m>0$ ve $n>0$ için	$(m,a,b)_{LR} \otimes (n,c,d)_{LR} \approx (mn, mc+na, md+nb)_{LR}$
$m<0$ , $n>0$ için	$(m,a,b)_{LR} \otimes (n,c,d)_{LR} \approx (mn, na-md, nb-mc)_{LR}$
$m<0$ , $n<0$ için	$(m,a,b)_{LR} \otimes (n,c,d)_{LR} \approx (mn, -nb-md, na-mc)_{LR}$

**Kaynak:** (Bilsel vd., 2006)

Bulanık PROMETHEE yaklaşımında, asıl problem iki bulanık sayının karşılaştırılmasında oluşur. Yager (1981) bulanık sayıların karşılaştırılmasında, üyelik fonksiyonlarını temsil eden ağırlık merkeziyle karşılaştırma yöntemini önermiştir (Goumas ve Lygerou, 2000 ; Bilsel vd., 2006). Yager İndeksi'ne göre (Yager, 1981), üçgensel bulanık sayının büyüklüğü üçgenin merkezine göre  $YI=(3*n-a+b)/3$  formülüyle ifade edilebilir. Burada, bulanık üçgensel sayının gösterimi  $\tilde{F} = (n, a, b)$  şeklindedir. Bu ifade ve Tablo 1'de gösterilen üçlü sayılar LR tipte bulanık sayılardır ve ilk ifade orta değeri, bir sonraki ifade sola yayılma derecesini ve son ifade sağa yayılma derecesini gösterir.

Bu çalışmada, karar vericiler tarafından belirlenen tercih fonksiyonu tüm kriterler açısından lineer tercih fonksiyonudur. Tercih fonksiyonunda, öncelikle iki eşik değeri,  $q$  ve  $p$ 'nin belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 1-Tip 4). PROMETHEE'de bulanık sayılar kullanılırken Şekil 1'de açıklanan değerlendirme fonksiyonu Denklem 17'deki gibi ifade edilebilir.

$$P_j(a_i, a_i') = \begin{cases} 0, & \text{if } n-a \leq q (\text{fark yok}) \\ \frac{(n,a,b)-q}{p-q}, & \text{if } q \leq (n-a) \text{ ve } (n+b) \leq p \\ 1, & \text{if } n+b > p (\text{kuvvetli tercih}) \end{cases} \quad (17)$$

Denklem 17'de,  $q$  ve  $p$  değerleri bulanık olmayan sayılardır ve bulanık sayı C'nin üyelik fonksiyonları  $n-a \geq 0$  ve  $n+b \geq 1$  olacak şekilde düzeltilir. Eğer ise yapısındaki Denklem 17'de kontrol parametreleri,  $a_i, a_i'$  arasındaki farkı temsil eden üçgensel bulanık sayılardır. PROMETHEE yaklaşımındaki giriş akışı, çıkış akışı ve net akış ifadeleri F-PROMETHEE yaklaşımında da kullanılmaktadır (Bilsel vd., 2006). Ayrıca, F-PROMETHEE yaklaşımı PROMETHEE yaklaşımının uygulama adımlarını kullanmaktadır. Bu adımların içinde, bulanık sayılarla ilgili olan işlemler için Tablo 1'de verilen temel bulanık sayı operatörleri kullanılabilir.

#### 4. Uygulama

Uygulama, Türkiye'nin ekonomik tarihinde birçok ilk imza atmış, merkezi Amsterdam, Hollanda'da bulunan uluslararası bir firmanın İstanbul'daki fabrikasının ambar bölümünde gerçekleştirilmiştir. Ambar bölümü için yeni bir taşıma aracı alınması planlanmaktadır ve bunun için transpalet (T), el forklifti (EF), elektrikli araç forklifti (EAF) ve mazotlu araç forklifti (MAF) alternatifleri arasından bir seçim yapılacaktır.

Halihazırda, firmanın ambar bölümünde 5 adet transpalet, 2 adet el forklifti, 3 mazotlu araç forklifti ve 1 adet de elektrikli araç forklifti bulunmaktadır. Araç forklifti kullanan kişilerin F sınıfı forklift ehliyetlerinin bulunması zorunludur. El forkliftini kullanacak kişilerde ise tecrübeli olması koşulu aranmaktadır.

Ambar bölümünde kullanılan transpaletler genellikle malzemenin yerden kesilmesi için kullanılırlar ve fazla yükseğe çıkamazlar. Malzeme taşıma kapasitesi 2 tondur. El forkliftleri transpaletlerin elektrikli olan versiyonudur. Şarjlıdır ve ortalama 8 saat şarj edilmesi gerekmektedir. Şarj edildikten sonra 1 gün süreyle kullanılabilir. Ambar bölümünde kullanılan mazotlu araç forkliftleri 96 model Linde AG H 40 D tipi forkliftlerdir ve otomatik viteslidir. Otomatik vitesli araçlarda fren bulunmamaktadır. Ayak gaz pedalından çekilince forklift otomatik olarak durur. Kendi ağırlığı 6100 kg'dır. Arkası dökümden yapılmıştır, ön tarafı ise hafiftir. Arkasının dökümden yapılması ve ağır olması ön tarafına yük koyulunca arka bölümün kalkmasını engeller. 4 ton kapasitesi vardır. 4 metre yüksekliğe malzeme çıkarabilir. Şişme lastik kullanılır. Şişme lastikler forkliftin daha hızlı gitmesini sağlar. Elektrikli araç forkliftinin kapasitesi 3 tondur. Bu forklifte dolma lastikler kullanılır. Bu lastiklerin özelliği patlamamasıdır.

Uygulamada ilk aşama, karar verme sürecinde etkisi olacak olan karar vericilerin (KV) belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada ambar bölümünden sorumlu yöneticilerle görüşülmüş ve ambar yöneticisi, ambar sorumlusu, ilgili satın alma sorumlusu ve ambar çalışanlarından oluşan bir karar verme grubu oluşturulmuştur. Karar sürecinde, karar verme grubunun görüşleri alınmış ve bu görüşlerin ortalamasına göre değerlendirmeler hesaba katılmıştır.

Karar verme sürecine katılacak kişiler belirlendikten sonraki aşama karar verme kriterlerinin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada, malzeme taşıma sistemi seçiminde 5 ana kriter kullanılması uygun görülmüştür. Bu kriterler, malzeme ile ilgili özellikler (K1), maliyetler ile ilgili özellikler (K2), teknik özellikler (K3), taşıma aracının performansı ile ilgili özellikler (K4), ve taşıma aracının kullanımı ile ilgili özelliklerdir (K5).

Kriterler belirlendikten sonra ilgili kriter ağırlıkları karar verme grubu ile görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarını değerlendirme sürecinde KV'lerden kriterleri ana amaca katkılarına göre, en az katkı 1 en çok katkı 10 olacak şekilde, 1 ile 10 arasında puanlandırmaları istenmiştir. Bu süreç sonucunda elde edilen kriter değerlendirmelerinin ortalaması alınmış ve tüm kriter değerlendirmelerinin toplamı 1 olacak şekilde normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, K1'in ağırlığı 0.22; K2'nin ağırlığı, 0.28; K3'ün ağırlığı, 0.17; K4'ün ağırlığı, 0.25; K5'in ağırlığı, 0.08 olarak belirlenmiştir. Görüşme yapılan kişilerle aynı zamanda alternatif değerlendirmeleri de

gerçekleştirilmiştir. Adayların ilgili kriterler açısından değerlendirilmesi için kullanılan sözel ifadeler Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2. Adayların Değerlendirilmesinde Yararlanılan Sözel İfadeler ve Bulanık Üçgen Sayı Olarak Karşılıkları**

Sözel İfadeler	Üçgen Bulanık Sayı Karşılığı
Çok Yüksek (ÇY)	(0,8; 1; 1)
Yüksek (Y)	(0,65; 0,8; 1)
Biraz Yüksek (BY)	(0,5; 0,65; 0,8)
Eşit (E)	(0,3; 0,5; 0,65)
Biraz Düşük (BD)	(0,15; 0,3; 0,5)
Düşük (D)	(0; 0,15; 0,3)
Çok Düşük (ÇD)	(0; 0; 0,15)

**Kaynak:** (Bilsel vd., 2006)

Sonraki adımda karar vericilerden alternatifleri kriterlere göre sözel ifadelerle değerlendirmeleri istenmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3. MTS Alternatiflerinin Sözel İfadelerle Değerlendirilmesi**

	K1	K2	K3	K4	K5
<b>T</b>	BD	ÇY	Y	D	BD
<b>EF</b>	E	Y	Y	BD	BY
<b>MAF</b>	BY	E	BD	ÇY	ÇY
<b>EAF</b>	BY	E	E	Y	ÇY

Tabloda belirlenen sözel değerlendirmeler Tablo 2’den faydalanılarak bulanık sayı karşılıklarına dönüştürülür (Tablo 4).

**Tablo 4. MTS Alternatiflerinin Sözel Değerlendirmelerinin Üçlü Sayılara Dönüştürülmesi**

	K1			K2			K3			K4			K5		
<b>T</b>	0,30	0,15	0,20	1,00	0,20	0,00	0,80	0,15	0,20	0,15	0,15	0,20	0,30	0,15	0,20
<b>EF</b>	0,50	0,20	0,15	0,80	0,15	0,20	0,80	0,15	0,20	0,30	0,15	0,20	0,65	0,15	0,15
<b>MAF</b>	0,65	0,15	0,15	0,50	0,20	0,15	0,30	0,15	0,20	1,00	0,20	0,00	1,00	0,20	0,00
<b>EAF</b>	0,65	0,15	0,15	0,50	0,20	0,15	0,50	0,20	0,15	0,80	0,15	0,20	1,00	0,20	0,00

Bir sonraki adım, kriterlerin tercih fonksiyonu tiplerinin belirlenmesidir. Brans vd. (1984) tarafından belirlenmiş olan altı tip geliştirilmiş tercih fonksiyonu vardır (Şekil 1) ve bu tercih fonksiyonları gerçek yaşam uygulamalarının çoğunu tatmin edici bir şekilde temsil edebilmektedir (Brans ve Mareschal, 2010). Bu çalışmada karar vericilerle yapılan görüşmeler sonucunda tüm kriterler açısından 3. tip ya da 6. tip geliştirilmiş tercih fonksiyonlarının uygunluğu üzerinde durulmuştur. 6. Tip tercih fonksiyonunda  $q$  eşik değeri sıfır olduğunda 3. tip tercih fonksiyonu elde edilmektedir. Karar vericilerle yapılan görüşmeler sonucunda, iki değerlendirimin farkı analiz edilirken, belirli bir eşik değerinin altının ve diğer bir eşik değerinin üstünün aynı durumu ifade etmesi yönünde fikir birliğine varılmıştır. Aynı şekilde iki değerlendirme arasındaki farkın bir birim artışı sonucunda tercih değerinin belirlenen eşik değerlerine göre oluşacak bir eğimle lineer olarak artan bir yapıda olması uygun görülmüştür. Çeşitli denemeler sonucunda, bu fonksiyonun parametreleri olarak  $q=0$  ve  $p=0.6$  değerleri alınmıştır.



Sonrasında, alternatiflerin ikili karşılaştırmaları gerçekleştirilir. Bu adımı gerçekleştirmek için, Tablo 1'deki temel bulanık işlemlerden çıkarma işleminden faydalanılır. Örneğin T alternatifinin değerlendirme sonuçları, sırasıyla tüm diğer alternatiflerin aynı kriterler açısından değerlendirme sonuçlarından çıkarılır. Çıkarma işlemi gerçekleştirildikten sonra, elde edilen sonuçlar, Denklem 17'den faydalanılarak, karşılaştırma değerlerine dönüştürülür (Tablo 5).

**Tablo 5. Ağırlıklandırılmamış Karşılaştırma Matrisi**

	K1	K2	K3	K4	K5
T-T	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-EF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-MAF	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
T-EAF	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
EF-T	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
EF-EF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EF-MAF	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
EF-EAF	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
MAF-T	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00
MAF-EF	0,00	0,00	0,00	1,00	0,47
MAF-EAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAF-MAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EAF-T	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00
EAF-EF	0,00	0,00	0,00	1,00	0,47
EAF-MAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EAF-EAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Hesaplanan karşılaştırma matrisi, daha önceden belirlenmiş olan kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılır ve ağırlıklandırılmış karşılaştırma matrisi hesaplanır (Tablo 6).

**Tablo 6. Ağırlıklandırılmış Karşılaştırma Matrisi**

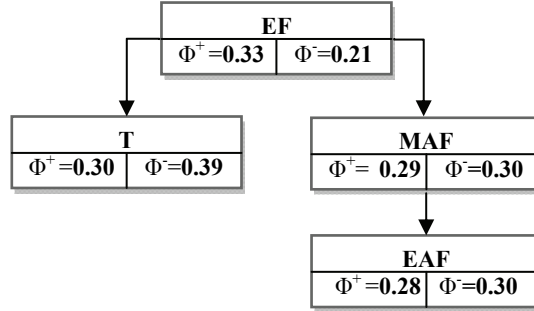
	MK	EK	TK	PK	KK
T-T	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-EF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-MAF	0,00	0,28	0,17	0,00	0,00
T-EAF	0,00	0,28	0,17	0,00	0,00
EF-T	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
EF-EF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EF-MAF	0,00	0,28	0,17	0,00	0,00
EF-EAF	0,00	0,28	0,17	0,00	0,00
MAF-T	0,21	0,00	0,00	0,25	0,08
MAF-EF	0,00	0,00	0,00	0,25	0,08
MAF-EAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAF-MAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EAF-T	0,21	0,00	0,00	0,25	0,08
EAF-EF	0,00	0,00	0,00	0,25	0,04
EAF-MAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EAF-EAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Ağırlıklandırılmış karşılaştırma matrisindeki verilerden ve Denklem 8 ve 9'daki formüllerden faydalanılarak  $\Phi^+$  ve  $\Phi^-$  değerleri hesaplanır (Tablo 7).

**Tablo 7. Alternatiflerin  $\Phi^+$  ve  $\Phi^-$  Değerleri**

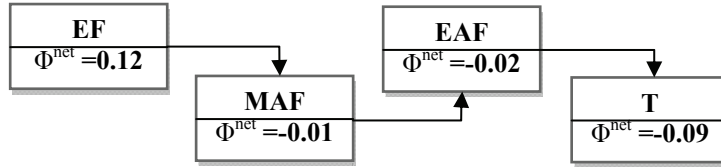
	T	EF	MAF	EAF	$\Phi^+$	$\Phi^{net}$
T	0,00	0,00	0,45	0,45	0,30	-0,09
EF	0,08	0,00	0,45	0,45	0,33	0,12
MAF	0,55	0,33	0,00	0,00	0,29	-0,01
EAF	0,55	0,29	0,00	0,00	0,28	-0,02
$\Phi^-$	0,39	0,21	0,30	0,30		

Denklem 10-11-12-13-14-15'den faydalanılarak Tablo 7'deki değerlere göre alternatifler karşılaştırılır ve PROMETHEE I için gerekli hesaplamalar yapılır. Bu durumda alternatifler, Şekil 2'deki gibi sıralanabilir. Şekil 2'den görüldüğü gibi, EF alternatifi diğer tüm alternatiflerden üstündür ve MAF alternatifi de EAF alternatifinden üstündür. Ancak, T alternatifi ile MAF ve EAF arasında bir karşılaştırma yapılamamıştır. Bunun nedeni, T'nin pozitif akışının, MAF ve EAF'tan üstün olmasına karşın, negatif akışının bu alternatiflerden daha kötü olmasıdır. Bu da Denklem 10-11-12-13-14-15'den faydalanarak bir karşılaştırma olanağı oluşturmamaktadır. Bu durumda PROMETHEE II'den faydalanarak tam bir sıralama elde edilmeye çalışılacaktır.



**Şekil 2. PROMETHEE I Karşılaştırmaları**

Son olarak PROMETHEE II için Denklem 16'dan faydalanarak  $\Phi^{net}$  değerleri hesaplanır (Tablo 7). Bu hesaplamalar göre alternatifler en iyiden en kötüye şu şekilde sıralanabilir: EF, MAF, EAF, T (Şekil 3).



**Şekil 3. PROMETHEE II Değerlendirmeleri**

PROMETHEE I VE PROMETHEE II hesaplamaları sonucunda bulunan en iyi alternatif olan EF'nin KV'lerce yapılan değerlendirmeleri incelendiğinde, yalnızca 3. kriter açısından en iyi değerlendirmeye sahip olduğu görülmektedir. Bununla

birlikte, K1, K3 ve K5 kriterleri açısından en iyiye yakın değerlere sahiptir ve ikinci sırada değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılmış değerlendirme sonuçlarına bakıldığında, diğer alternatiflere üstünlük açısından (pozitif akışlar), EF'nin elde ettiği değerler 0.33'le en yüksek seviyededir. Pozitif akışlarda EF'ye en yakın değer, 0.30'la T alternatifinin olmuştur. Ancak T alternatifi, kendisine olan üstünlükler açısından (negatif akışlar) değerlendirildiğinde en kötü alternatiftir ve bu durum T'yi PROMETHEE II sonuçlarına göre en az tercih edilen alternatif yapmıştır. Nihai değerlendirmelerde en iyi alternatif olarak belirlenen EF, kendisine olan üstünlükler toplamı açısından da en iyi durumda olan alternatiftir. PROMETHEE I değerlendirmeleri sonucunda EF'den sonra T ile birlikte (T ile karşılaştırılmaz durumda olan) ikinci en iyi alternatif olan MAF'ın durumu incelendiğinde, bu alternatifi K1, K4 ve K5 açısından en iyi değerlendirme sonuçlarına sahip olduğu görülmüştür. MAF pozitif ve negatif akışlar açısından da ikincilik durumundadır. MAF alternatifi K4 ve K5 kriterlerine göre EF'ten önemli derecede üstündür. Bu durumda, özellikle ağırlığı 0.08 değeriyle diğer kriterlere göre çok düşük olan K5'in daha çok ağırlığa sahip olduğu değerlendirmelerde MAF alternatifinin de nihai sıralamadaki yerinin daha iyi bir konuma çıkması beklenebilir.

## 5. Sonuçlar

Malzeme taşıma sistemlerinin seçimi ve değerlendirilmesi doğru bir şekilde yapıldığında üretim ve hizmet sistemlerinin etkinliğini önemli ölçüde artırabilir. İlk yatırım aşamasında düşünüldüğünde, hata yapılması durumu uzun vadede firmaya zarar verebilir. Bu sistemler çoğu zaman yatırım maliyeti yüksek olan sistemlerdir ve değiştirme kararları riskli kararlardır. MTS değerlendirme süreçlerinde birden çok kriter etkilidir ve bu kriterler çoğu zaman birbiriyle çelişen yapıdadırlar. Örneğin sistemin kullanım kolaylığı artırılırken maliyetlerde yükselmeler olabilir. Bu durumda seçim süreçlerinde çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılması uygundur. Ancak MTS değerlendirme sürecinde net rakamlarla ifade edilmeyen ve karşılaştırılması güç olan değerlendirme kriterleri de mevcuttur. Bu durumda karar vericilerden bilgi alma sürecinin kolaylaştırılması için bulanık kümelerden faydalanmak uygundur. Bu amaçla, bu çalışmada bulanık-PROMETHEE yaklaşımından faydalanılmıştır. Önerilen seçim metodolojisi, gerçek bir uygulama ile örneklenmiştir. Uygulama sonuçları yetkililere sunulmuştur ve yetkililerce yeni yatırım kararında dikkate alınmıştır.

## Teşekkürler

Yazarlar, uygulama aşamasındaki yardımlarından dolayı Canan Eren ve Şafak Karaahmetolu'na teşekkür ederler.

## Referanslar

- ARAZ, C., OZFIRAT, P.M., OZKARAHAN, I., (2007). An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management, *Computers & Operations Research*, 34, 3738-3756, ss.
- AYAĞ, Z., ÖZDEMİR, R.G. (2006). A fuzzy AHP approach to evaluating machine tools alternatives. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17, 179-190.ss.
- BELTON, V. STEWART, T.J. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- BİLSEL, R.U., BÜYÜKÖZKAN, G., RUAN, D. (2006). A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital web sites. *International Journal of Intelligent Systems*, 21, 1181-1197.ss.

- BRANS, J.P., MARESCHAL, B. (2008). 5. Chapter, PROMETHEE Methods, "Multi criteria decision analysis" ders notları.
- BRANS, J.P., MARESCHAL, B., P.VINCKE, P. (1984). PROMETHEE: A new family of outranking methods in MCDM. *Operational Research*, North-Holland, Amsterdam, (84) 477-490.ss
- CHAKRABORTY, S., BANIK, D. (2006). Design of a material handling equipment selection model using analytic hierarchy process. *Intelligent Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 28, 1237-1245.ss.
- CHEN, F.T.S., IP, R.W.L., LAU, H. (2001). Integration of expert system with analytic hierarchy process for the design of material handling equipment selection system. *Journal of Materials Processing Technology*, 116, 137-145.ss.
- CHOU, W.C., LIN, W.T., LIN, C.Y., (2007). Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: A case study in Shihmen Reservoir Watershed, *Taiwan, Ecological Engineering*, 31, 169-280.ss.
- DAGDEVİREN, M. (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19, 397-406.ss.
- GELDERMANN, J., SPENGLER, T., R, O., (2000). Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry, *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 45-65.ss.
- GELDERMANN, J., SPENGLER, T., RENTZ, O. (2000). Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry. *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 45-65.ss.
- GOUMAS, M., LYGEROU, V., (2000). An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects, *European Journal of Operational Research*, 123, 606-613.ss.
- KULAK, O. (2005). A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments. *Expert Systems with Applications*, 29, 310-319.ss.
- LUONG, L.H.S. (1998). A decision support system for the selection of computer-integrated manufacturing technologies. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 14, 45-53.ss.
- PARK, Y. (1996). ICMES: intelligent consultant system for material handling equipment selection and evaluation. *Journal of Manufacturing Systems*, 15 (5), 325-333.ss.
- SULE, D.R. (1994). Manufacturing facilities: location, planning and design (2nd ed.). Boston: PWS Publishing Company.
- TABUCANON, M.T., BATANOV, D.N., VERMA, D.K. (1994). Decision support system for multicriteria machine selection for flexible manufacturing systems. *Computers in Industry*, 25, 131-143.ss.
- TUZKAYA, U.R. (2009). Evaluating the environmental effects of transportation modes using an integrated methodology and an application. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6 (2), 277-290.ss.
- ÜLENGİN, F., TOPÇU Y.İ., ŞAHİN, Ş.Ö. (2001). An integrated decision aid system for Bosphorus water-crossing problem. *European Journal of Operational Research*, 134, 179-192.ss.
- VEGO, G., KUCAR-DRAGICEVIC, S., KOPRIVANAC, N. (2008). Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. *Waste management*, 28, 2192-2201.ss
- YAGER, R.R. (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information Sciences*, 24, 143-161.ss.
- YURDAKUL, M., İPEK, A.Ö. (2005). Malzeme taşıma sistemlerinin seçilmesine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (2), 171-181.ss.
- ZADEH, L.A.(1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.ss.