



ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNDEN BULANIK PROMETHEE YÖNTEMİNİN KONTEYNİR SEÇİMİNDE UYGULANMASI

IMPLEMENTATION OF FUZZY PROMETHEE METHOD WHICH RELATED TO
MULTI- CRITERIA DECISION MAKING

Arzu ORGAN¹

Öz

Betonarme gibi klasik yapı modellerinin uzun süreçli ve yüksek maliyetli üretimlerine alternatif olarak üretilen konteynirler, hızlı ve seri olarak üretilip kısa sürede kurulumu ile zaman ve fiyat açısından işletmelere büyük avantajlar sunmaktadır. Konteynirler, kolay monte edilebilir, her yere rahatlıkla taşınabilir ve iç kullanım alanları istekler doğrultusunda düzenlenebilen yapılardır. Özellikle inşaat firmalarının inşaat işlerinde çalıştırdıkları işçilerinin, başta barınma olmak üzere diğer ihtiyaçlarının giderilmesinde konteynirler, şantiyelerin vazgeçilmez yapılarıdır.

Konteynirler, alıcı işletmeler açısından maddi duran varlık olarak nitelendirilen önemli bir yatırım kalemidir. İşletmenin böyle bir yatırım kararı almasında, bu kararın sadece karar vericinin yargısına bağlı olarak verilmesi, doğru değildir. Konteyner seçimi, çok sayıda faktörün dikkate alınmasını gerektiren çok kriterli karar verme problemidir. Probleminin doğru bir şekilde çözümü, alternatifler çerçevesinde, karar vericinin birçok kriteri göz önüne alarak değerlendirmesi ile söz konusu olur. bu çalışmada, konteynir seçimi için, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Bulanık PROMETHEE yöntemi uygulanmıştır. Yöntemin uygulanması sonucunda, hem kısmi hem de tam olarak sıralanan alternatif firmalar arasından en uygun firma tespit edilmeye çalışılmıştır

Anahtar Kelimeler: Konteynir seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, PROMETHEE, Bulanık PROMETHEE

Abstract

Containers which are fabricated as an alternative for long time and high-cost productions classic construction models such as reinforced concrete offer big advantages for enterprises from the perspective of fast and serial manufacture and time- price with short time installation. Containers can be easily assembled, transported and they are constructions which can be formulated in the direction of demands. Especially, containers are indispensable for construction workers sheltering and other needs in construction sites.

Containers are an important investment tool as material having for buyer enterprises. It is not right that enterprises decide to invest according to decision maker's demand. Container chooses is a multiple criterion decision problem that needs many factors must be taken into consideration. Correct solution of the problem is related to decision maker's multiple criterion evaluation in the light of alternatives. At this work, Fuzzy Promethee method which is one of the multiple criterion decisions was practiced for container choose. At the end of implementation, it is aimed to identify the most suitable enterprise between ranked companies as partial and complete.

Key Words: Container Selection, PROMETHEE, Fuzzy PROMETHEE, Multi-Criteria Decision Making,

¹ Yrd.Doç.Dr., Pamukkale Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler A.B.D., aorgan@pau.edu.tr

GİRİŞ

Karar analizi, işletmelerde karar verme sürecinde karşılaşılabilecek problemlerin matematiksel modeller, sayısal ve istatistiksel teknikler kullanılarak irdelenmesi yolu ile çeşitli hareket tarzları önermeye yönelik bir yöntem olarak tanımlanabilir. Karar analizi teknikleri işletmelerde, insan kaynakları yönetimi, üretim yönetimi, finansal yönetim, malzeme alımı gibi birçok konuda uygulanmaktadır (Atıcı ve Ulucan,2009:162). Karar analizi teknikleri, genel olarak, tek amaçlı karar verme, karar destek sistemleri ve çok kriterli karar verme olarak 3 grupta incelenebilir.

Çok kriterli karar verme, karar analizinin en yaygın kullanılan yöntemlerini içeren dalıdır. Çok kriterli karar verme aynı zamanda birden fazla karar kriterinin değerlendirilmesi ile alternatifler arasından seçim yapılmasını, alternatiflerin gruplanmasını veya sıralanmasını sağlayan yöntemler içermektedir. Çok kriterli karar verme kendi içerisinde çok amaçlı karar verme ve çok nitelikli karar verme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu ayırım içerisinde ikincisi olan çok nitelikli karar verme tekniklerine örnek olarak, AHP, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS verilebilir (Atıcı ve Ulucan,2009:164).

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemi 1982 yılında Brans tarafından geliştirilmiş çok ölçütlü bir öncelik belirleme yöntemidir. PROMETHEE yöntemi, literatürde yer alan mevcut önceliklendirme yöntemlerinin uygulama aşamasındaki zorluklarından yola çıkılarak geliştirilmiş ve günümüze kadar bir çok alan uygulama çalışmalarında kullanılmıştır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008:70). PROMETHEE diğer çok kriterli karar verme metotlarına göre anlaması ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Buna ek olarak kısıtlı sayıda alternatifin birden fazla ve çoğu zaman birbirleriyle çelişen kriterler açısından karşılaştırılması gereken problemlere kolay adapte edilebilir. PROMETHEE'nin bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir; (i) 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 (Tuzkaya vd., 2011:145).

PROMETHEE yöntemi, sıralama problemleri için uygun bir yöntemdir. Bu yöntem, kullanıcı için esneklik ve kolaylığı bir araya getirmekle kalmayıp, aynı zamanda diğer metodlara kıyasla çok kriterli analizler için konsept ve uygulama olarak daha basit bir sıralamayı içermektedir. Yöntem, alternatiflerin hem kısmi, hem de tam sıralamasını sunmakla birlikte bir karar probleminin geometrik temsilini iki boyutlu bir düzlemde (GAIA

düzlemi) sonuçlarıyla birlikte gösterebilmekte ve ayrıca çok çeşitli duyarlılık analizlerinin sayısal ya da grafiksel olarak yapılmasını sağlamaktadır. (Yılmaz ve Dağdeviren, 2010:814).

Genel olarak PROMETHEE sıralama yöntemi, PROMETHEE-I (kısmi sıralama) ve PROMETHEE-II (tüm sıralama) olarak bilinmektedir. Bunların haricinde PROMETHEE III, IV, V, VI gibi farklı yaklaşımlar da bulunmaktadır. Ayrıca, görsel bir parça olan GAIA ile grafiksel olarak etkin bir gösterim sağlamaktadır. (Özğüven,2012:197).PROMETHEE-GAIA yönteminin uygulanması Decision Lab Yazılımı ile sağlanmaktadır. Decision Lab, çok kriterli problem verilerini incelemede kullanılan bir Windows uygulamasıdır (Kutay ve Tektüfekçi, 2012/3:88)

Ancak, karar verme süreçleri yapılacak karşılaştırmalar ve değerlendirmeler günlük hayattan alınan verilere dayandığında çoğu zaman sayısal olarak ifade edilmesi güç olan ve sayısallaştırma sırasında genellikle veri kaybına yol açan dilsel ifadeler barındırmaktadır. PROMETHEE yöntemi sahip olduğu avantajlarına rağmen, girdi değerlerinin genellikle karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayanması ve kalitatif olarak belirlenmesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada girdi verilerinin doğru yorumlandığından emin olabilmek için PROMETHEE yönteminin bulanık ortamda geliştirilmiş versiyonu olan Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) yöntemi kullanılmıştır. F- PROMETHEE yöntemi, PROMETHEE yöntemi ve bulanık sayıların bir kombinasyonudur. PROMETHEE yöntemi finanstan taşımaya, enerji kaynağı seçiminden bilgi teknolojileri stratejileri seçimine kadar birçok uygulama alanı bulmuş olmasına karşın, F- PROMETHEE yöntemi ise henüz çok yeni ve sınırlı sayıda uygulama örneğine sahip bir yöntemdir (Yılmaz ve Dağdeviren, 2010:814).

PROMETHEE yöntemi ile ilgili yurt içi ve yurt dışında çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: BransVincke ve Marescha (1986), proje çalışmalarının nasıl sıralanacağı ve bu sıralama içerisinden nasıl seçim yapılacağıın konusunda PROMETHEE yönteminden yararlanmışlardır. Bu çalışmalarında kısmi sıralama olarak PROMETHEE-I'ı tam sıralama olarak PROMETHEE II'yi önermişlerdir. Koli ve Parsaei (1992), ileri imalat teknolojilerinin değerlendirilmesinde PROMETHEE-II yöntemini, Pandey ve Kengpol (1995), esnek imalat sistemlerinde kullanılan, otomatik teftiş aletleri arasından en uygununun seçiminde ise PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır. Cavalcante ve Almeida (2007) çalışmalarında belirsiz ortamda, önleyici bakım sistemlerini PROMETHEE-III yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Anand ve Kodali (2008) çalışmalarında yalın imalat sistemlerinin seçiminde PROMETHEE yöntemini kullanmışlar ve seçilen

sistemin işletmenin hissedarlarını nasıl etkileyeceğini ve kazanımların neler olacağını ortaya koymaya çalışmışlardır. Dağdeviren ve Eraslan (2008) çalışmalarında, tedarikçi seçiminde PROMETHEE sıralama yöntemini uygulamışlardır. Atıcı ve Ulucan (2009), enerji projelerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanılabilceğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada ELECTRE ve PROMETHEE yöntemlerini enerji sektörüne uygulamıştır. Oberschmidt, Geldermann, Ludwig ve Schmehl (2010) çalışmalarında enerji sektöründeki teknolojileri değerlendirmek için PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır. **Juan, Roper, Castro-Lacouture, Kim (2010)** kentsel yenileme proje kararını verirken, aşamalı olarak, bulanık PROMETHEE ve Genetic Algoritma yöntemlerini kullanarak, optimal kararın alınmasına yardımcı olmuşlardır. Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, Aghdasi,(2010) çalışmalarında, geniş bir çerçevede, PROMETHEE literatür taraması yaparak, akademisyen ve uygulamacılar için araştırma alanlarını göstermişlerdir. Hanafizadeh, Kazazi, Bolhasani (2011) çalışmalarında, senaryo planlama ile PROMETHEE yöntemini birleştirerek portföy tasarımı yapmışlardır. Jalalvand, Teimoury, Makui, Aryanezhad, Jolai (2011) çalışmalarında bir endüstrideki ilk tedarikçiden son müşteriye kadar tüm süreçleri kapsayan tedarik zincirini geliştirmek için, veri zarflama analizi ve PROMETHEE yöntemini kullanarak, tedarik zinciri süreçlerini karşılaştırmışlardır. Barton ve Beynon (2011), İngiltere'deki polis gücünün performansında kullanılan kriterleri düzenlemek için, kriterleri PROMETHEE yöntemiyle sıralamışlardır. Yılmaz ve Dağdeviren (2011), üretim süreçlerinde kullanılan malzemenin seçiminde Bulanık PROMETHEE ve Hedef Programlama Yaklaşımını bütünleşik olarak kullanmışlardır. Ishizaka ve Philippe (2011) çalışmalarında en iyi istatistiksel dağılımın seçiminde PROMETHEE ve GAIA yöntemini kullanmışlardır. Chen, Wang, Wu (2011), stratejik bir karar olan dış kaynak kullanımında bulanık PROMETHEE metodunu uygulamalarında esas almışlardır. Vetschera ve Almeida(2012), portföy seçim problemlerinde PROMETHEE sıralama tekniği kullanmışlardır. Schiniotakis (2012) çalışmasında Yunan bankalarının etkinliğini ve karlılığını etkileyen faktörleri incelemiştir. Bu çalışmada faktörleri belirlemek için çoklu regresyon analizi ve PROMETHEE yöntemini kullanmıştır.

PROMETHEE ve Bulanık PROMETHEE ile ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Konteyner seçimi ile ilgili bulanık PROMETHEE çalışmasına rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışmanın bu alana bir katkı yapacağı düşünülmektedir.

1- YÖNTEMLER

1.1.PROMETHEE YÖNTEMİ

PROMETHEE yöntemi, diğer çok kriterli karar verme metotları ile uygulama ve kapsam açısından karşılaştırıldığında gerçek değerler ile ifade edilebilen çok sayıda kriter için uyarlanabilir basit bir yöntemdir. PROMETHEE 'nin uygulanabilmesi için 2 tip bilgi gerek vardır. Bunlardan birincisi, kriterlerin göreceli önem değerleri (ağırlıkları), ikincisi ise karar vericinin tercihinin (fonksiyonuna) göre alternatiflerin kriterlere ilişkin değerleridir (Ballı, Karasulu ve Korukoğlu,2007:140). PROMETHEE yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008:70-72):

Adım 1: Veri Matrisinin Oluşturulması: $w = (w_1, w_2, \dots, w_k)$ ağırlıkları ile k kriter $c = (f_1, f_2, \dots, f_k)$ tarafından değerlendirilen alternatiflere $A = (a, b, c, \dots)$ ilişkin veri matrisi, aşağıdaki Tablo 1'deki gibi oluşturulur.

Tablo 1. Veri Matrisi

<i>Kriterler</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>...</i>	<i>w</i>
<i>f₁</i>	<i>f₁(a)</i>	<i>f₁(b)</i>	<i>f₁(c)</i>	<i>...</i>	<i>w₁</i>
<i>f₂</i>	<i>f₂(a)</i>	<i>f₂(b)</i>	<i>f₂(c)</i>	<i>...</i>	<i>w₂</i>
<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>
<i>f_k</i>	<i>f_k(a)</i>	<i>f_k(b)</i>	<i>f_k(c)</i>	<i>...</i>	<i>w_k</i>

Adım 2: Kriterler için tercih fonksiyonların tanımlanması: Yöntemin uygulanmasında kullanılacak 6 farklı tercih fonksiyonu Tablo 2'de gösterilmiştir.

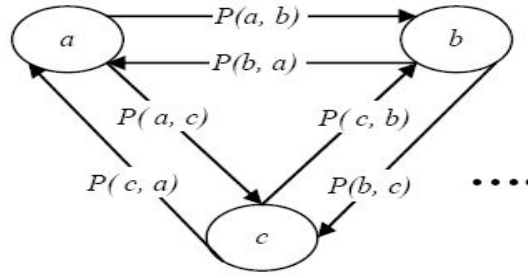
Tablo.2. Tercih Fonksiyonları

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Linear)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s \leq x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

Kaynak: Dağdeviren ve Eraslan, 2008:71

Adım 3: Tercih fonksiyonları temel alınarak alternatif çiftleri için, ortak tercih fonksiyonları belirlenmesi: Alternatifler için belirlenen ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiş olup a ve b alternatifleri için ortak tercih fonksiyonu eşitlik (1) ile belirlenir.

$$P(a,b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 1. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi

Adım 4: Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle her alternatif çifti için tercih indekslerinin belirlenmesi: W_i ($i=1,2,\dots,k$) ağırlıklarına sahip olan k kriter tarafından değerlendirilen a ve b alternatiflerinin tercih indeksi eşitlik (2) ile hesaplanır.

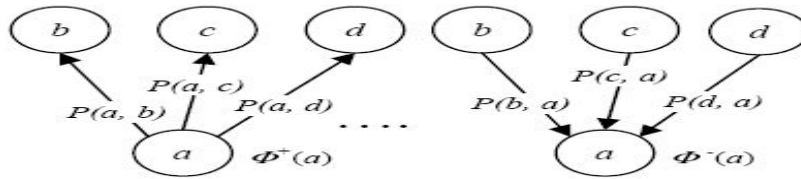
$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \times P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (2)$$

Adım 5: Alternatifler için pozitif (Φ^+) ve negatif (Φ^-) üstünlükler belirlenmesi:

a alternatifi için pozitif ve negatif üstünlük şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiş olup; pozitif üstünlük eşitlik (3), negatif üstünlük ise eşitlik (4) ile hesaplanır.

$$\Phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (3)$$

$$\Phi^-(a) = \sum \pi(x, a) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (4)$$



Şekil 2: a alternatifi için hesaplanan pozitif ve negatif üstünlük

Adım 6: PROMETHEE I ile alternatifler için kısmi önceliklerin belirlenmesi: Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar. a ve b gibi iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesinde aşağıda verilen durumlar söz konusudur.

I. Durum. Aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyorsa, a alternatifi b alternatifine tercih edilir.

$$i. \Phi+(a) > \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) < \Phi-(b) \quad (5)$$

$$ii. \Phi+(a) > \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) = \Phi-(b) \quad (6)$$

$$iii. \Phi+(a) = \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) < \Phi-(b) \quad (7)$$

II. Durum. Aşağıda verilen koşul sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi farksızdır.

$$i. \Phi+(a) = \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) = \Phi-(b) \quad (8)$$

III. Durum. Aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise, a alternatifi b alternatifi ile karşılaştırılmaz.

$$i. \Phi+(a) > \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) > \Phi-(b) \quad (9)$$

$$ii. \Phi+(a) < \Phi+(b) \text{ ve } \Phi-(a) < \Phi-(b) \quad (10)$$

Adım 7: PROMETHEE II ile alternatifler için tam önceliklerin belirlenmesi:

Aşağıdaki eşitlik yardımıyla her bir alternatif için tam öncelikler hesaplanır. Hesaplanan tam öncelik değerleri ile bütün alternatifler aynı düzlemde değerlendirilerek tam sıralama belirlenir.

$$\Phi(a) = \Phi+(a) - \Phi-(a) \quad (11)$$

a ve b gibi iki alternatif için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak aşağıda verilen kararlar alınır.

- $\Phi(a) > \Phi(b)$ ise, a alternatifi daha üstündür,
- $\Phi(a) = \Phi(b)$ ise, a ve b alternatifleri farksızdır.

1.2. BULANIK PROMETHEE (F-PROMETHEE) YÖNTEMİ

Gerçek yaşamda, birçok karar problemi belirsiz ve kesinlik içermeyen bilgiler içerdiğinden, bu bilgilere dayalı kurulan modeller problemleri tam ve doğru olarak ifade edemez. (Perçin ve Ayan, 2010: 563-564). Ayrıca, yöntemde kullanılan girdi değerleri karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayandığı ve dolayısıyla dilsel terimlerle ifade edildiği zaman oluşan belirsizlik ve bulanıklıktan ötürü yanlış değerlendirmeler yaparak yanlış

sonuçlara varma olasılığı da çok yüksektir. Bu belirsizliğin yol açabileceği sorunların önüne geçmek amacıyla, bulanık sayılar kullanılır. (Yılmaz ve Dağdeviren 2010:816). Bulanık sayılar ile daha hassas sonuçlar elde edilir. Her kriter ve her alternatif çifti için, karar verici kendi tercihi göre alternatifler arasında iyi, daha iyi, küçük, çok küçük vs. gibi dilsel tanımlayıcılar kullanılabilir. Bu dilsel değerlerin gösterilmesi üyelik fonksiyonuna göre belirlenir (Soba, 2012:4714). Bulanık sayıların PROMETHEE yönteminde kullanılması ile Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) yöntemi geliştirilmiştir.

F-PROMETHEE yöntemi, prensipte aynı mantıkla yürütülürken, farklı araştırmacılarca bazı farklı ek uygulamalar kullanılarak da çalıştırılmıştır. PROMETHEE metodunun bulanık küme teorisi ile birleştirilmesi ilk olarak Lé Teno ve Mareschal tarafından öne sürülmüştür.

Bu çalışmada F-PROMETHEE metodu Goumas ve Lygerou ve Bilsel ve arkadaşları tarafından önerilen şekilde uygulanmıştır. Dolayısıyla PROMETHEE yönteminin tüm işlemleri ve hesaplamaları bulanık sayılarla gerçekleştirilecek olup tercih eşik değerleri (q ve p) ve ağırlıklar kesin sayı olarak kalacaktır. q ve p, bir bulanık sayının esnetilmiş biçiminden dolayı yapılacak değerlendirmelerin belirsiz olmasının engellenmesi için bulanık sayı değildir. Aynı şekilde ağırlıklar PROMETHEE metodunda ağırlıklar toplamının "1" olması gerektiğinden dolayı bulanık sayı olamaz (Yılmaz ve Dağdeviren 2010:816).

Bulanık PROMETHEE yaklaşımında, asıl sorun iki bulanık sayının karşılaştırılmasından kaynaklanmaktadır. Yager (1981) bulanık sayıların karşılaştırılmasında, üyelik fonksiyonlarını temsil eden ağırlık merkeziyle karşılaştırma yöntemini önermiştir. Yager İndeksi'ne göre, 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 3.'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 (Tuzkaya, Özgen ve Gülsün, 2011:149).

Elde edilen yeni fonksiyondaki işlemleri gerçekleştirebilmek için bulanık sayılarla işlemlerin temel bilgisine sahip olmak gerekmektedir. Bulanık sayılarla basit işlemler için gerekli formüller Tablo 3'de verilmiştir. (Yılmaz ve Dağdeviren 2010:816).

Tablo 3. 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: Tuzkaya vd., 2011: 149)

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 (Tablo 2., Tip 4). PROMETHEE'de bulanık sayılar kullanılırken Tablo 2'de açıklanan değerlendirme fonksiyonu aşağıdaki gösterim gibi ifade edilebilir (Tuzkaya, Özgen ve Gülsün, 2011:149):

$$P_j(a_i, a_i') = \begin{cases} 0, & \text{if } n - a \leq q \text{ (fark yok)} \\ \frac{(n, a, b) - q}{p - q}, & \text{if } q \leq (n - a) \text{ ve } (n + b) \leq p \\ 1, & \text{if } n + b > p \text{ (kararlı tercih)} \end{cases} \quad (12)$$

12 numaralı denklem yardımıyla bulunacak tercih indeksi değeri bulanık sayı olacaktır. Bu durumda alternatiflerin skorlarını hesaplayabilmek ve onları tam önceliklerine dayalı olarak sıralayabilmek için, bulanık sayıların Yager indeksi kullanılarak eşdeğeri hesaplanmalıdır. Tüm üçgensel bulanık sayılar için bu tür bir hesaplama yapılırsa, alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi ve her bir alternatif için skor hesaplanabilmesi mümkün olur. Daha sonra ϕ^+ , ϕ^- , ϕ^{net} hesaplanarak PROMETHEE-II yardımıyla tam sıralama yapılabilir (Perçin ve Ayan, 2010:565-566)

2. UYGULAMA

2.1. Konteynır Seçimine Etki Eden Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Büyük bir inşaat firmasının işçilerinin barınması ve diğer amacıyla konteynıra ihtiyaç duyulmuştur. İnşaat firması konteynır alımı için ihaleye çıkmıştır. Bu ihaleye, ihale şartlarını taşıyan 4 farklı prefabrik firması katılmıştır. Bu uygulamada, en uygun konteyner firması

seçimi için Bulanık PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır.

Uygulamada ilk olarak karar verme grubu oluşturulmuştur. Bu amaçla satın alma uzmanı, mühendis, işletme müdürü ve işçi başı karar verme grubu üyeleri olarak belirlenmiştir. Karar sürecinde, karar verme grubunun görüşleri alınmış ve bu görüşlere göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Karar verme sürecine katılan kişilerin görüşleri doğrultusunda yaşam alanı konteynirının alımında 5 ana kriter kullanılması uygun görülmüştür. Bu kriterler; konteynirın kalitesi (K1), konteynirın sahip olduğu konfor (K2), fiyat (K3), dış izolasyon (K4) ve kullanım alanı (K5) dir. Konteynir yapımı için ön değerlemeyi 4 firma geçebilmiştir. Çalışmada bu dört firma alternatif firmalar olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Bulanık PROMETHEE Hesaplamaları

Kriterler belirlendikten sonra ilgili kriter ağırlıkları karar verme grubu üyeleri ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarını değerlendirme sürecinde karar vericilerden 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 0.17; K2'nin ağırlığı, 0.14; K3'ün ağırlığı, 0.21; K4'ün ağırlığı, 0.26; K5'in ağırlığı, 0.22 olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki Tablo 4 yapılan işlemleri göstermektedir.

Tablo 4. Kriterlerin Ağırlıkları

	Kalite (K1)	Konfor (K2)	Fiyat (K3)	İzolasyon (K4)	Kullanım Alanı (K5)
Prefabrik (S1)	5	3	7	7	7
Prefabrik (S2)	4	3	8	8	9
Prefabrik (S3)	7	5	4	9	6
Prefabrik (S4)	4	5	6	6	4
Toplam	20	16	25	30	26
Normalizasyon	0,17094	0,13675	0,21367	0,256410	0,22222

Görüşme yapılan kişilerle aynı zamanda alternatif değerlendirmeleri de gerçekleştirilmiştir. Adayların ilgili kriterler açısından değerlendirilmesi amacıyla dilsel terimler için karar vericinin, her biri farklı bir üçgensel sayıyı gösteren beş farklı değerlendirme seçeneği bulunmaktadır. Adaylarla ilgili olarak, bulanık sayıların kullanılmasıyla oluşturulan değerlendirme matrisi ise Tablo 5’de gösterilmiştir. Kriter ağırlıkları için Tablo 4’de hesaplanan ağırlıklar kullanılmıştır. Bir sonraki adımda, literatürde yer alan çalışmalardan yararlanılarak uygulamada kullanılacak olan doğrusal tercih fonksiyonu için farksızlık eşiği q , tüm kriterler için sıfır(0), tercih eşiği p ise 0.60 alınmıştır.

Tablo 5. Adayların Değerlendirilmesinde Yararlanılan Sözel İfadeler ve Bulanık Üçgen Sayı Olarak Karşılıkları

Sözel İfadeler	Üçgen Bulanık Sayı Karşılığı
Çok iyi (Çİ)	(0.65, 0.90, 1)
İyi (İ)	(0.50, 0.55, 0.65)
Orta(O)	(0.40, 0.45, 0.60)
Zayıf (Z)	(0.10, 0.15, 0.30)
Çok zayıf (ÇZ)	(0, 0, 0.05)

Sonraki adımda karar vericilerden alternatifleri kriterlere göre sözel ifadelerle değerlendirilmesi istenmiştir. Bu değerlemeler Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Prefabrik Alternatiflerinin Sözel İfadelerle Değerlendirilmesi

	K1	K2	K3	K4	K5
S1	O	Z	İ	İ	İ
S2	O	Z	Çİ	Çİ	Çİ
S3	İ	O	O	Çİ	İ
S4	O	O	İ	İ	O

Yukarıdaki tabloda belirlenen sözel ifadeler, Tablo 5’den de faydalanılarak, bulanık sayı karşılıklarına dönüştürülmüştür. Bu veriler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Prefabrik Alternatiflerin Sözel Değerlendirmelerinin Üçgen Sayılara Dönüştürülmesi

	K1			K2			K3			K4			K5		
S1	0.45	0.05	0.15	0.15	0.05	0.15	0.55	0.05	0.10	0.55	0.05	0.10	0.55	0.05	0.10
S2	0.45	0.05	0.15	0.15	0.05	0.15	0.90	0.25	0.10	0.90	0.25	0.10	0.90	0.25	0.10
S3	0.55	0.05	0.10	0.45	0.05	0.15	0.45	0.05	0.15	0.90	0.25	0.10	0.55	0.05	0.10
S4	0.45	0.05	0.15	0.45	0.05	0.15	0.55	0.05	0.10	0.55	0.05	0.10	0.45	0.05	0.15

Bir sonraki adım, kriterlerin tercih fonksiyonlarının tanımlanması ve tercih

indekslerinin hesaplanmasıdır. PROMETHEE yönteminde, belirlenmiş olan altı tip genelleştirilmiş tercih fonksiyonu vardır. Bu çalışmada karar vericilerle yapılan görüşmeler sonucunda tüm kriterler açısından 3. tip ya da 6. tip genelleştirilmiş tercih fonksiyonlarının uygunluğu üzerinde durulmuştur. 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 3'deki temel bulanık işlemlerden çıkarma işleminden faydalanılmıştır. Çıkarma işlemi gerçekleştirildikten sonra, elde edilen sonuçlar, ağırlıklandırılmamış karşılaştırma değerlerine dönüştürülmüştür. (Tablo 8).

Tablo 8. Ağırlıklandırılmamış Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
S1-S1	0	0	0	0	0
S1-S2	0	0	0	0	0
S1-S3	0	0	0	0	0
S1-S4	0	0	0	0	0
S2-S1	0	0	0.47	0.47	0.47
S2-S2	0	0	0	0	0
S2-S3	0	0	0.61	0	0.47
S2-S4	0	0	0.47	0.47	0.61
S3 - S1	0	0.5	0	0.47	0
S3 - S2	0	0.5	0	0	0
S3 - S3	0	0	0	0	0
S3 - S4	0	0	0	0.47	0
S4 - S1	0	0.5	0	0	0
S4 - S2	0	0.5	0	0	0
S4 - S3	0	0	0	0	0
S4 - S4	0	0	0	0	0

Hesaplanan karşılaştırma matrisi, daha önceden belirlenmiş olan kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılmış ve aşağıdaki Tablo 9'daki ağırlıklandırılmış karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

Tablo 9. Ağırlıklandırılmış Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
S1-S1	0	0	0	0	0
S1-S2	0	0	0	0	0
S1-S3	0	0	0	0	0
S1-S4	0	0	0	0	0
S2-S1	0	0	0.098	0.122	0.1
S2-S2	0	0	0	0	0
S2-S3	0	0	0.128	0	0.1
S2-S4	0	0	0.098	0.122	0.134
S3 - S1	0	0.07	0	0.122	0
S3 - S2	0	0.07	0	0	0
S3 - S3	0	0	0	0	0
S3 - S4	0	0	0	0.122	0
S4 - S1	0	0.07	0	0	0
S4 - S2	0	0.07	0	0	0
S4 - S3	0	0	0	0	0
S4 - S4	0	0	0	0	0

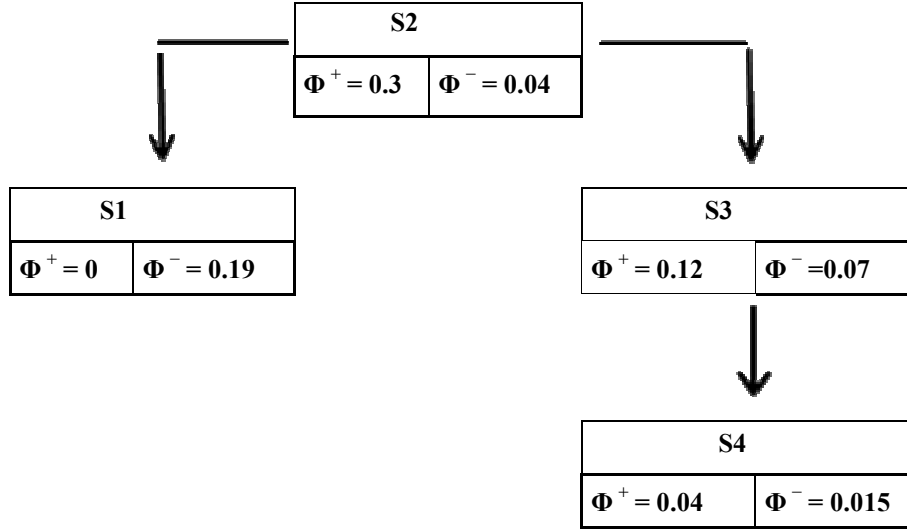
Ağırlıklandırılmış karşılaştırma matrisindeki verilerden ve aşağıdaki formüllerden faydalanılarak Φ^+ ve Φ^- değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin verileri Tablo 10'dadır..

$$\Phi^+ = \frac{1}{n-1} \sum \pi(A, x) \quad \Phi^- = \frac{1}{n-1} \sum \pi(x, A)$$

Tablo 10. Alternatiflerin Φ^+ ve Φ^- Değerleri

	S1	S2	S3	S4	Φ^+	Φ^{net}
S1	0	0	0	0	0	-0,19
S2	0.32	0	0.228	0.354	0.3	0.26
S3	0.192	0.07	0	0.122	0.12	0.044
S4	0.07	0.07	0	0	0.04	-0,11
Φ^-	0.19	0.04	0.076	0.15		

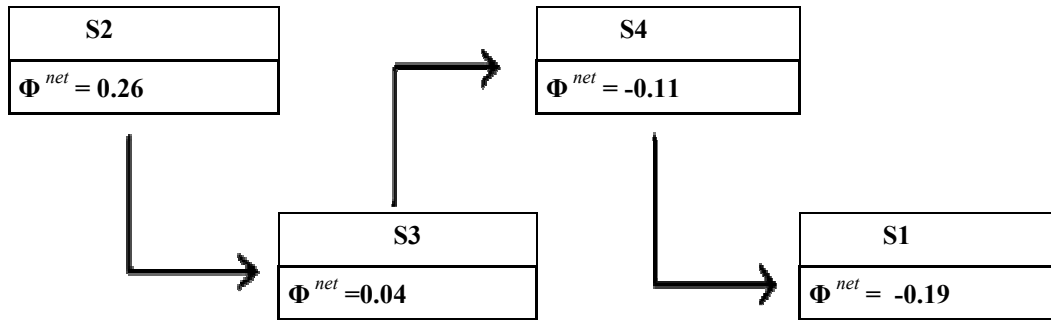
Yukarıdaki değerlere göre alternatifler karşılaştırılmış ve PROMETHEE I için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda alternatifler, aşağıdaki şekildeki gibi sıralanabilir.



Şekil 3 PROMETHEE I Karşılaştırmaları

Şekil 3’de görüldüğü gibi, S2 diğer tüm alternatiflerden üstündür ve S3 alternatifi de S1 alternatifinden üstündür. Ancak, S1 alternatifi ile S4 arasında bir karşılaştırma yapılamamıştır. Bunun nedeni, S1’in pozitif akışının, S4’den üstün olmasına karşın, negatif akışının bu alternatiflerden daha kötü olmasıdır. Bu da şu ana kadar yapılan formülasyon aracılığı ile bir karşılaştırma olanağı oluşturmamaktadır. Bu durumda PROMETHEE II’den faydalanarak tam bir sıralama elde edilmeye çalışılacaktır.

Son olarak PROMETHEE II için eşitlik 11’deki formülasyon yardımıyla Φ^{net} değerleri hesaplanır (Tablo 10). Bu hesaplamalar göre alternatifler en iyiden en kötüye şu şekilde sıralanabilir: S2, S3, S4, S1



Şekil 4. PROMETHEE II Değerlendirmeleri

SONUÇ

Birçok işletme için karar problemi çok kriterlidir. Bu tür problemlerde alternatiflerin arasından optimal seçimi yapmak oldukça zor ve karmaşık bir işlemdir. Son yıllarda bu tür problemleri çözmek amacıyla, farklı birçok kriterli karar analizi yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en verimli ve en kolay kullanılabilir olan PROMETHEE, gerçek sayılarla ifade edilebilen kriterleri içeren problemlerle uğraşır. Ancak örneğimizdeki uygulamada net rakamlarla ifade edilmeyen ve karşılaştırılması güç olan değerlendirme kriterleri de mevcuttur. Bu durumda karar vericilerden bilgi alma sürecinin kolaylaştırılması için bulanık kümelerden faydalanılması gerekir. Bulanık veriler çalışmada daha fazla esneklik sağlamaktadır. Karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayanılarak oluşturulan girdi verilerinde bulunan dilsel terimlerin yol açtığı belirsizlik ve bulanıktan doğabilecek olan yanlış değerlendirme olasılığının önüne geçmek amacıyla, bu çalışmada bulanık-PROMETHEE yaklaşımından faydalanılmıştır.

Uygulamamızda 2. prefabrik firmasının sunmuş olduğu teklif Kalite, Konfor, İzolasyon, Fiyat ve Kullanım Alanı kriterleri açısından Bulanık-PROMETHEE yöntemine göre değerlendirildiğinde, diğer 3 alternatif firmaya göre daha ön sırada yer aldığı görülmektedir. İkinci firmanın seçilmesi çalışmanın sonucu açısından daha uygundur.

2. prefabrik firması fiyat ve kullanım alanı bakımından değerlendirildiğinde en yüksek değerlendirmeye sahiptir. Yine sunulan izolasyon imkanları ve konteynırda kullanılan ürünlerin kalitesi açısından bakıldığında, diğer firmalar arasında 2. sırada yer almaktadır. Bu nedenle inşaat firmasının ilk olarak değerlendirmede 2. firmayı, daha sonra 3. firmayı göz önünde bulundurması daha doğru olacaktır.

Bu çalışma, firmalara karar vermede yol gösterici olabilecek niteliktedir. PROMETHEE gibi karar analizi tekniklerinin bu ve benzeri gibi birçok alanda uygulanması, subjektif karar verme sürecinin potansiyel problemlerini elimine edecek, böylece, alınan kararların daha rasyonel olmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akkaya, G. Cenk, Demirelli, Erhan. (2010), "Finansal Kararların Verilmesinde PROMETHEE Sıralama Yöntemi", *Ege Akademik Bakış*, 10(3), 845-854
- Albadvi, Amir, Chaharsooghi, S. Kamal, Esfahanipour, Akbar, (2007), "Decision Making in Stock Trading: An Application of PROMETHEE", *European Journal of Operational Research*, Volume 177, Issue 2, 1 March 2007, Pages 673-683
- Anand G., Kodali, Rambabu. (2008)" Selection Of Lean Manufacturing Systems Using The PROMETHEE", *Journal Of Modelling In Management* Volume: 3 Issue: 1
- Ballı, S., Karasulu B., Korukoğlu S. (2007), "En Uygun Otomobil Seçimi Problemi İçin PROMETHEE Yöntemi Uygulaması", *D.E.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi*, Cilt 22, Sayı 1, s.139-147
- Barton, H., Beynon, M.J., (2011), "Targeted Criteria Performance Improvement: An Investigation Of a "Most Similar" UK Police Force" , *International Journal of Public Sector Management*, Volume: 24 Issue: 4
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B. Albadvi, A., Aghdasi, M., (2010), "PROMETHEE: A Comprehensive Literature Review On Methodologies And Applications", *European Journal Of Operational Research*, Volume 200, Issue 1, 1 January 2010, Pages 198-215
- Brans, J.P., Vincke Ph. Marescha B. (1986), "How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method", *European Journal of Operation Research*, Volume 24, Issue 2, pp. 228-238.
- Cavalcante, C.A.V., Almeida, A.T.(2007), "A Multi-Criteria Decision-Aiding Model Using PROMETHEE III for Preventive Maintenance Planning Under Uncertain Conditions" *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume: 13 Issue: 4
- Dağdeviren, Metin, Eraslan, Ergün. (2008), "PROMETHEE Sıralama Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 23, No 1, 69-75
- Hanafizadeh, P., Kazazi, A., Bolhasani, A.J.(2011), "Portfolio Design For Investment Companies Through Scenario Planning", *Management Decision*, Volume: 49, Issue: 4
- Jalalvand, F., Teimoury, E., Makui, E., Aryanezhad, E., Jolai, F., (2011), "A Method To Compare Supply Chains Of An Industry", *Supply Chain Management: An International Journal*, Volume: 16 Issue: 2
- Juan, Yi-Kai , Roper, Kathy O., Castro-Lacouture, D. Kim, Jun Ha, (2010), "Optimal Decision Making On Urban Renewal Projects" *Management Decision* Volume: 48 Issue: 2
- Oberschmidt J., Geldermann J., Ludwig J., Schmehl, M.(2010), "Modified PROMETHEE Approach For Assessing Energy Technologies", *International Journal of Energy Sector Management*, Volume: 4 Issue: 2
- Özguven, Nihat.(2012), "PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Özel Alışveriş Siteleri Üzerine Araştırma", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bil. Enst. Dergisi*, 27:195-201.
- Perçin, Selçuk, Ayan Tuba Yakıcı. (2010), "AHS ve Bulanık PROMETHEE Yaklaşımlarıyla Esnek Üretim Sistemleri Seçimi", *Marmara Üni., İ.İ.B.F. Dergisi*, Cilt XXIX, Sayı II. S. 555-575
- Schiniotakis, Nikos Ioanni, (2012), "Profitability Factors and Efficiency of Greek Banks", *EuroMed Journal of Business*, Volume: 7 Issue: 2
- Soba, Mustafa. (2012), "PROMETHEE Yöntemi Kullanarak En Uygun Panelven Otomobil Seçimi ve Bir Uygulama", *Journal of Yaşar University*, 28(7), 4708-4721
- Tuzkaya, G., Özgen, D., Gülsün, B. (2011), " Malzeme Taşıma Sistemi Alternatiflerinin Değerlendirilmesinde Bulanık-PROMETHEE Yaklaşımı", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 12 (1) 2011, 144-155

- Vetschera, Rudolf, Almeida, Adiel Teixeira de (2012), “A PROMETHEE-Based Approach to Portfolio Selection Problems”, *Computers & Operations Research*, Volume 39, Issue 5, 1010-1020
- Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2010) “Ekipman Seçimi Probleminde PROMETHEE ve Bulanık Bulanık PROMETHEE Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, No 4, 811-826.
- Yılmaz Burcu ve Dağdeviren Metin. (2011), “A Combined Approach For Equipment Selection: F PROMETHEE Method and Zero-One Goal Programming”, *Expert Systems With Applications*, 38, 11641-11650