

Geliş Tarihi:

30.11.2022

Kabul Tarihi:

04.12.2022

Yayımlanma Tarihi:

31.12.2022

Kaynakça Gösterimi: Peker, B. P. & Görener, A. (2022).  
Tesis yeri seçiminde kriterlerin önem  
ağırlıklarının bulanık FUCOM yöntemiyle  
belirlenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(45), 1512-1536.  
doi: 10.46928/iticusbe.1212318

## TESİS YERİ SEÇİMİNDE KRİTERLERİN ÖNEM AĞIRLIKLARININ BULANIK FUCOM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ\*

*Araştırma*

Bilge Nur Peker 

Sorumlu Yazar (Correspondence)

[bilgenurpeker@gmail.com](mailto:bilgenurpeker@gmail.com)

Ali Görener 

İstanbul Ticaret Üniversitesi, İşletme Fakültesi

[agorener@ticaret.edu.tr](mailto:agorener@ticaret.edu.tr)

Bilge Nur Peker, İstanbul Ticaret Üniversitesi-İşletme Fakültesi mezunu olup yüksek lisansını İşletme Anabilim dalında sürdürmektedir.

Ali Görener, İstanbul Ticaret Üniversitesi – İşletme Fakültesinde Üretim ve Operasyon Yönetimi profesörüdür. Çalışma alanları; lojistik – tedarik zinciri yönetimi, çok kriterli karar verme, yalın üretim ve toplam kalite yönetimidir.

\*Bu araştırma başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

# TESİS YER SEÇİMİNDE KRİTERLERİN ÖNEM AĞIRLIKLARININ BULANIK FUCOM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Bilge Nur Peker  
[bilgenurpeker@gmail.com](mailto:bilgenurpeker@gmail.com)  
Ali Görener  
[agorener@ticaret.edu.tr](mailto:agorener@ticaret.edu.tr)

## Özet

**Amaç:** Çalışmanın amacı, İstanbul’da imalat sektöründe kompozit pervane alanında faaliyet gösteren bir firmanın fabrika yeri seçiminde dikkate alması gereken kriterlerin önem ağırlıklarının tespit edilmesidir. Bu kapsamda beş ana kriter ve yirmi bir alt kriter kullanılarak, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM) kullanılmıştır.

**Yöntem/Tasarım/Metodoloji/Yaklaşım:** Araştırma için iki ile otuz beş yıl arasında tecrübeye sahip dokuz uzmanın bulunduğu karar verme grubu oluşturulmuş ve ÇKKV yöntemlerinden biri olan bulanık FUCOM yöntemiyle kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Oldukça yeni bir yöntem olan Bulanık FUCOM; tutarlılıktaki avantajı ve minimum karşılaştırma sayısı avantajları nedeniyle kriter ağırlıklarını belirlemek için uygun bir çerçeve sunmaktadır.

**Bulgular:** Yapılan analiz çerçevesinde en önemli tesis yeri seçim kriterleri; yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri, devlet teşvikleri, arazi genişleme potansiyeli ve karbon ayak izi olarak karşımıza çıkmıştır.

**Özgünlük:** Güncel bir yöntem olan FUCOM’un bulanık mantık ile entegre edilmiş versiyonu kullanılarak tesis yeri seçimi kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinin özgün bir katkı oluşturduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tesis Yer Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık FUCOM

**JEL Sınıflandırması:** C44, L60

# THE FUZZY FUCOM METHOD FOR DETERMINING THE IMPORTANCE WEIGHTS OF CRITERIA IN FACILITY LOCATION SELECTION

## Abstract

**Purpose:** The aim of the study is to determine the importance weights of the criteria that a company operating in the field of composite propellers in the manufacturing sector in Istanbul, Turkey should consider in choosing a facility location. In this context, the fuzzy Full Consistency Method (FUCOM), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, was used by using five main criteria and twenty-one sub-criteria.

**Method/Design/Methodology/Approach:** A decision-making group consisting of nine experts with two to thirty-five years of experience was formed for the research, and it was aimed to determine the importance weights of the criteria with the fuzzy FUCOM method, which is one of the MCDM methods. Fuzzy FUCOM, a fairly new method, provides a suitable framework for determining criterion weights due to its advantage in consistency and minimum number of comparisons.

**Findings:** The most important facility location selection criteria in the framework of the analysis; investment cost, operation and maintenance costs, government incentives, land expansion potential, and carbon footprint.

**Originality:** It is thought that determining the importance weights of the facility location selection criteria by using the fuzzy logic integrated version of FUCOM, which is an up-to-date method, is an original contribution.

**Keywords:** Facility Location Selection, Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy FUCOM

**JEL Classification:** C44, L60

## GİRİŞ

Tesis yeri seçimi en çok çalışılan optimizasyon problemlerinden biridir (Pourrezaie-Khaligh vd., 2022, s. 243). Tesis yeri seçimi problemi, sadece yeni firmalar için değil, yeni tesisler kuran mevcut firmalar için de aynı derecede önemlidir (Chithambaranathan vd., 2022, s. 1215). Konunun stratejik önemi ve yüksek karmaşıklığı nedeniyle sistematik bir karar desteği vazgeçilmezdir (Kik vd., 2022, s. 116). Bir tesis yeri seçerken, faydanın maksimize edilmesi oldukça önemlidir (Biswas ve Pamucar, 2020, s. 1). Ayrıca bir üretim sisteminin verimliliği için tesis yeri seçimi probleminin, uygun veya optimal çözümü de oldukça önemlidir (Altuntas ve Dereli, 2017, s. 1078). Tesislerin iyi bir şekilde yerleştirilmesi de operasyonların genel verimliliğine katkıda bulunmakta ve toplam firma giderlerini %50'ye kadar azaltabilmektedir (Zadeh vd., 2013, s. 1).

İstanbul gibi büyük bir şehirde yeni bir imalat fabrikası için yer seçimi, birçok kriter içeren karmaşık ve zor bir karar verme görevidir. Bu bağlamda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ilgili kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi, karar verme süreci daha gerçekçi kılmakta ve kolaylaştırmaktadır (Torkayesh ve Simic, 2022, s. 2). Karar sürecindeki belirsiz veriler nedeniyle, genellikle karar vericilerin değerlendirmeleri niteliksel olmakta ve dilsel olarak temsil edilmektedir (Hakim ve Putra, 2022, s. 70). Ağırlık katsayılarının belirlenmesi, ÇKKV yöntemleri hesaplamalarının en önemli ve kritik parçasıdır. Bu amaçla ağırlık katsayılarının belirlenmesi sürecinde öngörülemeyen belirsiz ancak gelecekteki olası olayların dikkate alınması da gerçek yaşam uygulamalarında büyük önem taşımaktadır (Torkayesh ve Simic, 2022, s. 2).

Bu çalışmada kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenebilmesi için ÇKKV yöntemlerinden biri olan bulanık FUCOM yöntemi kullanılmıştır. FUCOM, belirli bir hiyerarşi düzeyindeki tüm elemanların ağırlık katsayılarına izin veren ve karşılaştırma için tutarlılık koşullarını sağlayan bir yöntemdir. En İyi En Kötü Yöntemi (BWM) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi eksikliklerini önemli ölçüde ortadan kaldıran FUCOM yöntemi, daha az sayıda ikili karşılaştırma gerektirir (Baki, 2022, s. 20, Demir vd., 2022, s. 7). Araştırmanın geri kalanı ise şu şekilde organize edilmiştir; ilk kısımda, tesis yer seçimi problemine ve imalat sektöründeki önemine değinilmiştir. Sonrasında, yer seçimi problemi kapsamında ÇKKV yöntemlerinden biri olan bulanık FUCOM yöntemine ilişkin kısa bir literatür özeti sunulmuştur. Yöntem kısmında, çalışmada tesis yer seçimi problemi değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan üçgen bulanık sayılar ve ÇKKV yöntemlerinden biri olan bulanık FUCOM yöntemi tanıtılmıştır. Takip eden bölümlerde yapılan uygulama anlatılarak, gelecekteki araştırmalar için öneriler sunulmuştur.

## KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Tesis, işletme faaliyetlerinin gerçekleştirildiği fiziksel yeri ifade etmektedir (Mucuk, 2018, s. 2). Bu bir iş merkezi, bir fabrika, bir makine atölyesi, bir departman, bir depo vb. olabilmektedir (Drira vd., 2007, s. 255-256). Tesis yeri ise firmanın ana faaliyetlerini yürüttüğü coğrafi alan olarak tanımlanmaktadır (Demirdöğen ve Küçük, 2018, s. 100).

Literatürde tesis yeri seçimi problemi, yıllar boyunca birçok farklı yöntemle kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Laporte vd., 2015, s. 1). Tesis yeri seçimi; tekrarlanmayan, fonksiyonlar arası bir karar verme problemi (Kumar ve Kumanan, 2011, s. 30). Literatürde ise bu problemin ele alınmasına 1963 yılında Cooper öncülük etmiştir. Uygulama alanındaki önemi nedeniyle tesis yeri seçimi problemi yarım yüzyıldır popüler bir araştırma konusu olmuştur (Kodali ve Routroy, 2006, s. 91).

Tesis yeri seçimi problemi; üretim kapasitelerindeki değişiklikler, ürün hatlarının eklenmesi-kaldırılması veya pazar taleplerindeki değişiklikler nedeniyle yeni üretim tesisinin kurulması ile mevcut tesisteki değişiklikler sırasında ortaya çıkmaktadır (Kumar vd., 2010, s. 21-22). Uygun bir tesis yeri seçimi, sabit ve kalıcı olma özelliğine sahiptir. Firma için iyi bir tesis yeri seçmek, uzun süredir girişimciler tarafından başarılı bir iş için koşullardan biri olarak kabul edilmektedir (Mei-Yu, 2013, s. 234). Tesis yer seçimi problemi, firmaların uzun vadeli stratejik kararlarından biridir ve pazar rekabetinde firmaların mükemmelliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle birçok kriterin karşılanmasını gerektiren kritik ve karmaşık bir stratejik karardır (Karande ve Chatterjee, 2018, s. 1700). Özetle tesis yeri seçimi, niteliksel ve niceliksel kriterleri içeren bir ÇKKV problemidir (Kumar vd., 2010, s. 22). Bu kriterlerin önemli bir bölümü de net sayısal değerlerle ifade edilememekte, doğal olarak insan yargısıyla değerlendirilmektedir. Bu nedenle tesis yer seçim süreçleri, dilsel terimlerin doğasında bulunan belirsizliği içermektedir (Chou vd., 2008, s. 133).

İmalat sektöründe tesis yeri; kendine ait özellikleri olan ve üzerinde bulundurduğu bütünleyici parçaları ile imalat sektörünün milli ekonomiye katkıda bulunabilmesini sağlayan bir arazi parçası olarak tanımlanmaktadır (Çakıcı, 1968, s. 19). Sektördeki firmaların tesis yer seçimleri hem girişimci hem de ülke ekonomisi açısından önem taşıyan bir konudur. Uygun seçilmeyen bir tesis yeri yalnızca girişimcinin gelirini kısıtlamakla kalmayacak, ulusal kaynakların israfına da sebebiyet vereceğinden ülke ekonomisini de olumsuz yönde etkileyecektir (Gürsel, 1972, s. 207). Literatürde tesis yer seçimi problemi ile ilgili yapılan farklı araştırmalar mevcuttur. Tablo 1’de tesis yeri seçimi problemi ile ilgili 2008-2022 yılları arasında literatürde bulunan araştırmalarda kullanılan yöntemlere ve araştırma konularına yer verilmiştir.

**Tablo 1.** Tesis Yer Seçimi Probleminde Kullanılan Yöntemler ve Araştırma Konuları

Sıra	Yazar	Ülke	Kullanılan Yöntemler	Araştırma Konusu
1	Chou vd., (2008)	Tayvan	Bulanık Küme Teorisi, Hiyerarşik Yapı Analizi – AHP	Turistik otel yeri seçimi
2	Dağ ve Önder (2013)	Türkiye	AHP – VIKOR	Etiket üreticisi bir firmanın tesis yer seçimi
3	Yaşlıoğlu ve Önder (2016)	Türkiye	AHP – TOPSIS	Plastik eşya üreticisi bir firmanın fabrika yer seçimi
4	Hanine vd., (2016)	Fas	Bulanık TODIM – Bulanık AHP	Depolama alanı yer seçimi
5	Sennaroglu ve Celebi (2018)	Türkiye	AHP – PROMETHEE – VIKOR	Askeri havaalanı yer seçimi
6	Cedolin vd., (2018)	Türkiye	Bulanık Veri Zarflama ve Bulanık Hedef Programlama	Plastik enjeksiyon fabrikası yer seçimi
7	Aytekin (2018)	Türkiye	İkili Ölçekleme – AHP	Kereste fabrikası yer seçimi
8	Wang vd., (2018)	Vietnam	Bulanık AHP – TOPSIS	Rüzgar santrali yer seçimi

9	Rahman vd., (2018)	Bangladeş	AHP	Plastik imalat firmasının tesis yer seçimi
10	Yeşilkaya (2018)	Türkiye	AHP – TOPSIS – PROMETHEE	Kağıt fabrikası yer seçimi
11	Yücenur vd., (2019)	Türkiye	SWARA – COPRAS	Biyogaz üretim tesisi yer seçimi
12	Karagoz vd., (2020)	Türkiye	Sezgisel Bulanık CODAS – WASPAS – TOPSIS	Ömrünü tamamlamış araçlar için söküm merkezi yer seçimi
13	Bajpai vd., (2020)	Hindistan	Bulanık AHP –TOPSIS	İmalatta tesis yer seçimi
14	Seker ve Aydın (2020)	Türkiye	Aralık Değerli Pisagor Bulanık Entropi ve TOPSIS	Hidrojen enerjisi üretim tesisi yer seçimi
15	Karaşan vd., (2020)	Türkiye	DEMATEL, AHP ve TOPSIS Bütünleşik Sezgisel ÇKKV	Elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi
16	Kannan vd., (2020)	İran	BWM – Gri İlişkisel Analiz – VIKOR – Monte Carlo Simülasyonu	Güneş enerjisi siteleri yer seçimi
17	Türk ve Özkök (2020)	Türkiye	Bulanık AHP –TOPSIS	Tersane yeri seçimi
18	Karagöz vd., (2021)	Türkiye	Aralıklı Tip-2 Bulanık ARAS	Ömrünü tamamlamış araçlar için geri dönüşüm tesisi yer seçimi
19	Simic vd., (2021)	Sırbistan	Resim Bulanık Küme Tabanlı CODAS	Araç parçalama tesisi yer seçimi
20	Kieu vd., (2021)	Vietnam	Küresel Bulanık AHP ve CoCoSo	Dağıtım merkezi yer seçimi
21	Durak vd., (2021)	Türkiye	AHP – TOPSIS	Teknopark tesisi yer seçimi
22	Tripathi vd., (2021)	Hindistan	CBS Tabanlı AHP ve Bulanık AHP	Hastane yeri seçimi
23	Suman vd., (2021)	Bangladeş	AHP – Bulanık AHP	Mobilya endüstrisi tesis yer seçimi
24	Deveci vd., (2021)	Türkiye	Tip-2 Nötrosifik – BWM – CODAS	Lityum iyon pili yeniden üretim tesisi yer seçimi
25	Nong (2021)	Vietnam	ANP – TOPSIS	Dağıtım merkezi yer seçimi
26	Feng vd., (2021)	Çin	DEMATEL – Entropi – WASPAS	Geri dönüştürülebilir atık taşıma aracı park merkezleri yer seçimi
27	Asori vd., (2022)	Afrika	CBS Tabanlı WLC ve AHP	Depolama alanları yer seçimi
28	Xuan vd., (2022)	Özbekistan	SWARA – WASPAS – COPRAS – EDAS – WSM	Güneş enerjili hidrojen üretimi tesisi yer seçimi
29	Effatpanah vd., (2022)	Çin	SAW – TOPSIS – ELECTRE – VIKOR – COPRAS	Temiz enerji tesisi yer seçimi
30	Torkayesh ve Simic (2022)	Türkiye	Hiyerarşik Tabakalı BWM – CoCoSo – WASPAS	Sağlık merkezlerinin geri dönüşüm tesisi yer seçimi

Bulanık FUCOM yöntemi ise kullanılabilirliğinden dolayı literatürde birçok araştırmacı tarafından çeşitli karmaşık problemlerin çözümünde tercih edilmiştir. Pamucar vd., (2021) sürdürülebilir ulaşım için çeşitli alternatif yakıtlı araçların seçiminde bulanık Nötrosifik Uzlaşık Çözümüne göre Alternatifleri Değerlendirme ve Sıralama (MARCOS) ve bulanık FUCOM yöntemlerini kullanmışlardır. Demir (2021) bulanık FUCOM yöntemi ile e-devlet web sitelerini değerlendirmiştir. Büyükaslan ve Ecer (2021) bulanık FUCOM- Bonferroni yaklaşımı ile kripto para birimlerine yatırım yapanların önceliklerini belirlemişlerdir. Taşkent ve Delice (2021) bulanık FUCOM yöntemi ile dekoratif taş sağlayıcısı bir firmanın mevcut tedarikçilerini değerlendirmişlerdir. Vesković vd., (2021) konteyner terminallerinde aktarma ve elleçleme makinelerinde istifleyici değerlendirilmesi ve seçiminde bulanık FUCOM ve bulanık MARCOS yöntemlerini ve bulanık Bonferroni ortalama operatörünü kullanmışlardır.

## YÖNTEM

### Üçgen Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar, dilsel ve sözel değişkenlerle ilişkili belirsizliklerle başa çıkmada etkilidir (Banihashemi, vd., 2021, s. 5). Bulanık küme teorisi, temelde dilsel değişkenlere üyelik dereceleri atamakta ve bunları olasılık dağılımı olarak kabul etmektedir. Zadeh 1978 yılında bulanık kümeleri önerdiğinden bugüne kadar; üçgen, yamuk ve Gauss gibi pek çok bulanık sayı geliştirilmiştir (Pamucar vd., 2021, s. 5). Fakat literatürde araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen bulanık sayılar, üçgen bulanık sayılardır. Üçgen bulanık sayılar, hesaplama kolaylığı ve özellikleri nedeniyle uygulama açısından diğer bulanık sayılara göre daha pratiktir (Sahebi vd., 2020, s. 92). Bulanık kümelerin ve üçgen bulanık sayıların ana hatları şu şekildedir (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 422):

**Tanım 1:** Bulanık sayı özel bir bulanık  $F = \{(x, \mu_F(x)), x \in \mathfrak{R}\}$  kümesidir. Bu kümedeki  $x$  değerleri gerçek doğru üzerinde ( $\mathfrak{R}: -\infty \leq x \leq \infty$ ) yer almaktadır. Ayrıca  $\mu_F(x)$ ,  $[0,1]$  kapalı aralığında bir üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir (Pamucar vd., 2021, s. 5).

**Tanım 2:** Üçgen bulanık sayı aynı hiyerarşideki her bir eleman çiftinin göreceli gücünü ifade etmektedir. Ayrıca  $T = (l, m, u)$  olarak gösterilirse  $l \leq m \leq u$  olacak şekilde sıralanmaktadır ve bulanık bir olayda  $l$  değeri alt sınır değerini,  $m$  değeri merkezi değeri,  $u$  değeri ise üst sınır değerini belirtmektedir.  $T$  bulanık sayısının üçgen tip üyelik fonksiyonu 1 numaralı denklemde gösterildiği gibi tanımlanmaktadır (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 423).

$$\mu_T(x) = \begin{cases} 0 & , x < l \\ (x-l)/(m-l) & , l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & , m \leq x \leq u \\ 0 & , x > u \end{cases} \quad (1)$$

$T_1 = (l_1, m_1, u_1)$  ve  $T_2 = (l_2, m_2, u_2)$  olmak üzere iki adet üçgen bulanık sayı düşündüğümüzde;  $T_1$  ve  $T_2$  bulanık sayılarının temel cebirsel işlemleri aşağıdaki denklemlerle açıklanmaktadır (Mavi vd., 2017, s. 2407).

$$(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$(l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (3)$$

$$(l_1, m_1, u_1) / (l_2, m_2, u_2) \cong (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2) \quad l_i > 0, m_i > 0, u_i > 0 \quad (4)$$

$$(l_i, m_i, u_i)^{-1} \approx \left( \frac{1}{u_i}, \frac{1}{m_i}, \frac{1}{l_i} \right) \quad l_i > 0, m_i > 0, u_i > 0 \quad (5)$$

**Tanım 3:**  $a_j$ 'nin üçgen bir bulanık sayı  $(l_j, m_j, u_j)$  olduğunu varsayarsak;  $a_j$ 'nin dereceli ortalama entegrasyon gösterimi  $(R(a_j))$  6 numaralı denklem ile hesaplanmaktadır (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 423).

$$R(a_j) = \frac{l_j + 4m_j + u_j}{6} \quad (6)$$

### **Bulanık FUCOM Yöntemi**

FUCOM, yeni bir ikili karşılaştırma esaslı ÇKKV yöntemi olarak Pamučar vd., (2018) tarafından ortaya konulmuştur (Xu, vd., 2020, s. 5). Bulanık FUCOM yöntemi, daha çok kriterlerin görelî önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.  $n$  sayıda kriter için “ $n-1$ ” ikili karşılaştırma matrislerini kullanmakta ve dördüncü adımdaki iki koşulu kullanarak kriterlere son ağırlıklarını atamaktadır (Rehman vd., 2022, s. 5). Bulanık FUCOM yönteminde, kriter ağırlıklarına karar vermek için daha az sayıda ikili karşılaştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Tang vd., 2021, s. 5564; Pamucar vd., 2021, s. 7). Başka bir ifadeyle bulanık FUCOM yöntemi, karar vermede rasyonel yargıya katkıda bulunan, güvenilir ağırlık katsayıları (önem dereceleri) elde edilebilmesini sağlayan basit bir matematiksel yöntemdir (Fazlollahtabar vd., 2019, s. 51). Sonuç olarak bulanık FUCOM yöntemi, kriterleri öncelik sırasına koyarken karar vericilere kendi öznellikleriyle baş etmede yardımcı olan etkili bir karar aracıdır.

Kriterlerin ikili karşılaştırmasına dayalı ağırlıkları belirlemede sübjektif modeller,  $i$  kriterinin  $j$  kriteri üzerindeki etki derecesini belirlemek için karar vericilere ihtiyaç duymaktadır.  $i$  kriterinin  $j$  kriteri üzerindeki etki derecesi karşılaştırma değeri  $(a_{ij})$  olarak kabul edilmektedir.  $a_{ij}$  karşılaştırmasının elde edilen değerleri öznel tahminlere dayandığından, mevcut belirsizlikler bulanık sayılarla ifade edilebilmektedir. Tablo 2’de bulanık FUCOM yönteminde kullanılan dilsel ifadeler ve bulanık sayı değerleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Dilsel İfadelerin Bulanık Sayı Değerleri (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 424).

<b>Dilsel İfadeler</b>	<b>Bulanık Sayı Değerleri</b>
Eşit derecede önemli (EI)	(1,1,1)
Zayıf derecede önemli (WI)	(2/3,1,3/2)
Oldukça önemli (FI)	(3/2,2,5/2)
Çok önemli (VI)	(5/2,3,7/2)
Kesinlikle önemli (AI)	(7/2,4,9/2)

Bulanık FUCOM yönteminin uygulama adımları ise şu şekildedir:

**Adım 1-Karar kriterlerini belirleme:** Alternatifleri değerlendirmek için çok kriterli modellerde ilk adım bir dizi değerlendirme kriteri tanımlamaktır.  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  kümesiyle temsil edilen  $n$  ( $j=1,2,3, \dots, n$ ) değerlendirme kriteri vardır (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 424).

**Adım 2-Karar kriterlerini önem derecelerine göre sıralama:** İlk adımda karar vericilerden her bir kritere uzmanlıklarına göre önem puanı vermeleri istenmektedir. Karar vericiler daha sonra bulanık



sayılara çevrilen dilsel bir ölçekte derecelendirmeler atamaktadır. Birinci sıra, en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen ppppppkritere atanmakta ve bu şekilde en az öneme sahip kritere doğru devam etmektedir (Tang vd., 2021, s. 5552). Son sırada, ağırlık katsayısının en düşük değerine sahip olmasını beklediğimiz kriter yer almaktadır. Böylece beklenen etkiye göre sıralanan kriterler elde edilmektedir (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 424).

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)} \quad (7)$$

7 numaralı denklemde;  $C_{j(1)}$  ve  $C_{j(k)}$ , önceden tanımlanmış n eleman kümesi arasında sırasıyla en çok ve en az önemli kriteri temsil etmektedir. Özellikle iki veya daha fazla kriter eşit öneme sahipse kriterlerin arasına büyüktür işareti (>) yerine eşitlik (=) işareti konulmaktadır (Ayadi vd., 2021, s. 13).

**Adım 3-Üçgen bulanık sayıları kullanarak kriterlerin karşılaştırılması:** Karşılaştırma ilk sıradaki (en önemli) kritere göre yapılmaktadır. Böylece ikinci adımda sıralanan tüm kriterler için bulanık kriter anlamlılığı ( $\varpi C_{j(k)}$ ) elde edilmektedir. Birinci sıradaki kriter kendisiyle kıyaslandığından anlamı " $\varpi C_{j(1)=EI}$ " olarak tanımlanmaktadır. Kalan kriterlerin ise "n-1" karşılaştırması yapılmaktadır (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 424). Kriterlerin tanımlanan önemine dayalı olarak bulanık karşılaştırmalı anlamlılık ( $\varphi_{k/(k+1)}$ ) 8 numaralı denklem uygulanarak belirlenmektedir (Ayadi vd., 2021, s. 13).

$$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{\varpi C_{j(k+1)}}{\varpi C_{j(k)}} = \frac{(\varpi C_{j(k+1)}^l, \varpi C_{j(k+1)}^m, \varpi C_{j(k+1)}^u)}{(\varpi C_{j(k)}^l, \varpi C_{j(k)}^m, \varpi C_{j(k)}^u)} \quad (8)$$

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (9)$$

8 ve 9 numaralı denklemlerdeki  $\varphi_{k/(k+1)}$  ifadesi  $C_{j(k)}$  rank kriterinin  $C_{j(k+1)}$  rank kriterine göre sahip olduğu önemi temsil etmektedir (Pamucar vd., 2021, s. 7).

**Adım 4-Optimum bulanık ağırlıkların hesaplanması:** Dördüncü adımda  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  kriterlerinin bulanık ağırlık katsayılarının nihai değerleri hesaplanmaktadır. Ağırlık katsayılarının nihai değerleri aşağıdaki iki koşulu karşılamalıdır (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 425).

**Koşul 1:** Gözlenen  $C_{j(k)}$  ve  $C_{j(k+1)}$  kriterlerinin ağırlık katsayılarının oranı Adım 2'de tanımlanan karşılaştırmalı önemlerine ( $\varphi_{k/(k+1)}$ ) eşit olmalıdır ve 10 numaralı denklemi yerine getirmelidir (Ayadi vd., 2021, s. 13).

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (10)$$

**Koşul 2:** 9 numaralı denklem ile tanımlanan koşula ek olarak ağırlık katsayılarının son değerleri ve

geçişliliği  $\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}$  ve  $\frac{w_k}{w_{k+1}} \otimes \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}$  eşitliklerini sağlamalıdır. Böylece

ağırlık katsayılarının nihai değerleriyle sağlanması gereken başka bir koşul olan 11 numaralı denklem

elde edilmektedir.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (11)$$

Minimum Maksimum Tutarlıktan Sapmalar (DMC),  $X=0$ , yalnızca ağırlık katsayıları arasındaki geçişlilik tamamen karşılandığında sağlanmaktadır. O halde  $\frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} = 0$  ve

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = 0 \text{ denilebilmektedir. Bu koşulların sağlanabilmesi için } X \text{ değerinin}$$

minimizasyonu ile  $\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi$  ve  $\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi$  koşullarını sağlayan  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  kriterlerinin ağırlık katsayıları değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 425).

Değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının optimal bulanık değerlerini belirlemek için nihai doğrusal olmayan model  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  olarak kabul edilmektedir (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 425).

min  $\chi$

s.t.

$$\begin{cases} \left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \forall j \\ \left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \forall j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall j \\ w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u \\ w_j^l \geq 0, \forall j \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (12)$$

12 numaralı denklem takımında  $w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$  ve  $\varphi_{k/(k+1)} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u)$ 'dir. En

yüksek tutarlılığı elde etmek için  $\frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} = 0$  ve  $\frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = 0$

koşullarının sağlanması gerekmektedir. Böylece 12 numaralı denklem ile verilen model bulanık bir lineer model olan 13 numaralı denklem takımına dönüştürülebilmektedir. Bu denklem takımının çözülmesi halinde ağırlık katsayılarının optimal bulanık değerleri  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  olarak elde edilmektedir (Pamucar ve Ecer, 2020, s. 426).

min  $\chi$

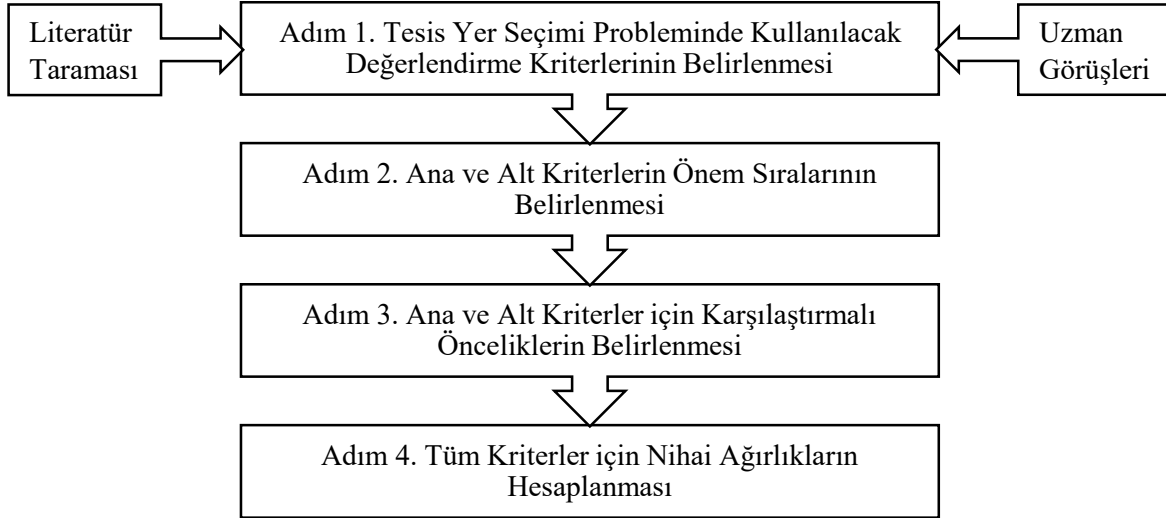
s.t.

$$\begin{cases} |w_k - w_{k+1} \otimes \varphi_{k/(k+1)}| \leq \chi, \forall j \\ |w_k - w_{k+2} \otimes \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}| \leq \chi, \forall j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall j \\ w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u \\ w_j^l \geq 0, \forall j \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (13)$$

Burada  $w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u)$  ve  $\varphi_{k/(k+1)} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u)$ 'dir.

## UYGULAMA

Uygulama kapsamında; imalat sektöründe kompozit pervane alanında faaliyet gösteren bir firmanın fabrika yeri seçiminde literatürde yaygın olarak kullanılan beş ana kriter ve yirmi bir alt kriterin önem ağırlıklarının, ÇKKV yöntemlerinden biri olan bulanık FUCOM yöntemiyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 1'de uygulamanın akış şeması verilmiştir.



Şekil 1. Uygulamanın Akış Şeması

Öncelikle literatürde tesis yer seçimi probleminde kullanılan değerlendirme kriterleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan değerlendirme kriterleri Tablo 3'te verilmiştir. Karar vericilerden tercihlerini bu kriterler kapsamında değerlendirmeleri istenmiştir. İki ile otuz beş yıl arasında tecrübeye sahip işletme yöneticisi, mimar, yüksek gemi mühendisi, yüksek mekatronik mühendisi, yüksek malzeme mühendisi ve endüstri mühendisi olarak görev yapan dokuz uzmanın bulunduğu karar verme grubu oluşturulmuştur.

**Tablo 3.** Tesis Yer Seçimi Probleminde Kullanılan Değerlendirme Kriterleri

<b>Kriter</b>	<b>Kısa Tanımı</b>	<b>Destekleyici Literatür</b>	
<b>C1-Coğrafi</b>			
C11	Enerji kaynaklarına yakınlık	Tesisin enerji ihtiyacını karşılayabilecek altyapının durumunu ifade etmektedir.	Yaşlıoğlu ve Önder (2016)
C12	Hammadde tedariklerine yakınlık	Alternatif lokasyonun hammadde tedariklerine yakınlığını ifade etmektedir.	Yaşlıoğlu ve Önder (2016); Cedolin vd., (2018); Yücenur vd., (2019)
C13	İklim	Alternatif lokasyonun üretime etki edecek mevsimsel durumunu ifade etmektedir.	Yeşilkaya (2018); Kaul vd., (2020); Türk ve Özkök (2020)
C14	Müşterilere yakınlık	Müşterilerin fazla olduğu bölgelere olan yakınlığını ifade etmektedir.	Yaşlıoğlu ve Önder (2016); Suman vd., (2021)
C15	Sanayi bölgelerine yakınlık	Sanayi bölgelerine erişimini ifade etmektedir.	Dağ ve Önder (2013); Türk ve Özkök (2020)
C16	Ulaşım ağlarına yakınlık	Ulaşım olanaklarına yakınlığı kapsamaktadır.	Sennaroglu ve Celebi (2018); Durak vd., (2021)
<b>C2-Çevre</b>			
C21	Gürültü kirliliği	Fabrikanın kurulacağı alternatif lokasyondaki gürültü kirliliğini ifade etmektedir.	Karagöz vd., (2020, 2021); Simic vd., (2021); Torkayesh ve Simic (2022)
C22	Hava kirliliği	Fabrikanın kurulacağı alternatif lokasyonda ağır metallerin salınımını ve zararlı dioksinlerin halk sağlığı üzerindeki etkisini ifade etmektedir.	Durak vd., (2021); Deveci vd., (2021)
C23	Karbon ayak izi	Tesisin faaliyetleri sonucu atmosfere saldığı sera gazlarını ifade etmektedir.	Torkayesh ve Simic (2022)
<b>C3-Ekonomik</b>			
C31	Devlet teşvikleri	Devlet destek derecesi, sübvansiyonlar, arazi imtiyazları ve ergi teşviklerinden oluşmaktadır.	Dağ ve Önder (2013)
C32	İşletme ve bakım maliyetleri	Bir tesisi işletmek için gereken işletme ve bakım-onarım maliyetlerini ifade etmektedir.	Torkayesh ve Simic (2022); Effatpanah vd., (2022)
C33	Yatırım maliyeti	Projenin uygulanmasıyla ilgili toplam maliyetleri ifade etmektedir.	Yücenur vd., (2019); Seker ve Aydın (2020); Deveci vd., (2021)
<b>C4-Sosyal</b>			
C41	Çalışanlar için sosyal olanaklar	Okullar, hastaneler ve sosyal yaşam alanlarının varlığı olarak ifade edilmektedir.	Aytekin (2018)
C42	İş gücü mevcudiyeti	Yeterli sayıda işçinin mevcudiyeti olarak tanımlanmaktadır.	Simic vd., (2021)
C43	Topluluk yararı	Yaratılacak iş sayısını ve kentsel alan için etkiyi ifade etmektedir.	Seker ve Aydın (2020)
C44	Toplumsal kabul	Kurulacak fabrikanın bölgedeki sosyal çevre tarafından kabulünü ifade etmektedir.	Kannan vd., (2020); Karagöz vd., (2021); Torkayesh ve Simic (2022)
<b>C5-Teknik</b>			
C51	Arazi genişleme potansiyeli	Tesisin gelecekte arazisini genişletme potansiyelini ifade etmektedir.	Sennaroglu ve Celebi (2018)
C52	Arazi gereksinimi	Fabrikanın kurulacağı alternatif lokasyon alanını ifade etmektedir.	Torkayesh ve Simic (2022)
C53	Arazinin karakteristik uygunluğu	Alternatif lokasyonun coğrafi uygunluğu olarak tanımlanmaktadır.	Karagöz vd., (2020, 2021)
C54	Envanter depolama kapasitesi	Firmanın; satış, üretim veya kullanım hedefi için elinde tuttuğu malzemeleri stoklama için ihtiyacı olan alanı ifade etmektedir.	Karagoz vd., (2020); Simic vd., (2021)
C55	Trafik yoğunluğu	Alternatif lokasyon çevresindeki trafik yoğunluğunu ifade etmektedir.	Yaşlıoğlu ve Önder (2016); Sennaroglu ve Celebi (2018)

Karar vericilerin ( $KV_1, KV_2, \dots, KV_9$ ) ana kriterleri ( $C_1, C_2, \dots, C_5$ ),  $C_1$  ana kriterinin alt kriterlerini ( $C_{11}, C_{12}, \dots, C_{16}$ ),  $C_2$  ana kriterinin alt kriterlerini ( $C_{21}, C_{22}, C_{23}$ ),  $C_3$  ana kriterinin alt kriterlerini ( $C_{31}, C_{32}, C_{33}$ ),  $C_4$  ana kriterinin alt kriterlerini ( $C_{41}, C_{42}, C_{43}, C_{44}$ ) ve  $C_5$  ana kriterinin alt kriterlerini ( $C_{51}, C_{52}, \dots, C_{55}$ ) bulanık dilsel ifade ile değerlendirmeleri ve ana kriterlerin ve alt kriterlerin sıralanması Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Karar Vericilerin Bulanık Dilsel İfade ile Değerlendirmeleri ve Sıralanması

	<b>Ana Kriterler</b>	<b>C<sub>1</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>2</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>
<b>KV<sub>1</sub></b>	FI, AI, EI, VI, WI	WI, AI, EI, WI, VI, FI	WI, FI, EI
	$C_3 > C_5 > C_1 > C_4 > C_2$	$C_{13} > C_{11} = C_{14} > C_{16} > C_{15} > C_{12}$	$C_{23} > C_{21} > C_{22}$
<b>KV<sub>2</sub></b>	WI, AI, FI, VI, EI	WI, FI, VI, AI, VI, EI	WI, FI, EI
	$C_5 > C_1 > C_3 > C_4 > C_2$	$C_{16} > C_{11} > C_{12} > C_{13} = C_{15} > C_{14}$	$C_{23} > C_{21} > C_{22}$
<b>KV<sub>3</sub></b>	EI, FI, WI, VI, AI	AI, WI, EI, VI, WI, FI	FI, WI, EI
	$C_1 > C_3 > C_2 > C_4 > C_5$	$C_{13} > C_{12} = C_{15} > C_{16} > C_{14} > C_{11}$	$C_{23} > C_{22} > C_{21}$
<b>KV<sub>4</sub></b>	VI, AI, EI, WI, FI	FI, EI, AI, WI, WI, VI	AI, VI, EI
	$C_3 > C_4 > C_5 > C_1 > C_2$	$C_{12} > C_{14} = C_{15} > C_{11} > C_{16} > C_{13}$	$C_{23} > C_{22} > C_{21}$
<b>KV<sub>5</sub></b>	WI, VI, EI, AI, FI	WI, EI, FI, FI, AI, VI	WI, AI, EI
	$C_3 > C_1 > C_5 > C_2 > C_4$	$C_{12} > C_{11} > C_{13} = C_{14} > C_{16} > C_{15}$	$C_{23} > C_{21} > C_{22}$
<b>KV<sub>6</sub></b>	FI, AI, EI, VI, WI	WI, VI, FI, EI, VI, AI	EI, FI, AI
	$C_3 > C_5 > C_1 > C_4 > C_2$	$C_{14} > C_{11} > C_{13} > C_{12} = C_{15} > C_{16}$	$C_{21} > C_{22} > C_{23}$
<b>KV<sub>7</sub></b>	WI, FI, EI, AI, VI	VI, EI, AI, WI, FI, WI	AI, EI, VI
	$C_3 > C_1 > C_2 > C_5 > C_4$	$C_{12} > C_{14} = C_{16} > C_{15} > C_{11} > C_{13}$	$C_{22} > C_{23} > C_{21}$
<b>KV<sub>8</sub></b>	WI, VI, EI, AI, FI	VI, EI, AI, WI, VI, FI	FI, EI, WI
	$C_3 > C_1 > C_5 > C_2 > C_4$	$C_{12} > C_{14} > C_{16} > C_{11} = C_{15} > C_{13}$	$C_{22} > C_{23} > C_{21}$
<b>KV<sub>9</sub></b>	VI, WI, EI, AI, FI	WI, EI, VI, FI, FI, AI	WI, VI, EI
	$C_3 > C_2 > C_5 > C_1 > C_4$	$C_{12} > C_{11} > C_{14} = C_{15} > C_{13} > C_{16}$	$C_{23} > C_{21} > C_{22}$
	<b>C<sub>3</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>4</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>5</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>
<b>KV<sub>1</sub></b>	VI, WI, EI	WI, EI, VI, FI	FI, VI, EI, AI, WI
	$C_{33} > C_{32} > C_{31}$	$C_{42} > C_{41} > C_{44} > C_{43}$	$C_{53} > C_{55} > C_{51} > C_{52} > C_{54}$
<b>KV<sub>2</sub></b>	VI, FI, EI	EI, FI, WI, AI	EI, WI, FI, VI, AI
	$C_{33} > C_{32} > C_{31}$	$C_{41} > C_{43} > C_{42} > C_{44}$	$C_{51} > C_{52} > C_{53} > C_{54} > C_{55}$
<b>KV<sub>3</sub></b>	AI, EI, FI	AI, EI, WI, FI	EI, VI, FI, AI, WI
	$C_{32} > C_{33} > C_{31}$	$C_{42} > C_{43} > C_{44} > C_{41}$	$C_{51} > C_{55} > C_{53} > C_{52} > C_{54}$
<b>KV<sub>4</sub></b>	EI, FI, VI	AI, VI, FI, EI	EI, VI, AI, WI, FI
	$C_{31} > C_{32} > C_{33}$	$C_{44} > C_{43} > C_{42} > C_{41}$	$C_{51} > C_{54} > C_{55} > C_{52} > C_{53}$
<b>KV<sub>5</sub></b>	VI, WI, EI	VI, EI, FI, WI	WI, FI, EI, VI, AI
	$C_{33} > C_{32} > C_{31}$	$C_{42} > C_{44} > C_{43} > C_{41}$	$C_{53} > C_{51} > C_{52} > C_{54} > C_{55}$
<b>KV<sub>6</sub></b>	FI, EI, WI	WI, EI, VI, FI	EI, WI, AI, VI, FI
	$C_{32} > C_{33} > C_{31}$	$C_{42} > C_{41} > C_{44} > C_{43}$	$C_{51} > C_{52} > C_{55} > C_{54} > C_{53}$
<b>KV<sub>7</sub></b>	FI, EI, WI	FI, EI, VI, AI	VI, AI, WI, FI, EI
	$C_{32} > C_{33} > C_{31}$	$C_{42} > C_{41} > C_{43} > C_{44}$	$C_{55} > C_{53} > C_{54} > C_{51} > C_{52}$
<b>KV<sub>8</sub></b>	FI, WI, EI	WI, EI, FI, VI	WI, FI, EI, AI, VI
	$C_{33} > C_{32} > C_{31}$	$C_{42} > C_{41} > C_{43} > C_{44}$	$C_{53} > C_{51} > C_{52} > C_{55} > C_{54}$
<b>KV<sub>9</sub></b>	WI, FI, EI	VI, EI, WI, AI	WI, AI, EI, FI, VI
	$C_{33} > C_{31} > C_{32}$	$C_{42} > C_{43} > C_{41} > C_{44}$	$C_{53} > C_{51} > C_{54} > C_{55} > C_{52}$

Tablo 5'te ise  $KV_1$ 'e göre en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriterden en az öneme sahip olan kritere doğru yapılan sıralamanın bulanık sayı karşılıkları ve 8 numaralı denklem kullanılarak ifade edilen bulanık karşılaştırmalı anlamlılık değerleri verilmiştir.

**Tablo 5.**  $KV_1$ 'e göre Sıralanmış Kriterlerin Bulanık Sayı Karşılıkları ve Karşılaştırmaları

		<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>		<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>
<b>Ana Kriterler</b>	<b>C<sub>3</sub></b>	1	1	1				
	<b>C<sub>5</sub></b>	0,7	1	1,5	$\varphi_{(C_5/C_3)=}$	0,667	1,000	1,500
	<b>C<sub>1</sub></b>	1,5	2	2,5	$\varphi_{(C_1/C_5)=}$	1,000	2,000	3,750
	<b>C<sub>4</sub></b>	2,5	3	3,5	$\varphi_{(C_4/C_1)=}$	1,000	1,500	2,333
	<b>C<sub>2</sub></b>	3,5	4	4,5	$\varphi_{(C_2/C_4)=}$	1,000	1,333	1,800
<b>C<sub>1</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>13</sub></b>	1	1	1				
	<b>C<sub>11</sub></b>	0,7	1	1,5	$\varphi_{(C_{11}/C_{13})=}$	0,667	1,000	1,500
	<b>C<sub>14</sub></b>	0,7	1	1,5	$\varphi_{(C_{14}/C_{11})=}$	0,444	1,000	2,250
	<b>C<sub>16</sub></b>	1,5	2	2,5	$\varphi_{(C_{16}/C_{14})=}$	1,000	2,000	3,750
	<b>C<sub>15</sub></b>	2,5	3	3,5	$\varphi_{(C_{15}/C_{16})=}$	1,000	1,500	2,333
<b>C<sub>2</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>12</sub></b>	3,5	4	4,5	$\varphi_{(C_{12}/C_{15})=}$	1,000	1,333	1,800
	<b>C<sub>23</sub></b>	1	1	1				
	<b>C<sub>21</sub></b>	0,7	1	1,5	$\varphi_{(C_{21}/C_{23})=}$	0,667	1,000	1,500
<b>C<sub>3</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>22</sub></b>	1,5	2	2,5	$\varphi_{(C_{22}/C_{21})=}$	1,000	2,000	3,750
	<b>C<sub>33</sub></b>	1	1	1				
	<b>C<sub>32</sub></b>	0,7	1	1,5	$\varphi_{(C_{32}/C_{33})=}$	0,667	1,000	1,500
<b>C<sub>4</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>31</sub></b>	2,5	3	3,5	$\varphi_{(C_{31}/C_{32})=}$	1,667	3,000	5,250
	<b>C<sub>42</sub></b>	1	1	1				
	<b>C<sub>41</sub></b>	0,7	1	1,5	$\varphi_{(C_{41}/C_{42})=}$	0,667	1,000	1,500
	<b>C<sub>44</sub></b>	1,5	2	2,5	$\varphi_{(C_{44}/C_{41})=}$	1,000	2,000	3,750
<b>C<sub>5</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterleri</b>	<b>C<sub>43</sub></b>	2,5	3	3,5	$\varphi_{(C_{43}/C_{44})=}$	1,000	1,500	2,333
	<b>C<sub>53</sub></b>	1	1	1				
	<b>C<sub>55</sub></b>	0,7	1	1,5	$\varphi_{(C_{55}/C_{53})=}$	0,667	1,000	1,500
	<b>C<sub>51</sub></b>	1,5	2	2,5	$\varphi_{(C_{51}/C_{55})=}$	1,000	2,000	3,750
	<b>C<sub>52</sub></b>	2,5	3	3,5	$\varphi_{(C_{52}/C_{51})=}$	1,000	1,500	2,333
	<b>C<sub>54</sub></b>	3,5	4	4,5	$\varphi_{(C_{54}/C_{52})=}$	1,000	1,333	1,800

Hesaplanan kriterlerin  $KV_1$  için karşılaştırmalı önem vektörü aşağıdaki gibidir.

$$\Phi = [(0,67, 1, 1,5), (1, 2, 3,75), (1, 1,5, 2,33), (1, 1,33, 1,8)]$$

$$\Phi C_1 = [(0,67, 1, 1,5), (0,44, 1, 2,25), (1, 2, 3,75), (1, 1,5, 2,33), (1, 1,33, 1,8)]$$

$$\Phi C_2 = [(0,67, 1, 1,5), (1, 2, 3,75)]$$

$$\Phi C_3 = [(0,67, 1, 1,5), (1,67, 3, 5,25)]$$

$$\Phi C_4 = [(0,67, 1, 1,5), (1, 2, 3,75), (1, 1,5, 2,33)]$$

$$\Phi C_5 = [(0,67, 1, 1,5), (1, 2, 3,75), (1, 1,5, 2,33), (1, 1,33, 1,8)]$$

Tablo 5'te verilen bulanık sayılar ve sıralama 10 numaralı denklem yardımıyla her karar verici için kriterlerin karşılaştırmalı önemi ( $\varphi_{k/(k+1)}$ ) hesaplanmıştır. Bunun yanında matematiksel geçerlilik

koşulunun sağlanması için 11 numaralı denklem kullanılarak  $\varphi_{(k)/(k+2)}$  koşul değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler KV<sub>1</sub>'e göre Tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 6** KV<sub>1</sub>'e göre Koşul Değerleri

<b>Ana Kriterlerin İşlemleri</b>	<b>C<sub>1</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterlerinin İşlemleri</b>	<b>C<sub>2</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterlerinin İşlemleri</b>
$\varphi_{C3/C5} = (0,67;1,00;1,50)$	$\varphi_{C13/C11} = (0,67;1,00;1,50)$	$\varphi_{C23/C21} = (0,67;1,00;1,50)$
$\varphi_{C5/C1} = (1,00;2,00;3,75)$	$\varphi_{C11/C14} = (0,44;1,00;2,25)$	$\varphi_{C21/C22} = (1,00;2,00;3,75)$
$\varphi_{C1/C4} = (1,00;1,50;2,33)$	$\varphi_{C14/C16} = (1,00;2,00;3,75)$	$\varphi_{C23/C22} = (0,67;2,00;5,63)$
$\varphi_{C4/C2} = (1,00;1,33;1,80)$	$\varphi_{C16/C12} = (1,00;1,50;2,33)$	
$\varphi_{C3/C1} = (0,67;2,00;5,63)$	$\varphi_{C15/C12} = (1,00;1,33;1,80)$	
$\varphi_{C5/C4} = (1,00;3,00;8,75)$	$\varphi_{C13/C14} = (0,30;1,00;3,38)$	
$\varphi_{C1/C2} = (1,00;2,00;4,20)$	$\varphi_{C11/C16} = (0,44;2,00;8,44)$	
	$\varphi_{C14/C15} = (1,00;3,00;8,75)$	
	$\varphi_{C16/C12} = (1,00;2,00;4,20)$	
<b>C<sub>3</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterlerinin İşlemleri</b>	<b>C<sub>4</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterlerinin İşlemleri</b>	<b>C<sub>5</sub> Ana Kriterinin Alt Kriterlerinin İşlemleri</b>
$\varphi_{C33/C32} = (0,67;1,00;1,50)$	$\varphi_{C42/C41} = (0,67;1,00;1,50)$	$\varphi_{C53/C55} = (0,67;1,00;1,50)$
$\varphi_{C32/C31} = (1,67;3,00;5,25)$	$\varphi_{C41/C44} = (1,00;2,00;3,75)$	$\varphi_{C55/C51} = (1,00;2,00;3,75)$
$\varphi_{C33/C31} = (1,11;3,00;7,88)$	$\varphi_{C44/C43} = (1,00;1,50;2,33)$	$\varphi_{C51/C52} = (1,00;1,50;2,33)$
	$\varphi_{C42/C44} = (0,67;2,00;5,63)$	$\varphi_{C52/C54} = (1,00;1,33;1,80)$
	$\varphi_{C41/C43} = (1,00;3,00;8,75)$	$\varphi_{C53/C51} = (0,67;2,00;5,63)$
		$\varphi_{C55/C52} = (1,00;3,00;8,75)$
		$\varphi_{C51/C54} = (1,00;2,00;4,20)$

Sonrasında ise 13 numaralı denklem kullanılarak her bir karar verici için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Matematiksel model ile ağırlıkların belirlenmesinde her bir karar vericiye ait çözülmesi gereken çok sayıda eşitsizlik bulunmaktadır. Bu eşitsizlikler “LINGO 18.0” programı yardımıyla çözülerek her bir karar verici için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. KV<sub>1</sub> için oluşturulan denklem takımları aşağıda listelenmiştir.

KV<sub>1</sub>'in ana kriterleri için hesaplanan matematiksel ifadeler 13 numaralı denklem yardımıyla çözülmüş ve aşağıda verilen matematiksel model oluşturulmuştur.

*MinX*

$$\begin{aligned}
& |w_3^l - 0,67w_5^u| \leq X, |w_5^l - 1,00w_1^u| \leq X, |w_1^l - 1,00w_4^u| \leq X, |w_4^l - 1,00w_2^u| \leq X \\
& |w_3^m - 1,00w_5^m| \leq X, |w_5^m - 2,00w_1^m| \leq X, |w_1^m - 1,50w_4^m| \leq X, |w_4^m - 1,33w_2^m| \leq X \\
& |w_3^u - 1,50w_5^l| \leq X, |w_5^u - 3,75w_1^l| \leq X, |w_1^u - 2,33w_4^l| \leq X, |w_4^u - 1,80w_2^l| \leq X \\
& |w_3^l - 0,67w_1^u| \leq X, |w_5^l - 1,00w_4^u| \leq X, |w_1^l - 1,00w_2^u| \leq X \\
& |w_3^m - 2,00w_1^m| \leq X, |w_5^m - 3,00w_4^m| \leq X, |w_1^m - 2,00w_2^m| \leq X \\
& |w_3^u - 5,63w_1^l| \leq X, |w_5^u - 8,75w_4^l| \leq X, |w_1^u - 4,20w_2^l| \leq X \\
& (w_1^l + 4w_1^m + w_1^u) / 6 + (w_2^l + 4w_2^m + w_2^u) / 6 + (w_3^l + 4w_3^m + w_3^u) / 6 + \\
& (w_4^l + 4w_4^m + w_4^u) / 6 + (w_5^l + 4w_5^m + w_5^u) / 6 = 1 \\
& w_1^l \leq w_1^m \leq w_1^u, w_2^l \leq w_2^m \leq w_2^u, w_3^l \leq w_3^m \leq w_3^u, w_4^l \leq w_4^m \leq w_4^u, w_5^l \leq w_5^m \leq w_5^u \\
& 0 \leq w_1^l, 0 \leq w_2^l, 0 \leq w_3^l, 0 \leq w_4^l, 0 \leq w_5^l,
\end{aligned}$$

KV<sub>1</sub>'in C<sub>1</sub> ana kriterine ait alt kriterleri için hesaplanan matematiksel ifadeler 13 numaralı denklem yardımıyla çözülmüş ve aşağıda verilen matematiksel model oluşturulmuştur.

*MinX*

$$\begin{aligned}
& |w_{13}^l - 0,67w_{11}^u| \leq X, |w_{11}^l - 0,44w_{14}^u| \leq X, |w_{14}^l - 1,00w_{16}^u| \leq X, |w_{16}^l - 1,00w_{15}^u| \leq X \\
& |w_{13}^m - 1,00w_{11}^m| \leq X, |w_{11}^m - 1,00w_{14}^m| \leq X, |w_{14}^m - 2,00w_{16}^m| \leq X, |w_{16}^m - 1,50w_{15}^m| \leq X \\
& |w_{13}^u - 1,50w_{11}^l| \leq X, |w_{11}^u - 2,25w_{14}^l| \leq X, |w_{14}^u - 3,75w_{16}^l| \leq X, |w_{16}^u - 2,33w_{15}^l| \leq X \\
& |w_{15}^l - 1,00w_{12}^u| \leq X, |w_{15}^m - 1,33w_{12}^m| \leq X, |w_{15}^u - 1,80w_{12}^l| \leq X \\
& |w_{13}^l - 0,30w_{14}^u| \leq X, |w_{11}^l - 0,44w_{16}^u| \leq X, |w_{14}^l - 1,00w_{15}^u| \leq X, |w_{16}^l - 1,00w_{12}^u| \leq X \\
& |w_{13}^m - 1,00w_{14}^m| \leq X, |w_{11}^m - 2,00w_{16}^m| \leq X, |w_{14}^m - 3,00w_{15}^m| \leq X, |w_{16}^m - 2,00w_{12}^m| \leq X \\
& |w_{13}^u - 3,38w_{14}^l| \leq X, |w_{11}^u - 8,44w_{16}^l| \leq X, |w_{14}^u - 8,75w_{15}^l| \leq X, |w_{16}^u - 4,20w_{12}^l| \leq X \\
& (w_{11}^l + 4w_{11}^m + w_{11}^u) / 6 + (w_{12}^l + 4w_{12}^m + w_{12}^u) / 6 + (w_{13}^l + 4w_{13}^m + w_{13}^u) / 6 + \\
& (w_{14}^l + 4w_{14}^m + w_{14}^u) / 6 + (w_{15}^l + 4w_{15}^m + w_{15}^u) / 6 + (w_{16}^l + 4w_{16}^m + w_{16}^u) / 6 = 1 \\
& w_{11}^l \leq w_{11}^m \leq w_{11}^u, w_{12}^l \leq w_{12}^m \leq w_{12}^u, w_{13}^l \leq w_{13}^m \leq w_{13}^u, w_{14}^l \leq w_{14}^m \leq w_{14}^u, w_{15}^l \leq w_{15}^m \leq w_{15}^u \\
& w_{16}^l \leq w_{16}^m \leq w_{16}^u \\
& 0 \leq w_{11}^l, 0 \leq w_{12}^l, 0 \leq w_{13}^l, 0 \leq w_{14}^l, 0 \leq w_{15}^l, 0 \leq w_{16}^l
\end{aligned}$$

KV<sub>1</sub>'in C<sub>2</sub> ana kriterine ait alt kriterleri için hesaplanan matematiksel ifadeler 13 numaralı denklem yardımıyla çözülmüş ve aşağıda verilen matematiksel model oluşturulmuştur.

*MinX*

$$\begin{aligned}
& |w_{23}^l - 0,67w_{21}^u| \leq X, |w_{21}^l - 1,00w_{22}^u| \leq X, |w_{23}^m - 1,00w_{21}^m| \leq X \\
& |w_{21}^m - 2,00w_{22}^m| \leq X, |w_{23}^u - 1,50w_{21}^l| \leq X, |w_{21}^u - 3,75w_{22}^l| \leq X \\
& |w_{23}^l - 0,67w_{22}^u| \leq X, |w_{23}^m - 2,00w_{22}^m| \leq X, |w_{23}^u - 5,63w_{22}^l| \leq X \\
& (w_{21}^l + 4w_{21}^m + w_{21}^u) / 6 + (w_{22}^l + 4w_{22}^m + w_{22}^u) / 6 + (w_{23}^l + 4w_{23}^m + w_{23}^u) / 6 = 1 \\
& w_{21}^l \leq w_{21}^m \leq w_{21}^u, w_{22}^l \leq w_{22}^m \leq w_{22}^u, w_{23}^l \leq w_{23}^m \leq w_{23}^u \\
& 0 \leq w_{21}^l, 0 \leq w_{22}^l, 0 \leq w_{23}^l
\end{aligned}$$

KV<sub>1</sub>'in C<sub>3</sub> ana kriterine ait alt kriterleri için hesaplanan matematiksel ifadeler 13 numaralı denklem yardımıyla çözülmüş ve aşağıda verilen matematiksel model oluşturulmuştur.



*MinX*

$$\begin{aligned}
&|w'_{33} - 0,67w''_{32}| \leq X, \quad |w'_{32} - 1,67w''_{31}| \leq X, \quad |w^m_{33} - 1,00w^m_{32}| \leq X, \\
&|w^m_{32} - 3,00w^m_{31}| \leq X, \quad |w''_{33} - 1,50w''_{32}| \leq X, \quad |w''_{32} - 5,25w''_{31}| \leq X, \\
&|w'_{33} - 1,11w''_{31}| \leq X, \quad |w^m_{33} - 3,00w^m_{31}| \leq X, \quad |w''_{33} - 7,88w''_{31}| \leq X \\
&(w'_{31} + 4w^m_{31} + w''_{31})/6 + (w'_{32} + 4w^m_{32} + w''_{32})/6 + (w'_{33} + 4w^m_{33} + w''_{33})/6 = 1 \\
&w'_{31} \leq w^m_{31} \leq w''_{31}, w'_{32} \leq w^m_{32} \leq w''_{32}, w'_{33} \leq w^m_{33} \leq w''_{33} \\
&0 \leq w'_{31}, \quad 0 \leq w'_{32}, \quad 0 \leq w'_{33}
\end{aligned}$$

KV<sub>1</sub>'in C<sub>4</sub> ana kriterine ait alt kriterleri için hesaplanan matematiksel ifadeler 13 numaralı denklem yardımıyla çözülmüş ve aşağıda verilen matematiksel model oluşturulmuştur.

*MinX*

$$\begin{aligned}
&|w'_{42} - 0,67w''_{41}| \leq X, \quad |w'_{41} - 1,00w''_{44}| \leq X, \quad |w'_{44} - 1,00w''_{43}| \leq X, \quad |w'_{42} - 1,00w''_{41}| \leq X \\
&|w''_{44} - 2,33w''_{43}| \leq X \\
&|w^m_{41} - 2,00w^m_{44}| \leq X, \quad |w^m_{44} - 1,50w^m_{43}| \leq X, \quad |w'_{42} - 1,50w''_{41}| \leq X, \quad |w''_{41} - 3,75w''_{44}| \leq X \\
&|w'_{42} - 0,67w''_{44}| \leq X, \quad |w'_{41} - 1,00w''_{43}| \leq X, \quad |w'_{42} - 2,00w''_{44}| \leq X, \quad |w'_{41} - 3,00w''_{43}| \leq X \\
&|w'_{42} - 5,63w''_{44}| \leq X, \quad |w'_{41} - 8,75w''_{43}| \leq X \\
&(w'_{41} + 4w^m_{41} + w''_{41})/6 + (w'_{42} + 4w^m_{42} + w''_{42})/6 + (w'_{43} + 4w^m_{43} + w''_{43})/6 + \\
&\quad (w'_{44} + 4w^m_{44} + w''_{44})/6 = 1 \\
&w'_{41} \leq w^m_{41} \leq w''_{41}, w'_{42} \leq w^m_{42} \leq w''_{42}, w'_{43} \leq w^m_{43} \leq w''_{43}, w'_{44} \leq w^m_{44} \leq w''_{44} \\
&0 \leq w'_{41}, \quad 0 \leq w'_{42}, \quad 0 \leq w'_{43}, \quad 0 \leq w'_{44}
\end{aligned}$$

KV<sub>1</sub>'in C<sub>5</sub> ana kriterine ait alt kriterleri için hesaplanan matematiksel ifadeler 13 numaralı denklem yardımıyla çözülmüş ve aşağıda verilen matematiksel model oluşturulmuştur.

*MinX*

$$\begin{aligned}
&|w'_{53} - 0,67w''_{55}| \leq X, \quad |w'_{55} - 1,00w''_{51}| \leq X, \quad |w'_{51} - 1,00w''_{52}| \leq X, \quad |w'_{52} - 1,00w''_{54}| \leq X \\
&|w^m_{53} - 1,00w^m_{55}| \leq X, \quad |w^m_{55} - 2,00w^m_{51}| \leq X, \quad |w^m_{51} - 1,50w^m_{52}| \leq X, \quad |w^m_{52} - 1,33w^m_{54}| \leq X \\
&|w''_{53} - 1,50w''_{55}| \leq X, \quad |w''_{55} - 3,75w''_{51}| \leq X, \quad |w''_{51} - 2,33w''_{52}| \leq X, \quad |w''_{52} - 1,80w''_{54}| \leq X \\
&|w'_{53} - 0,67w''_{51}| \leq X, \quad |w'_{55} - 1,00w''_{52}| \leq X, \quad |w'_{51} - 1,00w''_{54}| \leq X \\
&|w^m_{53} - 2,00w^m_{51}| \leq X, \quad |w^m_{55} - 3,00w^m_{52}| \leq X, \quad |w^m_{51} - 2,00w^m_{54}| \leq X \\
&|w''_{53} - 5,63w''_{51}| \leq X, \quad |w''_{55} - 8,75w''_{52}| \leq X, \quad |w''_{51} - 4,20w''_{54}| \leq X \\
&(w'_{51} + 4w^m_{51} + w''_{51})/6 + (w'_{52} + 4w^m_{52} + w''_{52})/6 + (w'_{53} + 4w^m_{53} + w''_{53})/6 + \\
&\quad (w'_{54} + 4w^m_{54} + w''_{54})/6 + (w'_{55} + 4w^m_{55} + w''_{55})/6 = 1 \\
&w'_{51} \leq w^m_{51} \leq w''_{51}, w'_{52} \leq w^m_{52} \leq w''_{52}, w'_{53} \leq w^m_{53} \leq w''_{53}, w'_{54} \leq w^m_{54} \leq w''_{54} \\
&w'_{55} \leq w^m_{55} \leq w''_{55} \\
&0 \leq w'_{51}, \quad 0 \leq w'_{52}, \quad 0 \leq w'_{53}, \quad 0 \leq w'_{54}, \quad 0 \leq w'_{55}
\end{aligned}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda her karar verici için kriterlerin 6 numaralı denklem kullanılarak nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Karar vericilerin görüşlerini bütünleştirmek amacıyla bu ağırlıkların geometrik ortalaması alınmıştır (Fazlollahtabar vd., 2019, s. 60; Baki, 2022, s. 20; Kılıç vd., 2022, s. 5). Her bir ana kriter ve alt kriterleri kendi aralarında sıralanmış ve Tablo 7'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde önem ağırlığına göre ana kriterler şu şekilde sıralanmıştır: Ekonomik (C<sub>3</sub>), coğrafi

(C<sub>1</sub>), teknik (C<sub>5</sub>), çevre (C<sub>2</sub>) ve sosyal (C<sub>4</sub>). Coğrafi (C<sub>1</sub>) ana kriterinin alt kriterlerinin sonuçları incelendiğinde önem ağırlığına göre kriterler şu şekilde ifade edilmiştir: Hammadde kaynaklarına yakınlık (C<sub>12</sub>), müşterilere yakınlık (C<sub>14</sub>), enerji kaynaklarına yakınlık (C<sub>11</sub>), iklim(C<sub>13</sub>), ulaşım ağlarına yakınlık (C<sub>16</sub>) ve sanayi bölgelerine yakınlık (C<sub>15</sub>). Çevre (C<sub>2</sub>) ana kriterinin alt kriterlerinin sonuçları incelendiğinde önem ağırlığına göre kriterler şu şekilde sıralanmıştır: Karbon ayak izi (C<sub>23</sub>), gürültü kirliliği (C<sub>21</sub>) ve hava kirliliği (C<sub>22</sub>). Ekonomik (C<sub>3</sub>) ana kriterinin alt kriterlerinin sonuçları incelendiğinde önem ağırlığına göre kriterler şu şekilde sıralanmıştır: Yatırım maliyeti (C<sub>33</sub>), işletme ve bakım maliyeti (C<sub>32</sub>) ve devlet teşvikleri (C<sub>31</sub>). Sosyal (C<sub>4</sub>) ana kriterinin alt kriterlerinin sonuçları incelendiğinde önem ağırlığına göre kriterler şu şekilde sıralanmıştır: İş gücü mevcudiyeti (C<sub>42</sub>), topluluk yararı (C<sub>43</sub>), çalışanlar için sosyal olanaklar (C<sub>41</sub>) ve toplumsal kabul (C<sub>44</sub>). Teknik (C<sub>5</sub>) ana kriterinin alt kriterlerinin sonuçları incelendiğinde önem ağırlığına göre kriterler şu şekilde ortaya çıkmıştır: Arazi genişleme potansiyeli (C<sub>51</sub>), arazinin karakteristik uygunluğu (C<sub>53</sub>), trafik yoğunluğu (C<sub>55</sub>), arazi gereksinimi (C<sub>52</sub>) ve envanter depolama kapasitesi (C<sub>54</sub>).

**Tablo 7** Nihai Kriter Ağırlıkları

	KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>	KV <sub>4</sub>	KV <sub>5</sub>	KV <sub>6</sub>	KV <sub>7</sub>	KV <sub>8</sub>	KV <sub>9</sub>	Geometrik Ortalama	Sıralama
C <sub>1</sub>	0,151	0,312	0,322	0,118	0,312	0,151	0,312	0,312	0,118	0,21456	2
C <sub>2</sub>	0,097	0,097	0,151	0,097	0,118	0,097	0,151	0,118	0,312	0,12731	4
C <sub>3</sub>	0,322	0,151	0,312	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322	0,322	0,29506	1
C <sub>4</sub>	0,118	0,118	0,118	0,312	0,097	0,118	0,097	0,097	0,097	0,12056	5
C <sub>5</sub>	0,312	0,322	0,097	0,151	0,151	0,312	0,118	0,151	0,151	0,17861	3
C <sub>11</sub>	0,271	0,288	0,093	0,094	0,282	0,288	0,073	0,079	0,282	0,16481	3
C <sub>12</sub>	0,093	0,116	0,271	0,280	0,297	0,079	0,280	0,296	0,297	0,19827	1
C <sub>13</sub>	0,280	0,079	0,280	0,093	0,117	0,116	0,093	0,113	0,094	0,12552	4
C <sub>14</sub>	0,189	0,113	0,073	0,271	0,115	0,296	0,271	0,288	0,117	0,17165	2
C <sub>15</sub>	0,073	0,109	0,189	0,189	0,097	0,109	0,094	0,109	0,115	0,11479	6
C <sub>16</sub>	0,094	0,296	0,094	0,073	0,094	0,113	0,189	0,116	0,097	0,11760	5
C <sub>21</sub>	0,389	0,389	0,212	0,160	0,436	0,570	0,160	0,212	0,419	0,29700	2
C <sub>22</sub>	0,212	0,212	0,389	0,210	0,115	0,285	0,630	0,400	0,149	0,25451	3
C <sub>23</sub>	0,400	0,400	0,400	0,630	0,449	0,145	0,210	0,389	0,432	0,35618	1
C <sub>31</sub>	0,149	0,185	0,145	0,543	0,149	0,212	0,212	0,212	0,389	0,21959	3
C <sub>32</sub>	0,419	0,271	0,570	0,271	0,419	0,400	0,400	0,389	0,212	0,35824	2
C <sub>33</sub>	0,432	0,543	0,285	0,185	0,432	0,389	0,389	0,400	0,400	0,36976	1
C <sub>41</sub>	0,346	0,370	0,098	0,130	0,130	0,346	0,227	0,346	0,128	0,20852	3
C <sub>42</sub>	0,357	0,173	0,370	0,158	0,357	0,357	0,484	0,357	0,403	0,31673	1
C <sub>43</sub>	0,130	0,358	0,358	0,227	0,167	0,130	0,158	0,167	0,366	0,21024	2
C <sub>44</sub>	0,167	0,098	0,173	0,484	0,346	0,167	0,130	0,130	0,102	0,17280	4
C <sub>51</sub>	0,151	0,322	0,322	0,322	0,312	0,322	0,118	0,312	0,312	0,26200	1
C <sub>52</sub>	0,118	0,312	0,118	0,118	0,151	0,312	0,097	0,151	0,097	0,14807	4
C <sub>53</sub>	0,322	0,151	0,151	0,097	0,322	0,097	0,312	0,322	0,322	0,20775	2
C <sub>54</sub>	0,097	0,118	0,097	0,312	0,118	0,118	0,151	0,097	0,151	0,13007	5
C <sub>55</sub>	0,312	0,097	0,312	0,151	0,097	0,151	0,322	0,118	0,118	0,16557	3

Her karar verici için ağırlıklar hesaplandıktan sonra kriterlerin önem sırasının hesaplanması için alt kriterler ile ait oldukları ana kriter ağırlıkları çarpılarak global ağırlıklar hesaplanmıştır. Alt kriterlerin global ağırlıkları ve sıralaması Tablo 8’de verilmiştir.

**Tablo 8.** Kriterlerin Nihai Önem Ağırlıkları ve Sıralama

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Global Ağırlıklar	Sıralama
C <sub>1</sub> (0,21456)	C <sub>11</sub> (0,16481)	0,03563	<b>11</b>
	C <sub>12</sub> (0,19827)	0,04318	<b>6</b>
	C <sub>13</sub> (0,12552)	0,02725	<b>15</b>
	C <sub>14</sub> (0,17165)	0,03725	<b>10</b>
	C <sub>15</sub> (0,11479)	0,02495	<b>19</b>
	C <sub>16</sub> (0,11760)	0,02548	<b>18</b>
C <sub>2</sub> (0,12731)	C <sub>21</sub> (0,29700)	0,03817	<b>9</b>
	C <sub>22</sub> (0,25451)	0,03288	<b>12</b>
	C <sub>23</sub> (0,35618)	0,04625	<b>5</b>
C <sub>3</sub> (0,29506)	C <sub>31</sub> (0,21959)	0,06660	<b>3</b>
	C <sub>32</sub> (0,35824)	0,10643	<b>2</b>
	C <sub>33</sub> (0,36976)	0,11082	<b>1</b>
C <sub>4</sub> (0,12056)	C <sub>41</sub> (0,20852)	0,02620	<b>17</b>
	C <sub>42</sub> (0,31673)	0,03991	<b>7</b>
	C <sub>43</sub> (0,21024)	0,02637	<b>16</b>
	C <sub>44</sub> (0,17280)	0,02188	<b>21</b>
C <sub>5</sub> (0,17861)	C <sub>51</sub> (0,26200)	0,04881	<b>4</b>
	C <sub>52</sub> (0,14807)	0,02769	<b>14</b>
	C <sub>53</sub> (0,20775)	0,03873	<b>8</b>
	C <sub>54</sub> (0,13007)	0,02434	<b>20</b>
	C <sub>55</sub> (0,16557)	0,03092	<b>13</b>

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada imalat sektöründe kompozit pervane alanında faaliyet gösteren bir firmanın fabrika yeri seçimi kapsamında, literatür ışığında uzman karar verme grubu ile birlikte belirlenmiş olan beş ana kriter ve yirmi bir alt kriterin önem ağırlıkların, bulanık FUCOM yöntemiyle tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek önem ağırlığına göre kriterler şu şekilde sıralanmıştır: Yatırım maliyeti (C<sub>33</sub>), işletme ve bakım maliyetleri (C<sub>32</sub>), devlet teşvikleri (C<sub>31</sub>), arazi genişleme potansiyeli (C<sub>51</sub>), karbon ayak izi (C<sub>23</sub>).

Ortaya çıkan sonuçlar, daha önce yapılmış olan çalışmalar kapsamında değerlendirilmiştir. Yaşlıoğlu ve Önder (2016) plastik eşya üreticisi bir firmanın fabrika yer seçiminde altı ana kriter ve otuz sekiz alt kriter belirlemişlerdir. İlk yatırım maliyeti, hammadde maliyetleri, devlet yatırım desteği fırsatı, tehlikeli madde taşıma potansiyeli ve su kaynaklarına yakınlık önemli kriterler olarak ortaya çıkmıştır. Aytekin (2018) bir kereste fabrikası yer seçiminde on kriter belirlemiştir. En yüksek önem ağırlığına göre kriterler şu şekilde sıralanmıştır: Hammadde, pazar, iş gücü, ulaşım ve vergi. Rahman vd. (2018), bir plastik imalat firması için tesis yer seçiminde on kriter belirlemişlerdir. Arsa maliyeti, inşaat maliyeti, nitelikli işçi durumu, iletişim ve ulaşım imkânları önemli kriterler olarak ifade

edilmiştir. Bajpai vd. (2020), bir imalat firması için tesis yer seçiminde altı kriter üzerinde durmuşlardır. Sağlık ve güvenlik, toplum hayatı, cinsiyet eşitliği, altyapı ve ulaşım ve iş güvenliği şeklinde bir önem sırası elde etmişlerdir. Suman vd. (2021), mobilya endüstrisi tesis yer seçiminde yedi kriter belirlemiştir. Enerji kullanılabilirliği, hammaddelerin mevcudiyeti, ulaşım önemli kriterler olarak ortaya çıkmıştır. Yapılan araştırmaların sonuçlarına bakıldığında ise araştırmamız sonuçlarının örtüştüğü ve farklılık oluşan noktalara sahip olduğu ifade edilebilir. Mevcut araştırmaların sonuçları ile çalışmamızın sonuçlarındaki farklılıkların ise bölge, sektör ve değerlendirme kriterlerindeki farklılıklara bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrı karar verici grup üyeleri her ne kadar konu hakkında önemli ölçüde bilgi sahibi olsalar da, bir işletme özeline yapılan yer seçiminde subjektifliğin tamamen ortadan kalkması mümkün görünmemektedir.

Bu araştırmanın işletmelerin tesis yer seçimi problemi konusunda bir çerçeve sunarak katkı sağlayabileceği ve uygulanan yöntem açısından da fikir verebileceği düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda, kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında, sektörden daha fazla firmaya veya uzmana ulaşılarak tesis yer seçimi probleminde dikkate alınacak kriterler için daha geniş katılımı bir kriter kümesi oluşturulabilir. Ayrıca önem ağırlıklarının hesaplanması aşamalarında farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak sonuçların karşılaştırılması gerçekleştirilebilir. Kriterlerin ağırlıklandırılması sonrası uygun alternatiflerin çeşitli yöntemlerle değerlendirilmesi süreçleri de ele alınabilir.

## KAYNAKÇA

- Altuntas, S. ve Dereli, T. (2017). Application of an aggregation technique to facility layout design selection. *Journal of Thermal Engineering*, 3(1), 1078-1088.
- Asori, M., Dogbey, E., Morgan, A. K., Ampofo, S. T., Mpobi, R. K. J. ve Katey, D. (2022). Application of GIS-based multi-criteria decision making analysis (GIS-MCDA) in selecting locations most suitable for siting engineered landfills – the case of Ashanti Region, Ghana. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(3), 800-826.
- Ayadi, H., Hamani, N., Kermad, L. ve Benaissa, M. (2021). Novel fuzzy composite indicators for locating a logistics platform under sustainability perspectives. *Sustainability*, 13, 3891.
- Aytekin, A. (2018). Using hybrid method in selecting timber factory location. *Drvna Industrija*, 6(3), 273-281.
- Bajpai, A., Kaul, A., Darbari, J.D. ve Jha, P. C. (2020). A fuzzy MCDM model for facility location evaluation based on quality of life. *Soft Computing for Problem Solving* içinde (ss. 687-697), Springer.
- Baki, R. (2022). Evaluation of the five busiest airports in Turkey through fuzzy FUCOM and MAIRCA. *European Journal of Applied Business Management*, 8(3), 15-31.
- Banihashemi, S. A., Khalilzadeh, M., Antucheviciene, J. ve Šaparauskas, J. (2021). Trading off time–cost–quality in construction project scheduling problems with fuzzy SWARA–TOPSIS approach. *Buildings*, 11, 387.
- Biswas, S. ve Pamucar, D. (2020). Facility location selection for b-schools in Indian context: A multi-criteria group decision based analysis. *Axioms*, 9(3), 1-18.
- Böyükaslan, A. ve Ecer, F. (2021). Determination of drivers for investing in cryptocurrencies through a fuzzy full consistency method-Bonferroni (FUCOM-F'B) framework. *Technology in Society*, 67, 101745.
- Cedolin, M., Göker, N., Dogu, E. ve Albayrak, Y. E. (2018). Facility location selection employing fuzzy DEA and fuzzy goal programming techniques. *Proceedings of the Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology 2017* içinde (ss. 466-476). Springer.
- Chithambaranathan, P., Rajkumar, A., Prithiviraj, D. ve Palpandi, M. (2022). A multi criteria decision based approach for facility location selection with flexible criteria weights. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1215-1217.
- Chou, S., Chang, Y. ve Shen, C. (2008). A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 132-145.
- Chou, T., Hsu, C. ve Chen, M. (2008). A fuzzy multi-criteria decision model for international tourist hotels location selection. *International Journal of Hospitality Management*, 27, 293-301.
- Cooper, L. (1963). Location-allocation problems. *Operations Research*, 11(3), 331-343.

- Çakıcı, L. (1968). *Sanayi işletmelerinin kuruluş yeri seçiminde ulaştırma masraflarının yeri ve önemi*. Ankara: Ankara Üniversitesi Basımevi.
- Dağ, S. ve Önder, E. (2013). Decision-making for facility location using VIKOR method. *Journal of International Scientific Publication: Economy & Business*, 7(1), 308-330.
- Demir, G., Damjanović, M., Matović, B. ve Vujadinovic, R. (2022). Toward sustainable urban mobility by using fuzzy-FUCOM and fuzzy-CoCoSo methods: The case of the SUMP podgorica. *Sustainability*, 14, 4972.
- Demirdöğen, O. ve Küçük, O. (2018). *Üretim işlemler yönetimi (4. Baskı)*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Deveci, M., Simic, V. ve Torkayesh, A. E. (2021). Remanufacturing facility location for automotive lithium-ion batteries: An integrated neutrosophic decision-making model. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128438.
- Drira, A., Pierreval, H. ve Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 36, 255-267.
- Durak, İ., Arslan, H. M. ve Özdemir, Y. (2021). Application of AHP–TOPSIS methods in technopark selection of technology companies: Turkish case. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1-15.
- Effatpanah, S. K., Ahmadi, M. H., Aungkulanon, P., Maleki, A., Milad, S., Mohsen, S. ve Chen, L. (2022). Comparative analysis of five widely-used multi-criteria decision-making methods to evaluate clean energy technologies: A case study. *Sustainability*, 14(3), 1403.
- Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A. ve Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65.
- Feng, J., Xu, S. X., Xu, G. ve Cheng, H. (2021). An integrated decision-making method for locating parking centers of recyclable waste transportation vehicles. *Transportation Research Part E*, 157, 102569.
- Gürsel, H. (1972). Kuruluş yeri teorileri. *Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 27(2), 207-236.
- Hakim, S. N. ve Putra, A. J. (2022). The best location selection using analytical hierarchy process method. *International Journal of Industrial Optimization*, 3(1), 68-79.
- Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A. ve Agouti, T. (2016). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection. *SpringerPlus*, 5(501), 1-30.
- Kannan, D., Moazzeni, S., Darmian, S. M. ve Afrasiabi, A. (2020). A hybrid approach based on MCDM methods and Monte Carlo simulation for sustainable evaluation of potential solar sites in east of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 279, 122368.
- Karagoz, S., Deveci, M., Simic, V., Aydin, N. ve Bolukbas, U. (2020). A novel intuitionistic fuzzy MCDM-based CODAS approach for locating an authorized dismantling center: A case study of Istanbul. *Waste Management & Research*, 38(6), 1-13.

- Karagöz, S., Deveci, M., Simic, V. ve Aydin, N. (2021). Interval type-2 fuzzy ARAS method for recycling facility location problems. *Applied Soft Computing*, 102, 107107.
- Karande, P. ve Chatterjee, P. (2018). Desirability function approach for selection of facility location: A case study. *IEOM Society International*, 1700-1708.
- Karaşan, A., Kaya, İ. ve Erdoğan, M. (2020). Location selection of electric vehicles charging stations by using a fuzzy MCDM method: A case study in Turkey. *Neural Computing and Applications*, 32, 4553–4574.
- Kieu, P. T., Nguyen, V. T., Nguyen, V. T., ve Ho, T. P. (2021). A spherical fuzzy analytic hierarchy process (SF-AHP) and combined compromise solution (CoCoSo) algorithm in distribution center location selection: A case study in agricultural supply chain. *Axioms*, 10(2), 53.
- Kik, D., Wichmann, M. G. ve Spengler, T. S. (2022). Decision support framework for the regional facility location and development planning problem. *Journal of Business Economics*, 92, 115-157.
- Kodali, R. ve Routroy, S. (2006). Decision framework for selection of facilities location in competitive supply chain. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 5(1), 89-110.
- Kumar, K. ve Kumanan, S. (2011). An integrated fuzzy QFD and AHP approach for facility location selection. *The IUP Journal of Supply Chain Management*, 8(4), 30-41.
- Kumar, R., Athawale, V. M. ve Chakraborty, S. (2010). Facility location selection using the UTA method. *The IUP Journal of Operations Management*, 9(4), 21-34.
- Laporte, G., Nickel, S. ve Saldanha da Gama, F. (2015). Introduction to location science. *Location Science* içinde (ss. 1-18). *Springer*.
- Mavi, R. K., Goh, M. ve ZARBAKHSHNIA, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 2401-2418.
- Mei-Yu, K., Pei-Yu, D., Che-Kai, L., Meng-Yuan, S. ve Chien-Liang, L. (2013). Structural equation modeling combined with extension method for evaluating factors affecting location selection of proposed senior daycare facilities. *IEEE Xplore*, 234-241.
- Mucuk, İ. (2018). *Modern işletmecilik (21. Baskı)*. İstanbul: Türkmen Kitabevi.
- Nong, T. N. (2021). A hybrid model for distribution center location selection. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 38, 40-49.
- Pamucar, D. ve Ecer, F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method – FUCOM-F. *Facta Universitatis Series Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437.
- Pamucar, D., Ecer, F. ve Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. *Science of the Total Environment*, 788, 147763.
- Pamučar, D., Stević, Ž. ve Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10, 393.

- Pourrezaie-Khaligh, P., Bozorgi-Amiri, A., Yousefi-Babadi, A. ve Moon, I. (2022). Fix-and-optimize approach for a healthcare facility location/network design problem considering equity and accessibility: A case study. *Applied Mathematical Modelling*, 102, 243-267.
- Rahman, M. S., Ali, M. I., Hossain, U. ve Mondal, T. K. (2018). Facility location selection for plastic manufacturing industry in Bangladesh by using AHP method. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 7(3), 307-319.
- Rehman, O. ve Ali, Y. ve Sabir, M. (2022). Risk assessment and mitigation for electric power sectors: A developing country's perspective. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 36, 100507.
- Sahebi, I., Arab, A. ve Toufighi, S. P. (2020). Analyzing the barriers of organizational transformation by using fuzzy SWARA. *Journal of Fuzzy Extension & Applications*, 1(2), 88-103.
- Seker, S. ve Aydin, N. (2020). Hydrogen production facility location selection for Black Sea using entropy based TOPSIS under IVPF environment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(32), 15855-15868.
- Sennaroglu, B. ve Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D*, 59, 160-173.
- Simic, V., Karagoz, S., Deveci, M. ve Aydin, N. (2021). Picture fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria vehicle shredding facility location. *Expert Systems with Applications*, 175, 114644.
- Suman, N. H., Sarfaraj, N., Cyhon, F. A. ve Fahim, R. I. (2021). Facility location selection for the furniture industry of Bangladesh: Comparative AHP and FAHP analysis. *International Journal of Engineering Business Management*, 13, 1-15.
- Tang, C., Xu, D. ve Chen, N. (2021). Sustainability prioritization of sewage sludge to energy scenarios with hybrid-data consideration: a fuzzy decision-making framework based on full consistency method and fusion ranking model. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5548-5565.
- Taşkent, M. C. ve Delice, E. K. (2021). Bulanık FUCOM metodu ile tedarikçi değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 863-868.
- Torkayesh, A. E. ve Simic, V. (2022). Stratified hybrid decision model with constrained attributes: Recycling facility location for urban healthcare plastic waste. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103543.
- Tripathi, A. K., Agrawal, S. ve Gupta, R. D. (2021). Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: A case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, 87, 3507-3528.
- Türk, A. ve Özkök, M. (2020). Shipyard location selection based on fuzzy AHP and TOPSIS. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39, 4557-4576.



- Vesković, S., Stević, Ž., Nunić, Z., Milinković, S. ve Mladenović, D. (2021). A novel integrated large-scale group MCDM model under fuzzy environment for selection of reach stacker in a container terminal. *Applied Intelligence*, 52, 13543–13567.
- Wang, C., Huang, Huang, Y., Chai, Y. ve Nguyen, V. T. (2018). A multi-criteria decision making (MCDM) for renewable energy plants location selection in vietnam under a fuzzy environment. *Applied Sciences*, 8(11), 1-33.
- Xu, D., Ren, J., Dong, L. ve Yang, Y. (2020). Portfolio selection of renewable energy-powered desalination systems with sustainability perspective: A novel MADM-based framework under data uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124114.
- Xuan, H. A., Trinh, V. V., Kuaanan, T. ve Phoungthong, K. (2022). Use of hybrid MCDM methods for site location of solar-powered hydrogen production plants in Uzbekistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 101979.
- Yaşlıoğlu, M. M. ve Önder, E. (2016). Solving facility location problem for a plastic goods manufacturing company in Turkey using AHP and TOPSIS methods. *Journal of Administrative Sciences*, 14(28), 223-249.
- Yeşilkaya, M. (2018). Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile kağıt fabrikası kuruluş yeri seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 31-44.
- Yücenur, G. N., Çaylak, Ş., Gönül, G. ve Postalcioglu, M. (2019). An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*, 145, 2587-2597.
- Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 3-28.
- Zadeh, M. A., Sadrania, A., Zibandeh, M. ve Rostami, P. (2013). Determining a suitable location for a sewage treatment plant using a new fuzzy weighted average (FWA) method based on left and right scores. *IEEE Xplore*, 1-6.