Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), ss. 383-398, Haziran 2022
Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering, 37(2), pp. 383-398, June 2022

Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi

Beyza TERME[*1] ORCID *0000-0003-2526-9498*
İrem ÇİÇEK[1] ORCID *0000-0002-5928-7849*
Alper KİRAZ[1] ORCID *0000-0001-7067-1473*

[1]*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya*

Geliş tarihi: 14.02.2022 Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: TERME, B., ÇİÇEK, İ., KİRAZ, A., (2022). Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 383-398.

Öz

Kar amacı güden her işletmenin varoluş sebebi maksimum faydayla faaliyet göstermektir. Maksimum fayda sağlama yolunda stratejik kararlar önemlidir. Bu kararlar işletmeleri uzun dönemde etkiler ve hata yapılırsa büyük maliyetler oluşabilir. Stratejik kararlardan biri tesis yeri seçimidir. Tesis yeri yatırımı karar vericilerin hedefleri doğrultusunda karlı sonuçlanmalıdır. Çalışmada Ark Pres Emniyet Kemerleri A.Ş. için tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır. İşletmedeki karar vericilerin kriterlerin önem düzeylerinin tek bir kararda olmaması problemi karmaşıklaştırmıştır. Çözümde Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (Bulanık VIKOR) yöntemleri uygulanmıştır. Bulanık AHP ile karar vericilerin değerlendirmeleri doğrultusunda kriterler ağırlıklandırılmış, Bulanık VIKOR ile bu ağırlıklar kullanılarak alternatifler sıralanmış ve seçim yapılmıştır. Çalışmada ana kriter ağırlıklarından en önemlisi maliyet, alt kriter ağırlıklarından en önemlisi işçilik maliyetleri olarak belirlenmiştir. Uygulama sonucunda işletmenin tesis yeri beş alternatif arasından en uygun olan Kocaeli - Arslanbey Organize Sanayi Bölgesi seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tesis yeri seçimi, Çok kriterli karar verme yöntemleri, Bulanık AHP, Bulanık VIKOR

Facility Location Selection with Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Methods

Abstract

The reason for the existence of every profit-oriented business is to operate with maximum benefit. Strategic decisions are essential in achieving maximum benefit. These decisions affect companies in the

[*]Sorumlu yazar (Corresponding author): Beyza TEMRE, *beyza.terme@ogr.sakarya.edu.tr*

long run, and if companies make mistakes, high costs can occur. One of the strategic decisions is the choice of facility location. The facility location investment should result in a profitable outcome in line with the goals of the decision-makers. In this study, the facility location selection problem of Ark Pres Safety Belts A.Ş. Company is discussed. The fact that decision-makers in the business do not make a single decision at the criteria's importance levels has complicated problems. "Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)" and "Fuzzy Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR)" methods are applied for the solution. With Fuzzy AHP, the criteria are weighted in line with the evaluations of the decision-makers, and with Fuzzy VIKOR, the alternatives are listed, and selection is made using these weights. In the study, the cost is set as the most critical weight of the main criterion, and labor cost is set as the most important of the sub-criteria weights. As a result of the application, Kocaeli - Arslanbey Organized Industrial Zone is chosen as the most suitable facility location of the enterprise among the five alternatives.

Keywords: Facility location selection, Multi-criteria decision making methods, Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR

1. GİRİŞ

Tesis yeri işletmenin yaşaması ve gelişmesi için zorunlu bir hayat alanıdır. Uygun tesis yeri seçimi günümüzde yeni bir kuruluşun faaliyetlerini başlatabilmesi ve maksimum fayda ile gerçekleştirebilmesi için en temel ve zaruri meselelerdendir. Tesis yeri seçimi ticari açıdan önem arz etmesinin yanı sıra; gelir dağılımı, bölgelerin gelişmişlik farkları, çevresel etmenler ve teşvik tedbirleri, kümelenmeden kaynaklı oluşabilecek dışsallıklar gibi boyutları da kapsamaktadır.

Her sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de günden güne artan rekabette öne geçen işletmelerin, müşteri talep ve gereksinimlerini anında ve tam olarak karşılaması amacı tesis yeri seçimini önemli bir konu haline getirmektedir.

Ark Pres, 1973'te Statik Emniyet Kemeri üretimi ile sektöre adım atmıştır. Kısa zaman içinde otomotiv sektöründe tercih edilen bir konuma ulaşmıştır. Daima gelişim göstermeyi ve müşterilerinin gelecek dönemdeki ihtiyaçlarını önceden saptayarak karşılamayı prensip olarak gören Ark Pres, bu düşünceyle ARGE uygulamalarına öncelik vererek Türkiye'de ilk otomatik geri sancılı emniyet kemerini imal eden firma olmuştur. Pazarda payını büyütmeyi hedefleyen Ark Pres için stratejik kararların en önemlilerinden biri tesis yeri seçimidir. Bu karar uzun süreli özellik gösteren stratejik bir yatırım kararı olup işletmenin rekabet gücüne etki etmektedir. Yer seçimi karar vericiler için fazla sayıda kriter bulundurması ve birbirleriyle ilişkili ve ilişkisiz bu kriterler arasında uzlaşma gerektirmesi sebebiyle karmaşık bir karar verme sürecidir. Karar verme durumunda karar vericiler en uygun yerin seçiminde bu kriterleri göz önünde bulundurarak alternatifleri bu kriterler doğrultusunda değerlendirmektedirler. Yani, bu seçim kolay ve tek taraflı tanımlanabilir değildir. Tesis için en uygun yerin seçimi konusunda karar verebilmek amacıyla doğrusal programlama, finansal yöntemler, simülasyon yöntemi vb. metotlar ile hiyerarşiyi dikkate alan çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS), Bulanık TOPSIS, Bulanık AHP vb. yöntemler örnek verilebilir [1].
Bu çalışmada ÇKKV tekniklerini kullanarak ideal sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

2.1. AHP

Thomas L. Saaty 1977 yılında ilk olarak ÇKKV tekniklerinden olan AHP tekniğini önermiştir.

AHP karar alırken karar verici bireyin ya da karar verici grubunun önceliklerine dikkat ederek nitel ve nicel değişkenlerin birlikte değerlendirilmesini sağlayan matematiksel yöntemdir [2]. Bireyleri verecek oldukları kararlarda teknik kullanmaya zorlamak yerine her bireyin kendi karar verme mekanizmasını tanımasına imkân sağlayarak daha iyi karar vermelerini amaç edinmektedir [3]. AHP tekniği ÇKKV problemlerinde tek başına kullanılabildiği gibi diğer tekniklerle birlikte de kullanılabilmektedir. Bu kullanımın olduğu problemlerde AHP tekniği sonucu elde edilen ağırlıklar beraberinde kullanıldığı tekniğe girdi sağlamaktadır. AHP tekniğinde sistemi etkilediği düşünülen faktörler hiyerarşik düzende belirtilir. Alternatiflerin değerlendirilmesi amacıyla hiyerarşik düzendeki her bir seviyenin elemanları ikili karşılaştırılır. Elde edilen veriler doğrultusunda alternatiflerin puanları hesaplanır [4]. AHP tekniği, ikili karşılaştırma esnasında oluşan belirsizlik ve kararsızlık durumlarına karşı yetersiz kalmasıyla eleştirilmektedir [5]. Bu sebeple, Bulanık AHP tekniğinin kullanılmasının karar verme sürecindeki belirsizlikleri ortadan kaldırması sebebiyle daha uygun olacağını göstermektedir.

Bulanık AHP bulanık ilişki kavramının ikili karşılaştırma kavramıyla birleştirilmesi ile oluşmuştur. Geleneksel AHP tekniği yerine kullanımının önerilmesinde dilsel yaklaşım ile karar vericilerin gösterdikleri tutumları hesaba katmasıdır [6]. İnsani düşünme tarzını yansıtmayan ve keskin değerlerin kullanıldığı AHP tekniğinden farklı olarak Bulanık AHP tekniğinde karşılaştırma oranları bir değer aralığında gösterilmektedir [7].

2.2. TOPSIS

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen, uygulaması ve anlaşılması kolay bir yöntem olan TOPSİS tekniği ÇKKV problemlerinde sıkça kullanılan tekniklerden biridir. TOPSİS tekniğinin temeli pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak en uygun çözümü belirlemektir. Mesafelerin çift yönlü olması yalnızca maksimize edilmesi gereken durumları değil minimize edilmesi gereken durumları da göz önüne alarak en uygun çözümün belirlenmesini sağlar [8]. Gerçek hayat problemlerinde değerlendirmede sayısal değerlerin yetersizliği ve insan yargılarının belirsizlik içermesi nedeniyle TOPSİS yöntemi bulanık verilerin kullanılabileceği şekilde geliştirilmiştir [9].

Hwang ve Yoon'un geliştirdiği Bulanık TOPSİS yöntemi Chen ve Hwang tarafından geliştirilen modeli referans alarak sözel belirsizlik durumlarında ve grup olarak karar vermenin gerekli olduğu problemlerde kullanılmak üzere ortaya konulmuştur. Karar verici grubu kriterleri ve alternatifleri sözel olarak değerlendirir. Tekniğin temelinde karar verici grubunun alternatifleri değerlendirmeye yönelik kullandıkları kriterlerin ağırlıklarının farklı olması vardır. Değerlendirmelerin üçgen ya da yamuk bulanık sayılara dönüştürülmesiyle alternatiflere ait yakınlık katsayıları hesaplanır. Yakınlık katsayılarına göre alternatiflerin sıralanması işlemi gerçekleştirilir [10].

2.3. VIKOR

Opricovic tarafından öne sürülen ve ÇKKV problemlerinde uygulanan VIKOR yöntemi, alternatiflerin birbirleriyle çelişen kriterler doğrultusunda sıralanmasıyla en uygun olanının seçimine dayanmaktadır [11]. Sıralama yapılırken alternatiflerin en iyi çözüm olan pozitif ideal çözüme göre yakınlıkları dikkate alınır. Diğer ÇKKV tekniklerinde olduğu gibi VIKOR tekniğinde de kriter ağırlıklarının kesin bilindiği varsayımı bulunmaktadır. Gerçek hayat problemlerinde kesin veriye ulaşmanın güç oluşu ve insan kararlarının muğlak oluşu sayısal değerler ile değerlendirme yapmayı zor bir hale getirmektedir. Bireylerin belirsizlik ve kararsızlık durumlarını çözüme katabilmek amacıyla dilsel değerlendirmeler kullanılmaktadır [12]. Bu amaç doğrultusunda bulanık VIKOR tekniğinin kullanımı uygundur.

Bulanık VIKOR, bulanık mantığın VIKOR yöntemiyle bileşimidir. Dilsel değerlendirmeler doğrultusunda en iyi ve uzlaştırıcı çözüme ulaşmada sistematik ve rasyonel süreçler sunan bir tekniktir.

2.4. PROMETHEE

Jean-Pierre Brans tarafından ortaya konulmuş olan teknik, problemin çözümü için belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun alternatifi seçmek amacıyla kullanılan ÇKKV tekniklerinden biridir. Çok kriterli problemleri çözerken etkili olması ve kolay bir teknik olması dolayısıyla sıkça kullanılmaktadır. PROMETHEE tekniği basit, açık ve dengelidir. PROMETHEE tekniğinde ÇKKV problemlerinde yer alan alternatifleri belirlenen kriterler doğrultusunda ikili karşılaştırır ve sıralama işlemini gerçekleştirir. Sıralama işlemini yaparken tercih fonksiyonları kullanılır [13]. PROMETHEE tekniğinin belirli derece doğruluğu olan, sayısal verileri kullanması dolayısıyla oluşan eksikliği gidermek amacıyla bulanık sayılarla gösterilen verileri de çözüme katabilmek için bulanık PROMETHEE tekniği kullanılmaktadır.

Bulanık PROMETHEE, 1998 yılında Lé Teno ve Mareschal tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık PROMETHEE tekniği bulanık sayılar ile PROMETHEE tekniğinin bileşimidir. Teknikte alternatiflerin performanslarının hesaplanmasında bulanık sayılar kullanılmaktadır. Buna karşılık karar vericilerin tercihleri bulanık değildir.

2.5. DEMATEL

DEMATEL yönteminde kriterlerin öncelikleri, kriterlerin diğer kriterler üzerindeki etkilerinin şiddetini ortaya koyarak hesaplanmaktadır [14]. DEMATEL yöntemi sistemin bileşenlerinin arasındaki yapı ve ilişkileri inceleyen etkili bir yöntemdir. Seçilen kriterleri ilişkilerin türü ile birbirlerine olan etkilerinin önemi yönünden öncelik sıralamasına uygun düzenleyebilmektedir. Kriterler arasından diğerleri üzerindeki etkisi daha yüksek olan ve önceliğinin olduğu varsayılan kriterler sebep kriterleri şeklinde isimlendirilirken etki daha düşük olan ve önceliğinin de düşük olduğu varsayılan kriterler sonuç kriterleri şeklinde isimlendirilmektedir [15].

Gelişmekte olan olaylar üzerinde karmaşık yapıdaki etki altında kalan ve etki altına alan faktörleri belirlemek amacıyla kullanılan DEMATEL yöntemi, temelde karmaşık yapıda olan neden sonuç ilişkilerini görsel bir hale getirerek anlam ifade eden sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir. Ancak söz konusu ilişkilerde etmenler arasında olan etkileşimin derecesini belirlemek fazlasıyla güçtür. Çünkü etmenler arasında olan etkileşimin nicel şekilde ifadesi fazlasıyla zor olmaktadır. Bu sebeple, DEMATEL yöntemi Lin ve Wu tarafından bulanık yaklaşımla da ele alınmıştır [16].

2.6. SWARA

SWARA, kriter ağırlıklandırma yöntemleri arasında kullanılır ve Türkçede "Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Analizi" şeklinde tanımlanır [17]. Uzman odaklı yöntem şeklinde bilinmesinin sebebi, temelinde kriter ağırlıkları belirlenirken kriterlerin önem oranlarına yönelik uzman fikirlerini tahmin edebilme yeteneğinin olmasıdır. Aynı zamanda yöntem, uzman bilgilerinin elde edilmesi ve bir araya toplanması açısından önem taşır [18]. SWARA yönteminin kriterlere ait ağırlıkların önceden bilindiği durumlarda uygun görülmesinin sebebi doğrudan kriterler ve öncelikleri ile ilgili karar verebilmesidir [19].

Bulanık SWARA, SWARA metodunda karşılaştırmaların yapılması esnasında bulanık ifadelerin kullanıldığı bir yöntemdir. Bulanık SWARA yöntemi, karar verilirken birtakım etkenler olması ve zorlukların yaşanması sebebiyle karmaşık hale gelen değerlendirmenin etkili ve gerçek düzeye yakın biçimde uygulanmasına imkân sunmaktadır. Yöntem, çevresel ve ekonomik duyarlılığa sahip değerlendiricilere kendi önceliklerini seçmelerinde hak tanımaktadır. Zolfani ve Saparauskas SWARA'da diğer yöntemlere nazaran değerlendiricilerin öneminin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 1. ÇKKV tekniklerinin tesis yeri seçimi problemlerinde kullanıldığı çalışmalardan özet

Yazar Adı (Yıl)	Çalışmanın Yapıldığı Sektör	Metot				
		Ahp	Topsıs	Electre	Vıkor	Diğer
Hong ve Xiahua (2011) [20]	Lojistik	●				
Tzeng ve ark. (2002) [21]	Gıda	●				
Aktaş ve Demirel (2021) [22]	Mobilya		○		●	●
Akyüz ve Kılınç (2016) [23]	Sağlık		○			
Soba (2013) [24]	Bankacılık	●		●		
Yavuz ve Deveci, (2014) [25]	AVM		○		○	
Yücel ve Ulutaş (2009) [26]	Lojistik			●		
Akyüz ve Soba (2013) [27]	Tekstil			●		
Balkan (2020) [28]	Enerji			●		
Ar ve ark. (2014) [29]	Otelcilik	○			○	
İnağ ve Arıkan (2020) [30]	Geri Dönüşüm					●[1]
Kaya (2020) [31]	Sivil Savunma					●[2]
● : İlgili çalışmada sütunda bulunan tekniğin kullanıldığını gösterir.						
○ : İlgili çalışmada sütunda bulunan tekniğin bulanık versiyonunun kullanıldığını gösterir.						
●[1] : DEMATEL, ANP, MP ●[2] : PROMETHEE						

3. YÖNTEM

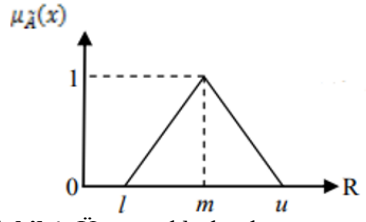
Yapılan literatür araştırması sonucunda Ark Pres Emniyet Kemerleri A. Ş. Tesis yeri seçimi probleminin çözümünde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR tekniklerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Tesis yeri seçimi problemlerinde karar vericiler, kesin ya da belirli olmayan bilgileri de göz önünde bulundurmak durumunda kalmaktadır. Kesin ya da belirli olmayan bilgilerin çözüm aşamasına katmanın yöntemlerinden biri dilsel değerlendirmeleri tercih etmektir. Bulanık AHP-VIKOR yöntemi, bulanık mantık yaklaşımında AHP yöntemi yardımıyla kriter ağırlıklarının hesaplanması ve VIKOR yöntemi yardımıyla alternatiflerin sıralamasının yapılması amacıyla kullanılan uygulamadır. Yöntem, dilsel değerlendirmeler göz önünde bulundurularak kriterlerin ikili karşılaştırmalar ile değerlendirilmesi ve ağırlıklarının hesaplanmasında en iyi ve uzlaştırıcı çözümü bulmada rasyonel ve sistematik süreçler sağlamaktadır. Literatürde tesis yeri seçimi için sıklıkla kullanılan VIKOR yönteminin bu çalışmada da uygun çözüme götüreceği saptanmıştır.

Literatür araştırması sonucunda Bulanık AHP-VIKOR yöntemlerinin bütünleşik kullanımına ilişkin imalat sektöründe yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu sebeple çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

3.1. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi 1965'te Zadeh tarafından bireylerin karar vermelerinde tutumlarındaki muğlaklık ve sübjektiflikleri çözmek için karar verme sürecinde dilsel değişkenleri ifade etmek amacıyla ortaya konulmuştur [32]. Nicel ifadede güçlük yaşanan durumların kolaylıkla ifade edilmesinde dilsel değişkenler bulanık sayılara dönüştürülür ve çözümlemeye olanak sağlar [33]. Bulanık üyelik fonksiyonlarının üçgensel, yamuk, gauss tipi gibi türleri bulunmakla birlikte bu çalışmada üçgensel bulanık sayıların kullanımı tercih edilmiştir. Üçgensel bulanık sayılar, bulanık sayıların özel bir türü olup, üç adet gerçek sayıyla tanımlanmaktadır. Üçgensel bulanık sayıları ifade ederken (l,m,u) parametreleri kullanılır. Bu parametreler en küçük olası, en olası ve en büyük olası değeri gösterecek şekilde sıralanmıştır [34].
Şekil 1'de gösterilen ve $\tilde{A} = (l, m, u)$ olarak ifade edilen üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu (Eşitlik 1) ifadesi şeklinde tanımlanır.



Şekil 1. Üçgensel bulanık sayı

$$\mu_{\tilde{A}}(x)=\begin{cases} U & x<l \text{ veya } x>u \\ \frac{x-l}{m-l} & l\le x\le m \\ \frac{x-u}{m-u} & m\le x\le u \end{cases} \quad (1)$$

l parametresi alt, u parametresi üst ve m parametresi ise $\tilde{A}$ bulanık sayısının orta değerini göstermektedir. İki bulanık üçgen sayı ($\tilde{A}_1 ve\ \tilde{A}_2$) için temel işlemlerden bazıları eşitliklerde (Eşitlik 2-6) gösterilmektedir [32].

$$\tilde{A}_1+\tilde{A}_2=(l_1+l_2;m_1+m_2;u_1+u_2) \quad (2)$$

$$\tilde{A}_1-\tilde{A}_2=(l_1-u_2;m_1-m_2;u_1-l_2) \quad (3)$$

$$\tilde{A}_1 x\ \tilde{A}_2=(l_1.l_2;m_1.m_2;u_1.u_2) \quad (4)$$

$$\tilde{A}_1/\tilde{A}_2=\left(\frac{l_1}{l_2};\frac{m_1}{m_2};\frac{u_1}{u_2}\right) \quad (5)$$

$$\tilde{A}_1^{-1}=\left(\frac{1}{u_1};\frac{1}{m_1};\frac{1}{l_1}\right) \quad (6)$$

3.2. Bulanık AHP- Bulanık VIKOR Yöntem Adımları

Bu yöntemde izlenen adımlar aşağıdaki gibidir.

Adım 1: k adet karar vericinin bulunduğu bir grup oluşturulur, çalışmada kullanılacak kriterler ve seçilecek alternatifler belirlenir. n adet alternatife ilişkin p adet değerlendirme kriteri ele alınır.

Adım 2: Oluşturulan karar verici gurubunun kriterleri ve alternatifleri değerlendirmesi amacıyla dilsel değişkenler ve bulanık sayılar tanımlanır. Bu doğrultuda oluşturulan çizelgeden karar vericilerden her birinin kriterleri ve alternatifleri değerlendirmesi istenir.

Dilsel değişkenler ve bulanık sayı karşılıkları için kullanılan Çizelge 2 ve Çizelge 3 Kaya ve Kahraman'a ait yenilenebilir enerji planlaması çalışmasından alınmıştır [35].

Çizelge 2. Kriter ağırlıkları için bulanık değerlendirme sayıları

Dilsel değişkenler	**Bulanık sayı**
Kesinlikle Yüksek (KY)	(2; 5/2; 3)
Çok Yüksek (ÇY)	(3/2; 2; 5/2)
Oldukça Yüksek (OY)	(1; 3/2; 2)
Az Yüksek (AY)	(1; 1; 3/2)
Eşit (E)	(1; 1; 1)
Az Düşük (AD)	(2/3; 1; 1)
Oldukça Düşük (OD)	(1/2; 2/3; 1)
Çok Düşük (ÇD)	(2/5; 1/2;2/3)
Kesinlikle Düşük (KD)	(1/3; 2/5;1/2)

Çizelge 3. Alternatifler için bulanık değerlendirme sayıları

Dilsel değişkenler	**Bulanık sayı**
Çok Kötü (ÇK)	(0; 0; 1)
Kötü (K)	(0; 1; 3)
Orta Kötü (OK)	(1; 3; 5)
Orta (O)	(3; 5; 7)
Orta İyi (Oİ)	(5; 7; 9)
İyi (İ)	(7; 9; 10)
Çok İyi (Çİ)	(9; 10; 10)

Adım 3: Her bir karar vericinin yapmış olduğu değerlendirmeler birleştirilir ve bu doğrultuda ana kriterlere ve ana kriterlerin her birine ait alt kriterlere ilişkin bütünleştirilmiş bulanık ağırlıkları (Eşitlik 7) eşitliğine göre hesaplanır. $\tilde{w}_j^k$, j kriterine k'nıncı uzmanın verdiği önem puanını temsil etmektedir.

$$\tilde{w}_j=\frac{1}{k}\left[\tilde{\omega}_j^1+\tilde{\omega}_j^2+\cdots+\tilde{\omega}_j k\right] \quad (7)$$

Bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma matrisi bu adımı basitleştirmek ve kriter ağırlıklarını hesaplamak için kullanılır. Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Chang tarafından önerilen mertebe analizi yaklaşımı kullanılır ve buna ilişkin adımlar şu şekildedir [36].

$c_j=\{c_1,c_2,\ldots,c_\rho\}$ kriter seti ne $\tilde{M}_j$ (j= 1,2,…,p) bulanık üçgen sayıları olarak kabul edilsin.

$\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2$ 'nin olasılık değeri için bulanık sentetik mertebe değeri, (Eşitlik 8) eşitliğine göre hesaplanır.

$$\tilde{S}_j = V \sum_{j=1}^{n} \bar{M}_j \; x \left[\sum_{k=1}^{\rho} \sum_{j=1}^{n} \tilde{M}_j \right]^{-1} \quad (8)$$

Kriterlerin karşılaştırma matrisi kare matris olduğundan n=p şeklinde ifade edilecektir. $\tilde{M}_2'nin\ \tilde{M}_1$'den büyük olma olasılığı (Eşitlik 9) denklemi ile ifade edilir.

$$\mathrm{V}\left(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1\right) = sup_{y \geq x} \left(\mu\tilde{M}_1(x), \mu\tilde{M}_2(y) \right) \quad (9)$$

$\tilde{M}_2 ve\ \tilde{M}_1$ Konveks bulanık sayılar oldukları için karşılaştırmalarında temel bulanık prensip (Eşitlik 10) geçerlidir.

$$V\left(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1\right) = hgt\left(\tilde{M}_2 \cap \tilde{M}\right) = \mu\tilde{M}_2(d) = \begin{cases} 1, & eğer\ m_2 \geq m_1 \\ 0, & eğer\ l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & diğer \end{cases} \quad (10)$$

Bu eşitlikte yer alan d değeri $\tilde{M}_1$ ve $\tilde{M}_2$ bulanık sayılarının en yüksek kesişim noktasını ifade etmektedir. $\tilde{M}_1$ ve $\tilde{M}_2$ sayılarının karşılaştırılabilmesi için $\mathrm{V}\left(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1\right)$ ve $V\left(\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2\right)$ değerlerinin ikisinin de hesaplanması gereklidir.

Konveks bir $\tilde{M}$ bulanık sayısının p adet konveks $\tilde{M}_j$ (j= 1, 2,…,p) bulanık sayısından büyük olma olasılığı (Eşitlik 11) ve (Eşitlik 12), ağırlık vektörü (Eşitlik 13) şeklinde tanımlanır. Normalize ağırlık vektörü ise eşitlik (Eşitlik 14) ile ifadesi kullanılarak elde edilir.

$$V\left(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1, \tilde{M}_2 \ldots, \tilde{M}_p\right) = V\left(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1\right) ve\ \left(\tilde{M} \geq \tilde{M}_2\right) ve, \ldots, ve \quad \left(\tilde{M} \geq \tilde{M}_p\right) \quad (11)$$

$$min_j = V\left(\tilde{M} \geq \tilde{M}_j\right)$$
$$\mathrm{d}'(A_j) = min_j V\left(S_j \geq S_r\right) \text{ r =1,2,..,p r}\neq j\ için \quad (12)$$

$$W' = \left(d'(C_1), d'(C_2), \ldots, d'\left(C_p\right) \right)^T \quad (13)$$

$$W = \left(d(C_1), d(C_2), \ldots, d\left(C_p\right) \right)^T \quad (14)$$

Adım 4: Karar vericilerin alternatiflere ait belirlemiş oldukları değerlerin elde edilmesinde (Eşitlik 15) eşitliği kullanılır. $\tilde{x}_{ij}^k$ k'nıncı karar vericinin j kriterine bağlı olarak i alternatifine verdiği puanı ifade etmektedir.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k}\left[\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \cdots + \tilde{x}_{ij}^k \right] \quad (15)$$

Adım 5: Bulanık karar matrisi işlemleri gerçekleştirilir.

$$D = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1p} \\ \tilde{x}_{21} & \cdots & \cdots & \tilde{x}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & \tilde{x}_{np} \end{bmatrix} \begin{matrix} i = 1,2, \ldots, n \\ j = 1,2, \ldots, p \end{matrix} \quad (16)$$

$$W = \left[\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \ldots, \tilde{w}_p \right] \qquad j = 1,2, \ldots, p \quad (17)$$

Adım 6: Bulanık en iyi değer $\tilde{f}_j^*$ve bulanık en kötü değer$\tilde{f}_j^-$ belirlenir.

$$\tilde{f}_j^* = maks_i \tilde{x}_{ij} \quad \tilde{f}_j^- = min_i \tilde{x}_{ij} \quad (18)$$

Adım 7: Alternatiflerin her biri için kriterlerin bulanık en iyi değere uzaklıklarının toplam değeri $\tilde{S}_i$ (19) eşitliği ile bulanık en kötü değere olan maksimum uzaklık değeri olan $\tilde{R}_i$ değeri (20) eşitliği ile hesaplanır.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{p} \tilde{w}_j\left(\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}\right) / \left(\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-\right) \quad (19)$$

$$\tilde{R}_i = maks_j \left[\tilde{w}_j\left(\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}\right) / \left(\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-\right) \right] \quad (20)$$

Adım 8: $\tilde{S}^*, \tilde{S}^-, \tilde{R}^*, \tilde{R}^- ve\ \tilde{Q}_i$ değerleri hesaplanır.

$$\tilde{S}^* = min_i \tilde{S}_i \qquad \tilde{S}^- = maks_i \tilde{S}_i \quad (21)$$

$$\tilde{R}^* = min_i \tilde{R}_i \qquad \tilde{R}^- = maks_i \tilde{R}_i \quad (22)$$

$$\tilde{Q}_i = \frac{v(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)}{\tilde{S}^- - \tilde{S}^*} + \frac{(1-v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)}{\tilde{R}^- - \tilde{R}^*} \quad (23)$$

Burada $\tilde{S}^*$ değeri grubun maksimum faydasını, $\tilde{R}^*$ değeri ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığını göstermektedir. $\tilde{Q}_i$ indeksi, grup faydasının minimum pişmanlık ile değerlendirilmesiyle hesaplanır. v değeri,

maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığını ifade etmektedir.

Adım 9: $\widetilde{Q}_i$ üçgensel bulanık sayı durulaştırılarak Q_i indeksi hesaplanır. Literatürde birçok durulaştırma yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada GMI (Graded Mean Integrated) yaklaşımı uygulanmıştır [37]. Bu durumda $\tilde{C} = (c_1; c_2; c_3)$ biçimindeki üçgen bulanık sayı için durulaştırma işlemi (Eşitlik 24) eşitliği ile gerçekleştirilir.

$$P(\tilde{C}) = C = \frac{c_1+4\,c_2+c_3}{6} \tag{24}$$

Adım 10: Alternatifler Q_i değerine göre küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır ve ilgili koşulları sağladığı test edilir. Koşulların her ikisini de sağlayan alternatifler arasından en küçük Q değerine sahip olan alternatif en iyi çözüm olarak seçilir.

Koşul 1- Kabul Edilebilir Avantaj: En iyi ilk iki seçenek arasında göz ardı edilemez bir fark olduğunun ispatlanmasını içermektedir.

$$Q_A'' - Q_A' \geq D(Q) \tag{25}$$

Eşitlikte yer alan Q_A'' değeri Q sıralaması sonrasında elde edilen listede en iyi ikinci alternatif iken Q_A' en iyi alternatifi göstermektedir. Alternatif sayısı ise j ile gösterilmek üzere (Eşitlik 26) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

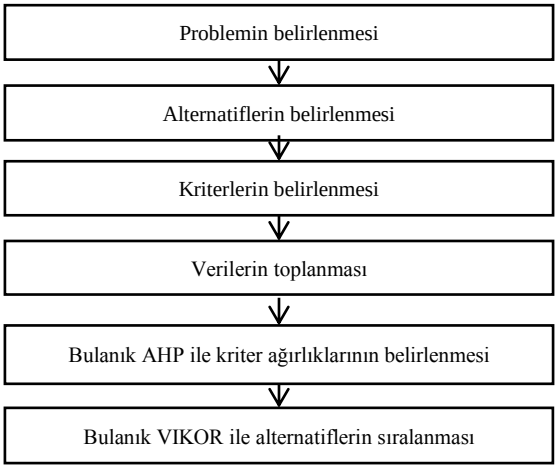
$$D(Q) = 1\,/\,(j-1) \tag{26}$$

Koşul 2- Kabul Edilebilir İstikrar: S ve R indeks değerlerinin en az bir tanesinde Q_A' alternatifinin en iyi seçenek olması gerekliliğidir. Uzlaştırıcı çözümün istikrarlı olduğunun kanıtı ancak bu şekilde sağlanır. Eğer $Q_A^M - Q_A' < D(Q)$ ise ve Koşul 1 sağlanmıyorsa bu durumda benzer uzlaştırıcı çözümler olduğu söylenir. $Q_A', Q_A'' \ldots Q_A^M$ uzlaştırıcı çözümlerinin benzer olması nedeniyle Q_A' karıştırmalı bir üstünlüğe sahip değildir. Eğer Koşul 2 sağlanmıyorsa, Q_A' karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahip olmasına karşın istikrarlı bir karar verilemeyeceğini gösterir. Q_A' ve Q_A'''nın bu nedenler uzlaştırıcı çözümü de aynı olmaktadır.

4. UYGULAMA

Türkiye'deki sınırlı sayıda emniyet kemeri üreticilerinden olan firma, pazarda hem mevcut konumunu korumak hem de sürdürülebilirliğini sağlamak için rekabetçi şartların yoğun olduğu ortamda etkin ve doğru kararlar alabilmeli, rakiplerine kıyasla yeni ortam ve koşullara kolaylıkla uyum sağlayabilmeli ve sağlamış olduğu bu üstünlüğünü diğer birçok alanda sürdürebilmelidir. Firmanın alacağı doğru ve etkin kararlar, verimli bir şekilde bilgilerin ve verilerin iyi bir zamanlama ile değerlendirilmesine bağlı olup, başarıyı da beraberinde getirecektir. Bu doğrultuda alınan en etkili kararlardan biri tesis yeri seçimidir. Bu tarz karmaşık karar verme problemlerinde ÇKKV teknikleri kullanılır.

Problemin çözümü için yönetim kurulu başkanı, yönetim kurulu başkan yardımcısı, genel müdür, genel müdür yardımcısı ve planlama lojistik müdüründen oluşan beş kişilik bir karar verici grubu oluşturulmuştur. Kriterlerin seçiminde literatürde yapılan çalışmalardan ve karar verici grubundan bilgi alınmıştır. Kriterlerin belirlenmesinde öncelikle literatürde yapılan çalışmalarda tesis yeri seçiminde sektör ayırt etmeksizin göz önünde bulundurulan etmenler incelenmiştir. Sonrasında firmanın uygun bölgede kurulabilmesi için gerekli kriterler karar verici grubuyla görüşülerek belirlenmiştir. Şekil 2'de uygulama sürecinin adımları gösterilmektedir.



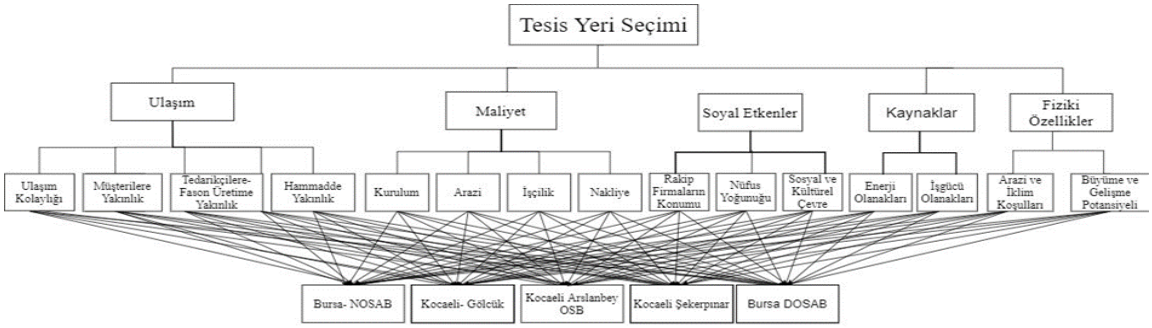
Şekil 2. Uygulama sürecinin aşamaları

4.1. Alternatiflerin Belirlenmesi

Tesis yeri alternatifleri karar verici grubuyla yapılan görüşmeler sonucunda yatırıma uygun özellikleri barındıran Bursa DOSB (A1), Şekerpınar/Gebze/Kocaeli (A2), Arslanbey OSB/Kocaeli (A3), Gölcük/Kocaeli (A4), Bursa NOSAB (A5) olarak seçilmiştir.

4.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Kriterlerin belirlenmesinde firmanın tesis yeri seçimi için öncelikli olan kriterler 5 ana başlık altında toplanmıştır.



Şekil 3. Kuruluş yeri seçimi için ana ve alt kriterlerin hiyerarşik yapısı

Çizelge 4. Kriterlerle ilgili literatür çalışması

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Yapılan Çalışmalar	Açıklama
Ulaşım	**Hammaddeye yakınlık (HY)**	Yang ve Lee (1997) [38], Karabıçak ve ark. (2016) [39]	Sektöre ait firmanın hammadde gereksinimlerinin çevre firmalardan sağlanabilmesi
	Tedarikçilere ve Fason üretime yakınlık (TFÜY)	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Emeç ve Akkaya (2018) [40], Hakim ve Kusumastuti (2018) [41]	Sektöre ait firmanın tedarik ve fason üretim ihtiyaçlarının çevre firmalar tarafından karşılanabilmesi
	Müşterilere yakınlık (MY)	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Dey ve ark. (2016) [42], Emeç ve Akkaya (2018) [40], Hakim ve Kusumastuti (2018) [41], Singh ve ark. (2018) [43]	Sektöre ait firmanın rekabet üstünlüğü için müşterilerine yakın konumlandırılması
	Ulaşım kolaylığı (UK)	Akyüz ve Kılınç (2016) [44], Ömürbek ve ark. (2013) [45], Organ ve Tekin (2017) [46]	Sektöre ait firmanın ana yollara yakınlığı ve ulaşım hizmetlerinin çeşitliliği
Maliyet	**Nakliye maliyetleri (NM)**	Önel (2014) [47]	Sektöre ait firmanın tedarik zincirindeki nakliye maliyetleri
	İşgücü maliyetleri (İM)	Boran (2011) [48], Pekkaya ve Bucak (2018) [49]	Sektörün ihtiyacı kapsamında işgücünün bulunabilirliği ve ücret seviyeleri
	Arazi maliyetleri (AM)	Ömürbek ve ark. (2013) [45], Bucak ve Pekkaya (2018) [49]	Sektöre ait firmanın kurulumunun gerçekleşeceği bölgedeki arazi maliyetleri
	Kurulum maliyetleri (KM)	Yeşilkaya (2018) [50]	Sektöre ait firmanın kurulum maliyetleri
Sosyal Etkenler	**Sosyal ve kültürel çevre (SKÇ)**	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Deluka-Tibljas (2011) [51]	Sektöre ait firmanın çevresinin tutumu
	Nüfus yoğunluğu (NY)	Akyüz ve Soba (2013) [27], Akyüz ve Kılınç (2016) [44]	Sektöre ait firmanın bulunduğu bölgedeki Pazar dağılımı etkileyen nüfusun yoğunluğu
	Rakip firmaların konumu (RFK)	Organ ve Tekin (2017) [46], Akyüz ve Kılınç (2016) [44]	Sektöre ait firmanın rakipleriyle arasında bulunan mesafenin uygunluğu
Kaynaklar	**İşgücü kaynağı (İK)**	Önel (2014) [47], Yavuz ve Deveci (2014) [25]	Sektörün ihtiyacı kapsamında nitelikli işgücünün elde edilebilirliği
	Enerji olanakları (EO)	Ar ve ark., (2014) [29], Karabıçak ve ark. (2016) [39], Önel (2014) [47], Kobu (2008) [52]	Sektörün ihtiyaçları doğrultusunda enerji kaynaklarının çeşitliliği ve maliyetleri
Fiziki Özellikler	**Arazi ve İklim koşulları (AİK)**	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Karabıçak ve ark. (2016) [39], Dey ve ark. (2016) [42] Hakim ve Kusumastuti (2018) [41]	Sektöre ait firmanın konumunda arazinin yapısı, yüksekliği, nemlilik derecesi, ısı farklılıkları
	Büyüme ve Gelişme potansiyeli (BGP)	Akyüz ve Kılınç (2016) [44]	Sektöre ait firmanın bulunduğu bölgenin büyümesine paralel olarak tesisin de büyüme ve gelişme göstermesi

4.3. Problemin Çözümü

Karar verici grubunun yapmış oldukları puanlamalar, ana kriterlerin ve her bir ana kriterin alt kriterinin bütünleştirilmiş bulanık ağırlığı hesaplanarak birleştirilmiştir. (7) eşitliği kullanılarak Çizelge 6'da ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7'de ulaşım kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 8'de maliyet kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 9'da sosyal etkenler için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 10'da kaynaklar kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 11'de fiziki özellikler kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi sunulan bulanık ağırlık değerlendirme matrisi elde edilmiştir.

Kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve alternatiflerin kriterler bazında puanlanmasında Çizelge 2 ve Çizelge 3'te yer alan dilsel değişkenler kullanılmıştır. Karar verici grubundan bir kişinin ana kriterlerin karşılaştırılması için yapmış olduğu puanlama Çizelge 5'te sunulmuştur.

Çizelge 5. KV1'in ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma puanları

Ana Kriterler	Ulaşım	Maliyet	Sosyal Etkenler	Kaynaklar	Fiziki Özellikler
Ulaşım	1	AD	AY	AY	AY
Maliyet		1	ÇY	AY	OY
Sosyal Etkenler			1	KD	OD
Kaynaklar				1	OD
Fiziki Özellikler					1

Çizelge 6. Ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Ana Kriterler	Ulaşım	Maliyet	Sosyal Etkenler	Kaynaklar	Fiziki Özellikler
Ulaşım	(1; 1; 1)	(0,80; 1; 1,10)	(1,20; 1,50; 2)	(1,20; 1,50; 2)	(1,20; 1,60; 2,10)
Maliyet	(0,91; 1; 1,25)	(1; 1; 1)	(1,50; 2; 2,50)	(1,10; 1,40; 1,90)	(1,40; 1,70; 2,20)
Sosyal Etkenler	(0,50; 0,67; 0,83)	(0,40; 0,50; 0,67)	(1; 1; 1)	(0,39; 0,49; 0,67)	(0,59; 0,73; 0,97)
Kaynaklar	(0,50; 0,67; 0,83)	(0,53; 0,71; 0,91)	(0,30; 0,41; 0,51)	(1; 1; 1)	(0,41; 0,51; 0,70)
Fiziki Özellikler	(0,48; 0,63;0,83)	(0,45; 0,59; 0,71)	(1,03; 1,36; 1,69)	(1,43; 1,95; 2,46)	(1; 1; 1)

Çizelge 7. Ulaşım kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Ulaşım	HY	TFÜY	MY	UK
HY	(1; 1; 1)	(0,93; 1,1; 1,3)	(1;1;1)	(1,08; 1,3; 1,53)
TFÜY	(0,77; 0,91; 1,07)	(1; 1; 1)	(0,87; 1; 1,10)	(1,13; 1,3; 1,6)
MY	(0,91; 1; 1)	(0,91; 1; 1,15)	(1; 1; 1)	(1; 1,2; 1,4)
UK	(0,65; 0,77; 0,93)	(0,63; 0,77; 0,88)	(0,71; 0,83; 1)	(1; 1; 1)

Çizelge 8. Maliyet kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Maliyet	NM	İM	AM	KM
NM	(1; 1; 1)	(0,7; 0,93; 1)	(0,96; 1,30; 1,67)	(0,63; 0,9; 1,07)
İM	(1; 1,07; 1,43)	(1; 1; 1)	(1,40; 1,90; 2,40)	(1,60; 2,1; 2,6)
AM	(0,6; 0,77; 1,04)	(0,42; 0,53; 0,71)	(1; 1; 1)	(0,57; 0,70; 0,80)
KM	(0,94; 1,11; 1,6)	(0,38; 0,48; 0,63)	(1,25; 1,43; 1,74)	(1; 1; 1)

Çizelge 9. Sosyal etkenler kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Sosyal Etkenler	SKÇ	NY	RFK
SKÇ	(1; 1; 1)	(0,93; 1; 1,10)	(0,44; 0,58; 0,70)
NY	(0,91; 1; 1,07)	(1; 1; 1)	(0,67; 0,86; 1,10)
RFK	(1,43; 1,72; 2,27)	(0,91; 1,16; 1,50)	(1; 1; 1)

Çizelge 10. Kaynaklar kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Kaynaklar	İK	EO
İK	(1; 1; 1)	(0,93; 1,20; 1,60)
EO	(0,63; 0,83; 1,07)	(1; 1; 1)

Çizelge 11. Fiziki özellikler kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Fiziki Özellikler	AİK	BGP
AİK	(1; 1; 1)	(0,69; 0,80; 1,07)
BGP	(0,94; 1,25; 1,44)	(1; 1; 1)

Bütünleştirilmiş matrislere Chang'ın mertebe analizi yaklaşımı uygulanmıştır. 8-14 denklemleri takip edilerek Çizelge 12-17'de yer alan normalize kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Çizelge 12. Ana kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Ana kriterler	Si= Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj' = d(cj)T
Ulaşım	(0,159; 0,240; 0,364)	0,9126	0,2858
Maliyet	(0,175; 0,258; 0,393)	1	0,3132
Sosyal etkenler	(0,085; 0,123; 0,184)	0,0627	0,0196
Kaynaklar	(0,116; 0,179; 0,266)	0,5355	0,1677
Fiziki özellikler	(0,130; 0,201; 0,297)	0,6819	0,2136

Çizelge 13. Ulaşım kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Ulaşım	Si= Mi= (lj; mj; uj)	Wj = d'(cj)T	Wj' = d(cj)T
HMY	(0,222; 0,272; 0,338)	1	0,3167
TFÜY	(0,209; 0,260; 0,327)	0,8989	0,2847
MY	(0,211; 0,260; 0,312)	0,8792	0,2784
UK	(0,166; 0,208; 0,261)	0,3794	0,1202

Çizelge 14. Maliyet kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Maliyet	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
NM	(0,159; 0,240; 0,328)	0,4327	0,2257
İM	(0,242; 0,353; 0,514)	1	0,5217
AM	(0,125; 0,174; 0,246)	0,0238	0,0124
KM	(0,173; 0,233; 0,344)	0,4604	0,2402

Çizelge 15. Sosyal etkenler kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Sosyal etkenler	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
SKÇ	(0,221; 0,277; 0,338)	0,1628	0,1044
NY	(0,240; 0,307; 0,383)	0,3956	0,2538
RFK	(0,311; 0,417; 0,576)	1	0,6417

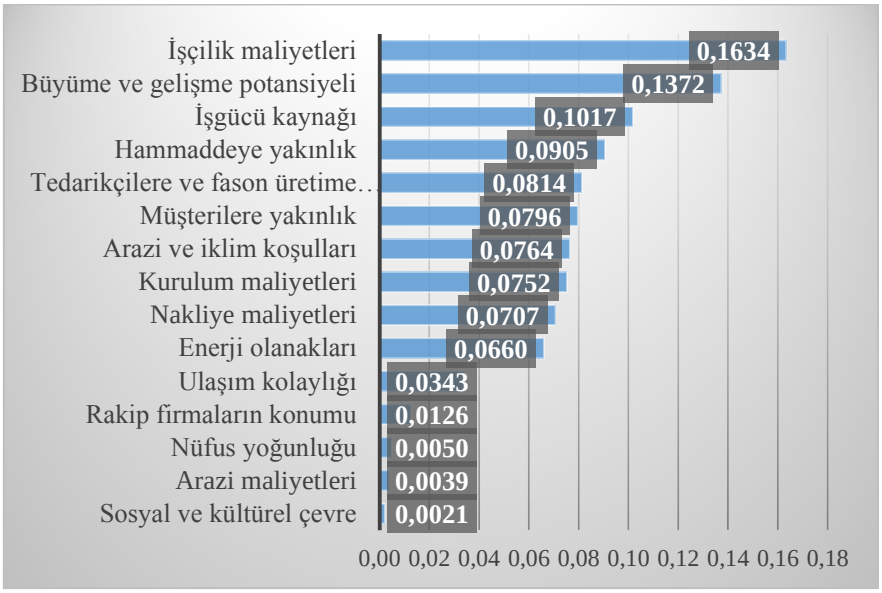
Çizelge 16. Kaynaklar kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Kaynaklar	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
İK	(0,414; 0,545; 0,731)	1	0,6063
EO	(0,348; 0,455; 0,582)	0,6492	0,3937

Çizelge 17. Fiziki özellikler kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Fiziki özellikler	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
AİK	(0,376; 0,444; 0,569)	0,5566	0,3576
BGP	(0,430; 0,556; 0,673)	1	0,6424

Ana kriterlerin ve alt kriterlerin bulanık AHP sonuçlarının ardından ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerinin yerel ağırlıklarıyla çarpılarak her bir alt kritere ait genel ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda kriter ağırlıklarının sıralanmış hali Şekil 4'teki çizgi grafiğinde gösterilmektedir.



Şekil 4. Kriter ağırlıkları

Karar verici grubunun alternatiflere yönelik kriterler bazında vermiş oldukları puanların (15) eşitliği kullanılarak bütünleştirilmiş hali Çizelge 18-19'da verilmiştir.

Alternatiflerin bulanık karar matrisinde (Eşitlik 18) eşitliği ile hesaplanan bulanık en iyi (fj^+) ve bulanık en kötü (fj^-) değerler Çizelge 20 ve Çizelge 21'de sunulmuştur.

Çizelge 18. Alternatiflerin bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi

Alternatif	HY	TFÜY	MY	UK	NM	İM	AM	KM
A1	(5; 6,8; 8,2)	(3,4; 5,4; 7,2)	(5,8; 7,6; 9)	(7; 9; 10)	(1,6; 3,4; 5,4)	(6,6; 8,4; 9,6)	(0,4; 1,6; 3,4)	(6,2; 8; 9,2)
A2	(8,2; 9,6; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(5; 6,8; 8,2)	(7,4; 9,2; 10)	(5,4; 7,4; 8,8)	(6,2; 7,8; 8,8)	(0,6; 1,6; 3,4)	(5,4; 7,2; 8,6)
A3	(6,6; 8,6; 9,8)	(5,8; 7,6; 8,8)	(5,4; 7,4; 9)	(9; 10; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(7,4; 9; 9,8)	(6,2; 8; 9,2)	(6,6; 8,2; 9,2)
A4	(5,4; 7,4; 8,8)	(5,8; 7,8; 9,2)	(5,4; 7,4; 9)	(7,8; 9,4; 10)	(5,4; 7,2; 8,6)	(7,8; 9,4; 10)	(8,6; 9,8; 10)	(7,4; 9; 9,8)
A5	(5; 7; 8,6)	(4,6; 6,6; 8,2)	(7,8; 9,4; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(2,8; 4,6; 6,4)	(7; 8,6; 9,4)	(1,4; 2,8; 4,6)	(4,6; 6,4; 7,8)

Çizelge 19. Alternatiflerin bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi (Çizelge 18 devamı)

Alternatif	SKÇ	NY	RFK	İK	EO	AİK	BGP
A1	(7,4; 9,2; 10)	(7,8; 9,4; 10)	(3; 5; 7)	(8,2; 9,6; 10)	(7,8; 9,2; 9,8)	(5,4; 7,4; 9)	(5,4; 7,4; 8,8)
A2	(1,6; 3,4; 5,4)	(6,6; 8,2; 9,2)	(7,8; 9,2; 9,8)	(9; 10; 10)	(8,6; 9,8; 10)	(5,4; 7,4; 8,8)	(3,6; 5,4; 7,2)
A3	(5,4; 7,4; 9)	(7,4; 9,2; 10)	(4,6; 6,6; 8,2)	(5,4; 7,4; 9)	(7,8; 9,4; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(7; 9; 10)
A4	(5,4; 7,4; 9)	(4,6; 6,6; 8,4)	(4; 5,8; 7,4)	(5; 7; 8,8)	(7,8; 9,4; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(2,8; 4,6; 6,4)
A5	(6,2; 8; 9,2)	(7,8; 9,4; 10)	(3,2; 5; 6,8)	(8,2; 9,6; 10)	(9; 10; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(4,6; 6,6; 8,2)

Çizelge 20. Bulanık En iyi (fj^+) ve bulanık en kötü (fj^-) değerler

	HY	TFÜY	MY	UK	NM	İM	AM	KM
$\mathbf{fj^+}$	(8,2; 9,6; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(7,8; 9,4; 10)	(9; 10; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(7,8; 9,4; 10)	(8,6; 9,8; 10)	(7,4; 9; 9,8)
$\mathbf{fj^-}$	(5; 6,8; 8,2)	(3,4; 5,4; 7,2)	(5; 6,8; 8,2)	(7; 8,8; 9,8)	(1,6; 3,4; 5,4)	(6,2; 7,8; 8,8)	(0,4; 1,6; 3,4)	(4,6; 6,4; 7,8)

Çizelge 21. Bulanık en iyi (fj^+) ve bulanık en kötü (fj^-) değerler (Çizelge 20 devamı)

	SKÇ	NY	RFK	İK	EO	AİK	BGP
$\mathbf{fj^+}$	(7,4; 9,2; 10)	(7,8; 9,4; 10)	(7,8; 9,2; 9,8)	(9; 10; 10)	(9; 10; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(7; 9; 10)
$\mathbf{fj^-}$	(1,6; 3,4; 5,4)	(4,6; 6,6; 8,4)	(3; 5; 6,8)	(5; 7; 8,8)	(7,8; 9,2; 9,8)	(5,4; 7,4; 8,8)	(2,8; 4,6; 6,4)

Her bir alternatif için eşitlikler (Eşitlik 19-20) eşitlikleri kullanılarak hesaplanan S_i ve R_i değerleri Çizelge 22'de gösterilmektedir.

Çizelge 22. S_i ve R_i değerleri

Alternatif	S_i	R_i
A1	(0,7201; 0,6797; 0,5549)	(0,1225; 0,1021; 0,0905)
A2	(0,4977; 0,5531; 0,4981)	(0,1111; 0,1634; 0,1634)
A3	(0,4977; 0,3506; 0,3422)	(0,1111; 0,0881; 0,1865)
A4	(0,5401; 0,5259; 0,3993)	(0,1372; 0,1372; 0,1372)
A5	(0,5221; 0,5058; 0,4646)	(0,0905; 0,0841; 0,0817)

S^+, S^-, R^+, R^- değerleri (21) ve (22) eşitlikleri ile hesaplanarak Çizelge 23'te gösterilmiştir.

Çizelge 23. S^+, S^-, R^+, R^- değerleri

$\mathbf{S^+}$	(0,4977; 0,3506; 0,3422)
$\mathbf{S^-}$	(0,7201; 0,6797; 0,5549)
$\mathbf{R^+}$	(0,0905; 0,0841; 0,0817)
$\mathbf{R^-}$	(0,1372; 0,1634; 0,1865)

Eşitlikler (Eşitlik 23) ve (Eşitlik 24) kullanılarak v=0,5 değeri için hesaplanan bulanık $\widetilde{Q}_i$ ve durulaştırılmış Q_i değerleri Çizelge 24'te verilmiştir.

Çizelge 24. Bütünleşik bulanık AHP-VIKOR sonuçları

Alternatif	$\widetilde{Q}_i$	Q_i	Sıralama
A1	(0,8430; 0,6138; 0,5421)	0,6401	4
A2	(0,2201; 0,8077; 0,7564)	0,7012	5
A3	(0,2201; 0,0257; 0,5000)	0,1371	1
A4	(0,5954; 0,6013; 0,3991)	0,5666	3
A5	(0,0547; 0,2358; 0,2876)	0,2142	2

Q_i değerlerine göre alternatifler önem derecelerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında A3<A5<A4<A1<A2 sıralaması elde edilmektedir. Koşul 1 ve Koşul 2 test edilerek yapılan çözüm kümesinin belirlenmesi sürecinde ise yalnızca koşul 2'nin sağlandığı görülmektedir. Dolayısıyla A3 ve A5 alternatiflerinin ikisi de uzlaştırıcı çözümlerdir. Tek bir alternatifin tercih edilmesi gerekirse Q_i ve Si değerlerine göre yapılan sıralamada ilk sırada yer alması gerekçesiyle A3 alternatifi tercih edilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmenin tesis yeri seçimi üretilebilirliğini, sürdürülebilirliğini, tedarik zincirini, rakipleriyle olan durumunu, çalışanlarının sosyal faaliyetlerini, yeni pazar alanları yaratmak için faaliyetlerini yüksek düzeyde etkiler. Tesis yeri seçimi stratejik bir karardır. İşletmenin durumunu uzun dönemlerde etki eder ve hata yapılması durumunda geri dönülmesi güç ve maliyetlidir. Stratejik öneminin yanı sıra yer seçimi problemi karar vericilerin değerlendirmesinde nitel ve nicel kriterleri bir arada bulundurması sebebiyle karmaşık nitelikte olup ÇKKV problemi olarak ele alınabilir. Bunun yanı sıra karar verici grubunun değerlendirmelerini kesin değerlerle ifade etmedeki güçlüğü dilsel değişkenlerle ifade etmesine sebep olur. Bu güçlüğün aşılabilmesi adına ÇKKV yöntemleri bulanık küme teorisine bir arada kullanılmaktadır.

İşletmelerin tesis yerini seçerken göz önünde bulunduğu kriterler amaçlarına göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada Ark Pres Emniyet Kemerleri A. Ş. için tesis yeri yatırımının yapılacağı konum Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR yöntemleri bir arada kullanılarak seçilmiştir. Tesis yeri seçimi için elzem olduğu düşünülen kriterlerin ağırlıkları belirlenirken Bulanık AHP yönteminin sunmuş olduğu ikili karşılaştırma matrislerinden faydalanılmıştır. Yatırımın yapılabileceği alternatifler karar vericilerin belirlenen kriterler doğrultusunda bulanık değerlendirme sayılarına göre görüşleri alındıktan sonra Bulanık VIKOR yöntemi vasıtasıyla sıralanmış ve uzlaşık çözüme gidilmiştir.

Bulanık AHP yöntemi sonucunda ana kriter olan maliyetin alt başlıklarından işçilik maliyeti kriteri karar vermede en önemli paya sahip olmuştur. Bu pay tesis yerinin konumunun işçilik maliyetlerine etkisindeki önemini ortaya çıkarmıştır. Tesisin konumu için 5 adet alternatifin sıralanmaları sonucu Arslanbey OSB (A3) en uygun alternatif olduğu saptanmıştır.

Arslanbey OSB, üretimi için ihtiyaç duyduğu hammaddeyi temin ettiği tedarikçilere yakın konumda olması, müşterilerin isteklerini karşılayabilmek için hem üretim hem konum açısından esnekliğe sahip olabilecek bir bölge olması, bulunduğu ilin sanayi illerinden biri olması sebebiyle iş gücü erişilebilirliği, hem çalışanlarına hem müşteri ve tedarikçilerine sunduğu kolay ulaşım imkânı, sosyal alanlara yakınlığı sebebiyle uygun bir çözüm olduğu düşünülmüştür. 50 yıldır faaliyet gösteren firmanın Kartepe'de yer alıp en yakın alternatifi olan Arslanbey OSB'nin seçilmiş olması, hem çalışma açısından hem de karar vericilerin etkinliği açısından doğru bir karar olduğunu göstermektedir.
İleride yapılacak çalışmalarda tesis yeri seçimi problemi için farklı yöntemler kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz yapılabilir. Benzer şekilde kullanılan kriterlerde çeşitliliğe gidilerek kriterlerin sonuca etkisi incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Eleren, A., 2006. Kuruluş Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Belirlenmesi: Deri Sektörü Örneği. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 20(2), 405-416.
2. Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M., 2004. İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 131-138.
3. Saaty, T.L., 1986. Axiomatic Foundation of the Analytic Hhierarchy Process. Management Science, 841-855.
4. Ertuğrul, İ., 2003. İşyeri Düzen Tasarımına Bir Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı. VI. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu. Ankara: Gazi Üniversitesi, 12.

5. Deng, H., 1999. Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison. International Journal of Approximate Reasoning, 215-231.

6. Kaplan, S., 2007. Hava Savunma Sektörü Tezgah Yatırım Projelerinin Bulanık AHP ile Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 146.

7. Bender, M.J., Simonovic, S.P., 2000. A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning Under Uncertainty. Fuzzy Sets and Systems, 35-44.

8. Özdemir, A.İ., Seçme, N.Y., 2009. İki Aşamalı Stratejik Tedarikçi Seçiminin Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 79-112.

9. Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh, L.F., Izadikhah, M., 2006. Extension of the TOPSIS Method for Decision-making Problems with Fuzzy Data. Applied Mathematics and Computation, 1544-1551.

10. Küçük, O., Ecer, F., 2007. Bulanık TOPSIS Kullanılarak Tedarikçilerin Değerlendirilmesi ve Erzurum'da bir Uygulama. AİBÜ-İİBF Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 45-65.

11. Opricovic, S., Tzeng, G.H., 2004. Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, 445-455.

12. Moeinzadeh, P., Hajfathaliha, A., 2009. A Combined Fuzzy Decision Making Approach to Supply Chain Risk Assessment. World Academy of Science, Engineering and Technology, 519-528.

13. Brans, J.P., Vinckle, P., Mareschal, B., 1986. How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method. European Journal of Operational Research, 228-238.

14. Organ, A., 2013. Bulanık Dematel Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 157-172.

15. Aksakal, E., Dağdeviren, M., 2010. ANP ve DEMATEL Yöntemleri ile Personel Seçimi Problemine Bütünleşik bir Yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 905-910.

16. Öztürk, O., 2009. Türkiye Karayollarında Trafik Kazalarının Nedeni ve Bu Kazaların Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 120.

17. Keršuliene, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2010. Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). Journal of Business Economics and Management, 243-258.

18. Aghdaie, M.H., Zolfani, S.H., Zavadskas, E. K., 2013. Decision Making in Machine Tool Selection: An Integrated Approach with SWARA and COPRAS-G Methods. Engineering Economics, 5-17.

19. Aytaç Adalı, E., Tuş Işık, A., 2017. Bir Tedarikçi Seçim Problemi için SWARA ve WASPAS. International Review of Economics and Management, 5(4), 56-77.

20. Hong, L., Xiaohua, Z. 2011. Study on Location Selection of Multi-objective Emergency Logistics Center based on AHP. Procedia Engineering, 15, 2128-2132.

21. Tzeng, G. H., Teng, M. H., Chen, J. J., Opricovic, S. 2002. Multicriteria Selection for a Restaurant Location in Taipei. International Journal of Hospitality Management, 21(2), 171-187.

22. Aktaş, N., Demirel, N. 2021. A Hybrid Framework for Evaluating Corporate Sustainability Using Multi-criteria Decision Making. Environment, Development and Sustainability, 23(10), 15591-15618.

23. Akyüz, G., Kılınç, E. 2016. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanımı: Sağlık Sektöründe bir Uygulama. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 4(33), 590-608.

24. Soba, M. (2014). Banka Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ve ELECTRE Metodu ile Belirlenmesi: Uşak İlçeleri Örneği. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11(25), 459-473.

25. Yavuz, S., Deveci, M., 2014. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi ve Bir Uygulama. Ege Academic Review, 14(3), 463-479.

26. Yücel, M., Ulutaş, A., 2009. Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden Electre Yöntemiyle Malatya'da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 9(17), 327-344.

27. Akyüz, Y., Soba, M., 2013. ELECTRE Yöntemiyle Tekstil Sektöründe Optimal Kuruluş Yeri Seçimi: Uşak İli Örneği. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 9(19), 185-198.

28. Balkan, D. 2020. Endüstri 4.0 Sürecinde Electree Yöntemi ile Enerji Tesis Yer Seçiminin Gerçekleştirilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 238-253.

29. Ar, İ.M., Birdoğan, Baki, Özdemir R.F., 2014. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık AHS-VIKOR Yaklaşımının Kullanımı: Otel Sektöründe Bir Uygulama. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, (13), 93-114.

30. İnağ, T., Arıkan, M., 2020. Katı Atık Getirme Merkezi Kuruluş Yer Seçimi İçin DEMATEL-ANP ve Matematiksel Programlama Yöntemleriyle Bütünleşik Bir Yaklaşım: Ankara İlinde Bir Uygulama Örneği. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 36(1), 33-46.

31. Öztürk, F., Kaya, G.K., 2020. Afet Sonrası Toplanma Alanlarının PROMETHEE Metodu ile Değerlendirilmesi. Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 25(3), 1239-1252.

32. Opricovic, S., 2011. Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning. Expert Systems with Applications, 12983-12990.

33. Chou, T.Y., Hsu, C.L., Chen, M.C., 2008. A Fuzzy Multi-criteria Decision Model for International Tourist Hotels Location Selection. International Journal of Hospitality Management, 293-301.

34. Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D., 2004. Multi-attribute Comparison of Catering Service Companies using Fuzzy AHP: The Case of Turkey. International Journal of Production Economics, 171-184.

35. Kaya, T., Kahraman, C., 2010. Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul. Energy, 2517-2527.

36. Chang, D.Y., 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 649-655.

37. Yong, D., 2006. Plant Location Selection based on Fuzzy TOPSIS. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 839-844.

38. Yang, J., Lee, H. 1997. An AHP Decision Model for Facility Location Selection. Facilities, 15, 241-254.

39. Karabıçak, Ç., Boyacı, A.İ., Akay, M.K., Özcan, B. 2016. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Karayolu Şantiye Yeri Seçimine İlişkin Bir Uygulama. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(3), 106-121.

40. Emeç, Ş., Akkaya, G., 2018. Stochastic AHP and Fuzzy VIKOR Approach for Warehouse Location Selection Problem. Journal of Enterprise Information Management, 31(6), 950-962.

41. Hakim, R.T., Kusumastuti, R.D., 2018. A Model to Determine Relief Warehouse Location in East Jakarta Using the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Technology, 9(7), 1405-1414.

42. Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., Sanyal, S.K., 2016. Warehouse Location Selection by Fuzzy Multi-criteria Decision Making Methodologies Based on Subjective and Objective Criteria. International Journal of Management Science and Engineering Management, 11(4), 262-278.

43. Singh, R.K., Chaudhary, N., Saxena, N., 2018. Selection of Warehouse Location for a Global Supply Vhain: A Case Study. IIMB Management Review, 30(4), 343-356.

44. Akyüz, G., Kılınç, E., 2016. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanımı: Sağlık Sektöründe Bir Uygulama. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 4(33), 590-608.

45. Ömürbek, N., Üstündağ, S., Helvacıoğlu, Ö.C., 2013. Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesinde Bir Uygulama. Yönetim Bilimleri Dergisi, 11(21), 101-116.

46. Organ, A., Tekin, B., 2017. Şehir Hastanesi Kuruluş Yeri Seçimi için Gri İlişkisel Analiz Yaklaşimi: Denizli İli Örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4(3), 256-278.
47. Önel, F., 2014. Kuruluş Yeri Seçiminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, 113.
48. Boran, F.E., 2011. An Integrated Intuitionistic Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method for Facility Location Selection. Mathematical and Computational Applications, 16(2), 487-496.
49. Pekkaya, M., Bucak, U., 2018. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bölgesel Liman Kuruluş Yeri Seçimi: Batı Karadeniz'de Bir Uygulama. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 253-268.
50. Yeşilkaya, M., 2018. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kağıt Fabrikası Kuruluş Yeri Seçimi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), 31-44.
51. Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B., Benac, Č. 2011. AHP Methodology Application in Garage-parking Facility Location Selection. Promet-traffic & Transportation, 23(4), 303-313.
52. Kobu, B., 2008. Üretim Yönetimi, Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ., 639.