



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TEK DEĞERLİ NEUTROSOPHİC KÜMELERDE BİLGİ ÖLÇÜLERİNİN
OPTİMİZASYONU TABANLI GENİŞLETİLMİŞ TOPSIS METODU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fuat ASLAN

**OCAK 2021
GÜMÜŞHANE**

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEK DEĞERLİ NEUTROSOPHİC KÜMELERDE BİLGİ ÖLÇÜLERİNİN
OPTİMİZASYONU TABANLI GENİŞLETİLMİŞ TOPSIS METODU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fuat ASLAN

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 08.01.2021

Tezin Sözlü Savunma Tarihi: 28.01.2021

OCAK 2021

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum “Tek Değerli Neutrosophic Kümelerde Bilgi Ölçülerinin Optimizasyonu Tabanlı Genişletilmiş TOPSIS Metodu” isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim
28/01/2021.

Fuat ASLAN

ÖZET
YÜKSEKLİSANS TEZİ

**TEK DEĞERLİ NEUTROSOPHİC KÜMELERDE BİLGİ ÖLÇÜLERİNİN
OPTİMİZASYONU TABANLI GENİŞLETİLMİŞ TOPSIS METODU**

Fuat ASLAN

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rıdvan ŞAHİN

2021, 51 sayfa

Neutrosophic kümeler bulanık kümelerin genel bir formu olup son zamanlarda karar verme problemlerinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada öncelikle neutrosophic kümeler arasında yeni bir izdüşüm ölçüsü, fark ölçüsü ve olasılık ölçüsü tanımlanarak bu ölçülerin bazı genel özellikleri incelenmiştir. Daha sonra klasik TOPSIS metodu neutrosophic evrene genişletilerek, tanımlanan bilgi ölçüleri tabanlı genişletilmiş bir TOPSIS metodu inşa edilmiştir ve geliştirilen TOPSIS metodu ile çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) ile dünyamızı etkisi altına alan COVID-19 salgınından korunma yöntemi olarak kabul görmüş maskelerin en uygun olanı belirleme problemi çözülmüştür. Son olarak ise, tanımlanan yeni bilgi ölçülerinin ve geliştirilen TOPSIS metodunun sonuçları değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Neutrosophic küme, İzdüşüm ölçüsü, Fark ölçüsü, Olasılık ölçüsü, TOPSIS metodu, Karar verme

ABSTRACT

MS THESIS

THE EXTENDED TOPSIS METHOD BASED ON THE OPTIMIZATION OF INFORMATION MEASURES IN SINGLE VALUED NEUTROSOPHIC SETS

Fuat ASLAN

Gumushane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mathematical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rıdvan ŞAHİN

2021, 51 pages

Neutrosophic sets are a general form of fuzzy sets and have recently been used frequently in decision making problems. In this study, a new projection measure, a difference measure and a probability measure between neutrosophic sets are defined and some general properties of these measures are examined. Later, the classical TOPSIS method was expanded to the neutrosophic universe, and an expanded TOPSIS method has been built based on defined information measures. By using the developed TOPSIS method, the problem of determining the most ideal of the masks accepted as a method of protection from the COVID-19 epidemic affecting our world has been resolved with multiple criteria decision making (MCDM). Finally, the results of the new information measures defined and the TOPSIS method developed have been evaluated and interpreted.

Keywords: Neutrosophic set, Projection measure, Divergence measure, Likelihood measure, TOPSIS method, Decision making

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez çalışmasının hazırlanma sürecinde yönlendirmelerini, fikirlerini ve yardımını esirgemeyen, her konuda bana yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. Rıdvan ŞAHİN'e sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans eğitimim süresince üzerimde emeği geçen Matematik Mühendisliği bölüm hocalarıma desteklerinden ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her döneminde bana maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Lisansüstü eğitim hayatımın her aşamasında yanımda olan beni yalnız bırakmayan, her zaman desteğini ve sevgisini hissettiğim sevgili eşim Gamze ASLAN'a ve çok sevdiğim çocuklarım Tayyar Emin ASLAN, Metehan ASLAN ve Alperen ASLAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Fuat ASLAN
Gümüşhane, 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Temel Kavramlar	4
1.3. TOPSIS Metodu	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	12
2.1. Neutrosophic İzdüşüm Ölçüsü	13
2.2. Neutrosophic Fark Ölçüsü	14
2.3. Neutrosophic Olasılık Ölçüsü	15
2.4. Neutrosophic TOPSIS Metodu	15
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	17
3.1. Önerilen Neutrosophic İzdüşüm Ölçüsü	17
3.2. Önerilen Neutrosophic Fark Ölçüsü	18
3.3. Önerilen Neutrosophic Olasılık Ölçüsü	20
3.4. Önerilen Neutrosophic TOPSIS Metodu	21
3.5. Sayısal Örnek	30
3.6. Tartışma ve Karşılaştırma Analizi	35
3.6.1. Tartışma Analizi	35
3.6.2. Karşılaştırma Analizi	36
3.7. Duyarlılık Analizi	37
3.7.1. Kriter Ağırlıklarındaki Değişimin Genel Sıralamaya Etkisi	37
3.7.2. (v, λ, φ) Risk Faktörlerinin Genel Sıralamaya Etkisi	38
4. SONUÇLAR	40
5. KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Alternatiflerin yakınlık katsayılarına göre sıralaması	36
Şekil 3.2. Duyarlılık analizinin sonuçları	38
Şekil 3.3. Alternatiflerin altı farklı senaryoya göre sıralaması.....	39

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Karar matrisleri	30
Tablo 3.2. Grup karar matrisi	32
Tablo 3.3. Ağırlıklı grup karar matrisi	32
Tablo 3.4. Farklı bilgi ölçütleri altında alternatiflerin göreceli yakınlık değerleri.....	35
Tablo 3.5. Bilgi ölçütlerine göre sonuçların karşılaştırılması	36
Tablo 3.6. Karar modellerine göre sonuçların karşılaştırılması	37
Tablo 3.7. Duyarlılık analizi ile altı farklı senaryonun değerlendirilmesi.....	38
Tablo 3.8. Farklı risk faktörü katsayılarının değerlendirilmesi	39

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci.
BK	: Bulanık Küme.
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme.
COPRAS	: Complex Proportional Assessment.
ELECTRE	: Elimination Et Choix Traduisant la Realité.
MultiMOORA	: The Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis plus Full Multiplicative Form.
NS	: Neutrosophic Sayı.
NİÇ	: Negatif İdeal Çözüm.
NNİD	: Neutrosophic Negatif İzdüşüm Değeri.
NPİD	: Neutrosophic Pozitif İzdüşüm Değeri.
PROMETHE	: Preference Ranking Organization Method.
PİÇ	: Pozitif İdeal Çözüm.
SBK	: Sezgisel Bulanık Küme.
TDNAO	: Tek Değerli Neutrosophic Aritmetik Ortalama.
TDNGO	: Tek Değerli Neutrosophic Geometrik Ortalama.
TDNK	: Tek Değerli Neutrosophic Küme.
TDNS	: Tek Değerli Neutrosophic Sayı.
ÇDNK	: Çok-Değerli Neutrosophic Küme.
TODIM	: An Acronym In Portuguese For Iterative Multicriteria Decision Making.
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution.
VIKOR	: Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje Resenje.
QUALIFLEX	: Qualitative Flexible Multiple Criteria.
$T_A(x)$: Üyelik Fonksiyonu.
$F_A(x)$: Non-üyelik Fonksiyonu.
$I_A(x)$: Tereddüt Fonksiyonu.
$D_V(A, B)$: Fark Ölçüsü.
$d_j(A^{p+}, A^{p-})$: Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümler Arasındaki Fark Ölçüsü.
w	: Kriter Ağırlık Vektörü.
ω	: Karar Verici Ağırlık Vektörü.

α	: Kriter Ağırlık Vektörü.
$p_i^+(A_i, A^+)$: Neutrosophic Pozitif İzdüşüm Değeri.
$p_i^-(A_i, A^-)$: Neutrosophic Negatif İzdüşüm Değeri.
CI	: Yakınlık İndeksi.
μ_i	: Neutrosophic İzdüşüm Ölçüsüne Göre Yakınlık Katsayısı.
δ_i	: Neutrosophic Fark Ölçüsüne Göre Yakınlık Katsayısı.
η_i	: Neutrosophic Olasılık Ölçüsüne Göre Yakınlık Katsayısı.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yaşamımızın her alanında birçok problem vardır ve bu problemlerin üstesinden gelmek için çeşitli fikirler ve çözümler üretmeye çalışırız. Ancak gerçek hayat problemlerinin belirsiz ve karmaşık olmasından dolayı birçok zorlukla karşılaşırız. Son zamanlarda teknolojinin hızla gelişmesi de alternatiflerin çok olduğu bir süreci ortaya çıkarmıştır. Alternatiflerin artışına bağlı olarak karar problemleri de artmaya başlamıştır. Bu problemlerin çözümünde en zor olanları karmaşık bilgiler içeren problemler olmaktadır. İnsanların günlük yaşamlarında veya iş hayatlarında karşılaştığı problemleri çabuk ve doğru bir biçimde çözmek karar alma sürecinde doğru bir yol izlemekle mümkündür. Karmaşıklık ve belirsizlik arttıkça karar verme hem zorlaşır hem de zaman alır. Bu belirsizlik içeren problemlerle başa çıkmak için birçok teori ortaya atılmıştır. Bu teorilerin başlıcaları klasik küme teorisi, bulanık küme teorisi, aralık matematiği, yaklaşımlı küme teorisi, olasılık teorisi ve esnek küme teorisidir. Bunlar arasında en güncel ve en yaygın uygulama alanına sahip olan ise bulanık küme teorisidir.

Cantor 1895 yılında klasik küme teorisini ortaya atmıştır. Bu teoriye göre, bir elemanın bir kümeye üye olması ve üye olmaması gibi iki farklı durum söz konusudur. Klasik kümeleri ifade etmek için karakteristik fonksiyonlar kullanılmaktadır. Üyelik derecelerine göre her bir elemana 1 ve 0 değerlerinden birini atayan fonksiyona karakteristik fonksiyon denir. Klasik kümelerde, A alt küme olacak şekilde bir X kümesindeki karakteristik fonksiyonu κ_A ile ifade edilmektedir. Karakteristik fonksiyonun buradaki işlevi X 'in elemanlarını $\{0,1\}$ kümesine götürmektir. Bu fonksiyonu,

$$\kappa_A: A \rightarrow \{0,1\} \text{ için } \forall x \in X, \kappa_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

şeklinde tanımlamak mümkündür. Klasik kümelerde bu ifade de görüldüğü gibi elemanlar A kümesine ait ise 1 değerini alırken, ait değilse 0 değerini alır. Böylece bir elemanın kümeye ait olup olmaması arasında kesin bir sınır vardır. Ancak bazen bir elemanın kümeye ait olup olmaması arasında kesin bir sınırın olmadığı durumlar olabilir. Böylelikle bu durumlar bir elemanın kümeye ne kadar ait olup olmadığı sorusunu akla getirir. Klasik kümelerle bu

durumu ifade etmek imkansız olduğundan, Zadeh 1965 yılında bulanık küme (BK) kavramını tanımlamıştır.

Bulanık kümeler gerçek hayat problemlerinde belirsizliklerin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmakta ve belirsiz kavramların daha kolay bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır. Bulanık kümelerde elemanların üyelik geçişi dereceli olmaktadır. Bir eleman eğer herhangi bir kümeye ait olacaksa, o elemanın o kümeye ait olma derecesi de söz konusu olmaktadır. Bu derecelendirme, bulanık kümelerin sınırlarına belirsizlik özelliği katmaktadır. Burada bu derecelendirmeyi ifade etmek için üyelik fonksiyonu kullanılır. $T_A(x)$ bir üyelik fonksiyonu olmak üzere, X boş olmayan bir küme için; X ' deki bir bulanık A alt kümesi;

$$A = \{\langle x, T_A(x) \rangle : x \in X\}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Atanassov (1986) bulanık kümelerdeki aitlik durumu için, eğer bir eleman bir kümeye ait ise, aynı elemanın o kümeye ait olmama durumu da sözkonusu olduğunu göstermiştir. Bulanık bir A kümesinde $T_A(x)$ üyelik derecesi, $1 - T_A(x)$ ise üye olmama derecesi olarak alınabilir. Örnek olarak 10 oturumlu bir oylama yapılmış olsun. Bu oylamada 7 kabul ve 3 ret oyu çıkabilir. Bu durumda oylamanın kabulü için üyelik derecesi 0.7 iken oylamanın reddi için de üye olmama derecesi 0.3 olur ve bu derecelerinin toplamı 1'dir. Ancak Atanassov bu oturumda 4 kabul oy ve 4 ret oyla beraber 2 de çekimser oy çıkması durumunda bulanık kümelerin bu örnekteki gibi problemlerin kullanımında yetersiz kaldığını belirtmiştir (Atanassov, 1999). Böylece, $1 - T_A(x)$ üye olmama derecesinin yerine, $F_A: X \rightarrow [0,1]$ non-üyelik(üye olmama) fonksiyonu olmak üzere bu iki üyelik derecelerinin toplamlarını $0 \leq T_A(x) + F_A(x) \leq 1$, yani $[0,1]$ aralığında alarak sezgisel bulanık kümeyi (SBK) tanımlamıştır. Sezgisel bulanık kümeler, bulanık kümelerin bir genellemesidir. Bu durumda sezgisel bulanık kümeler problemlerin çözümünde bulanık kümelere göre daha hassas bir çözüm sunmaktadır. Sezgisel bulanık kümelerin tanımında verilmeyen fakat çalışmalarda kullanılan tereddüt(belirsizlik) fonksiyonu $I_A(x) = 1 - (T_A(x) + F_A(x))$ şeklinde tanımlanmaktadır. Buradaki bu belirsizlik fonksiyonu $I_A(x)$, bir elemanın bir kümeye ait olup olmamasının belirsizlik derecesini vermektedir.

Sezgisel bulanık kümelerde üye olma, üye olmama ve belirsizlik fonksiyonlarının birbirine bağımlı olma durumları vardır. Yani üye olma derecesi, üye olmama derecesi ve belirsizlik dereceleri toplamı 1'dir. Ancak gerçek hayat problemlerinin farklı belirsizlik

durumları vardır. Örneğin bir yatırımcı döviz kurlarını inceleyip dövizde yatırım yapmayı düşünmektedir. Bu düşüncesinde, %80 istekli, %40 isteksiz ve %30'da kararsız kaldığını söyleyebilir. Bu durum bulanık kümelerle ve sezgisel bulanık kümelerle ifade edilemez. Bu durumun üstesinden gelmek için Smarandache (1998) belirsizlik fonksiyonunu bağımsız olarak tanımlayarak sezgisel bulanık kümelerin genel hali olan neutrosophic kümeleri (NK) tanımlamıştır. Sezgisel bulanık kümelerden farklı olarak neutrosophic kümelerde doğruluk üyelik derecesi $T_A(x)$, yanlışlık üyelik derecesi $F_A(x)$ ve belirsizlik üyelik derecesi $I_A(x)$ birbirinden bağımsız olarak tanımlanmıştır.

Neutrosophic kümeler ilk olarak felsefi anlamda standart olmayan aralıklarla tanımlanmıştır. Bu standart olmayan aralıklar bilimsel çalışmalarda ve mühendislik alanlarında uygulanması zor olduğundan ilk olarak Wang vd. (2005) standart olmayan aralıkları standart aralıklara indirgeyerek aralık değerli neutrosophic kümeleri (ADNK) tanımlamışlardır. Yine Wang vd. (2010) aralık değerleri tek değere indirgeyerek tek değerli neutrosophic kümeleri (TDNK) ifade etmişlerdir. TDNK'lerde üyelik fonksiyonları birbirinden bağımsız olmak üzere, doğruluk üyelik fonksiyonu $T_A(x) \in [0,1]$, yanlışlık üyelik fonksiyonu $F_A(x) \in [0,1]$ ve belirsizlik üyelik fonksiyonu $I_A(x) \in [0,1]$ olarak tanımlanmıştır ve bu üyelik fonksiyonlarının toplamı sezgisel bulanık kümelerdeki $[0,1]$ aralığının aksine $[0,3]$ aralığında değerler alır.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) kavramı son yıllardaki en hızlı büyüyen alanlardan biridir. Karar verme problemlerinde karar vericiler alternatifler arasından seçim yapmak ve genellikle kötü seçimleri en hızlı ve doğru bir şekilde elemek için bazı yöntemler kullanır. Bilgisayarların gelişmesiyle, karar verme yöntemleri de karar verme sürecinde hızla kabul görmeye başlamışlardır. Özellikle, ÇKKV kavramının yöneylem araştırmaları, işletme, iktisat, bankacılık, yapay zekâ ve tıp alanında kullanılması, bu alanda birçok metodun gelişmesini sağlamıştır. Yani gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin karmaşık ve belirsiz bilgiler içermesi yeni metotların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu zamana kadar çok sayıda ÇKKV metodu geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; ELECTRE (Roy, 1968), AHP (Saaty, 1980), TOPSIS (Hwang ve Yoon, 1981), TODIM (Gomes ve Lima, 1992), COPRAS (Zavadskas vd., 1994), PROMETHEE (Brans ve Vincke, 1985), VIKOR (Opricovic, 1998) ve MultiMOORA (Brauers ve Zavadskas, 2010)'dır. Bu metotlarla yapılan çalışmalardan bazıları; Tedarik zinciri (Wang vd., 2009), ekonomi (Zavadskas ve Turskis, 2011), stratejik planlama (Nasab ve Milani, 2012) olarak verilebilir.

Karar verme metotlarında benzerlik ve uzaklık ölçüsü, kesin bilgi içermeyen problemlerde verilerin birbirleriyle olan ilişkisini belirleyen, tıbbi teşhis ve örüntü tanıma problemlerinde sıklıkla kullanılan önemli araçlardandır. Benzerlik ve uzaklık ölçüsü gibi izdüşüm ölçüsü de verilerin birbirleriyle olan ilişkisini belirlemenin yanı sıra nesneler arasındaki açığı da ölçer. Genel olarak bu ölçüler nesnelerin benzerlik veya fark derecesini belirlemek için kullanılmaktadır.

Neutrosophic kümelerde benzerlik ve izdüşüm ölçüleri son zamanlarda araştırmacılar tarafından ilgi görmüştür. Bu ölçülerle birlikte fark ölçüsü de çok kriterli karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmanın birinci bölümünde genel bilgilerle birlikte bulanık küme, sezgisel bulanık küme, neutrosophic küme, izdüşüm ölçüsü, fark ölçüsü, tek değerli neutrosophic ağırlıklı ortalama (TDNAO) operatörü, tek değerli neutrosophic geometrik ortalama (TDNGO) operatörü ve TOPSIS metodu tanımları verilmiştir. İkinci bölümde neutrosophic izdüşüm ölçüsü, neutrosophic fark ölçüsü, neutrosophic olasılık ölçüsü ve neutrosophic TOPSIS metoduyla ilgili yapılan çalışmalar sunulmuştur. Üçüncü bölümde yeni bir neutrosophic izdüşüm ölçüsü, fark ölçüsü ve olasılık ölçüsü tanımlanarak genel özellikleri incelenmiştir ve geliştirilmiş TOPSIS metodu inşa edilmiştir. Bu elde edilen yeni tanımlar ile birlikte geliştirilen TOPSIS metodu kullanılarak dünyamızı etkisi altına alan COVID-19 salgınından korunma yöntemi olarak kabul görmüş maskelerin en idealini belirleme problemi çözülmüştür. Daha sonra bu sayısal uygulamanın sonuçları ele alınarak karşılaştırma analizi ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Son olarak dördüncü bölümde ise yapılan bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar değerlendirilerek bazı öneriler verilmiştir.

1.2. Temel Kavramlar

Tanım 1.2.1. (Zadeh, 1965) X boştan farklı bir küme ve $x \in X$ olsun. X evrensel kümesinin bir bulanık A kümesi, $T_A: X \rightarrow [0,1]$ üyelik fonksiyonu ile karakterize edilen

$$A = \{\langle x, T_A(x) \rangle | x \in X\} \quad (1.1)$$

şeklinde tanımlanır.

$T_A(x)$ değeri x 'in A kümesine üye olma derecesidir. Bir elemanın üyelik derecesi $T_A(x) = 1$ olması demek, o elemanın kümeye tamamen ait olduğunu gösterir. Eğer $T_A(x) = 0$ ise o elemanın kümeye ait olmadığının göstergesidir. Üyelik derecesi 0 ile 1 arasında olan elemana bulanık kümenin kısmi üyesi denir.

Tanım 1.2.2. (Atanassov, 1986) X boştan farklı bir küme ve $x \in X$ olsun. X üzerinde bir sezgisel bulanık A kümesi, $T_A: X \rightarrow [0,1]$ üyelik fonksiyonu ve $F_A: X \rightarrow [0,1]$ non-üyelik (üye olamama) fonksiyonu olmak üzere $0 \leq T_A(x) + F_A(x) \leq 1$ koşulunu sağlayan

$$A = \{\langle x, T_A(x), F_A(x) \rangle | x \in X\} \quad (1.2)$$

şeklinde tanımlanır.

Sezgisel bulanık kümeler bir elemanın kümeye üye olma ve üye olmama derecesiyle ifade edilir. Üyelik derecesi ile üye olmama derecesinin toplamı 1'den küçük olabilir. Böyle olduğu zamanlarda $I_A = 1 - (T_A + F_A)$ değeri ortaya çıkar ve bu durum belirsizlik derecesini ifade eder. Burada I_A değeri küçükse x elemanı hakkındaki bilgi daha kesin, büyükse daha belirsizdir. $F_A = 1 - T_A$ olması halinde, yani $I_A = 0$ olması, sezgisel bulanık kümenin Zadeh (1965) tarafından tanımlanan bulanık kümeye indirgenmesi anlamına gelir.

Tanım 1.2.3. (Smarandache, 1998) X boştan farklı bir küme ve x, X kümesinin bir elemanı olsun. X üzerindeki bir A neutrosophic kümesi, $T_A: X \rightarrow]0^-, 1^+[$ üyelik fonksiyonu, $F_A: X \rightarrow]0^-, 1^+[$ üye olmama fonksiyonu ve $I_A: X \rightarrow]0^-, 1^+[$ belirsizlik fonksiyonu olmak üzere $0^- \leq \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \leq 3^+$ şartını sağlayan

$$A = \{\langle x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle | x \in X\}$$

şeklinde tanımlanır.

Neutrosophic kümeleri sezgisel bulanık kümelerden ayıran en büyük fark belirsizlik değerinin üyelik ve non-üyelik değerlerinden bağımsız olarak tanımlanmasıdır. Neutrosophic küme kavramı ilk olarak filozofik bir kavram olarak ortaya çıktığından üyelik dereceleri standart olmayan aralıklar $]0^-, 1^+[$ ile tanımlanmıştır. Ancak standart olmayan aralıklar gerçek hayat problemlerinin çözümünde zorluk çıkardığından, Wang vd. (2010) neutrosophic kümelerin bir alt sınıfı olan tek değerli neutrosophic kümeleri tanımlamışlardır.

Tanım 1.2.4. (Wang ve vd., 2010) X boştan farklı bir küme ve x , X kümesinin bir elemanı olsun. X üzerinde bir A tek değerli neutrosophic kümesi; üyelik fonksiyonu T_A , belirsizlik fonksiyonu I_A ve üye olmama fonksiyonu F_A ile karakterize edilir. X 'teki her x noktası için $T_A(x), I_A(x), F_A(x) \in [0,1]$ olmak üzere;

$$A = \{\langle x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle : x \in X\} \quad (1.3)$$

şeklinde tanımlanır.

Bir tek değerli neutrosophic sayı (TDNS) ise, $A = (T_A, I_A, F_A)$ şeklinde ifade edilir.

$A = \{\langle x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle : x \in X\}$ bir TDNK olsun. Bu A kümesinin tümleyeni

$$A^c = \{\langle x, F_A(x), 1 - I_A(x), T_A(x) \rangle : x \in X\} \quad (1.4)$$

şeklinde tanımlanır.

İzdüşüm ölçüsü iki nesne arasındaki benzerliği ölçmek için kullanılmaktadır.

Tanım 1.2.5. A ve B ($A \neq B$) iki küme ve $\dot{I}ZD_B(A)$; A kümesinin B kümesi üzerine izdüşümü olmak üzere,

- ✓ $0 \leq \dot{I}ZD_B(A) \leq 1$,
- ✓ $\dot{I}ZD_B(A) < \dot{I}ZD_B(B)$,
- ✓ $\dot{I}ZD_B(A) = 1$ ise $A = B$,
- ✓ $\dot{I}ZD_B(A) = \dot{I}ZD_A(B)$ 'dir.

Tanım 1.2.6. (Tian ve vd., 2019) $A = (A(x_1), A(x_2), \dots, A(x_n))$ ve $B = (B(x_1), B(x_2), \dots, B(x_n))$, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ evrensel kümesi üzerinde iki TDNK olsun. O halde A 'nın B üzerine tek değerli neutrosophic izdüşümü;

$$\begin{aligned} \dot{I}ZD_B(A) &= \|A\| \cos_{TDNK}(A, B) = \frac{AB}{\|B\|} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (T_A(x_i)T_B(x_i) + (1 - I_A(x_i))(1 - I_B(x_i)) + (1 - F_A(x_i))(1 - F_B(x_i)))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_B(x_i)^2 + (1 - I_B(x_i))^2 + (1 - F_B(x_i))^2)}} \end{aligned} \quad (1.5)$$

şeklinde tanımlanır.

Ancak yukarıda verilen izdüşüm ölçüsü istenilen bazı şartları sağlamamaktadır.

Örnek 1.2.1. $A = \{\langle 1,0,0 \rangle, \langle 0,1,1 \rangle\}$ ve $B = \{\langle 0.1,0.5,0.4 \rangle, \langle 0.4,0.5,0.6 \rangle\}$ iki TDNK olsun. O halde (1.5) denkleminden $\dot{I}ZD_B(B) = 1.090871$ ve $\dot{I}ZD_A(A) = 1.732051$ bulunur. Buradan (1.5) denkleminin her zaman $0 \leq \dot{I}ZD_B(A) \leq 1$ koşulunu sağlamadığı açıkça görülür.

Yine $A = \{\langle 1,0.3,0.3 \rangle, \langle 0.8,0.7,0.6 \rangle\}$ ve $B = \{\langle 0.1,0.5,0.4 \rangle, \langle 0.4,0.5,0.6 \rangle\}$ iki TDNK olsun. Denklem (1.5) uygulanırsa, $\dot{I}ZD_B(A) = 1.112$ ve $\dot{I}ZD_B(B) = 1$ bulunur. Bu ise B 'nin A 'ya B 'den çok daha yakın olduğu anlamına gelirki bu durum (1.5) denkleminin iyi tanımlanmadığını gösterir.

Fark ölçüsü iki nesne arasındaki farkı ölçmek için kullanılmaktadır.

Tanım 1.2.7. A ve B ($A \neq B$) iki küme ve $D(A|B)$; A ve B arasındaki bir fark ölçüsü olmak üzere;

- ✓ $D(A|B) \geq 0$,
- ✓ $D(A|B) = D(B|A)$,
- ✓ $D(A|B) = 0$ ise $A = B$,
- ✓ $D(A|B) = D(A^c|B^c)$ dir.

Tanım 1.2.8. (Nancy ve Garg, 2019) $A = \{\langle x_j, T_A(x_j), I_A(x_j), F_A(x_j) \rangle : x_j \in X\}$ ve $B = \{\langle x_j, T_B(x_j), I_B(x_j), F_B(x_j) \rangle : x_j \in X\}$ iki TDNK olsun. A ve B arasındaki fark ölçüsü

$$D_{NG}(A|B)$$

$$= \frac{1}{n(\sqrt{2} - 1)} \sum_{j=1}^n \left[\left(\sqrt{\frac{(T_A(x_j))^2 + (T_B(x_j))^2}{2}} - \frac{(T_A(x_j) + (T_B(x_j))}{2} \right) + \left(\sqrt{\frac{(I_A(x_j))^2 + (I_B(x_j))^2}{2}} - \frac{(I_A(x_j) + (I_B(x_j))}{2} \right) + \left(\sqrt{\frac{(F_A(x_j))^2 + (F_B(x_j))^2}{2}} - \frac{(F_A(x_j) + (F_B(x_j))}{2} \right) \right] \quad (1.6)$$

şeklinde tanımlanır.

Benzerlik ölçüsüne benzer şekilde uygulamalarda çok sık kullanılan fark ölçüsü de bazı özelliklere sahip olması gerekir. $A = \{\langle 1,0.3,0.3 \rangle, \langle 0.8,0.7,0.6 \rangle\}$ ve $B =$

$\{\langle 0.1, 0.5, 0.4 \rangle, \langle 0.4, 0.5, 0.6 \rangle\}$ iki TDNK olsun. Denklem (1.6)'da yerine yazılırsa, $D_{NG}(A|B) \neq D_{NG}(A^c, B^c)$ bulunur. Dolayısıyla $D_{NG}(A|B)$ bir fark ölçüsü tanımındaki dördüncü özelliği sağlamaz.

Tanım 1.2.9. (Şahin ve Yiğider, 2014) $A_k (k = 1, 2, \dots, n)$ TDNK 'lerin bir kümesi olsun. $w_k \in [0, 1]$ ve $\sum_{k=1}^n w_k = 1$, $A_k (k = 1, 2, \dots, n)$ 'nın ağırlık vektörü olmak üzere tek değerli neutrosophic aritmetik ortalama (TDNAO) operatörü;

$$TDNAO = (A_1, A_2, \dots, A_n) = \sum_{k=1}^n w_k A_k$$

$$= \left(1 - \prod_{k=1}^n (1 - T_{A_k}(x))^{w_k}, \prod_{k=1}^n (I_{A_k}(x))^{w_k}, \prod_{k=1}^n (F_{A_k}(x))^{w_k} \right) \quad (1.7)$$

şeklinde tanımlanır.

Benzer şekilde, tek değerli neutrosophic geometrik ortalama (TDNGO) operatörü aşağıdaki şekilde tanımlanır.

Tanım 1.2.10. (Şahin ve Yiğider, 2014) $A_k (k = 1, 2, \dots, n)$ TDNK 'lerin bir elemanı olsun. $w_k \in [0, 1]$ ve $\sum_{k=1}^n w_k = 1$, $A_k (k = 1, 2, \dots, n)$ 'nın TDNGO operatörü,

$$TDNGO = (A_1, A_2, \dots, A_n) = \sum_{k=1}^n A_k^{w_k}$$

$$= \left(\prod_{k=1}^n (T_{A_k}(x))^{w_k}, 1 - \prod_{k=1}^n (1 - I_{A_k}(x))^{w_k}, 1 - \prod_{k=1}^n (1 - F_{A_k}(x))^{w_k} \right) \quad (1.8)$$

şeklinde tanımlanır.

1.3. TOPSIS Metodu

Gerçek hayat problemleri için vereceğimiz kararlarda ve hatta kişisel kararlarımızda birden fazla amaç ve hedef doğrultusunda hareket ederiz. Örneğin bir inşaat firması bina inşa ederken maliyet, karlılık, güvenlik, çevre düzenlemesi vb. kriteri dikkate alır.

TOPSIS, alternatifler arasından en iyisini seçmek için 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş çok amaçlı karar verme metotlarından birisidir. Karmaşık matematiksel modeller içermeyen oldukça basit bir yöntemdir. Uygulanmasının kolay olması sebebiyle karar verme problemlerinde en sık kullanılan yöntemlerin başında gelir. Tedarik zinciri yöntemi, tedarikçi seçimi, lojistik, işletme ve pazarlama uygulamaları, insan kaynakları yönetimi, mühendislik, üretim sistemleri, finansal uygulamalar, enerji yönetimi vb. uygulama alanlarında kullanılır.

Sınırlı sayıda alternatifi sıralamak ve en ideal olanı seçmek için geliştirilen TOPSIS mesafe ölçülerini kullanır. Alternatifler arasından seçilen alternatifin pozitif ideal çözüm (PİÇ)'den en kısa mesafeye ve negatif ideal çözüm (NİÇ)'den en uzak mesafeye sahip olması ilkesine dayanmaktadır.

Klasik TOPSIS'in adımları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

- ✓ m alternatifinin n kriter gere değ erlendirildiğ i bir karar matrisi tanımlanır.
- ✓ Kriterlerin her biri için önem ağı rlığ ını g österen ağı rlık vektörü belirlenir.
- ✓ Tüm alternatifler arasında en iyi ideal alternatif ve en kötü alternatif seçilir.
- ✓ Tüm kriterler altında, her bir alternatifin ağı rlıklı mesafe ölç ümleri, hem en ideal alternatif hem de en kötü alternatife göre hesaplanır.
- ✓ Her bir alternatif için en kötü alternatif ile en iyi alternatif arasındaki mesafelerle yakı nlı k katsayısı belirlenir.
- ✓ Alternatifler g öreceli yakı nlı k katsayılarının azalan sı rasına göre sı ralanır ve yakı nlı k katsayısı büyük olan alternatif en ideal alternatif olarak alınır.

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması.

Karar vericinin alternatiflerin kriterlere göre değ erlerini g österen bir karar matrisi oluşturulur. Bu matris m alternatif ve n kriter için

$$A_{mn} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

ş eklinde tanımlanır.

Burada $A_i (i = 1 \dots m)$ alternatifleri ve $C_j (j = 1 \dots n)$ 'de kriterleri g östermektedir.

Adım 2: Karar Matrisinin Normalize Edilmesi.

Karar matrisini oluşturan değerler birbirinden bağımsız ve nicelik olarak farklı olabileceği için bu değerlerin ölçülebilir bir aralığa dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için, normalleştirilmiş karar matrisi $i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$ için

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (1.10)$$

olmak üzere, $R_{mn} = (r_{ij})$ şeklinde tanımlanır.

Adım 3: Ağırlıklandırılmış Normalize Matrisin Elde Edilmesi

Her bir kriterin önemi göz önüne alınarak kriterlere $[0,1]$ arasında değerler verilerek ağırlıklandırılır. Burada önemli olan husus kriter ağırlıklarının toplamının 1 olmasıdır. $w_j = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ağırlık vektörü ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olmak üzere ağırlıklandırılmış normalize matris, $V = (r_{ij}w_j)_{mn} = (V_{ij})_{mn}$ olarak tanımlanır ve

$$V = R * w_j = \begin{bmatrix} r_{11}w_1 & \cdots & r_{1n}w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1}w_1 & \cdots & r_{mn}w_n \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

şeklinde oluşturulur.

Adım 4: Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerinin Elde Edilmesi.

Karar verme problemlerinde genellikle kriterler iki farklı şekilde tanımlanır.

Bunlar;

- Fayda kriterleri (ürün kalitesi, teslim hızı, verim vb.)
- Zarar kriterleri (fiyat, risk zaman vb.)'dir.

Fayda kriterleri J^+ ve zarar kriterleri J^- olmak üzere

$$v_j^+ = \begin{cases} j \in J^+ \text{ ise } \max_i v_{ij} \\ j \in J^- \text{ ise } \min_i v_{ij} \end{cases} \text{ için } A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+), \text{ pozitif ideal çözüm}$$

$$v_j^- = \begin{cases} j \in J^+ \text{ ise } \min_i \{v_{ij}\} \\ j \in J^- \text{ ise } \max_i v_{ij} \end{cases} \text{ için } A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-), \text{ negatif ideal çözüm}$$

şeklinde elde edilir.

Adım 5: Alternatiflerin Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Alternatiflere Olan Uzaklık Değerlerinin Elde Edilmesi.

Her bir alternatif değerinin her bir kriter altında negatif ve pozitif ideal çözümlere olan uzaklıkları $i = 1, 2, \dots, m$ için,

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \text{ ve } S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (1.12)$$

formülleri ile hesaplanır.

Adım 6: Alternatiflerin Göreceli Yakınlık Değerlerinin Hesaplanması

Adım 5'te bulunan değerler kullanılarak, her bir alternatifin ideal çözüme yakınlığı

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, \quad 0 < C_i^+ < 1 \quad (1.13)$$

ile hesaplanır.

C_i^+ değerlerinin 1'e yakınlığına göre sıralama yapılır ve 1'e yakın alternatif en ideal alternatif olarak belirlenir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Neutrosophic kümeler bulanık kümelerin genel hali olduğundan bu bölümde tez çalışmasına yardımcı olacak çalışmalar hakkında verilen bilgiler tez çalışmamıza katkı sağlayacaktır.

Smarandache (1999) tarafından ortaya atılan neutrosophic mantık; mantıksal bilgi, küme teorisi, felsefe ve olasılığı ilişkilendiren bir felsefe dalıdır. Neutrosophic kümelerin yapısı, gerçek hayat problemlerinin çözümünde kullanmak için uygun değildir. Bu nedenle Wang vd. (2005, 2010) neutrosophic kümelerin özel durumu olan tek değerli neutrosophic kümeleri (TDNK) ve aralık değerli neutrosophic kümeleri (ADNK) ortaya atmışlardır. Tek değerli neutrosophic kümelerde Majumdar ve Samanta (2014) uzaklık tabanlı ve üyelik değeri tabanlı benzerlik ölçüleri tanımlamışlardır. Ye (2014a) vektör tabanlı benzerlik ölçülerini tanımlayarak bu ölçüleri yatırım problemlerine uygulamıştır. Daha sonra, Ye ve Fu (2016) tarafından geliştirilen tanjant benzerlik ölçüsünü tıbbi teşhis problemi çözümünde kullanılmıştır. Kotanjant benzerlik ölçüsünü Ye (2017a) tarafından buhar türbini problemine uygulanmıştır. Mondal vd. (2018) logaritmik benzerlik ölçülerini literatüre kazandırmışlardır. Son zamanlarda, Sahzadi vd. (2019) tek değerli neutrosophic kümelerde yeni bir mesafe ölçüsü tanımlayarak tıbbi tanı algoritması geliştirmişlerdir.

Majumdar ve Samanta (2014), TDNK'ler için entropi ölçüsünü tanımlayarak bazı özelliklerini sunmuşlardır. Aydoğdu (2015a, 2015b) TDNK'ler ve ADNK'ler için iki yeni benzerlik ve entropi ölçüsü tanımlamıştır. Ye ve Du (2019) ADNK tabanlı karar verme için mesafe, benzerlik ve entropi ölçülerini önermişlerdir. Ye (2013) TDNK'ler altında çok kriterli bir karar verme yöntemini oluşturmuştur. Ye (2015a) TDNK'ler ve ADNK'ler için çapraz entropiyi tanıtmıştır ve ÇKKV yöntemlerini vermiştir. Tian vd. (2016) ADNK'ler altında bir ÇKKV yöntemi önermiştir. Şahin (2017) ADNK'lerin çapraz entropi ölçümünü oluşturmuştur ve ADNK'ler altında ÇKKV yöntemlerini tanıtmıştır. Peng ve Dai (2020) (1998-2017) aralığında yayınlanan neutrosophic ile ilgili araştırmaların bir analizini vermişlerdir.

Ortalama operatörleri giderek daha fazla ilgi gören ilginç ve önemli bir araştırma konusudur. Yager (2001) ağırlıklandırma vektörlerinin giriş verilerine bağlı olduğunu ve değerlerin birbirini desteklemek ve güçlendirmek için kaynaşmasına izin veren bir güç

ortalama operatörü önermiştir. Xu ve Yager (2010) belirsiz güç sıralı ağırlıklı geometrik operatör geliştirmişlerdir. Xu (2011) sezgisel bulanık sayıları toplamak için bir dizi ortalama operatörü geliştirdi. Zhou vd. (2012) genelleştirilmiş ağırlıklı bir ortalama operatörünü sunmuşlardır. Neutrosophic kümelerde, uzaklık, benzerlik ve korelasyon katsayıları konularında (Broumi ve Smarandache, 2013; Huang, 2016; Karaaslan, 2017; Şahin ve Küçük, 2014, 2015; Şahin ve Liu, 2016, 2017; Ye, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2015b), ortalama operatörleri (Liu ve Wang, 2014; Peng vd., 2015; Liu ve Luo, 2016; Liu ve Tang, 2016; Liu ve You, 2019), entropiler (Biswas vd., 2014; Ye, 2014e, 2015a; Şahin, 2017) ve karar verme problemleri (Biswas vd., 2016; Şahin ve Liu, 2016; Bolturk ve Kahraman, 2018; Karaşan ve Kahraman, 2018) bazı önemli çalışmalar yapılmıştır.

Neutrosophic kümeler birçok ÇKKV metotlarına uygulanmıştır. Chi ve Liu (2013) aralık değerli neutrosophic TOPSIS metodunu, Peng vd. (2014) basitleştirilmiş neutrosophic ELECTRE metodunu, Bausys ve Zavadskas (2015) aralık değerli neutrosophic VIKOR metodunu, Bausys vd. (2015) tek değerli neutrosophic COPRAS metodunu, Wang ve Liu (2016) aralık değerli neutrosophic PROMETHEE metodunu, Wang ve Li (2015) ile Xu vd. (2017) neutrosophic TODIM metodunu ve Stanujkic vd. (2017) tek değerli neutrosophic MultiMOORA metodunu geliştirerek literatüre kazandırmışlardır.

2.1. Neutrosophic İzdüşüm Ölçüsü

İzdüşüm ölçüsü, karar verme problemlerinde kullanılan avantajlı bir araçtır. Çünkü sadece mesafe değil, aynı zamanda değerlendirilen nesneler arasındaki açıyı da ölçer (Yue, 2012; Yue ve Jia, 2017). Xu ve Hu (2010) izdüşüm ölçüsünü sezgisel ve aralık değerli sezgisel bulanık kümeler ile bir çok kriterli karar verme problemlerine uygulamışlardır. Xu ve Cai (2012) sezgisel bulanık kümelerde çok kriterli karar verme problemlerini izdüşüm ölçüsü yaklaşımı ile sunmuşlardır. Yue (2013) ve Zeng vd. (2013) grup karar verme problemleri için izdüşüm ölçüsünü geliştirmişlerdir ve aralık değerli sezgisel bulanık kümelere uygulamışlardır. Yue ve Jia (2015) sezgisel bulanık kümelerde bir izdüşüm ölçüsü ileri sürerek bir grup karar verme problemini ele almışlardır.

Chen ve Ye (2016) neutrosophic sayılarda izdüşüm ölçüsünü inşaat sektöründe kilitli seçimde kullanmıştır. Ye (2017b) izdüşüm ölçüsü ile tek değerli neutrosophic kümelerin ve mekanik tasarım için karar verme yöntemi kullanarak delme makinesinin tasarım şemaları üzerine karar verme örneğini yapmıştır. Hu vd. (2017) aralıklı neutrosophic

izdüşüm ölçüsü tabanlı VIKOR yöntemini kullanarak doktor seçimi yapmışlardır. Pramanik vd. (2017) çift yönlü neutrosophic izdüşüm ölçüsü tabanlı karar verme problemi ile bir müşterinin bir araba almak için alternatifler arasından en iyisini seçme çalışması yapmışlardır. Yong ve Ye (2019) çalışmalarında neutrosophic kümelerde izdüşüm ölçüsünü kullanarak en iyi yatırım şirketinin hangisi olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Liu ve You (2019) dilsel neutrosophic sayıların çift yönlü izdüşüm ölçüsü ile çok kriterli bir grup karar verme problemi çözmüşlerdir.

2.2. Neutrosophic Fark Ölçüsü

Montes vd. (2002) bulanık kümelerde fark ölçüsünü inceleyip fark ölçüsünün bazı özelliklerini sunmuşlardır. Montes vd. (2011) fark ölçüsünün sezgisel bulanık kümelerde farklı bir tanımını yaparak fark ölçüsü olma özelliklerini göstermişlerdir. Montes vd. (2015) sezgisel bulanık kümelerde fark ölçüsünün bazı özelliklerini incelemişlerdir. Srivastava ve Maheshwari (2016) sezgisel bulanık kümelerde yeni bir fark ölçüsü tanımlayarak tıbbi teşhis problemine uygulamışlardır. Mishra vd. (2017) sezgisel bulanık kümelerde fark ölçüsüne dayalı çok kriterli karar verme yöntemini kullanarak gerçek hayatta bir şehir için en uygun enerji alternatifini seçme çalışması yapmışlardır. Ju vd. (2019) sezgisel bulanık kümlerde fark ölçüsüne dayalı mesafe ölçüsünü inovasyon yönteminin karar verme probleminde kullanmışlardır.

Neutrosophic kümelerde fark ölçüsü örüntü tanıma, tıbbi tanı, mantıksal akıl yürütme vb. gibi alanlarda ve çok kriterli karar verme problemlerinin birçoğunda uygulanmaktadır. Thao ve Smarandache (2018) neutrosophic kümelerin fark ölçüsü ve uygulamaları kullanarak fark ölçülerinin tıbbi tanı ve sınıflandırma probleminde nasıl uygulanacağını göstermişlerdir. Nancy ve Garg (2019) tek değerli neutrosophic kümelerde yeni bir fark ölçüsü ile çok kriterli karar verme için TOPSIS metodunu kullanarak bir seyahat acentesinin turistlere seyahatle ilgili en iyi hizmetin sunulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Guleria vd. (2019) neutrosophic kümelerin parametrik fark ölçüsü ile tıbbi teşhis üzerine çalışma yapmışlardır. Song ve Deng (2019) inanç fonksiyonunun fark ölçüsü ve veri füzyonunda uygulaması üzerine yeni bir fark ölçüsü önermişlerdir. Thao vd. (2019) çok kriterli karar verme için yeni bir fark ölçüsü algoritmasıyla sayısal uygulamalar yapmışlardır.

2.3. Neutrosophic Olasılık Ölçüsü

Karmaşıklık ve belirsizlik içeren günlük hayat problemlerinin çözümünde benzerlik ölçüsü, fark ölçüsü gibi olasılık ölçüsü de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, karar vericiler, TDNK'lerde her bir parametre için değerlendirme verilerini ifade ederken de tereddüt edebilirler. Örneğin, bir ifadenin doğru olma olasılığı 0,6 veya 0,7 ise, yanlış olma olasılığı 0,2 veya 0,3 ve emin olmama derecesi 0,1 veya 0,2 olabilir. Bu durum TDNK ile ifade edilemez. Dolayısıyla Wang ve Li (2015) bu durumun üstesinden gelmek için çok-değerli neutrosophic kümeler (ÇDNK) kavramını ortaya atmıştır. Son zamanlarda Peng vd. (2016) alternatiflerin değerlendirmelerinin ÇDNK'ler ile yapıldığı bir ÇKKV problemlerini çözmek için olasılığa dayalı genişletilmiş bir QUALIFLEX yaklaşımı önermişlerdir. Yine, Peng ve vd. (2018) olasılıklı çok-değerli neutrosophic kümeleri (OÇDNK) tanımlayarak karar verme problemi için entropi tabanlı QUALIFLEX yöntemini amaçlamıştır. OÇDNK yardımıyla karar vericilerin tereddütleri birden fazla değerlendirme verisiyle gösterilebilir ve olasılık dağılımı ile karar vericilerin tercihi yansıtılabilir. Bu nedenle, OÇDNK'nin karmaşık ve belirsiz bilgiyi ifade etme konusunda avantajları vardır.

2.4. Neutrosophic TOPSIS Metodu

TOPSIS metodu 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen bir metottur. Bu metod ÇKKV yöntemlerinden en çok tercih edilen metotlardan biridir. ÇKKV yöntemleri kullanılarak bir çok çalışma yapılmıştır. Şahin ve Yiğider (2014) tedarikçi seçimi için çok kriterli neutrosophic grup karar verme metoduna dayalı TOPSIS kullanılarak bir üretim endüstrisinde tedarikçi seçimi çalışması yapmışlardır. Nabadan ve Dzitac (2016) neutrosophic TOPSIS metodunu özel olarak inceleyip, tedarikçi seçimi, sürdürülebilir enerji, işletme ve pazarlama yönetimi, insan kaynakları yönetimi vb. gibi çok çeşitli uygulama çalışması yapmışlardır. Toptancı vd. (2018) neutrosophic AHP ve neutrosophic TOPSIS bütünleşik modeli ile personel seçiminde bir uygulama yapmışlardır. Bu çalışmada bir maden işletmesinde alınacak olan iş güvenliği uzmanına karar verilebilmesi için adaylar arasından personel seçimi yapmışlardır. Abdel-Basset vd. (2018) bir hibrid neutrosophic grup ANP-TOPSIS yönetimi ile tedarikçi seçimi sorunlarına yönelik bir sürdürülebilir tedarikçi seçim problemi çözmüşlerdir. Nabeeh vd. (2019) bir neutrosophic TOPSIS yaklaşımı ile personel seçimine uygulanması çalışmasını yapmışlardır. Abdel-Basset vd.

(2019) neutrosophic TOPSIS'e dayalı bir grup karar verme çalışması yapmışlardır. Nancy ve Garg (2019) tek değerli neutrosophic kümeler için fark ölçüsünün aksiyomatik bir tanımını sunmuşlardır ve TOPSIS yöntemine uygulamışlardır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yeni bir neutrosophic izdüşüm ölçüsü, neutrosophic fark ölçüsü ve neutrosophic olasılık ölçüsü tanımlanarak bazı özellikleri incelenmiştir. Daha sonra bu ölçüler kullanılarak yeni neutrosophic TOPSIS metodu inşa edilmiştir.

3.1. Önerilen Neutrosophic İzdüşüm Ölçüsü

Yue (2019) aralık ve sezgisel bulanık sayılar için yeni bir izdüşüm ölçüsü tanımlamıştır. Tanım 1.2.6.'da bahsedilen sorunların üstesinden gelmek için, Yue (2019) tarafından aralık ve sezgisel bulanık sayılar için tanımlanan izdüşüm ölçüsü TDNK'lere genişletilmiştir.

Tanım 3.1.1. $A = (A(x_1), A(x_2), \dots, A(x_n))$ ve $B = (B(x_1), B(x_2), \dots, B(x_n))$, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ evrensel kümesinde iki TDNK olsun. A ve B arasındaki iç çarpım

$$AB = \left(\sum_{i=1}^n \left(T_A(x_i)T_B(x_i) + (1 - I_A(x_i))(1 - I_B(x_i)) + (1 - F_A(x_i))(1 - F_B(x_i)) \right) \right),$$

ve A ve B 'nin modülleri sırasıyla

$$|A| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(T_A(x_i)^2 + (1 - I_A(x_i))^2 + (1 - F_A(x_i))^2 \right)},$$

$$|B| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(T_B(x_i)^2 + (1 - I_B(x_i))^2 + (1 - F_B(x_i))^2 \right)}$$

olmak üzere;

A 'nın B üzerindeki neutrosophic izdüşümü

$$NIZD_B(A) = \frac{\frac{AB}{|A|^2} + \frac{AB}{|B|^2}}{\frac{AB}{|A|^2} + \frac{AB}{|B|^2} + \left| 1 - \frac{AB}{|B|^2} \right|} \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanır.

Denklem (3.1)'in $0 \leq N\dot{I}ZD_B(A) \leq 1$ koşulunu karşıladığı açıktır.

Örnek 3.1.1. Örnek 1.2.5'te verilen kümeler için $N\dot{I}ZD_B(A) = 0.986218$ ve $N\dot{I}ZD_B(B) = 1$ elde edilir. Buradan $N\dot{I}ZD_B(A) < N\dot{I}ZD_B(B)$ 'nin, yani B 'nin B 'ye A 'dan çok daha yakın olduğu görülebilir. Yani B 'nin kendisine A 'dan daha yakın olduğu açıktır.

Öte yandan $A = \{\langle 1,0,0 \rangle, \langle 0,1,1 \rangle\}$ ve $B = \{\langle 0.1,0.5,0.4 \rangle, \langle 0.4,0.5,0.6 \rangle\}$ için $N\dot{I}ZD_B(B) = 1$ ve $N\dot{I}ZD_A(A) = 1$ olur. Böylece Denklem (3.1)'in $0 \leq N\dot{I}ZD_B(A) \leq 1$ koşulunu sağladığı açıktır.

3.2. Önerilen Neutrosophic Fark Ölçüsü

Tanım 3.2.1. A ve B iki TDNK olsun. $A = \{\langle x_j, T_A(x_j), I_A(x_j), F_A(x_j) \rangle : x_j \in X\}$, $B = \{\langle x_j, T_B(x_j), I_B(x_j), F_B(x_j) \rangle : x_j \in X\}$ olmak üzere

$D(A, B)$

$$= \frac{1}{4n(2 - 2e^{-1})} \sum_{j=1}^n \left[\begin{aligned} & \left(2 - (1 - T_A(x_j) + T_B(x_j)) e^{T_A(x_j) - T_B(x_j)} - (1 - T_B(x_j) + T_A(x_j)) e^{T_B(x_j) - T_A(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - F_A(x_j) + F_B(x_j)) e^{F_A(x_j) - F_B(x_j)} - (1 - F_B(x_j) + F_A(x_j)) e^{F_B(x_j) - F_A(x_j)} \right) \end{aligned} \right] \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanan $D(A, B)$, A ve B arasında bir fark ölçüsüdür.

Teorem 3.2.1. $\varphi(X)$, X üzerinde tanımlı bütün TDNK'lerin bir ailesi olsun. O halde A ve B iki TDNK olmak üzere, $D: \varphi(X) \times \varphi(X) \rightarrow \mathbb{R}^+$ için Tanım 3.2.1'de verilen $D(A, B)$ fark ölçüsü aşağıdaki aksiyomları sağlar.

$$(1) D(A, B) \geq 0,$$

$$(2) D(A, B) = D(B, A),$$

$$(3) D(A, B) = 0, \text{ ise } A = B,$$

$$(4) D(A, B) = D(A^c, B^c). \quad (3.3)$$

İspat: (1) Fan ve Xie (1999) tarafından geliştirilen yaklaşım, bulanık kümelerden tek değerli neutrosophic kümelere aşağıdaki şekilde genişletilebilir.

$f(a) = 2 - (1 - a)e^a - (1 + a)e^{-a}$ fonksiyonu için $[-1, 1]$ aralığında, $\max f(a) = 2 - 2e^{-1}$ ve $\min f(a) = 0$. $f(a)$ dır. O halde

$$D(A, B) = \sum_{j=1}^n \left[\begin{aligned} & \left(2 - (1 - T_A(x_j) + T_B(x_j)) e^{T_A(x_j) - T_B(x_j)} - (1 - T_B(x_j) + T_A(x_j)) e^{T_B(x_j) - T_A(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - F_A(x_j) + F_B(x_j)) e^{F_A(x_j) - F_B(x_j)} - (1 - F_B(x_j) + F_A(x_j)) e^{F_B(x_j) - F_A(x_j)} \right) \end{aligned} \right]$$

bulunur.

Böylece $0 \leq D(A, B) \leq 4n(2 - 2e^{-1})$ ve $0 \leq D(A, B) \leq 1$ elde edilir.

(2) (3.2) denkleminde açıkça görülmektedir.

(3) Her j için $A = B$, yani $T_A(x_j) = T_B(x_j)$, $I_A(x_j) = I_B(x_j)$ ve $F_A(x_j) = F_B(x_j)$ olduğunu varsayalım. O halde

$$D(A, B)$$

$$= \frac{1}{4n(2 - 2e^{-1})} \sum_{j=1}^n \left[\begin{aligned} & \left(2 - (1 - T_A(x_j) + T_B(x_j)) e^{T_A(x_j) - T_A(x_j)} - (1 - T_B(x_j) + T_A(x_j)) e^{T_A(x_j) - T_A(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_A(x_j)} - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_A(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_A(x_j)} - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_A(x_j)} \right) \\ & + \left(2 - (1 - F_A(x_j) + F_B(x_j)) e^{F_A(x_j) - F_A(x_j)} - (1 - F_B(x_j) + F_A(x_j)) e^{F_A(x_j) - F_A(x_j)} \right) \end{aligned} \right]$$

$= 0$ bulunur.

$$(4) \quad A^c = \langle F_A(x), 1 - I_A(x), T_A(x) \rangle \quad \text{ve} \quad B^c = \langle F_B(x), 1 - I_B(x), T_B(x) \rangle \quad \text{için} \quad (3.2)$$

denkleminde

$D(A^c, B^c)$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4n(2-2e^{-1})} \sum_{j=1}^n \left[\begin{aligned} &(2 - (1 - F_A(x_j) + F_B(x_j))) e^{F_A(x_j) - F_B(x_j)} - (1 - F_B(x_j) + F_A(x_j)) e^{F_B(x_j) - F_A(x_j)} \\ &(2 - (1 - (1 - I_A(x_j)) + (1 - I_B(x_j)))) e^{1 - I_A(x_j) - 1 + I_B(x_j)} - (1 - (1 - I_B(x_j)) + (1 - I_A(x_j))) e^{1 - I_B(x_j) - 1 + I_A(x_j)} \\ &(2 - (1 - (1 - I_B(x_j)) + (1 - I_A(x_j)))) e^{1 - I_B(x_j) - 1 + I_A(x_j)} - (1 - (1 - I_A(x_j)) + (1 - I_B(x_j))) e^{1 - I_A(x_j) - 1 + I_B(x_j)} \\ &(2 - (1 - T_A(x_j) + T_B(x_j))) e^{T_A(x_j) - T_B(x_j)} - (1 - T_B(x_j) + T_A(x_j)) e^{T_B(x_j) - T_A(x_j)} \end{aligned} \right] \\
&= \frac{1}{4n(2-2e^{-1})} \sum_{j=1}^n \left[\begin{aligned} &(2 - (1 - F_A(x_j) + F_B(x_j))) e^{F_A(x_j) - F_B(x_j)} - (1 - F_B(x_j) + F_A(x_j)) e^{F_B(x_j) - F_A(x_j)} \\ &+ (2 - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j))) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} \\ &+ (2 - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j))) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} \\ &+ (2 - (1 - T_A(x_j) + T_B(x_j))) e^{T_A(x_j) - T_B(x_j)} - (1 - T_B(x_j) + T_A(x_j)) e^{T_B(x_j) - T_A(x_j)} \end{aligned} \right] \\
&= \frac{1}{4n(2-2e^{-1})} \sum_{j=1}^n \left[\begin{aligned} &(2 - (1 - T_A(x_j) + T_B(x_j))) e^{T_A(x_j) - T_B(x_j)} - (1 - T_B(x_j) + T_A(x_j)) e^{T_B(x_j) - T_A(x_j)} \\ &+ (2 - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j))) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j)) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} \\ &+ (2 - (1 - I_B(x_j) + I_A(x_j))) e^{I_B(x_j) - I_A(x_j)} - (1 - I_A(x_j) + I_B(x_j)) e^{I_A(x_j) - I_B(x_j)} \\ &+ (2 - (1 - F_A(x_j) + F_B(x_j))) e^{F_A(x_j) - F_B(x_j)} - (1 - F_B(x_j) + F_A(x_j)) e^{F_B(x_j) - F_A(x_j)} \end{aligned} \right]
\end{aligned}$$

$= D(A, B)$ bulunur.

Dolayısıyla $D(A, B)$ bütün aksiyomları sağladığından bir fark ölçüsüdür.

3.3. Önerilen Neutrosophic Olasılık Ölçüsü

Peng ve vd. (2016) tarafından çok değerli neutrosophic kümelerde bir olasılık ölçüsü tanımlanmıştır. Bu olasılık ölçüsü TDNK'lere aşağıdaki şekilde indirgenebilir.

Tanım 3.3.1. $A = (T_A, I_A, F_A)$ ve $B = (T_B, I_B, F_B)$ iki TDNS olsun. O halde A 'nın B 'den büyük olma olasılığı $A \succ B$;

$$L(T_A, T_B) = \begin{cases} \frac{T_A}{T_A + T_B}, & T_A \neq \{0\} \text{ veya } T_B \neq \{0\}, \\ 0.5, & T_A = \{0\} \text{ ve } T_B = \{0\} \end{cases},$$

$$L(I_A, I_B) = \begin{cases} 1 - \frac{I_A}{I_A + I_B}, & I_A \neq \{0\} \text{ veya } I_B \neq \{0\}, \\ 0.5, & I_A = \{0\} \text{ ve } I_B = \{0\} \end{cases},$$

$$L(F_A, F_B) = \begin{cases} 1 - \frac{F_A}{F_A + F_B}, & F_A \neq \{0\} \text{ veya } F_B \neq \{0\}, \\ 0.5, & F_A = \{0\} \text{ ve } F_B = \{0\} \end{cases}, \quad (3.4)$$

olmak üzere

$$L(A, B) = \frac{1}{3} (L(T_A, T_B) + L(I_A, I_B) + L(F_A, F_B)) \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanır.

Örnek 3.3.1. Örnek 1.2.1'i göz önüne alınırsa, $A = (1.0.0)$ ve $B = (0.1, 0.5, 0.4)$ için $L(A, B) = 0.97$ 'dir. O halde A 'nın B 'den büyük olduğu söylenebilir. Ayrıca, eğer $A = (1.0.0)$ ve $B = (0.1.1)$ olması durumunda beklendiği gibi $L(A, B) = 1$ olduğu kolayca görülür.

Önerme 3.3.1. A, B ve C üç TDNS sayı olmak üzere, $A \succ C$ ve $A \succ B$ olsun. O halde

1. Eğer $L(A, B) < L(A, C)$ ise, B, C 'den büyüktür ve $B \succ C$,
2. Eğer $L(A, B) = L(A, C)$ ise B, C 'ye denktir denir ve $B \simeq C$,
3. Eğer $L(A, B) > L(A, C)$ ise B, C 'den küçüktür ve $C \succ B$

özellikleri sağlanır.

3.4. Önerilen Neutrosophic TOPSIS Metodu

Bir çok kriterli karar vermede, kriterler ve alternatifler süreç başlamadan önce tanımlanmalıdır. $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ bir dizi alternatifler kümesi, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ kriterler kümesi ve $K = \{K_1, K_2, \dots, K_s\}$ de karar vericiler kümesi olsun. Karar vericiler alternatifleri kriterler altında değerlendirirken her bir karar vericinin önem düzeyi farklı olduğundan karar vericilerin ağırlık vektörleri hesaba katılmalıdır. Bu değerlendirme yapılırken kriterlerin fayda kriteri ya da maliyet kriteri gözönüne alınarak yapılır. $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, iki ayrık C^+ ve C^- kümesinden oluşan bir kriter kümesi olsun, burada C^+ bir fayda kriteri kümesi, C^- bir maliyet kriter kümesidir ve $C^+ \subseteq C$, $C^- \subseteq C$ ve $C^+ \cap C^- = \emptyset$ dir. Değerlendirmenin neutrosophic sayı ile tanımlanabildiği karar vericiler K_p ($p = 1, 2, \dots, s$) tarafından kriterlere göre alternatiflere atanan tüm değerler, TDNS ile $X^p =$

$(x_{ij}^p)_{m \times n}$ karakterize edilen ve $(x_{ij}^p)_{m \times n} = (T_{ij}^p, I_{ij}^p, F_{ij}^p)$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; p = 1, 2, \dots, s$) şeklindeki karar matrisi ile ifade edilir. Burada $T_{ij}^p; K_p$ karar verici tarafından C_j kriteri altında A_i alternatifinin üyelik derecesini, $I_{ij}^p; K_p$ karar verici tarafından C_j kriteri altında A_i alternatifinin belirsizlik derecesini ve $F_{ij}^p; K_p$ karar verici tarafından C_j kriteri altında A_i alternatifinin non-üyelik derecesini gösterir.

Adım 1: Karar matrislerinin oluşturulması

p . karar vericinin A_i alternatifinin C_j kriteri altında değerlendirmesi x_{ij}^p olmak üzere, p . karar vericinin karar matrisi

$$X^p = (x_{ij}^p)_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11}^p & x_{12}^p & \dots & x_{1n}^p \\ x_{21}^p & x_{22}^p & \dots & x_{2n}^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}^p & x_{m2}^p & \dots & x_{mn}^p \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3.6)$$

şeklinde gösterilir.

Adım 2: Karar vericilerin ağırlığının belirlenmesi

Birden fazla karar vericinin olduğu durumlarda, karar vericilerin ağırlık bilgileri karar sürecinin en önemli noktalarından biridir. Hem karar sorunlarının doğası hem de farklı beklentiler, karar vericilerin ağırlığını belirlemek için belirli bilimsel yöntemleri kullanmayı gerektirir. Bu bölümde karar vericinin ağırlıklarının tamamen bilinmediği durumlarda, yeni tanımlanan fark ölçüsünü kullanarak yeni bir ağırlık belirleme metodu geliştirilmiştir. Bu metod Zhou vd. (2018) önerdiği yöntem genişletilerek aşağıdaki adımlar ile tanımlanmıştır.

Varsayalım ki s tane karar vericinin ağırlık vektörü $\omega = (\omega_1, \omega_2 \dots \omega_s)$ olsun.

1. Her bir karar vericinin pozitif ideal çözümünü ve negatif ideal çözümünün belirlenmesi.

$K_p (p = 1, 2, \dots, s)$ karar vericiler için

$$\begin{aligned} C_j \in C^+ \text{ ise, } T_{ij}^{p+} &= \max_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, I_{ij}^{p+} = \min_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, F_{ij}^{p+} = \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} \\ C_j \in C^- \text{ ise, } T_{ij}^{p+} &= \min_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, I_{ij}^{p+} = \max_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, F_{ij}^{p+} = \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_j \in C^+ \text{ ise, } T_{ij}^{p-} &= \max_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, I_{ij}^{p-} = \min_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, F_{ij}^{p-} = \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} \\
C_j \in C^- \text{ ise, } T_{ij}^{p-} &= \min_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, I_{ij}^{p-} = \max_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, F_{ij}^{p-} = \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\}
\end{aligned} \tag{3.7}$$

olmak üzere, p . karar vericinin pozitif ideal çözümü ile negatif ideal çözümü

$$\begin{aligned}
A^{p+} &= \left\{ \begin{aligned} &C_j \in C^+ \text{ ise, } \left(\max_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}^p\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}^p\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}^p\} \right) = (T_j^{p+}, I_j^{p+}, F_j^{p+}) \\ &C_j \in C^- \text{ ise, } \left(\min_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}^p\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}^p\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}^p\} \right) = (T_j^{p+}, I_j^{p+}, F_j^{p+}) \end{aligned} \right\} \\
A^{p-} &= \left\{ \begin{aligned} &C_j \in C^+ \text{ ise, } \left(\min_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}^p\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}^p\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}^p\} \right) = (T_j^{p-}, I_j^{p-}, F_j^{p-}) \\ &C_j \in C^- \text{ ise, } \left(\max_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}^p\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}^p\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}^p\} \right) = (T_j^{p-}, I_j^{p-}, F_j^{p-}), \end{aligned} \right\}
\end{aligned} \tag{3.8}$$

şeklinde tanımlanır.

2. C_j ($j = 1, 2, \dots, n$) kriteri altındaki her bir karar vericiye yönelik pozitif ideal ve negatif ideal çözümler arasındaki fark ölçüsünün hesaplanması.

Bu fark ölçüsü

$$\begin{aligned}
d_j(A^{p+}, A^{p-}) &= \frac{1}{(2 - 2e^{-1})} \left[2 - (1 - T_j^{p+} + T_j^{p-})e^{T_j^{p+} - T_j^{p-}} \right. \\
&\quad - (1 - T_j^{p-} + T_j^{p+})e^{T_j^{p-} - T_j^{p+}} + 2 - (1 - I_j^{p+} + I_j^{p-})e^{I_j^{p+} - I_j^{p-}} \\
&\quad - (1 - I_j^{p-} + I_j^{p+})e^{I_j^{p-} - I_j^{p+}} + 2 - (1 - I_j^{p-} + I_j^{p+})e^{I_j^{p-} - I_j^{p+}} \\
&\quad - (1 - I_j^{p+} + I_j^{p-})e^{I_j^{p+} - I_j^{p-}} + 2 - (1 - F_j^{p+} + F_j^{p-})e^{F_j^{p+} - F_j^{p-}} \\
&\quad \left. - (1 - F_j^{p-} + F_j^{p+})e^{F_j^{p-} - F_j^{p+}} \right]
\end{aligned} \tag{3.9}$$

formülü ile belirlenir.

Burada, fark ölçüsü $d(A^{p+}, A^{p-})$ ne kadar büyükse, sapma o kadar büyük olur. Bu bize, küçük bir sapması olan karar vericinin karar vermede daha büyük bir etkiye sahip olması gerektiğini söylemektedir.

3. Karar vericinin son ağırlık bilgisinin belirlenmesi.

p . karar vericinin C_j kriteri altında negatif ideal ve pozitif ideal çözüm arasındaki fark ölçüsü,

$$\begin{aligned}
S_j^p &= d_j(A^{p+}, A^{p-}) \\
&= \frac{1}{4(2-2e^{-1})} \left[2 - (1 - T_j^{p+} + T_j^{p-})e^{T_j^{p+}-T_j^{p-}} \right. \\
&\quad - (1 - T_j^{p-} + T_j^{p+})e^{T_j^{p-}-T_j^{p+}} + 2 - (1 - I_j^{p+} + I_j^{p-})e^{I_j^{p+}-I_j^{p-}} \\
&\quad - (1 - I_j^{p-} + I_j^{p+})e^{I_j^{p-}-I_j^{p+}} + 2 - (1 - I_j^{p-} + I_j^{p+})e^{I_j^{p-}-I_j^{p+}} \\
&\quad - (1 - I_j^{p+} + I_j^{p-})e^{I_j^{p+}-I_j^{p-}} + 2 - (1 - F_j^{p+} + F_j^{p-})e^{F_j^{p+}-F_j^{p-}} \\
&\quad \left. - (1 - F_j^{p-} + F_j^{p+})e^{F_j^{p-}-F_j^{p+}} \right] \tag{3.10}
\end{aligned}$$

ile tanımlanır. O halde p . karar vericinin bütün kriterler altındaki fark ölçüsü ise

$$\begin{aligned}
N^p(\omega) &= \sum_{j=1}^n S_j^p = \sum_{j=1}^n d_j(A^{p+}, A^{p-}) \\
&= \sum_{j=1}^n \frac{1}{4n(2-2e^{-1})} \left[2 - (1 - T_j^{p+} + T_j^{p-})e^{T_j^{p+}-T_j^{p-}} \right. \\
&\quad - (1 - T_j^{p-} + T_j^{p+})e^{T_j^{p-}-T_j^{p+}} + 2 - (1 - I_j^{p+} + I_j^{p-})e^{I_j^{p+}-I_j^{p-}} \\
&\quad - (1 - I_j^{p-} + I_j^{p+})e^{I_j^{p-}-I_j^{p+}} + 2 - (1 - I_j^{p-} + I_j^{p+})e^{I_j^{p-}-I_j^{p+}} \\
&\quad - (1 - I_j^{p+} + I_j^{p-})e^{I_j^{p+}-I_j^{p-}} + 2 - (1 - F_j^{p+} + F_j^{p-})e^{F_j^{p+}-F_j^{p-}} \\
&\quad \left. - (1 - F_j^{p-} + F_j^{p+})e^{F_j^{p-}-F_j^{p+}} \right] \tag{3.11}
\end{aligned}$$

formülü ile bulunur.

Son olarak ise her bir karar vericinin $N^p(\omega)$ değeri kullanılarak p . karar vericinin ağırlık değeri olan ω_p ;

$$\omega_p = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{N^p(\omega)}{\sum_{p=1}^s (N^1(\omega) + N^2(\omega) + \dots + N^s(\omega))} \right), \sum_{p=1}^s \omega_p = 1, (p = 1, 2, \dots, s) \tag{3.12}$$

şeklinde hesaplanır.

Adım 3: Grup karar matrisinin bulunması

$\omega = (\omega_1, \omega_2 \dots \omega_s)$ karar vericilerin ağırlık vektörü olmak üzere, s tane karar matrisinden TDNAO operatörü kullanılarak elde edilen grup karar matrisi;

$$\begin{aligned}
x_{ij} &= \text{TDNAO}(x_{ij}^1, x_{ij}^2, \dots, x_{ij}^s) = \sum_{p=1}^s \omega_p x_{ij}^p \\
&= \langle 1 - \prod_{p=1}^s (1 - T_{ij}^p)^{\omega_p}, \prod_{p=1}^s (I_{ij}^p)^{\omega_p}, \prod_{p=1}^s (F_{ij}^p)^{\omega_p} \rangle
\end{aligned} \tag{3.13}$$

formülü ile hesaplanır. O halde $X = (x_{ij})_{m \times n}$ grup karar matrisi

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \tag{3.14}$$

şeklinde gösterilir.

Adım 4: Ağırlıklandırılmış grup karar matrisinin elde edilmesi

$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ vektörü kriterlerin ağırlık vektörü olsun. $X = (x_{ij})_{m \times n}$ grup karar matrisi için, $\tilde{x}_{ij} = x_{ij} * \alpha_j$ formülü ile ağırlıklandırılmış grup karar matrisi $\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m \times n}$ tanımlanır ve

$$\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \tag{3.15}$$

şeklinde gösterilir.

Adım 5: Pozitif ideal çözümün (PİÇ) $A^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+)$ ve negatif ideal çözümün (NİÇ) $A^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-)$ belirlenmesi

Her bir kriter için PİÇ ve NİÇ;

$$A^+ = \begin{cases} C_j \in C^+ \text{ ise, } \left(\max_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} \right) = (T_j^+, I_j^+, F_j^+) \\ C_j \in C^- \text{ ise, } \left(\min_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} \right) = (T_j^+, I_j^+, F_j^+) \end{cases} \tag{3.16}$$

$$A^- = \begin{cases} C_j \in C^+ \text{ ise, } \left(\min_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} \right) = (T_j^+, I_j^+, F_j^+) \\ C_j \in C^- \text{ ise, } \left(\max_{1 \leq i \leq m} \{T_{ij}\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{I_{ij}\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} \right) = (T_j^+, I_j^+, F_j^+) \end{cases} \quad (3.17)$$

şeklinde tanımlanır.

Burada C^+ fayda kriterlerinin kümesini, C^- maliyet kriterlerinin kümesini göstermektedir.

Adım 6: Her bir alternatifin PİÇ ve NİÇ arasındaki izdüşüm ölçülerinin belirlenmesi

Her bir alternatif $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 'nin yeni izdüşüm ölçüsüne dayalı PİÇ ve NİÇ arasındaki izdüşüm ölçüleri,

$$A_i A^+ = \left(\sum_{j=1}^n \left(T_{A_i}(x_j) T_{A^+}(x_j) + (1 - I_{A_i}(x_j)) (1 - I_{A^+}(x_j)) + (1 - F_{A_i}(x_j)) (1 - F_{A^+}(x_j)) \right) \right),$$

$$A_i A^- = \left(\sum_{j=1}^n \left(T_{A_i}(x_j) T_{A^-}(x_j) + (1 - I_{A_i}(x_j)) (1 - I_{A^-}(x_j)) + (1 - F_{A_i}(x_j)) (1 - F_{A^-}(x_j)) \right) \right)$$

olmak üzere,

$$p_i^+(A_i, A^+) = \frac{\frac{A_i A^+}{|A_i|^2} + \frac{A_i A^+}{|A^+|^2}}{\frac{A_i A^+}{|A_i|^2} + \frac{A_i A^+}{|A^+|^2} + \left| 1 - \frac{A_i A^+}{|A^+|^2} \right|} \quad (3.18)$$

$$p_i^-(A_i, A^-) = \frac{\frac{A_i A^-}{|A_i|^2} + \frac{A_i A^-}{|A^-|^2}}{\frac{A_i A^-}{|A_i|^2} + \frac{A_i A^-}{|A^-|^2} + \left| 1 - \frac{A_i A^-}{|A^-|^2} \right|} \quad (3.19)$$

şeklinde hesaplanır.

Adım 7: Neutrosophic pozitif ve negatif izdüşüm değerlerinden maksimum ve minimum değerlerinin hesaplaması

Maksimum ve minimum değerleri ayrı ayrı

$$p_{max}^+ = \max_{1 \leq i \leq m} p_i^+(A_i, A^+), \quad p_{min}^+ = \min_{1 \leq i \leq m} p_i^+(A_i, A^+) \quad (3.20)$$

$$p_{max}^- = \max_{1 \leq i \leq m} p_i^-(A_i, A^-), \quad p_{min}^- = \min_{1 \leq i \leq m} p_i^-(A_i, A^-) \quad (3.21)$$

olacak şekilde tanımlanır.

Adım 8: Neutrosophic pozitif ve negatif izdüşüm karar verme faktörlerinin belirlenmesi

$$\mu_i^+ = \frac{p_{max}^+ - p_i^+(A_i, A^+)}{p_{max}^+ - p_{min}^+} \quad (3.22)$$

$$\mu_i^- = \frac{p_{max}^- - p_i^-(A_i, A^-)}{p_{max}^- - p_{min}^-} \quad (3.23)$$

şeklinde bulunur.

Adım 9: Neutrosophic pozitif ve negatif izdüşüm karar verme faktörlerine göre, alternatif $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 'nin ideal çözüme göre yakınlık katsayısının hesaplanması

İzdüşüm karar verme faktörlerine göre her bir alternatifin yakınlık katsayısı,

$$\mu_i = \frac{(1 - \nu)\mu_i^-}{\nu\mu_i^+ + (1 - \nu)\mu_i^-} \quad (3.24)$$

şeklinde bulunur.

İzdüşüm ölçüsüne benzer şekilde fark ölçüsünü kullanarak grey korelasyona dayalı yeni neutrosophic pozitif ve negatif fark karar verme faktörleri,

$$\delta_i^+ = \sum_{j=1}^n \frac{\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} d(A_i, A^+) + \pi \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} d(A_i, A^+)}{d(A_i, A^+) + \pi \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} d(A_i, A^+)} \quad (3.25)$$

$$\delta_i^- = \sum_{j=1}^n \frac{\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} d(A_i, A^-) + \pi \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} d(A_i, A^-)}{d(A_i, A^-) + \pi \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} d(A_i, A^-)} \quad (3.26)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Dolayısıyla, her bir $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 'nin yakınlık katsayısı

$$\delta_i = \frac{\lambda \delta_i^+}{(1 - \lambda) \delta_i^+ + \lambda \delta_i^-} \quad (3.27)$$

şeklinde bulunur.

Ek olarak, neutrosophic pozitif ve negatif olasılık karar verme faktörlerini ve ideal çözüme göre yakınlık katsayısı tanımlamak için olasılık ölçüsü kullanılırsa,

$$L_i^+(A^+, A_i) = \frac{1}{3} \left(\frac{T_{A^+}}{T_{A^+} + T_{A_i}} + 1 - \frac{I_{A^+}}{I_{A^+} + I_{A_i}} + 1 - \frac{F_{A^+}}{F_{A^+} + F_{A_i}} \right), \quad (3.28)$$

$$L_i^-(A_i, A^-) = \frac{1}{3} \left(\frac{T_{A_i}}{T_{A_i} + T_{A^-}} + 1 - \frac{I_{A_i}}{I_{A_i} + I_{A^-}} + 1 - \frac{F_{A_i}}{F_{A_i} + F_{A^-}} \right), \quad (3.29)$$

için,

$$L_{max}^+ = \max_{1 \leq i \leq m} L_i^+(A^+, A_i), \quad L_{min}^+ = \min_{1 \leq i \leq m} L_i^+(A^+, A_i), \quad (3.30)$$

$$L_{max}^- = \max_{1 \leq i \leq m} L_i^-(A_i, A^-), \quad L_{min}^- = \min_{1 \leq i \leq m} L_i^-(A_i, A^-) \quad (3.31)$$

olmak üzere, neutrosophic pozitif ve negatif olasılık karar verme faktörleri

$$\eta_i^+ = \frac{L_i^+(A^+, A_i) - L_{min}^+}{L_{max}^+ - L_{min}^+} \quad (3.32)$$

$$\eta_i^- = \frac{L_i^-(A_i, A^-) - L_{min}^-}{L_{max}^- - L_{min}^-} \quad (3.33)$$

şeklinde tanımlanır. O halde her bir alternatifin olasılık karar verme faktörlerine göre yakınlık katsayısı

$$\eta_i = \varphi \eta_i^+ + (1 - \varphi) \eta_i^- \quad (3.34)$$

şeklinde tanımlanır.

Böylelikle, izdüşüm (benzerlik), fark (mesafe) ve olasılık (büyüklük) değerlerine göre alternatiflerin yakınlık katsayıları,

$$\mu_i = \frac{(1 - \nu)\mu_i^-}{\nu\mu_i^+ + (1 - \nu)\mu_i^-}, \quad \delta_i = \frac{\lambda\delta_i^+}{(1 - \lambda)\delta_i^+ + \lambda\delta_i^-}, \quad \eta_i = \varphi\eta_i^+ + (1 - \varphi)\eta_i^- \quad (3.35)$$

$(i = 1, 2, \dots, n.)$

olacak şekilde özetlenebilir.

Burada δ_i, μ_i ve η_i 'nin $[0,1]$ aralığında belirli değerler aldığı açıktır.

Adım 10: Doğrusal olmayan programlama modelinin oluşturulması

Üç farklı yakınlık katsayısı kullanılarak,

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^n \{(\mu_i^*)^2 + (\delta_i^*)^2 + (\eta_i^*)^2\} \\ \mu_i^* = CI_i - \mu_i \\ \delta_i^* = CI_i - \delta_i \\ \eta_i^* = CI_i - \eta_i \\ s. t. \min(\delta_i, \mu_i, \eta_i) \leq CI_i \leq \max(\delta_i, \mu_i, \eta_i), 0 < CI_i < 1 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.36)$$

şeklinde tanımlanan doğrusal olmayan bir programlama modeli ile her bir alternatif için optimize edilmiş bir yakınlık indeksi oluşturulur. Böylelikle karar sürecindeki öznellik bu indeks ile minimize edilebilir. Diğer bir deyişle, klasik TOPSIS'teki yakınlık indeksi hesaplamasına kıyasla, bu modelden elde edilen sonuçlar özellikle karar vericilerin öznelliklerini azaltmaktadır.

Adım 11: Her bir alternatif için $CI_i (i = 1, 2, \dots, m)$ değerinin hesaplanması ve alternatiflerin sıralanması

Her bir alternatif için CI_i değeri hesaplanır. CI_i 'si 1'e yakın olan alternatif en ideal alternatif olarak alınır.

3.5. Sayısal Örnek

Son zamanlarda dünyayı etkisi altına alan COVID-19 salgını ile birlikte birçok korunma yöntemi de ortaya çıkmıştır. Genel olarak toz, partikül gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapıların ortaya çıkan unsurlarına karşı insanları koruyan bir ekipman olarak tanımlanan maskeler bu yöntemlerden biridir ve son zamanlarda birçok gelişmiş ülke buna yatırım yapmıştır. Bununla birlikte, üretilen maskelerin seçimi büyük bir problem haline gelmiş ve araştırılması gereken konu haline dönüşmüştür.

Bu problem insanoğlunun gelecekteki sağlığı için çok önemlidir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı COVID-19 salgını için maske üreten şirketler arasından en ideal maske tipini üreten firmayı seçmektir.

Adım 1 . Karar matrislerinin oluşturulması.

Tablo 3.1. Karar matrisleri

Alternatifler	KV(1)														
	C1			C2			C3			C4			C5		
A ₁	0.6	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.2	0.3	0.5	0.4	0.4	0.7	0.4	0.3
A ₂	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.8	0.5	0.6	0.5	0.6	0.4
A ₃	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.3	0.4	0.6	0.4	0.2
A ₄	0.2	0.7	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.2
A ₅	0.2	0.3	0.7	0.7	0.4	0.4	0.6	0.5	0.2	0.6	0.3	0.4	0.8	0.4	0.3
Alternatifler	KV(2)														
	C1			C2			C3			C4			C5		
A ₁	0.5	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1
A ₂	0.2	0.4	0.8	0.7	0.1	0.2	0.6	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1
A ₃	0.5	0.5	0.5	0.6	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
A ₄	0.6	0.7	0.4	0.6	0.4	0.3	0.7	0.1	0.1	0.6	0.1	0.5	0.5	0.3	0.4
A ₅	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.7	0.1	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Alternatifler	KV(3)														
	C1			C2			C3			C4			C5		
A ₁	0.6	0.3	0.1	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.1	0.7	0.2	0.3
A ₂	0.5	0.5	0.5	0.7	0.1	0.1	0.5	0.5	0.5	0.3	0.7	0.7	0.2	0.2	0.7
A ₃	0.6	0.1	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6
A ₄	0.2	0.8	0.8	0.2	0.5	0.5	0.3	0.8	0.8	0.3	0.3	0.8	0.4	0.7	0.7
A ₅	0.7	0.2	0.3	0.8	0.1	0.2	0.3	0.7	0.7	0.7	0.4	0.2	0.6	0.2	0.1

Bu problemde, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_5\}$ alternatifler kümesi, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_5\}$ kriterler kümesi ve $K = \{K_1, K_2, K_3\}$ karar vericiler kümesi olarak alınmıştır. $A = \{A_1, A_2, \dots, A_5\}$

olarak belirtilen beş şirketi gösterebilir. Bez maskelerin standartları için değerlendirme kriterleri ise filtreleme verimliliği (C_1), yok edilebilirlik (C_2), nefes alınabilirlik (C_3), tekrar kullanılabilirlik (C_4) ve mikrobiyal tutunma (C_5) olarak belirlenmiştir. Burada (C_5) zarar kriteri diğer kriterler fayda kriteridir. Böylece fayda kriterlerini $C^+ = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ ve zarar kriteri $C^- = \{C_5\}$ olarak tanımlanabilir. Kriterlerin ağırlık vektörü $\alpha = (0.30, 0.10, 0.20, 0.15, 0.25)$ olarak belirlenmiştir. Karar vericiler (KV) $\{K_1, K_2, K_3\}$ tarafından verilen değerlendirme verileri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Adım 2. Karar vericilerin ağırlıklarının bulunması.

Denklem (3.8) ile, K_1 karar vericinin pozitif ideal çözümü A^{1+} ve negatif ideal çözümü A^{1-}

$$A^{1+} = \left\{ \begin{array}{l} \langle 0.6, 0.3, 0.4 \rangle, \langle 0.7, 0.3, 0.4 \rangle, \langle 0.7, 0.2, 0.2 \rangle, \\ \langle 0.8, 0.3, 0.4 \rangle, \langle 0.5, 0.6, 0.4 \rangle \end{array} \right\},$$

$$A^{1-} = \left\{ \begin{array}{l} \langle 0.2, 0.7, 0.7 \rangle, \langle 0.4, 0.6, 0.6 \rangle, \langle 0.4, 0.6, 0.5 \rangle, \\ \langle 0.5, 0.5, 0.6 \rangle, \langle 0.7, 0.2, 0.2 \rangle \end{array} \right\}$$

olarak hesaplanır. Daha sonra her bir kriter altında K_1 karar verici için A^{1+} ve A^{1-} arasındaki fark ölçüsü

$$S_1^1 = d_1(A^{1+}, A^{1-}) = 0.591 ; S_2^1 = d_2(A^{1+}, A^{1-}) = 0.316 ; S_3^1 = d_3(A^{1+}, A^{1-}) = 0.517 ;$$

$$S_4^1 = d_4(A^{1+}, A^{1-}) = 0.213 ; S_5^1 = d_5(A^{1+}, A^{1-}) = 0.413 \text{ dir.}$$

Tüm sapmaların toplamı Denklem (3.9) kullanılırsa

$$N^1(\omega) = \sum_{j=1}^5 S_j^1 = \sum_{j=1}^5 d_j(A^{1+}, A^{1-}) = 2.052$$

olarak bulunur. Benzer işlemlerle diğer karar vericiler için tüm sapmaların toplamı $N^1(\omega)(p = 2, 3)$,

$$N^2(\omega) = \sum_{j=1}^5 S_j^2 = \sum_{j=1}^5 d_j(A^{2+}, A^{2-}) = 3.882,$$

$$N^3(\omega) = \sum_{j=1}^5 S_j^3 = \sum_{j=1}^5 d_j(A^{3+}, A^{3-}) = 6.032$$

şeklinde hesaplanır. Böylece Denklem (3.12)'den karar vericilerin ağırlık vektörünü

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2.052}{2.052 + 3.882 + 6.032} \right) = 0.414$$

ve benzer hesaplamalar ile

$$\omega_2 = 0.338, \omega_3 = 0.248,$$

olarak bulunur.

O halde karar vericilerin ağırlık vektörü $\omega = \{0.414, 0.338, 0.248\}$ olarak yazılabilir.

Adım 3. Grup karar matrisinin elde edilmesi.

Denklem (3.13) ve karar vericilerin ağırlık vektörü $\omega = \{0.414, 0.338, 0.248\}$ ile, $X = (x_{ij})_{5 \times 5}$ grup karar matrisi hesaplanarak Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Grup karar matrisi

Alternatifler	Kriterler														
	C1			C2			C3			C4			C5		
A ₁	0,57	0,21	0,22	0,37	0,50	0,50	0,58	0,38	0,42	0,44	0,46	0,31	0,64	0,21	0,21
A ₂	0,41	0,46	0,59	0,60	0,21	0,27	0,54	0,42	0,46	0,63	0,54	0,54	0,40	0,36	0,29
A ₃	0,57	0,36	0,51	0,51	0,44	0,52	0,57	0,44	0,38	0,49	0,45	0,51	0,54	0,48	0,36
A ₄	0,37	0,72	0,48	0,48	0,38	0,38	0,54	0,35	0,22	0,50	0,26	0,56	0,48	0,49	0,34
A ₅	0,46	0,19	0,37	0,68	0,18	0,27	0,58	0,19	0,22	0,60	0,38	0,36	0,68	0,36	0,27

Adım 4. Ağırlıklı grup karar matrisinin elde edilmesi.

Denklem (3.15) ve $\alpha = (0.30, 0.10, 0.20, 0.15, 0.25)$ kriterlerinin ağırlık vektörü ile ağırlıklı grup karar matrisi $\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{5 \times 5}$ hesaplanarak Tablo 3.3'de sunulmuştur.

Tablo 3.3. Ağırlıklı grup karar matrisi

Alternatifler	Kriterler														
	C1			C2			C3			C4			C5		
A ₁	0,22	0,62	0,64	0,04	0,93	0,93	0,16	0,82	0,84	0,08	0,89	0,84	0,23	0,68	0,67
A ₂	0,15	0,79	0,85	0,09	0,86	0,88	0,14	0,84	0,86	0,14	0,91	0,91	0,12	0,78	0,73
A ₃	0,22	0,74	0,82	0,07	0,92	0,94	0,16	0,85	0,83	0,10	0,89	0,90	0,18	0,83	0,77
A ₄	0,13	0,91	0,80	0,06	0,91	0,91	0,14	0,81	0,74	0,10	0,82	0,92	0,15	0,84	0,77
A ₅	0,17	0,60	0,74	0,11	0,84	0,88	0,16	0,72	0,74	0,13	0,87	0,86	0,25	0,78	0,72

Adım 5. Her kriter için PİÇ ve NİÇ'nin belirlenmesi.

Denklem (3.16) ve Denklem (3.17) kullanılarak her bir kriter için PİÇ ve NİÇ

$$A^+ = \left\{ \langle 0.223, 0.605, 0.639 \rangle, \langle 0.107, 0.841, 0.876 \rangle, \langle 0.160, 0.715, 0.736 \rangle, \right. \\ \left. \langle 0.138, 0.815, 0.837 \rangle, \langle 0.121, 0.838, 0.773 \rangle \right\},$$

$$A^- = \left\{ \langle 0.128, 0.907, 0.852 \rangle, \langle 0.045, 0.933, 0.937 \rangle, \langle 0.142, 0.849, 0.858 \rangle, \right. \\ \left. \langle 0.083, 0.913, 0.917 \rangle, \langle 0.246, 0.678, 0.675 \rangle \right\}$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Adım 6. Her bir alternatif $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ için PİÇ ve NİÇ'den neutrosophic pozitif izdüşüm değeri (NPİD) ve neutrosophic negatif izdüşüm değerinin (NNİD) hesaplanması.

Denklem (3.18) ve Denklem (3.19) ile, sırasıyla her bir alternatif $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 'nin NPİD'leri ve NNİD'leri

$$p_1^+(A_i, A^+) = 0.870, \quad p_2^+(A_i, A^+) = 0.947, \quad p_3^+(A_i, A^+) = 0.920,$$

$$p_4^+(A_i, A^+) = 0.889, \quad p_5^+(A_i, A^+) = 0.982.$$

ve

$$p_1^-(A_i, A^-) = 0.904, \quad p_2^-(A_i, A^-) = 0.938, \quad p_3^-(A_i, A^-) = 0.934,$$

$$p_4^-(A_i, A^-) = 0.925, \quad p_5^-(A_i, A^-) = 0.918$$

şeklinde hesaplanır.

Adım 7. NPİD'lerin ve NNİD'lerin maksimum ve minimum değerlerinin hesaplanması.

Denklem (3.20) ve Denklem (3.21) ile

$$p_{max}^+ = \max_{1 \leq i \leq 5} p_i^+(A_i, A^+) = 0.982, \quad p_{min}^+ = \min_{1 \leq i \leq 5} p_i^+(A_i, A^+) = 0.870$$

$$p_{max}^- = \max_{1 \leq i \leq 5} p_i^-(A_i, A^-) = 0.938, \quad p_{min}^- = \min_{1 \leq i \leq 5} p_i^-(A_i, A^-) = 0.904$$

şeklinde hesaplanır.

Adım 8. Neutrosophic pozitif ve negatif izdüşüm karar verme faktörlerinin elde edilmesi:

Denklem (3.22) ve Denklem (3.23) yardımıyla bu değerler

$$\mu_1^+ = 1.000, \quad \mu_2^+ = 0.310, \quad \mu_3^+ = 0.553, \quad \mu_4^+ = 0.829, \quad \mu_5^+ = 0.000,$$

$$\mu_1^- = 1.000, \mu_2^- = 0.000, \mu_3^- = 0.105, \mu_4^- = 0.377, \mu_5^- = 0.602,$$

şeklinde hesaplanır.

Adım 9. İdeal çözüme göre alternatif $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 'nin göreceli yakınlığının belirlenmesi.

Denklem (3.24), Denklem (3.27) ve Denklem (3.34) ile neutrosophic pozitif ve negatif izdüşüm karar verme faktörleri ($\nu = 0.5$) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mu_1 = 0.500: \mu_2 = 0.000: \mu_3 = 0.160: \mu_4 = 0.313: \mu_5 = 1.000$$

Ayrıca, $\lambda = 0.5$ ve $\varphi = 0,5$ için, neutrosophic pozitif ve negatif fark karar verme faktörleri ile neutrosophic pozitif ve negatif olasılık karar verme faktörleri,

$$\delta_1 = 0.750: \delta_2 = 0.453: \delta_3 = 0.505: \delta_4 = 0.266: \delta_5 = 0.670$$

$$\eta_1 = 0.521: \eta_2 = 0.228: \eta_3 = 0.315: \eta_4 = 0.000: \eta_5 = 1.000$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Adım 10. Doğrusal olmayan programlama modelinin oluşturulması.

Denklem (3.36) kullanılarak program modeli

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \left\{ \begin{array}{l} (\mu_1^*)^2 + (\delta_1^*)^2 + (\eta_1^*)^2 + (\mu_2^*)^2 + (\delta_2^*)^2 + (\eta_2^*)^2 + (\mu_3^*)^2 + (\delta_3^*)^2 + (\eta_3^*)^2 + \\ (\mu_4^*)^2 + (\delta_4^*)^2 + (\eta_4^*)^2 + (\mu_5^*)^2 + (\delta_5^*)^2 + (\eta_5^*)^2 \end{array} \right\} \\ \mu_1^* = CI_1 - 0.500 \quad \delta_1^* = CI_1 - 0.750 \quad \eta_1^* = CI_1 - 0.521 \\ \mu_2^* = CI_2 - 0.000 \quad \delta_2^* = CI_2 - 0.453 \quad \eta_2^* = CI_2 - 0.228 \\ \mu_3^* = CI_3 - 0.160 \quad \delta_3^* = CI_3 - 0.505 \quad \eta_3^* = CI_3 - 0.315 \\ \mu_4^* = CI_4 - 0.313 \quad \delta_4^* = CI_4 - 0.266 \quad \eta_4^* = CI_4 - 0.000 \\ \mu_5^* = CI_5 - 1.000 \quad \delta_5^* = CI_5 - 0.670 \quad \eta_5^* = CI_5 - 1.000 \\ \text{s. t. } \min\{0.500, 0.750, 0.521\} \leq CI_1 \leq \max\{0.500, 0.750, 0.521\}, \\ \text{s. t. } \min\{0.000, 0.453, 0.228\} \leq CI_2 \leq \max\{0.000, 0.453, 0.228\}, \\ \text{s. t. } \min\{0.160, 0.505, 0.315\} \leq CI_3 \leq \max\{0.160, 0.505, 0.315\}, \\ \text{s. t. } \min\{0.313, 0.266, 0.000\} \leq CI_4 \leq \max\{0.313, 0.266, 0.000\}, \\ \text{s. t. } \min\{1.000, 0.670, 1.000\} \leq CI_5 \leq \max\{1.000, 0.670, 1.000\}, \\ \text{s. t. } 0 < CI_1 < 1; 0 < CI_2 < 1; 0 < CI_3 < 1; 0 < CI_4 < 1; 0 < CI_5 < 1; \end{array} \right.$$

şeklinde oluşturulur. Yukarıdaki model çözülerek, $CI_i (i = 1, 2 \dots, 5)$ değerleri

$$CI_1 = 0.590; CI_2 = 0.227; CI_3 = 0.327; CI_4 = 0.193; CI_5 = 0.807$$

şeklinde belirlenir.

Adım 11. Tüm $A_i (i = 1, 2 \dots, 5)$ alternatiflerinin sıralanması ve en ideal olanın belirlenmesi.

$CI_i (i = 1, 2 \dots, 5)$ değerini kullanarak alternatiflerin sıralaması $A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$, şeklinde olacağından en iyi alternatifin A_5 olduğu söylenir.

3.6. Tartışma ve Karşılaştırma Analizi

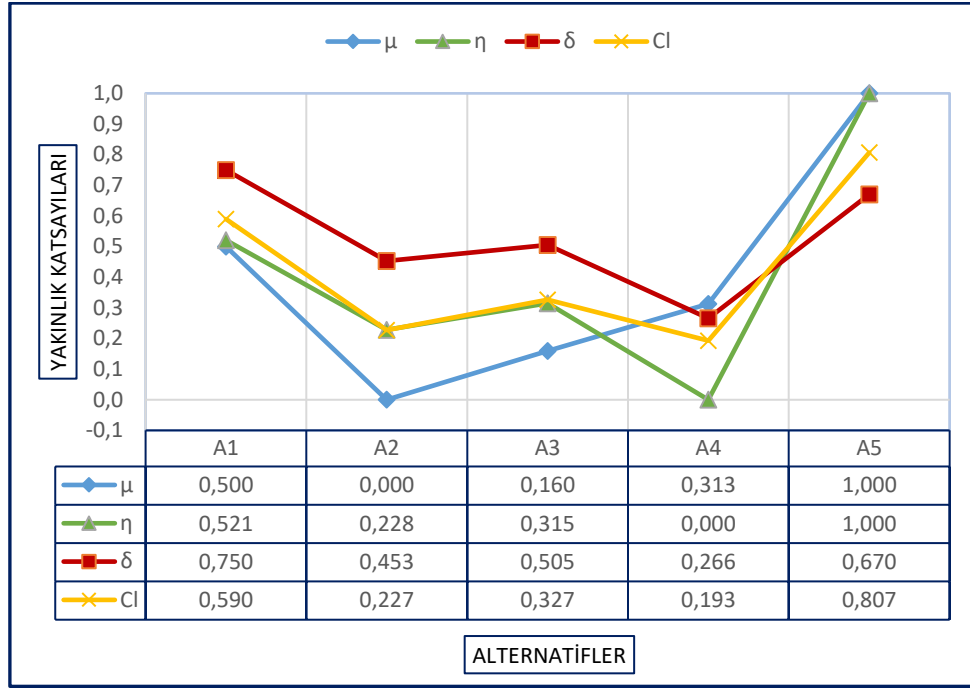
3.6.1. Tartışma Analizi

Bu alt bölümde, sıralamaya ayrı ayrı etki eden yakınlık katsayılarının etkileri tartışılarak Tablo 3.4'te sunulmuştur. Tablo 3.4'ün son satırı, önerilen önlemlerle bulunan sıralamaların optimize edilmiş nihai sıralamasını göstermektedir. Buradan optimizasyon ile daha nesnel ve tutarlı bir sıralama elde edileceğini söylemek mümkündür.

Tablo 3.4. Farklı bilgi ölçütleri altında alternatiflerin göreceli yakınlık değerleri

Bilgi ölçümleri	Alternatifler					Sıralama
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	
izdüşüm (μ)	0.500	0.000	0.160	0.313	1.000	$A_5 > A_1 > A_4 > A_3 > A_2$
olasılık (η)	0.521	0.228	0.315	0.000	1.000	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
fark (δ)	0.750	0.453	0.505	0.266	0.670	$A_1 > A_5 > A_3 > A_2 > A_4$
Optimizasyon (CI)	0.590	0.227	0.327	0.193	0.807	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$

Belirlenen yakınlık katsayılar ile alternatifler arasındaki sıra ilişkisi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Alternatiflerin yakınlık katsayılarına göre sıralaması

3.6.2. Karşılaştırma Analizi

Karşılaştırma bölümünün amacı, önerilen yöntemin mevcut diğer modellerden (Şahin ve Küçük, 2015; Ye, 2013; Huang, 2016; Ye, 2015a, 2017b; Garg, 2019; Biswas vd., 2016; Şahin ve Yiğider, 2016; Xu vd., 2017) üstün olduğunu göstermektir.

Bunun için, aynı örneğe dayalı olarak iki farklı perspektif sunulmuştur. Birincisi bilgi ölçülerine (Şahin ve Küçük, 2015; Ye, 2013; Huang, 2016; Ye, 2015, 2017; Garg, 2019) ve ikincisi ise karar modellerine (Biswas vd., 2016; Şahin ve Yiğider, 2016; Xu vd., 2017) uygulanmıştır.

İlk olarak, bilgi ölçümlerinin analizi Tablo 3.1 'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Bilgi ölçütlerine göre sonuçların karşılaştırılması

Metot	Sıralamalar
Alt küme ölçüsü (Şahin ve Küçük, 2015)	$A_1 > A_5 > A_3 > A_2 > A_4$
Korelasyon kat sayısı ölçüsü (Ye, 2013)	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
Mesafe ölçüsü (Huang, 2016)	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
İzdüşüm ölçüsü (Ye, 2017b)	$A_3 > A_5 > A_2 > A_4 > A_1$
Fark ölçüsü (Garg, 2019)	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
Entropi ölçüsü (Ye, 2015a)	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
Önerilen izdüşüm ölçüsü	$A_5 > A_1 > A_4 > A_3 > A_2$
Önerilen fark ölçüsü	$A_1 > A_5 > A_3 > A_2 > A_4$
Önerilen olasılık ölçüsü	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$

Yukarıda sunulan sonuçlara göre, izdüşüm ölçüsü (Ye, 2017b) yardımıyla bulunan sonuç dışında, diğer ölçülerdeki A_1 ve A_5 alternatifleri birinci sırayı paylaşırken, alternatif A_4 genellikle son sıradadır. Önerilen bilgi ölçülerinin var olan diğer ölçülerdeki eksiklikleri ortadan kaldırdığı düşünüldüğünde, önerilen bilgi ölçüleri ile yapılan sıralamaların daha doğru sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

İkinci olarak, karar modellerinin analizi Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Karar modellerine göre sonuçların karşılaştırılması

Metot	Sıralamalar
TDN-TOPSIS (Biswas vd., 2016)	$A_5 > A_1 > A_4 > A_3 > A_2$
TDN-TOPSIS (Şahin ve Yiğider, 2016)	$A_5 > A_1 > A_4 > A_3 > A_2$
TDN-TOPSIS (Garg, 2019)	$A_1 > A_5 > A_2 > A_4 > A_3$
TDN-TODIM (Xu vd., 2017)	$A_5 > A_1 > A_4 > A_2 > A_3$
TDN-ÖNERİLEN-TOPSIS	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$

Tablo 3.6'da sunulan sonuçlara göre (Biswas vd., 2016; Şahin ve Yiğider, 2016; Xu ve diğerleri, 2017) 'deki yöntemlerden yararlanılarak elde edilen nihai sıralamaların önerilen yaklaşımdan farklı olduğu açıktır. Çalışmamızın doğruluğunu gösteren modellerin sıralamasında özellikle birinci ve ikinci alternatifler aynı sırada yer alırken, alternatif A_2 genellikle sondadır. (Biswas vd., 2016; Şahin ve Yiğider, 2016; Xu vd., 2017)'deki yöntemler, alternatiflerin nihai sıralaması için mesafe ölçüsü olan tek bir bilgi ölçüsü kullanır. 3. Bölümde verilen yeni geliştirilen bilgi ölçütlerinin avantajları ve optimizasyon entegrasyonları birlikte değerlendirildiğinde, bu çalışmada önerilen yöntemin daha etkili ve doğru bir çözüm sağladığı anlaşılmaktadır.

3.7. Duyarlılık Analizi

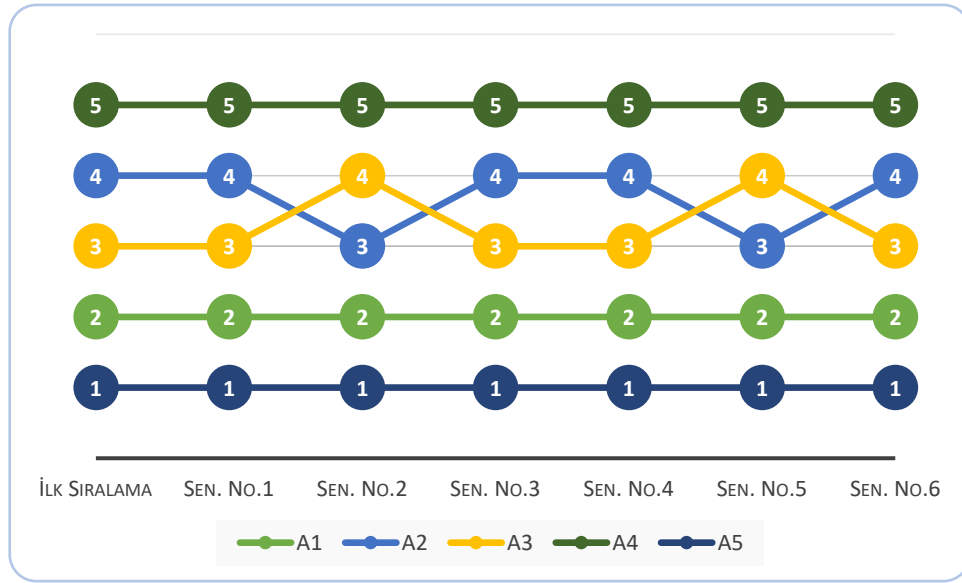
3.7.1. Kriter Ağırlıklarındaki Değişimin Genel Sıralamaya Etkisi

Önerilen modelin doğruluğunu ve kararlılığını göstermek için bir duyarlılık analizi sağlanmıştır. Duyarlılık analizinde, kriterlerin ağırlıklarındaki değişimin nihai sıralamayı nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu amaçla 6 senaryo yapılmış ve Tablo 3.7'de sunulmuştur.

Tablo 3.7. Duyarlılık analizi ile altı farklı senaryonun değeriendirilmesi

Sıra No.	Değişiklikler	Cl ₁	Cl ₂	Cl ₃	Cl ₄	Cl ₅	Sıralamalar
1	$\alpha_1 = 0.500; \alpha_{2-5} = 0.125$	0.597	0.295	0.378	0.100	0.864	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
2	$\alpha_2 = 0.500; \alpha_{1,3-5} = 0.125$	0.392	0.344	0.301	0.195	0.837	$A_5 > A_1 > A_2 > A_3 > A_4$
3	$\alpha_3 = 0.500; \alpha_{1,2,4,5} = 0.125$	0.443	0.207	0.304	0.203	0.853	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
4	$\alpha_4 = 0.500; \alpha_{1-3,5} = 0.125$	0.509	0.129	0.322	0.104	0.906	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$
5	$\alpha_5 = 0.500; \alpha_{1-4} = 0.125$	0.477	0.329	0.327	0.100	0.707	$A_5 > A_1 > A_2 > A_3 > A_4$
6	$\alpha_{1-5} = 0.200$	0.524	0.108	0.355	0.100	0.924	$A_5 > A_1 > A_3 > A_2 > A_4$

Nihai sıralamadaki değışiklik ve duyarlılık analizinin sonuçları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Duyarlılık analizinin sonuçları

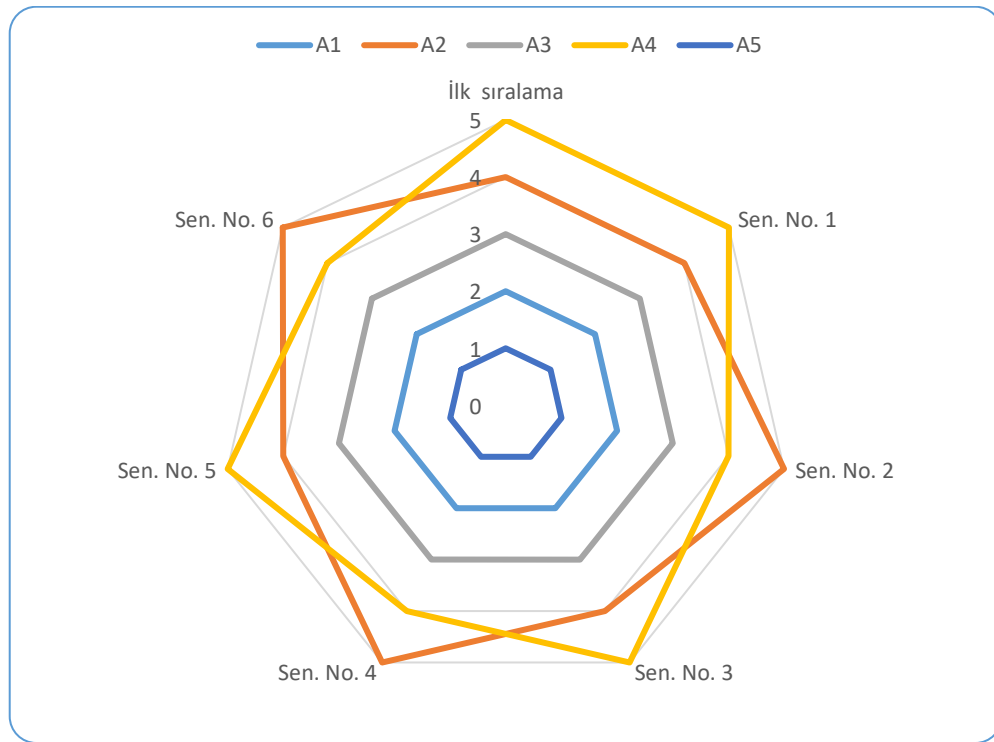
Şekil 3.2'de, alternatif A_5 birinci sırada yer alırken, alternatif A_1 ikinci alternatif olarak sıralanır ve tüm senaryolar için sıralamalarını korumuşlardır. Ayrıca, alternatif A_4 , tüm senaryolar için son sırada yer almaktadır. Ayrıca A_2 alternatifi 2 senaryo için üçüncü alternatif olarak bulunurken, 4 senaryo için dördüncü alternatif olarak tanımlanmaktadır. Tersine, alternatif A_3 , 4 senaryo için üçüncü sırada yer alırken, 2 senaryo için dördüncü sırada yer alıyor. Bu sonuçlar, farklı senaryoların çoğusunun, çalışmanın hassasiyetini göstererek sıralamanın değışmediğini kanıtlamaktadır.

3.7.2. (ν, λ, φ) Risk Faktörlerinin Genel Sıralamaya Etkisi

Tablo 3.8, risk faktörlerindeki (ν, λ, φ) değışimin, genel sıralamayı nasıl değıştirdiğini göstermektedir. Bu durum Şekil 3.3'de gösterilmektedir.

Tablo 3.8. Farklı risk faktörü katsayılarının değerlendirilmesi

	İlk sıralama	Sen. No. 1	Sen. No. 2	Sen. No. 3	Sen. No. 4	Sen. No. 5	Sen. No. 6
(ν, λ, φ)	(0.5, 0.5, 0.5)	(1, 0, 0)	(0.4, 0.1, 0.2)	(0.9, 0.8, 0.2)	(0.1, 0.1, 0.6)	(1, 1, 1)	(0, 1, 1)
A_1	2	2	2	2	2	2	2
A_2	4	4	5	4	5	4	5
A_3	3	3	3	3	3	3	3
A_4	5	5	4	5	4	5	4
A_5	1	1	1	1	1	1	1



Şekil 3.3. Alternatiflerin altı farklı senaryoya göre sıralaması

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere alternatiflerin sıralama sonuçları farklı (ν, λ, φ) üçlülere için kısmi olarak değişmektedir. Hatta optimal alternatif olan A_5 'in sıralamasında bir değişiklik olmamaktadır. Diğer bir deyişle A_1 , A_3 ve A_5 alternatiflerinin sıralaması değişmezken, A_2 ve A_4 alternatiflerinin sıralaması kısmi olarak değişmektedir. Böylece farklı (ν, λ, φ) üçlülere için, sıralamanın önemli bir ölçüde değişmediği açık bir şekilde görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Mevcut TOPSIS, yalnızca mesafe ölçüsü kullanılarak uygulanır. Bu nedenle, bu dezavantajı çözmek için, bu çalışma yenilikçi bir TOPSIS modelini amaçlamaktadır. Yenilikçi TOPSIS, yalnızca TDNK'lerin bir mesafe ölçüsünü değil, aynı zamanda hem bir benzerlik ölçüsünü hem de olasılık ölçüsünü hesaba katar. Yenilikçi TOPSIS'in avantajların aşağıdaki şekilde listelenmiştir.

- 1) Geliştirilen TOPSIS, klasik TOPSIS metodunun aksine neutrosophic pozitif ve negatif izdüşüm karar faktörleri, neutrosophic pozitif ve negatif fark karar faktörleri ve neutrosophic pozitif ve negatif olasılık karar faktörlerine göre sıralama yapar.
- 2) Geliştirilen TOPSIS, doğrudan alternatif sıralamasında kullanılabilen üç farklı yakınlık katsayısına göre sıralama yapar.
- 3) Geliştirilen TOPSIS, üç yakınlık katsayısını optimize ederek nesnelliği artıran daha kesin bir optimal yakınlık katsayısı ile sıralama yapar.

Yenilikçi TOPSIS, alternatiflerin ideal çözüme göre göreceli yakınlığını hesaplarken yalnızca mesafe ölçüsünü değil fark ölçüsünü ve olasılık ölçüsünü de kullanarak optimize edilmiş bir çözüm sağlar. Bu tezde, bir ÇKKV modeli geliştirilen bilgi ölçülerine dayalı TOPSIS metodu ile neutrosophic evrende inşa edilmiştir. Son olarak, dünyamızı etkileyen COVID-19 salgınından korunmanın ana yöntemlerinden biri olan maske seçiminin ÇKKV yöntemi kullanılarak bir uygulaması gösterilmiştir.

Gelecekteki yenilikçi çalışmalar, önerilen TOPSIS yaklaşımını aşağıdaki yönlerde genişletebilir.

- ✓ Bu tezde, yenilikçi TOPSIS sadece TDNK çerçevesi altında değerlendirilmiştir. Dahası, yenilikçi TOPSIS kavramı, aralık neutrosophic kümeler (Wang ve diğerleri 2005), çok değerli neutrosophic kümeler (Wang ve Li, 2015), aralık neutrosophic tereddütlü bulanık kümeler (Ye, 2016), tek değerli neutrosophic dilsel kümeler (Ye, 2015b) ve olasılıklı basitleştirilmiş neutrosophic kümelere (Altun vd. 2020) genelleştirilebilir.

- ✓ Yenilikçi TOPSIS'teki temel düşünceyi VIKOR, TODIM, COPRAS, EDAS ve diğer farklı karma karar verme yaklaşımları gibi fikir birliği modellerine uygulamak ilginç olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., Mohamed, M. ve Smarandache, F., 2018. A Hybrid Neutrosophic Group ANP-TOPSIS Framework for Supplier Selection Problems, Symmetry, 10(6),1-21.
- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Gamal, A. ve Smarandache, F., 2019. A Group Decision Making Framework Based on Neutrosophic TOPSIS Approach for Smart Medical Device Selection, Journal of Medical Systems, 43:38, 1-13.
- Altun, F., Şahin, R. ve Güler, C., 2020. Multi-criteria decision making approach based on PROMETHEE with probabilistic simplified neutrosophic sets, Soft Computing, 24(7), 4899-4915.
- Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic fuzzy sets, Fuzzy Sets and Systems, 20(1), 87–96.
- Atanassov, K.T., 1999. Intuitionistic fuzzy sets, In Intuitionistic fuzzy sets, 35, 1–137.
- Aydoğdu, A., 2015a. On entropy and similarity measure of interval valued neutrosophic sets, Neutrosophic Sets and Systems, 9, 47-49.
- Aydoğdu, A., 2015b. On Similarity and Entropy of Single Valued Neutrosophic Sets, Gen. Math. Notes, 29, 67-74.
- Bausys, R. ve Zavadskas, E.K., 2015. Multicriteria decision making approach by Vikor under interval neutrosophic set environment, Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 49(4), 33–48.
- Bausys, R., Zavadskas, E.K. ve Kaklauskas, A., 2015. Application of neutrosophic set to multicriteria decision making by COPRAS, Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 49(2), 1–15.
- Biswas, P., Pramanik, S. ve Giri, B.C., 2014. Entropy Based Grey Relational Analysis Method for Multi- Attribute Decision Making under Single Valued Neutrosophic Assessments, Neutrosophic Sets and Systems, 2, 105–113.
- Biswas, P., Pramanik, S. ve Giri, B.C., 2016. TOPSIS method for multi-attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment, Neural computing and Applications, 27(3), 727-737.

- Bolturk, E. ve Kahraman, C., 2018. A novel interval-valued neutrosophic AHP with cosine similarity measure, Soft Computing, 22(15), 4941–4958.
- Brans, J.P. ve Vincke, P., 1985. Note-A Preference Ranking Organisation Method, Management Science, 31, 647-656.
- Brauers, W.K.M. ve Zavadskas, E.K., 2010. Project management by multimooora as an instrument for transition economies, Technological and Economic Development of Economy, 16(1), 5–24.
- Broumi, S. ve Smarandache, F., 2013. Correlation coefficient of interval neutrosophic set, Applied Mechanics and Materials, 436, 511–517.
- Chen, J. ve Ye, J., 2016. A Projection Model of Neutrosophic Numbers for Multiple Attribute Decision Making of Clay-Brick Selection, Neutrosophic Sets and Systems, 12, 139-142.
- Chi, P. ve Liu, P., 2013. An extended TOPSIS method for the multiple attribute decision making problems based on interval neutrosophic set, Neutrosophic Sets and Systems, 1(1), 63-70.
- Fan, J. ve Xie, W., 1999. Distance measure and induced fuzzy entropy, Neutrosophic Sets and Systems, 104, 2, 305-314.
- Guleria, A., Srivastava, S. ve Bajaj, R. K., 2019. On Parametric Divergence Measure of Neutrosophic Sets with its Application in Decision-making Models, Neutrosophic Sets and Systems, 29, 101-120.
- Gomes, L.F.A.M. ve Lima, M.M.P.P., 1992. Todim: Basic and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts, Foundations of Computing and Decision Sciences, 16(4), 113–127.
- Huang, H.L., 2016. New Distance Measure of Single-Valued Neutrosophic Sets and Its Application, International Journal of Intelligent Systems, 31(10), 1021-1032.
- Hu, J., Pan, L. ve Chen, X., 2017. An Interval Neutrosophic Projection-Based VIKOR Method for Selecting Doctors, Cogn Comput, 9, 801-816.
- Hwang CL. ve Yoon K., 1981. Methods for Multiple Attribute Decision Making. In: Multiple Attribute Decision Making, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 186, 58-191.

- Ju, F., Yuan, Y., Yuan, Y. ve Quan, W., 2019. A divergence-based distance measure for intuitionistic fuzzy sets and its application in the decision-making of innovation management, IEEE Access, 8, 1105-1117.
- Karaaslan, F. 2017. Correlation coefficients of single-valued neutrosophic refined soft sets and their applications in clustering analysis, Neural Computing and Applications, 28(9), 2781–2793.
- Karaşan, A. ve Kahraman, C., 2018. A novel interval-valued neutrosophic EDAS method: prioritization of the United Nations national sustainable development goals, Soft Computing, 22(15), 4891–4906.
- Liu, C. ve Luo, Y., 2016. Correlated aggregation operators for simplified neutrosophic set and their application in multi-attribute group decision making, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 30(3), 1755–1761.
- Liu, P. ve Tang, G., 2016. Some power generalized aggregation operators based on the interval neutrosophic sets and their application to decision making, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 30(5), 2517–2528.
- Liu, P. ve Wang, Y., 2014. Multiple attribute decision-making method based on single-valued neutrosophic normalized weighted Bonferroni mean, Neural Computing and Applications, 25(7–8), 2001–2010.
- Liu, P. ve You, X., 2019. Bidirectional projection measure of linguistic neutrosophic numbers and their application to multi-criteria group decision making, Computers & Industrial Engineering, 128, 447-457.
- Majumdar, P. ve Samanta, S.K., 2014. On Similarity and Entropy of Neutrosophic Sets, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 26(3), 1245–1252.
- Mishra, A.R., Kumari, R. ve Sharma, D.K., 2017. Intuitionistic fuzzy divergence measure-based multi-criteria decision-making method, The Natural Computing Applications Forum, 31, 2279-2294.
- Mondal, K., Pramanik, S. ve Giri, B.C., 2018. Hybrid Binary Logarithm Similarity Measure for MAGDM Problems under SVNS Assessments, Neutrosophic Sets and Systems, 20, 12-25.

- Montes, I., Janis, V. ve Montes, S., 2011. An axiomatic definition of divergence for intuitionistic fuzzy sets, France, Proceedings of the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, July 2011, 547-553.
- Montes, I., Pal, N.R., Janis, V., ve S. Montes, S., 2015. Divergence measures for intuitionistic fuzzy sets, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 23, 444-456.
- Montes, S., Couso, I., Gil, P. ve Bertoluzza, C., 2002. Divergence measure between fuzzy sets, International Journal of Approximate Reasoning, 30(2), 91-105.
- Nabeeh, N.A., Smarandache, F., Abdel-Basset, M., El-Ghareeb, H.A. ve Aboelfetouh, A., 2019. An Integrated Neutrosophic-TOPSIS Approach and Its Application to Personnel Selection: A New Trend in Brain Processing and Analysis, IEEE Access, 7, 29734-29744.
- Nadaban, S. ve Dzitac, S., 2016. Neutrosophic TOPSIS: A General View, In 2016 6th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC) pp. 250-253.
- Nancy ve Garg, H., 2019. A novel divergence measure and its based TOPSIS method for multi criteria decision-making under single-valued neutrosophic environment, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 36, 101–115.
- Nasab, H.H. ve Milani, A.S., 2012. An improvement of quantitative strategic planning matrix using multiple criteria decision making and fuzzy numbers, Applied Soft Computing, 12, 2246-2253.
- Opricovic, S., 1998. Multicriteria optimization of civil engineering systems, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 2(1), 5–21.
- Peng, J.J., Wang, J.Q., Zhang, H.Y. ve Chen, X.H., 2014. An outranking approach for multi-criteria decision-making problems with simplified neutrosophic sets, Applied Soft Computing, 25, 336–346.
- Peng, J.J., Wang, J.Q, Wu, X.H, Wang, J. ve Chen, X. H., 2015. Multi-valued Neutrosophic Sets and Power Aggregation Operators with Their Applications in Multi-criteria Group Decision-making Problems, International Journal of Computational Intelligence Systems, 8(2), 345–363.

- Peng, J.J., Wang, J.Q. ve Yang, W.E., 2016. A multi-valued neutrosophic qualitative flexible approach based on likelihood for multi-criteria decision-making problems, International Journal of Systems Science, 48(2), 425-435.
- Peng, H.G., Zhang, H.Y. ve Wang, J.Q., 2018. Probability multi-valued neutrosophic sets and its application in multi-criteria group decision-making problems, Neural Computing and Applications, 30(2), 563-583.
- Peng, X. ve Dai, J., 2020. A bibliometric analysis of neutrosophic set: Two decades review from 1998 to 2017, Artificial Intelligence Review, 53(1), 199-255.
- Pramanik, S., Dey, P.P., Giri, B.C. ve Smarandache, F., 2017. Bipolar Neutrosophic Projection Based Models for Solving Multi-attribute Decision Making Problems, Neutrosophic Sets and Systems, 15, 70-79.
- Roy, B., 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples, RAIRO-Operations Research - Recherche Opérationnelle, 2, 57–75.
- Saaty, T. L., 1980. The Analytic Hierarchy Process, In Decision Analysis, 9, 161-176.
- Shahzadi, G., Akram, M. ve Saeid, A.B., 2019. An Application of Single-Valued Neutrosophic Sets in Medical Diagnosis, Neutrosophic Sets and Systems, 18, 80-88.
- Smarandache, F., 1998. Neutrosophy. Neutrosophic Probability, Set, and Logic, ProQuest Information and Learning, Ann Arbor, Michigan, USA, 105, 118–123.
- Song, Y. ve Deng, Y., 2019. Divergence Measure of Belief Function and Its Application in Data Fusion, IEEE Access, 7, 107465-107472.
- Srivastava, A. ve Maheshwari, S., 2016. Decision making in medical investigations using new divergence measures for intuitionistic fuzzy sets, Iranian Journal of Fuzzy Systems, 13, 1, 25-44
- Stanujkic, D., Zavadskas, E.K., Smarandache, F., Brauers, W.K.M. ve Karabasevic, D., 2017. A neutrosophic extension of the MULTIMOORA method, Informatica, 28(1), 181–192.
- Şahin, R., 2017. Cross-entropy measure on interval neutrosophic sets and its applications in multicriteria decision making, Neural Computing and Applications, 28(5), 1177–1187.

- Şahin, R. ve Liu, P., 2016. Maximizing deviation method for neutrosophic multiple attribute decision making with incomplete weight information, Neural Computing and Applications, 27(7), 2017–2029.
- Şahin, R. ve Liu, P., 2017. Correlation coefficient of single-valued neutrosophic hesitant fuzzy sets and its applications in decision making, Neural Computing and Applications, 28(6), 1387–1395.
- Şahin, R. ve Küçük, A., 2014. On similarity and entropy of neutrosophic soft sets, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 27(5), 2417–2430.
- Şahin, R. ve Küçük, A., 2015. Subsethood measure for single valued neutrosophic sets, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 29(2), 525-530.
- Şahin, R. ve Yiğider, M., 2014. A Multi-criteria neutrosophic group decision making method based TOPSIS for supplier selection, Applied Mathematics & Information Sciences 10 (5), 1843-1852.
- Thao, N.X., Ali, M., Nhung, L. T., Gianey, H. K., ve Smarandache, F., 2019. A new multi-criteria decision making algorithm for medical diagnosis and classification problems using divergence measure of picture fuzzy sets, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 37, 7785-7796.
- Thao, N.X. ve Smarandache, F., 2018. Divergence Measure of Neutrosophic Sets and Applications, University of New Mexico, Neutrosophic Sets and Systems, 21, 142-152.
- Tian, C., Zhang, W.Y., Zhang, S. ve Peng, J.J., 2019. An Extended Single-Valued Neutrosophic Projection-Based Qualitative Flexible Multi-Criteria Decision-Making Method, Mathematics, 7, 1-16.
- Tian, Z.P., Zhang, H. Y., Wang, J., Wang, J. Q. ve Chen, X. H., 2016. Multi-criteria decision-making method based on a cross-entropy with interval neutrosophic sets, International Journal of Systems Science, 47, 3598-3608.
- Toptancı, Ş., Karamaşa, Ç., Aytekin, A. ve Orakçı, E., 2018. Nötrosofik AHP ve Nötrosofik TOPSIS Bütünleşik Modeli Personel Seçiminde Bir Uygulama, 17-20 Ekim 2018, 19. Uluslararası Eyi Sempozyumu Tam Metin Bildiri Kitabı

(editörler:A.M. Çilingirtürk, H. Koçak, T. Ün, N.T. Yılmaz Soydan), Antalya, s.819-834.

- Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y.Q. ve Sunderraman, R., 2005. Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing, Hexis, Arizona, USA, 87p.
- Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y.Q. ve Sunderraman, R., 2010. Single valued neutrosophic sets, Multispace and Multistructure, 4, 410–413.
- Wang, J.Q. ve Li, X.E., 2015. TODIM method with multi-valued neutrosophic sets, Kongzhi Yu Juece/Control and Decision, 30(6), 1139–1142.
- Wang, J.W., Cheng, C.H. ve Huang, K.C., 2009. Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection, Applied Soft Computing, 9(1), 377–386.
- Wang, Z. ve Liu, L., 2016. Optimized PROMETHEE based on interval neutrosophic sets for new energy storage alternative selection, Revista Tecnica de La Facultad de Ingenieria Universidad Del Zulia, 39(9), 69–77.
- Xu, Z. ve Cai, X., 2012. Intuitionistic Fuzzy Information Aggregation, In: Intuitionistic Fuzzy Information Aggregation, Springer, Berlin, Heidelberg, 102p.
- Xu, D.S., Wei, C. ve Wei, G.W., 2017. TODIM method for single-valued neutrosophic multiple attribute decision making, Information, 8(4), 1-18.
- Xu, Z. ve Hu, H., 2010. Projection models for intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making, International Journal of Information Technology & Decision Making, 9(02), 267-280.
- Xu, Z.S. ve Yager, R.R., 2010. Power-geometric operators and their use in group decision making, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 18(1), 94–105.
- Xu, Z.S., 2011. Approaches to multiple attribute group decision making based on intuitionistic fuzzy power aggregation operators, Knowledge-Based Systems, 24(6), 749–760.
- Yager, R.R., 2001. The power average operator, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part A-Systems and Humans, 31(6), 724–731.

- Ye, J., 2013. Multicriteria decision-making method using the correlation coefficient under single-valued neutrosophic environment, International Journal of General Systems, 42(4), 386-394.
- Ye, J., 2014a. Vector similarity measures of simplified neutrosophic sets and their application in multicriteria decision making, International Journal of Fuzzy Systems, 16, 204–211.
- Ye, J., 2014b. Clustering methods using distance-based similarity measures of single-valued neutrosophic sets, Journal of Intelligent Systems, 23(4), 379–389.
- Ye, J., 2014c. Improved correlation coefficients of single valued neutrosophic sets and interval neutrosophic sets for multiple attribute decision making, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 27(5), 2453–2462.
- Ye, J., 2014d. Similarity measures between interval neutrosophic sets and their applications in multicriteria decision-making, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 26(1), 165–172.
- Ye, J., 2014e. Single valued neutrosophic cross-entropy for multicriteria decision making problems, Applied Mathematical Modelling, 38(3), 1170–1175.
- Ye, J., 2015a. Improved cross entropy measures of single valued neutrosophic sets and interval neutrosophic sets and their multicriteria decision making methods, Cybernetics and Information Technologies, 15(4), 13-26.
- Ye, J., 2015b. An extended TOPSIS method for multiple attribute group decision making based on single valued neutrosophic linguistic numbers, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 28(1), 247-255.
- Ye, J., 2016. Correlation coefficients of interval neutrosophic hesitant fuzzy sets and its application in a multiple attribute decision making method, Informatica, 27(1), 179-202.
- Ye, J., 2017. Bidirectional projection method for multiple attribute group decision making with neutrosophic numbers, Neural Comput & Applic, 28, 1021–1029,
- Ye, J., 2017a. Single-valued neutrosophic similarity measures based on cotangent function and their application in the fault diagnosis of steam turbine, Soft Computing, 21(3), 817-825.

- Ye, J., 2017b. Projection and bidirectional projection measures of single-valued neutrosophic sets and their decision-making method for mechanical design schemes, Journal of Experimental & theoretical artificial intelligence, 29(4), 731-740.
- Ye, J. ve Du, S., 2019. Some distances, similarity and entropy measures for interval-valued neutrosophic sets and their relationship, Int. J. Mach. Learn. & Cyber, 10, 347–355.
- Ye, J. ve Fu, J., 2016. Multi-period medical diagnosis method using a single valued neutrosophic similarity measure based on tangent function, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 123, 142-149.
- Yong, R. ve Ye, J., 2019. Multiple Attribute Projection Methods with Neutrosophic Sets, Springer, 369, 603-622.
- Yue, Z. 2012. Approach to group decision making based on determining the weights of experts by using projection method, Journals & Books, (36), 7, 2900-2910.
- Yue, Z. 2013. An intuitionistic fuzzy projection-based approach for partner selection, Journals & Books, (37), 23, 9538-9551.
- Yue, Z. ve Jia, Y., 2015. A group decision making model with hybrid intuitionistic fuzzy information, Computers & Industrial Engineering, 87, 202-212.
- Yue, Z. ve Jia, Y., 2017. A direct projection-based group decision-making methodology with crisp values and interval data, Soft Computing, 21(9), 2395-2405.
- Yue, C., 2019. An interval-valued intuitionistic fuzzy projection-based approach and application to evaluating knowledge transfer effectiveness, Neural Computing and Applications, 31(11), 7685-7706.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets, Information and Control, 8, 338–353.
- Zavadskas, E., Kaklauskas, A. ve Sarka, V., 1994. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects, Technological and Economic Development of Economy, 1(3), 131–139.
- Zavadskas, E.K. ve Turskis, Z., 2011. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview, Technological and Economic Development of Economy, 17(2), 397–427.

- Zeng, S., Baležentis, T., Chen, J. ve Luo, G., 2013. A Projection Method for Multiple Attribute Group Decision Making with Intuitionistic Fuzzy Information, Informatica, 24, 3, 485 – 503.
- Zhou, L.G., Chen, H.Y. ve Liu, J.P., 2012. Generalized power aggregation operators and their applications in group decision making, Computers & Industrial Engineering, 62(4), 989–999.
- Zhou, Z., Dou, Y., Zhang, X., Zhao, D. ve Tan, Y., 2018. A group decision-making model for wastewater treatment plans selection based on intuitionistic fuzzy sets, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 26(4), 251-260,

ÖZGEÇMİŞ

Fuat ASLAN, İlköğrenimini Yeniyol Köyü İlkokulunda beş yıl okuduktan sonra kalan üç yılı da Atatürk İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır ve lise öğrenimini de Gümüşhane Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2009 yılında tamamladı. 2009 yılında kısa bir dönem Gümüşhane Lisesinde ücretli matematik öğretmeni olarak görev yaptı. 2011 yılında İnfaz ve Koruma Memuru olarak göreve başlamış olup halen İnfaz ve Koruma Memuru olarak çalışmaktadır. 2018-2019 Eğitim-Öğretim Yılı Güz Döneminde Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Fuat ASLAN, evli ve üç çocuk babasıdır.