

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın başlamasına ve ilerlemesine yardımcı olan, beni her zaman destekleyen, çalışmalarım süresince özverisini hiçbir zaman esirgemeyip değerli bilgi, tecrübe ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Dr.Öğr. Üyesi Gökhan ÖZÇELİK'e, hem hayatımın her döneminde manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen hem de tezimin uygulama bölümündeki karar vericilerden ikisi olan abim Araş.Gör. İhsan NALKIRAN ve eşi Dr.Öğr. Üyesi Hatice SEVİM NALKIRAN'a tezime katkılarından dolayı, bunun yanı sıra yeğenlerim Elif Gökçe NALKIRAN ve Yusuf Gökalp NALKIRAN başta olmak üzere tüm aileme ve en yakın arkadaşlarıma her zaman yanımda oldukları için teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Makbule NALKIRAN

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çok Kriterli Grup Karar Verme Problemleri İçin Yamuk Bipolar Bulanık Bilgi İle Donatılan Genişletilmiş EDAS Yöntemi: Tıbbi Cihaz Seçimi Problemi Üzerine Gerçek Bir Uygulama” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr.Öğr. Üyesi Gökhan ÖZÇELİK‘ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, çalışmada ki analiz ve değerlendirmeleri kendim yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/12/2019

Makbule NALKIRAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Kapsamı.....	7
1.3. Tezin Amacı.....	8
1.4. Literatür Taraması.....	8
1.5. Literatüre Katkı.....	12
2. METODOLOJİ.....	14
2.1. Bulanık Mantık.....	14
2.2. Bulanık Sayılar.....	15
2.2.1. Sıradan Bulanık Sayılar.....	15
2.2.1.1. Aralık Tipi Bulanık Sayılar.....	15
2.2.1.2. LR Tipi Bulanık Sayılar.....	16
2.2.1.3. Üçgen Bulanık Sayılar.....	16
2.2.1.4. Yamuk Bulanık Sayılar.....	17
2.2.1.5. Gauss Bulanık Sayılar.....	18
2.2.1.6. Üstel Bulanık Sayılar.....	19
2.2.2. Aralık Tip 2 Bulanık Sayılar.....	19
2.2.3. Bipolar Bulanık Sayılar.....	19
2.3. Yamuk Bipolar Bulanık Sayılar.....	20
2.4. Bulanık TOPSIS Yöntemi.....	25
2.4.1. Yamuk Bipolar Bulanık TOPSIS Yöntemi.....	25
2.5. Bulanık EDAS Yöntemi.....	28
2.5.1. Yamuk Bipolar Bulanık EDAS Yöntemi.....	28
3. UYGULAMA.....	33

3.1.	Problemin Tanımı.....	33
3.2.	Kriterler.....	33
3.3.	Alternatifler.....	34
3.4.	Değerlendirme.....	37
3.5.	Tıbbi Cihaz Seçimi Projesinde TrBF-TOPSIS Yönteminin Uygulanması.....	41
3.6.	Tıbbi Cihaz Seçimi Projesinde Genişletilmiş Yamuk Bipolar Bulanık EDAS Yönteminin Uygulanması.....	44
4.	DOĞRULAMA VE DUYARLILIK ANALİZLERİ.....	50
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
7.	KAYNAKLAR.....	59
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans

ÖZET

VI

ÇOK KRİTERLİ GRUP KARAR VERME PROBLEMLERİ İÇİN YAMUK BİPOLAR BULANIK EDAS YÖNTEMİ VE GERÇEK BİR UYGULAMA

Makbule NALKIRAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Gökhan OZCELİK
2019, 64 Sayfa

Bu tezde, Çok Kriterli Grup Karar Verme ile ilgili karar vericilere bağlı olarak dilsel belirsizliği içeren problemleri ele almak için yeni bir yamuk bipolar bulanık EDAS (TrBF-EDAS) yöntemi sunulmaktadır. Önerilen TrBF-EDAS yöntemi; ölü ve canlı hücre sayımı, hücre canlılığı ile ilgili görüntü tabanlı analizler yapabilen bir tıbbi cihazın seçimiyle ilgili gerçek bir problem için uygulanmıştır. Bu bağlamda, Türkiye'de bulunan bir tıp fakültesinin tıbbi biyoloji bölümünde hücre kültürü çalışmalarında kullanılmak üzere istenilen uygun cihazın seçim işlemi, kendi alanlarında uzman, üç karar vericinin görüşü alınarak önerilen TrBF-EDAS ile gerçekleştirilmiştir. Tezde, önerilen TrBF-EDAS yönteminin geçerliliğini doğrulamak için ölçütlerin ağırlığına rastgele farklı değerler atanarak yirmi dört vaka oluşturulmuştur. Üretilen tüm vakalar için, TrBF-EDAS yöntemi tarafından elde edilen tercih sıralaması, daha önce akademik literatürde sunulan TrBF-TOPSIS yöntemi tarafından elde edilen çıktılarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalara göre, Spearman'ın sıra korelasyon katsayıları yeterince tatmin edici bulunmuştur. Sonuç olarak, TrBF-TOPSIS ile karşılaştırıldığında nispeten daha az çaba gerektiren TrBF-EDAS yönteminin, herhangi bir sistemdeki alternatiflerin değerlendirilmesinde kolayca uygulanabilecek verimli ve sağlam bir araç olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bipolar bulanık sayılar, Yamuk bipolar bulanık sayılar, EDAS yöntemi

Master Thesis

SUMMARY

TRAPEZOIDAL BIPOLAR FUZZY EDAS METHOD FOR MULTI-CRITERIA GROUP DECISION MAKING PROBLEMS AND A REAL APPLICATION

Makbule NALKIRAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Asts.Prof. Gökhan OZCELİK
2019, 64 Pages

This thesis presents a novel trapezoidal bipolar fuzzy EDAS (TrBF-EDAS) method to handle Multi-Criteria Group Decision Making problems in which includes linguistic vagueness depending on double-sided judgmental thinking of the decision-makers. The proposed TrBF-EDAS is employed to conduct a real case dealing with the selection of a medical device which can perform image-based assays dealing with dead and live cell count, cell viability. In this regard, the selection process of the most desirable device to be used in cell culture studies in the biology department of the medical faculty in Turkey is performed with the proposed TrBF-EDAS by taking the opinion of three decision-makers who are experts in their fields. In the thesis, twenty-four cases are generated by assigning randomly different values to the weights of criteria to verify the validation of the proposed TrBF-EDAS. For all generated cases, the preference rankings obtained by the TrBF-EDAS are compared with the outputs obtained by the TrBF-TOPSIS, presented before in the academic literature. According to the comparisons, Spearman's rank correlation coefficients are found sufficiently satisfactory. Consequently, TrBF-EDAS, requiring relatively less effort compared with the TrBF-TOPSIS, is an efficient and robust tool to apply readily for evaluations of the alternatives in any system.

Keywords: Bipolar fuzzy numbers, Trapezoidal bipolar fuzzy numbers, EDAS method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. ÇKKV yöntemlerinin geliştirilme süreci	2
Şekil 2. Bipolar bulanık sayıların grafiksel gösterimi.....	22
Şekil 3. Yamuk bipolar bulanık sayıların grafiksel gösterimi.....	23
Şekil 4. TrBF-EDAS metodolojisinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 5. Nexcelom Cellometer Vison CBA cihazı.....	34
Şekil 6. Chemometec NC-3000 cihazı.....	35
Şekil 7. iCyte Automated Imaging Cytometer cihazı.....	35
Şekil 8. Countess II FL cihazı.....	36
Şekil 9. LUNA-STEM cihazı.....	36
Şekil 10. LUNA-FL cihazı.....	37
Şekil 11. Alternatiflerin sıralamalarının ele alınan yöntemler açısından görselleştirilmesi...52	
Şekil 12. Tıbbi cihaz seçimi problemindeki alternatiflerin TrBF-EDAS ve TrBF-TOPSIS yöntemlerine göre tercih sıralamasının grafiksel gösterimi.....	55

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. ÇKVV Yöntemleri.....	4
Tablo 2. Bipolar Bulanık Kümeleri Dikkate Alan Çalışmalar.....	10
Tablo 3. EDAS yöntemi ile ilgili çalışmalar.....	11
Tablo 4. TrBF dilsel değişkenler (Akram ve Arshad, 2019).....	26
Tablo 5. TrBF dilsel değişkenler (Akram ve Arshad, 2019).....	37
Tablo 6. Kriter ağırlıklarının karar vericiler tarafından değerlendirilmesi.....	38
Tablo 7. Kriter ağırlıklarının bulanık sayılar ile gösterilmesi.....	38
Tablo 8. Alternatiflerin kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi.....	38
Tablo 9. Alternatiflerin kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesinin yamuk bipolar bulanık sayılar ile gösterilmesi.....	39
Tablo 10. TrBF bütünleştirilmiş karar matrisi (w_j).....	41
Tablo 11. Ağırlıklı yamuk bipolar bulanık bütünleştirilmiş karar matrisi (E).....	42
Tablo 12. Yamuk bipolar bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve yamuk bipolar bulanık negatif ideal çözüm (A^-) değerleri.....	42
Tablo 13. Her bir alternatif için A^* ve A^- den olan uzaklıklar.....	43
Tablo 14. Yakınlık katsayıları (C_i).....	43
Tablo 15. TrBF Ortalama çözüm matrisi ($TrBF - AV$).....	44
Tablo 16. Kriter ağırlıklarının bulanık sayılar ile gösterilmesi.....	44
Tablo 17. Yamuk bipolar bulanık ortalama pozitif uzaklık matrisi ($TrBF - PDA$).....	45
Tablo 18. Yamuk bipolar bulanık ortalama negatif uzaklık matrisi ($TrBF - NDA$).....	45
Tablo 19. Alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif uzaklıkları ($TrBF - \overline{sp}_i$).....	46
Tablo 20. Alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıkları ($TrBF - \overline{sn}_i$).....	47
Tablo 21. Normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif uzaklıklar ($TrBF - \overline{ns\overline{p}}_i$).....	47
Tablo 22. Normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıklar ($TrBF - \overline{ns\overline{n}}_i$).....	48
Tablo 23. Yamuk bipolar bulanık değerlendirme skorları ($TrBF - \overline{as}_i$).....	48
Tablo 24. Durulaştırılmış değerlendirme skorları ($k(\overline{as}_i)$).....	48
Tablo 25. Rastgele atanan kriter ağırlık değerleri.....	50
Tablo 26. Tıbbi cihaz seçimi problemindeki alternatiflerin TrBF-EDAS ve TrBF-TOPSIS yöntemlerine göre tercih sıralaması.....	51
Table 27. Her bir durum için alternatiflerin sıralaması.....	52



SEMBOLLER DİZİNİ

Semboller	Açıklamalar
a	: Sağ yayılım
A	: Alternatif
\tilde{A}	: Bulanık küme
A_i	: i . alternatifi
A^*	: Bipolar bulanık pozitif ideal çözüm
A^-	: Bipolar bulanık negatif ideal çözüm
B	: Faydalı kriter
\tilde{B}	: Bulanık sayı
β	: Sol yayılım
C_i	: A_i alternatifi için yakınlık katsayısı
C_j	: j . kriter
d_i^+	: Her bir alternatifin bipolar bulanık pozitif ideal çözüme olan uzaklığı
d_i^-	: Her bir alternatifin bipolar bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklığı
E	: Ağırlıklı yamuk bipolar bulanık karar matrisi
i	: Alternatif sayısı
\dot{I}	: İyi
j	: Kriter sayısı
k	: Karar verici
K	: Kriter
K	: Kötü
$(k(\tilde{a}_{s_i}))$: Durulaştırılmış değerlendirme skoru
L	: Sol taraf referansı
m	: \tilde{M} sayısının ortalama değeri
\tilde{M}	: Bulanık sayı
$m_B^+(x)$: Pozitif üyelik derecesi
$m_{\tilde{p}}(x)$: Bulanık sayı üyelik fonksiyonu
$\mu_{\tilde{A}}(x)$: Üyelik fonksiyonu
$\mu_{\tilde{m}}(x)$: LR tipi bulanık sayı
N	: Faydalı olmayan kriter
\tilde{N}	: Bulanık sayı

O	: Orta
$Oİ$: Orta iyi
OK	: Orta kötü
p	: Karar verici
\tilde{p}	: Bulanık sayı
R	: Sağ taraf referansı
r_s	: Spearman sıra korelasyon katsayısı
u_i	: 1. örneklemdaki i . ölçümün sıra numarası
$v_B^-(x)$: Negatif üyelik derecesi
v_i	: 2. örneklemdaki i . ölçümün sıra numarası
X	: Sabit küme
x	: Genel (evrensel) küme
\tilde{x}_{ijk}	: Bipolar bulanık sayı
w_{ijk}	: k . karar vericisine ($k = 1, 2, \dots, p$) göre j . kriterin ağırlığı
W_j	: Bütünleştirilmiş karar matrisi
w_j	: j . kriter ağırlığı
w_{jk}	: k . karar vericinin j . kriterin önemine dair yargısı
λ	: Skaler sayı
λ_l	: Memnuniyet derecesi
$\lambda_l^L(x)$: $\lambda_l(x)$ için sol taraf üyelik fonksiyonu
$\lambda_l^R(x)$: $\lambda_l(x)$ için sağ taraf üyelik fonksiyonu
λ_κ	: Memnuniyetsizlik derecesi
$\lambda_\kappa^L(x)$: $\lambda_\kappa(x)$ için sol taraf üyelik fonksiyonu
$\lambda_\kappa^R(x)$: $\lambda_\kappa(x)$ için sağ taraf üyelik fonksiyonu
\forall	: Her
\mathbb{R}	: Reel sayı
∂	: Pozitif değişken katsayı
φ	: Yamuk bipolar bulanık sayısı ve sıfır arasından maksimum değeri seçen bir fonksiyon

Kısaltmalar

\tilde{a}_j

Açıklamalar

: Her bir kriter için bulanık ortalama çözüm

\widetilde{a}_i	: Bulanık değerlendirme skoru
ÇKGKV	: Çok Kriterli Grup Karar Verme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
EDAS	: Evaluation Based on Distance from Average Solution
GSB	: Gauss Bulanık Sayı
KV	: Karar Verici
NDA	: Negatif Uzaklık Matrisi
$\widetilde{nda}_{i,j}$: j . kritere göre i . alternatifin ortalama çözümden negatif uzaklığı temsil eden yamuk bipolar bulanık sayısı
\widetilde{nsn}_i	: Normalize edilmiş ağırlıklandırılmış bulanık toplam negatif Uzaklık
\widetilde{nsp}_i	: Normalize edilmiş ağırlıklandırılmış bulanık toplam pozitif uzaklık
PDA	: Pozitif Uzaklık Matrisi
$\widetilde{pda}_{i,j}$: j . kritere göre i . alternatifin ortalama çözümden pozitif uzaklığı temsil eden yamuk bipolar bulanık sayısı
\widetilde{sn}_i	: Ağırlıklandırılmış bulanık toplam negatif uzaklık
\widetilde{sp}_i	: Ağırlıklandırılmış bulanık toplam pozitif uzaklık
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
$TrBF - \widetilde{a}_i$: Yamuk bipolar bulanık değerlendirme skorları
$TrBF - AV$: Yamuk bipolar bulanık ortalama çözüm matrisi
TrBF-EDAS	: Yamuk bipolar bulanık EDAS
$TrBF - NDA$: Ortalamadan yamuk bipolar bulanık negatif uzaklık matrisi
$TrBF - PDA$: Ortalamadan yamuk bipolar bulanık pozitif uzaklık matrisi
$TrBF - \widetilde{nsn}_i$: Normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıklar
$TrBF - \widetilde{nsp}_i$: Normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif uzaklıklar
$TrBF - \widetilde{sn}_i$: Alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıklar
$TrBF - \widetilde{sp}_i$: Alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif Uzaklıklar
TrBF-TOPSIS	: Yamuk bipolar bulanık TOPSIS
$TrBF - X$: Bütünleştirilmiş yamuk bipolar bulanık karar matrisi

$TrBF - X_k$: k . karar vericinin yamuk bipolar bulanık karar matrisi
ÜsBS : Üstel Bulanık Sayı
VIKOR : Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Karar verme, insan yaşamının doğasında yer alan farkında olarak ya da farkında olmayarak yürütülen faaliyetlerdir ve bir fırsattan yararlanmak ya da bir sorunu çözmek ile ilgilidir. Verilen karar; bir ya da birçok yöneticinin veya herhangi bir sistemde söz sahibi kişilerin, aktif bir sistemde bir veya birçok durumda karar verme durumları ile ilgili olabilir. Verilecek karar ise karar verme durumunun çözülmesi ile elde edilecek kesin bir yargıdır.

Karar verme noktasında pek çok yönetici sübjektif bir yaklaşım izleyerek tecrübe ve sezgilerine dayalı karar vermektedir. Karar vericiler geçmiş tecrübelerinde benzer bir sorun ile karşılaşmışsa veya mevcut problem basit düzeyde ise niteliksel yaklaşımları izlemeleri doğru olacaktır. Fakat karar vericilerin daha önce benzer tecrübeleri yoksa ve mevcut problem karmaşık bir yapıda ise tecrübe ve sezgileri yetersiz kalacaktır. Bu durum ise net kararlar alınması noktasında sorunlar yaratmaktadır.

Birden fazla alternatifin ve birden fazla birbiriyle çelişen kriterin yer aldığı ve değerlendirilecek her alternatifin kendine özel avantajlarının olduğu karmaşık karar verme problemlerinde, sağlıklı ve doğru kararlar verebilmek için karar vericilerin tecrübe ve deneyimleri ile verdikleri kararlar tanımlanabilir ve ölçülebilir niceliksel (kantitatif) tekniklerle desteklenmelidir.

Bu şekilde ele alınan bir karar verme problemi; karar verici, amaç, karar kriteri, alternatifler, olaylar ve sonuçlar gibi çeşitli öğeler içermektedir.

Karar verme birden fazla şekilde yapılabilmektedir. Karar verme sürecinde, alternatifleri değerlendirirken karar vericiler eğer tek bir kritere bağlı kalıyorsa bu karar problemine “tek kriterli karar verme problemleri” denir. Birden fazla alternatifin ve birçok birbiri ile çelişen kriterin söz konusu olduğu karmaşık karar problemleri “çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemleri” şeklinde ele alınmaktadır. Bu problemleri çözme sürecine iki ya da daha fazla karar verici dahil edilirse, bu tür problemler çok kriterli grup karar verme (ÇKGKV) problemlerine dönüşür. Özellikle, günümüzde karşılaştığımız problemler karmaşık yapıda problemler olup, ÇKKV ya da ÇKGKV çatısı altında incelenmektedir.

ÇKKV yöntemlerinin tarihsel süreci 1953 yılında başlamış olup günümüze kadar devam etmektedir ve gelecekte de bu süreç devam edecektir.

Literatürde, bu problemlerle başa çıkabilmek adına pek çok farklı özelliği dikkate alan ÇKKV yöntemleri mevcuttur. Bu alanda dikkate alınan birkaç önemli yöntem, yazar ve yılı ile aşağıda sıralanmıştır:

- EDAS (Ghorabae vd., 2015),
- TOPSIS (Hwang ve Yoon, 1981),
- VIKOR (Opricovic ve Tzeng, 2004),
- PROMETHEE (J. P. Brans, 1982),
- ARAS (Zavadskas ve Turskis, 2010),
- COPRAS (Kaklauskas vd., 2005).

EDAS yönteminde alternatiflerin değerlendirilmesinde ortalama çözümden uzaklık dikkate alınır. Diğer çok kriterli karar verme yöntemleri incelendiğinde EDAS yöntemi, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerine yaklaşım açısından benzerlik göstermektedir.

TOPSIS'in dikkate aldığı başlıca iki temel noktası vardır. Bu noktalar pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olarak adlandırılırlar. Yöntemin amacı pozitif ideal çözüme en yakın mesafe ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki alternatifi belirlemektir. TOPSIS yöntemi ile tüm seçeneklerin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüme olan mesafeleri belirlenmektedir. Pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak mesafede olan seçenek alternatifler içerisindeki en iyi karar alternatifi olarak kabul edilmektedir (Cheng vd., 2002).

VIKOR yönteminin amacı karar seçeneklerinin sıralanmasında ideal çözüme en yakın olan uzlaşık çözüme ulaşmaktır (Opricovic ve Tzeng, 2007). Uzlaşık çözüm ise ideal çözüme en yakın optimum (uygun) çözümdür ve uzlaşma, ölçütler çerçevesinde ortak bir karar verme anlamına gelmektedir. (Opricovic ve Tzeng, 2004).

PROMETHEE yöntemi, çok kriterli analiz için diğer yöntemlere kıyasla alternatiflerin, birbiri ile çelişkili ölçütleri dikkate alınarak sıralanması açısından oldukça başarılı şekilde geliştirilmiş bir yöntemdir. (J. Pierre Brans ve Mareschal, 1992); (Macharis vd., 2004); (Climaco, 1997); (De Smet vd., 2009).

ARAS yöntemi, karar seçeneklerini çeşitli ölçütlere göre fayda fonksiyonu dikkate alarak sıralayan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntemde, bir fayda fonksiyon değeri, bir karar seçeneğinin diğer karar seçeneğine göre görece etkinliğini belirler. Yöntemde, karar seçeneklerinin fayda fonksiyonları değer oranları optimum karar seçeneklerinin fayda fonksiyon değeri ile karşılaştırılır (Shariati vd., 2014).

COPRAS yöntemi, kriterlerin maksimum ve minimum taraflarını dikkate alarak karar alternatiflerini sıralama ve değerlendirme açısından başarılı bir yöntemdir (Kaklauskas vd., 2005).

Çok bilinen yöntemlerden bazıları aşağıdaki tabloda sıralanmıştır:

Tablo 1. ÇKKV Yöntemleri

Yazar & Yılı	Yöntem	Çalışma İçeriği
(Thomas L. Saaty, 1977)	AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci)	Örnek vaka analizleri
(Hwang ve Yoon, 1981)	TOPSIS	Portföy seçim problemi
(Ju-Long, 1982)	GTS (Gri İlişkisel Analiz)	Sistem kararlılığı ve dengelenmesi
(J.P. Brans, 1982)	PROMETHEE	Örnek vaka analizi
(Parkan, 1994)	OCRA	Performans ve verimlilik analizi
(T.L. Saaty, 1996)	AAS (Analitik Ağ Süreci)	Örnek vaka analizleri
(Opricovic ve Tzeng, 2004)	VIKOR	Örnek vaka analizi
(Brauers ve Zavadskas, 2006)	MOORA	Özelleştirme uygulamaları
(Keršulienė vd., 2010)	SWARA	Uyuşmazlık çözüm yöntemi
(Zavadskas ve Turskis, 2010)	ARAS	Kuruluş yeri seçimi
(Ghorabae vd., 2015)	EDAS	Envanter sınıflandırması

ÇKKV farklı ortamlarda dikkate alınmaktadır. Her bir eylem ya da iş alternatifinin birçok sonuç doğurma olasılığının bulunduğu durumda, risk ortamı altında karar vermeden bahsedilebilir. Belirli ihtimallerin olduğu bir ortamda seçeneklerin belirtilen tüm koşullar altında elde edilebileceği sonuçlar elde edilir. Risk ortamında seçeneklerin ne gibi sonuçlar doğuracağı önceden kestirilemez. Karar verici mevcut risklerin olduğu bir ortamda olası şartların belirli bir ihtimalle ortaya çıktığını kabul eder ve istenen performansı hesaplayıp alternatifler içindeki en iyi alternatifi tercih eder (Emhan, 2007).

Olayların ortaya çıkma ihtimallerinin yalnız dağılımları ve standart ölçülerinin bazılarının önceden bilindiği durumlarda kısmi bilgi hakkında karar vermeden bahsedilebilir. Kısmi bilgiler ile karar verebilmek için olasılık dağılımın şeklinin ve örneğin; medyan, mod, ortalama veya simetrik ölçülerin baskınlık ve çarpıklık gibi karakteristiklerin ve dağılımın parametreleri önceden biliniyor olması gerekir (Halaç, 1991).

Mevcut bilgi açısından ise karar verme belirsiz ve belirli ortamlarda karar verme şeklinde sınıflandırılabilir. Belirlilik ortamı mevcut durumda karar vericinin ihtiyacı olan tüm bilgilerin ulaşılabilir olmasını ifade eder. Bu ortamda verilen kararlar ise problem ile ilgili tüm bilgilerin eksiksiz olarak bilindiği ihtimaline dayanır. Belirsizlik ise alternatif hakkındaki bilgilerin eksik olarak bilindiği, ileride gerçekleşebilecek olayların ise tam olarak bilinmemesi durumudur. Belirsizlik karar vermenin temelini oluşturan bir konudur. Belirsizlik altında karar verme, karar vericinin alternatifler arasından hangisinin seçilebileceğini sağlayan bilgilerin tam olmadığı durumda karar vermesi durumudur. Bu durumda karar vericinin alternatifler arasından bir seçim yapması oldukça zordur.

Bunun yanı sıra karar verici belirsizlik ortamı altında kararların verildiği ve buna ek olarak amaç ve kısıtların belirgin olmadığı durumlar ile karşı karşıya kalabilmektedir. Böyle ortamlara “bulanık (fuzzy) ortam” denilmektedir. Mevcut ortamdaki bilginin karar vericiler tarafından yorumlanması ile farklı sonuçların elde edilmesi ile bulanık ortamlar oluşur. Bulanık ortamların temelinde ise bulanık mantık yatmaktadır. Bulanık mantık kavramı ilk olarak Zadeh tarafından geliştirilmiştir (Zadeh, 1965). Zadeh (1965), “Bir nesne kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir” şeklindeki Aristo mantığına karşı olarak insanların ya da karar vericilerin karşılaştıkları olayların üyelik derecelerinin olması gerektiği ve bu olayların hangi ihtimaller ile ortaya çıkabileceği durumunu dikkate alan bir mantık sistemi önermiştir. Bu mantıkta kesin olmayan yaklaşık değerler kullanılır.

Zadeh (1965), belirsizliği açıklayabilmek için bulanık küme teorisini önermiştir. Zadeh (1965) bulanık kümeyi, sürekli dizi halindeki üyelik derecelerine sahip nesnelere oluşan bir sınıf olarak tanımlamıştır. Klasik küme teorisinde dilsel değişkenlerin kullanılması karar vermede yetersiz kalmaktayken, bulanık küme teorisi ile daha sağlıklı kararlar vermek mümkün olabilmektedir. Bulanık küme teorisinde dilsel belirsizlikler ile niteliksel bilgiler de kullanılmaktadır. Dilsel belirsizliklerin bulunduğu, ifade edilmesi güç, karmaşık veya idrak edilmesi zor olan durumlara, kavramlara üyelik derecesi atanır ve belirlilik kazandırılır. Böylece durum matematiksel olarak ifade edilebilir bir anlam kazanır ve karar vericilerin karar vermeleri daha çok kolaylaşır.

Bulanık sayılar ise bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir ve üyelik derecelerinin ifade edilmesine göre sınıflandırılabilirler. Bunlar sıradan bulanık sayılar (tip 1) ve tip 2 bulanık sayılardır. $[0, 1]$ aralığında üyelik dereceleri bulunan ve klasik sayılar ile tanımlanan bulanık sayılara, sıradan (tip 1) bulanık sayılar denir (Zadeh, 1965). Birden fazla net olmayan belirsizlik kaynağının birlikte kullanılması durumunda bulanık sayıların problemi

ya da durumu modellemesi karmaşık ve yetersiz bir hal almaktadır (Mendel & John, 2002); (De Tré & De Caluwe, 2003). Tip-2 bulanık sayılar bu tip istenmeyen durumlara karşı geliştirilmiştir ve bu sayıların da üyelik dereceleri bulanık sayılar ile ifade edilmektedir (Zadeh, 1974).

Gösterim şekli ve yaygın olarak kullanılma durumuna göre sıradan bulanık sayılar; aralık tipi bulanık sayılar, LR tipi bulanık sayılar, üçgen bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, Gauss bulanık sayılar ve üstel bulanık sayılar olarak altı alt sınıfa ayrılırlar.

Bu sayılardan üçgen bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3) şeklinde sıralı üçlüler ile ifade edilmektedir. Bu sıralı üçlüler sırası ile en küçük, orta ve en büyük değeri göstermektedir.

Aralık tipi bulanık sayılar ifade edilirken üyelik değerleri aralık halinde belirtilir.

Genellikle R veya L şeklinde ifade edilen bir fonksiyon $L(x) = L(-x), L(0) = 1$ ve $L, [0, +\infty]$ arasında artmayan bir fonksiyon ise LR tipi bulanık sayılardan söz edilebilir (Dubois & Prade, 1978).

Gauss bulanık sayılarda, üyelik fonksiyonu normalize ve genelde asimetric şekildedir.

Yamuk bulanık sayılar ise (a_1, a_2, a_3, a_4) şeklinde sıralı dörtlüler ile ifade edilmektedir. Bu sayılardan $[a_2, a_3]$, a_1 ve a_4 değerleri sırasıyla; üyelik derecesi 1'e eşit olan aralık, mevcut bulanık sayının alt ve üst sınırları şeklinde ifade edilir.

Son olarak üstel üyelik fonksiyonuna sahip bulanık sayılar ise üstel bulanık sayılar olarak isimlendirilmektedirler.

Tip-2 bulanık sayılar kümesi, sıradan bulanık sayılar kümesini üyelik derecelerinin genel küme (x) elemanlarına atandığı kümelerdir. Genelde bulanık sayı kümelerinin üyelik dereceleri tam olarak belirlenemez. Aralık tip-2 bulanık sayı kümelerinin bu sebepten dolayı kullanımı oldukça yaygındır.

Bulanık sayı kümelerinin ifade edilmesinde kullanılan doğru, çok doğru, daha doğru, yanlış, çok yanlış gibi dilsel ifadeler ile bulanık sayıların üyelik derecelerinin ifade edilmesinde kullanılan düşük, orta, yüksek, çok yüksek gibi dilsel ifadelerin birbiri ile benzemesi ve yakın olmasından dolayı aralık tip-2 bulanık sayı kümeleri geliştirilmiştir (Zadeh, 1975).

En çok kullanılan çeşitleri üçgen aralık tip-2 bulanık sayı kümeleri ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayı kümeleridir.

Yukarıda bahsedilen küme teorileri her zaman yeterli olmayabilir. Problemin karmaşıklığı, karar vericilerin tercihlerini etkileyebilir. Bu durumda sezgisel bulanık kümeler, tereddütlü bulanık kümeler gibi hedefe yönelik ayırt edici diğer bulanık kümeler

de dikkate alınmalıdır. Tereddütlü bulanık kümeler, klasik bulanık kümelerin bir uzantısı olarak belirsizlik durumunun üstesinden gelmek için geliştirilmiştir (Atanassov & Gargov, 1989). Sezgisel bulanık kümeler karar vericilerin kriterlerin göreceli önemini belirlenmeleri sırasında yaşanabilecekleri kararsızlık sebebiyle bir elemanın üyelik derecesinin belirlemelerindeki zorluğu ortadan kaldırmaya yardımcı olmaktadır (Torra, 2010). Bu bulanık kümelerden bir diğeri olan bipolar bulanık kümeler ise, ÇKKV problemlerindeki belirsizliği göstermek için geliştirilmiştir (Zhang, 1994).

Bipolarite kavramı bir tarafı pozitif verilerden oluşan, diğeri negatif verilerden oluşan iki zıt kutbu içerir. Herhangi bir problemde belirsizliği tanımlarken, istenilen ya da istenilmeyen durumlar olabilir. Ya da istenilen durum ne derecede isteniyor ya da istenmiyor gibi belirsizlikler olabilir. Böyle durumlarda bipolarlık kavramındaki pozitif verileri temsil eden pozitif kutup; değerlendirilen şeyin olduğu durum, istenme ya da memnuniyet gibi pozitif üyelik derecesini belirlerken, negatif kutup ise; değerlendirilen şeyin olmadığı durum, istenmeme ya da memnuniyetsizlik gibi negatif üyelik derecesini belirler. Böylece, karar vericiler tarafından yüzde yüz memnun etmeyen bir değerlendirilme söz konusu ise, durumun değerlendirilen kriter için sadece memnun eden tarafı değerlendirilmeyip, o durumun aynı kriter için memnun etmeyen tarafı da birlikte değerlendirilebilir. Bu şekilde insan duygu ve düşünceleri daha hassas bir şekilde modellenen bir hale gelebilmektedir.

1.2. Tezin Kapsamı

Tez kapsamında, ÇKGKV problemleri için yamuk bipolar bulanık EDAS (TrBF-EDAS) yöntemi geliştirilmiştir ve önerilen yöntem, Türkiye’de faaliyet gösteren bir tıp fakültesi hastanesinin tıbbi biyoloji anabilim dalında, hücre sayımı ve analizi için kullanılacak bir tıbbi cihaz seçimi problemi için uygulanmıştır. Bu bağlamda, üç karar vericiden oluşan uzman bir ekip tarafından alternatif cihazlar belirlenmiştir. Ardından bu alternatifleri değerlendirmek için kriterler (değerlendirme ölçütleri) belirlenmiştir.

Karar vericiler tarafından öncelikle alternatifler ve kriterler belirlendikten sonra kriterlerin ağırlıklarının saptanmıştır. Bununla birlikte, alternatiflerin kriterler altında değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler doğrultusunda tıbbi cihaz seçimi problemi tezde önerilen yamuk bipolar bulanık EDAS (TrBF-EDAS) yöntemi ile çözülmüştür.

Bunun yanı sıra önerilen yöntemin doğruluğunu test etmek için aynı problem daha önce benzer problemler için uygulanan ve literatürde yer alan, Akram ve Arshad (2019), tarafından önerilen Yamuk Bipolar Bulanık TOPSIS (TrBF-TOPSIS) yöntemi uygulanarak da çözülmüştür ve iki yöntemin sonuçları istatistiksel açıdan karşılaştırılmıştır. Son olarak ise önerilen TrBF-EDAS yönteminin geçerliliğini test etmek için mevcut probleme ek olarak rastgele atanan kriter ağırlık değerlerinden oluşan 20 ayrı vaka, her iki yöntemle göre ele alınarak kapsamlı bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

1.3. Tezin Amacı

Bu tezde ÇKGKV problemi ile ilgili olarak karar vericilere bağlı dilsel belirsizliklerin olduğu problemler için yeni bir TrBF-EDAS metodu önerilmiştir. Bu açıdan, değerlendirmelerin daha gerçekçi ve hassas olması için dilsel belirsizlikler, yamuk bipolar bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.

Yöntemin geçerliliğini test etmek ve uygulanabilirliğini göstermek için Türkiye’de bulunan bir tıp fakültesinde kullanılmak üzere; ölü ve canlı hücre sayımı, hücre canlılığı ile ilgili görüntü tabanlı analizler yapabilen bir tıbbi cihaz seçim problemi ele alınmıştır.

Problem akademik literatürde daha önce bilinen TrBF-TOPSIS yöntemini ile değerlendirilerek iki yöntemin sonuçlarının istatistiksel açıdan karşılaştırılması ile önerilen yöntemin doğruluğunu test etmek amaçlanmıştır. Bununla birlikte önerilen yöntemin farklı kriter ağırlıklarına göre sonuçlarının değişimini incelemek için kapsamlı bir duyarlılık analizi hedeflenmiştir.

Bu karşılaştırma ve duyarlılık analizlerine göre TrBF-EDAS yönteminin, ÇKGKV problemleri için kullanılacak doğru, etkili ve geçerli bir yöntem olduğunu ortaya koymak çalışmanın temel amacıdır.

1.4. Literatür Taraması

Uzun yıllardır, ÇKKV problemleri, hayatımızın hemen hemen her alanında karşılaştığımız problemlerdir. Bundan dolayı karşılaştığımız karar süreçlerini daha sağlam kılabilmek, doğru ve etkili karar verebilmek için ÇKKV problemleri büyük bir önem ile ele alınmaktadır.

Genellikle birbiri ile çelişen somut ve soyut kriterler ya da belirlenen karar alternatiflerinden en uygun olanı seçmek, sıralamak veya belirli bir sınıflandırma yapabilmek için kullanılan yöntem ve uygulamalara ÇKKV denilmektedir. ÇKKV'nin temel amacı ise belirlenen alternatifler içerisinde en iyi olanını karar vericiye önermektir (Guitouni & Martel, 1998).

Farklı yönlerden ÇKKV yöntemleri, verilerin türlerine göre ve karar verici sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Verilerin türlerine göre “deterministik”, “stokastik” ve “bulanık modeller” olarak üç sınıfa ayrılan ÇKKV yöntemleri karar verici sayısına göre ise “tekli karar verme” ve grup kararı verme” olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Triantaphyllou, 2000).

Bir problem için karar verme sürecinde en az iki karar vericiye danışıldığında problem ÇKKV problemine dönüşür. Bu durumda her bir karar vericinin değerlendirmelerini veya yargılarını çeşitli operatörlerle bütünleştirmek gerekir. Karar vericilerin değerlendirmeleri veya yargılamaları; kişisel duygu ve düşünceler, çevresel faktörler vb. nedenler dolayısı ile belirsiz olabilir. Bu belirsizliklerin önüne geçebilmek için, bulanık küme teorisi önerilmiştir (Zadeh, 1965). Zadeh çalışmasında insan düşüncelerinin birçok durumda kesin olmadığını, bulanık olduğunu belirtmiştir (Zadeh, 1965). Bu teori daha sonraları kesin olmayan, belirsiz durumlar için çok kriterli karar verme problemlerine uyarlanmıştır (Bellman & Zadeh, 1970).

Bilinen tüm ÇKKV yöntemlerinde, karar süreci ile başa çıkabilmek için birçok bulanık küme kullanılmaktadır. Karar verme sürecinde; kesin olmayan durumlar ile başa çıkabilmek için klasik, tereddütlü, sezgisel ve tip-2 bulanık kümeler gibi birçok bulanık küme kullanılmaktadır (Bkz: (Jiu ying Dong vd., 2017); (Yılmaz vd., 2017); (Wu vd., 2018); (Yeni & Özçelik, 2019); (Wang, 2019); (Han vd., 2018); (Pamucar vd., 2019)). Klasik bulanık küme teorisinde üyelik ve üyelik dışı elemanlar vardır. Bir elemanın üyelik değeri $[0,1]$ arasında bir sayı olarak tanımlanır. Veeramachaneni ve Kandikonda (2016), bu durumun her zaman böyle olmadığını söylemişlerdir. Problemin karmaşık oluşu karar vericileri de etkileyebilir. Böyle durumlarda amaca yönelik ayırt edici bulanık kümeler dikkate alınmalıdır. Bu bulanık kümelerden birisi olan “bipolar bulanık kümeler”, ÇKKV problemlerindeki belirsizliği göstermek için alternatif bir araçtır (Zhang, 1994). Bipolarlık, neyin kabul edilebilir olduğunu belirtirken, neyin kabul edilemez ölçüde olduğunu veya büyük olasılıkla istenmeyen durum olduğunu belirten negatif verileri tanımlamak için bir gereklilik haline gelmiştir.

Bipolarite ve belirsizlik birbirinden bağımsız iki kavram olmasına rağmen, bu iki kavram aynı zamanda insan düşüncesinin farklı yönlerini modelleştirmek, bütünleştirmek için tasarlanmış tamamlayıcı kavramlardır ve genellikle bir karar vericinin asıl amacı bipolar bilgideki belirsizlikle uğraşırken aslında dilsel belirsizlikler ile başa çıkmaktır (Akram & Arshad, 2019). Bu nedenle Zhang (1994), tarafından geliştirilen bipolar bulanık küme konsepti, Yin Yang bipolar bulanık kümeler olarak da bilinir ve bu bulanık kümeler iki taraf içerir; negatif taraf Yin, pozitif taraf ise Yang ile temsil edilir (Zhang, 1998).

Bipolar bulanık kümelerde bir nesneyi tanımlamak için pozitif üyelik derecesi ve negatif üyelik derecesi gibi iki kutuplu bir sayı kullanılır (Gao, 2018).

Tablo 2. Bipolar Bulanık Kümeleri Dikkate Alan Bazı Çalışmalar

Yazar & Yılı	Yöntem	Çalışma İçeriği
(Han vd., 2015)	Bipolar bulanık kümeler, Kaba bulanık kümeler, Karar bilgi sistemi	Örnek vaka analizi
(Al-Qudah ve Hassan, 2017)	Bipolar bulanık kümeler, Yumuşak uzman kümeler,	Örnek vaka analizi
(Liu vd., 2017)	Bipolar dilsel terim kümeleri, Dinamik ÇKKV yaklaşımı	Örnek vaka analizi
(Wei vd., 2018a)	Bipolar bulanık kümeler	Örnek vaka analizi
(Wei vd., 2018b)	Bipolar bulanık kümeler	Yeni teknoloji ticarileştirme değerlendirme uygulaması
(Jana vd., 2018)	Bipolar bulanık kümeler	Örnek vaka analizi
(Gao vd., 2019)	Bipolar bulanık kümeler	Örnek vaka analizi
(Yang, 2019)	Bipolar bulanık kümeler, maksimum çözümler	Örnek vaka analizi

Bipolar bulanık kümeler birçok farklı ÇKKV yöntemi ile kullanılabilir. ÇKKV yöntemlerinden birisi olan EDAS yöntemi; ideal ve ideal olmayan çözümü hesaplamadan istenilen alternatifi, ortalama çözümden uzaklığa göre aramak için geliştirilmiştir (Ghorabae vd., 2015). Ayrıca EDAS yöntemi, alternatiflerin çekiciliğine göre “ortalama çözümden pozitif uzaklık” ve “ortalama çözümden negatif uzaklık” olarak iki özellik dikkate almaktadır. Bu özellikler, her alternatif ve ortalama çözüm arasındaki farkı göstermektedir (Ghorabae vd., 2015).

Akademik literatürde bulanık tabanlı EDAS metodu ile ilgili az sayıda çalışma vardır. Kahraman vd., (2017), sezgisel bulanık EDAS yöntemini önermiş ve bu yöntemi atık bertaraf sahası seçim problemine uygulamışlardır. Ghorabae vd., (2017), aralık tip-2 bulanık kümeleri göz önüne alarak EDAS yöntemini çalışmış ve bu yöntemi tedarikçileri değerlendirmek için kullanmışlardır. Gündoğdu vd., (2018) kararsız bulanık kümeleri EDAS yöntemi ile birleştirmiş ve bu yöntemi uygulamak için hastane seçim problemini ele almışlardır. Stevic vd., (2018), bir marangoz üreticisini bulanık EDAS yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Feng vd., (2018), tereddütlü bulanık kümeler ile EDAS yöntemini birleştirerek önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve verimliliğini sayısal bir örnek üzerinde göstermişlerdir.

Tablo 3. EDAS yöntemi ile ilgili çalışmalar

Yazar & Yılı	Yöntem	Çalışma İçeriği
(Kahraman vd., 2017)	Bulanık EDAS yöntemi	Katı atıkları yok etmek için yer seçimi
(Ghorabae vd., 2017)	Aralık tip-2 bulanık kümeler, EDAS yöntemi	Çevreci düşüncelerle tedarikçi değerlendirme ve sipariş dağıtımı
(Gündoğdu vd., 2018)	Tereddütlü bulanık EDAS yöntemi	Hastane seçimi
(Stevic vd., 2018)	Bulanık EDAS yöntemi	Marangoz üreticisi seçimi
(Feng vd., 2018)	EDAS yöntemi, Genişletilmiş tereddütlü bulanık dilsel terim kümeleri	Örnek vaka analizi
(Schitea vd., 2019)	EDAS yöntemi, Sezgisel bulanık kümeler	Hidrojen hareketliliği toplama bölgesi seçimi
(Darko & Liang, 2020)	EDAS yöntemi, Bulanık Hamacher toplama operatörü. q -basamaklı ortopair bulanık kümeler	Mobil ödeme platformu seçimi

Bu tezde dikkate alınan ve tercih edilen bir diğer konu da bipolar bulanık bilgi içeren EDAS yönteminde kullanılan ve bulanık kümelerin bir üyelik fonksiyonu çeşidi olan yamuk bulanık sayılardır. Yamuk bulanık sayılar diğer bulanık sayılara göre daha hassas, karar vermeyi destekleyici ve kolaylaştırıcıdır. Bunun yanı sıra yamuk bulanık sayıların kullanımı ile daha etkili sonuçlar elde edilmektedir. Literatürde yamuk bulanık sayıları tercih eden ve yamuk bulanık sayılar ile yapılmış birçok çalışma mevcuttur. (Bkz: (Beg ve Rashid, 2014);

(Pereira vd., 2019); (Zhang vd., 2018); (Fahmi vd., 2019); (Dong ve Wan, 2018); (Zhou vd., 2018); (Nayagam vd., 2018); (Uluçay vd., 2018); (Xian vd., 2018); (Ilieva vd., 2018); (Ziemba, 2018); (Hao vd., 2019))

Çalışmanın konusu olan TrBF-EDAS Yöntemi, ölü ve canlı hücre sayımı, hücre canlılığı ile ilgili görüntü tabanlı analizler yapabilen bir tıbbi cihazın seçimi için gerçek bir probleme uygulanmıştır.

Akademik literatürde tıbbi cihazların seçimi ile ilgili çalışmalar da dikkat çeken konular arasında yer almaktadır. Carnero, (2016), taşınabilir titreşim analizörleri arasından en uygun teknolojiyi seçmek için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemini kullanarak bir sağlık kuruluşunda metodolojiyi uygulamıştır. Özşahin vd., (2017), en yaygın nükleer tıp görüntüleme cihazlarını bulanık PROMETHEE yöntemi ile değerlendirmiş ve karşılaştırmışlardır. Büyüközkan ve Göçer, (2018), akıllı tıbbi cihaz seçim sürecini grup karar verme süreci ile desteklemek için aralıklı değerli sezgisel bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Abdel-Basset vd., (2019), akıllı tıbbi cihaz seçimi için nötrofilik TOPSIS yaklaşımını kullanmış ve sonuçları, nötrofilik AHP ve MOORA yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

1.5. Literatüre Katkı

Bu tezin literatüre katkıları teorik açıdan ve uygulama açısından aşağıdaki gibi vurgulanabilir.

Tezin teorik açıdan katkısına bakıldığında, önerilen TrBF-EDAS yöntemi ÇKGKV problemleri için, bipolar bulanık bilgileri de sürece dahil eden geçerli, sağlam ve etkili bir araçtır.

Tezin uygulama açısından katkılarına bakacak olursak;

- Önerilen TrBF- EDAS yöntemi, alternatifleri sıralamak için sağlık sistemlerinden bilgi sistemlerine kadar herhangi bir sisteme kolayca uygulanabilmektedir.
- Yamuk bipolar bulanık sayılar ile daha önce yapılmış olan TrBF- TOPSIS yöntemi ile karşılaştırıldığında, önerilen TrBF-EDAS yöntemi, ortalamalar arasındaki mesafeleri dikkate alarak, seçim ve değerlendirme süreçleri için daha az hesaplama çabası gerektirmektedir.

- EDAS yönteminde yamuk bipolar bulanık bilgi ile donatılmış Ortalamadan Pozitif Uzaklık (Positive Distance from Avarage-PDA) ve Ortalamadan Negatif Uzaklık (Negative Distance from Avarage-NDA) olmak üzere iki uzaklık ölçüsü kullanılmaktadır. Böylelikle en iyi alternatifin seçilmesi için en yüksek ve en düşük değerlere sahip tıbbi cihazlar ile ortalama değerlere sahip tıbbi cihazlar kıyaslanabilmektedir. Bu durum TrBF-EDAS uygulamalarından elde edilen sonuçların daha hassas olmasını beraberinde getirmektedir.



2. METODOLOJİ

2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramı, Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley’de ilk olarak Zadeh (1965), tarafından ortaya atılmıştır.

Zadeh (1973)’e göre, “Bir sistemin karmaşıklığı arttıkça, onun davranışıyla ilgili kesin ve anlamlı ifadeler kurma yeteneğimiz belirli bir eşığe ulaşınca kadar düşer. Bu eşikten sonra, kesinlik ve anlamlılık neredeyse birbirinden tam bağımsız özellikler haline gelirler”. Yüzeysel olarak incelenen bir problemin çözümü net görünürken aynı problem detaylı olarak incelendiğinde çözüm bulanıklaşmaya başlar ve genel olarak burada bahsedilen durum, incelenen problemde ki karmaşıklık ve belirsizlik kavramlarının birbiri ile yakın ilişkisinin olmasıdır (Zadeh, 1973).

Bulanık küme teorisinde, kesinlik içermeyen problemlerin çözümünde ve insana özgü düşüncelerin ifadesinde sayısal ifadeler yerine dilsel ifadelerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Chen, 2000).

Bulanık küme teorisi, insan düşüncelerini ifade etmek için kullanılan dilsel ifadelerin meydana getirdiği dilsel belirsizliği ortadan kaldırılmak için geliştirilmiştir. Bu belirsizlikler bulanık kümeler ile modellenerek matematiksel olarak ifade edilir. Böylelikle insanların duygu ve düşünceleri daha gerçekçi ve somut şekilde ifade edilebilmektedir.

Bunun yanı sıra; bulanık yaklaşım, karar vericilerin sistematik, tutarlı ve verimli bir yolla karmaşık karar verme problemlerini çözmede yardımcı olmaktadır (Carlsson & Fullér, 1996).

Klasik mantıkta dilsel belirsizlikler, 0 ve 1 olan kesin değerler olarak belirtilirken, bulanık mantıkta bu belirsizlikler $[0, 1]$ aralığındaki değerler kullanılarak ifade edilir.

X , bir evrensel küme olmak üzere Zadeh (1965) tarafından X üzerindeki \tilde{A} bulanık kümesi,

$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\}$ şeklinde tanımlanmıştır. Burada ise $\mu_{\tilde{A}} = X \rightarrow [0,1]$ ile verilen $\mu_{\tilde{A}}$ fonksiyonuna \tilde{A} kümesinin üyelik fonksiyonu, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ değerine ise x noktasının \tilde{A} kümesindeki üyelik fonksiyonu denir. (Zadeh, 1965).

2.2. Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir ve üyelik derecelerinin ifade edilişlerine göre sınıflandırılabilirler.

2.2.1. Sıradan Bulanık Sayılar

Üyelik değerleri ifade edilirken klasik sayılar kullanılan sayılara sıradan bulanık sayılar denilmektedir. Aralık tipi bulanık sayılar, *LR* tipi bulanık sayılar, üçgen bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, Gauss bulanık sayılar ve üstel bulanık sayılar; en yaygın olarak kullanılan sıradan bulanık sayılardır.

2.2.1.1. Aralık Tipi Bulanık Sayılar

Üyelik değerleri aralık halinde ifade edilen sayılardır. Temel cebirsel işlemleri eşitlik (2.1)-(2.6)'da verilmektedir (U. Sarı, 2012).

Toplama:

$$[a; b] \oplus [c; d] = [a + c; b + d] \quad (2.1)$$

Çıkarma:

$$[a; b] \ominus [c; d] = [a - d; b - c] \quad (2.2)$$

Çarpma:

$$[a; b] \otimes [c; d] \cong [\min(a * c; a * d; b * c; b * d); \max(a * c; a * d; b * c; b * d)] \quad (2.3)$$

Bölme:

$$[a; b] \oslash [c; d] \cong \left[\min(a \div c; a \div d; b \div c; b \div d); \max(a \div c; a \div d; b \div c; b \div d) \right], \quad c \neq 0, d \neq 0 \quad (2.4)$$

Tersini alma:

$$[a; b]^{-1} \cong [enk(1 \div a; 1 \div b); enb(1 \div a; 1 \div b)], a \neq 0, b \neq 0 \quad (2.5)$$

Skaler λ sayısı ile çarpma:

$$\lambda \otimes [a; b] = [\lambda; \lambda] \otimes [a; b] = [\lambda * a; \lambda * b], \lambda > 0 \quad (2.6)$$

2.2.1.2. LR Tipi Bulanık Sayılar

$L: [0, +\infty)$ aralığında azalmayan bir fonksiyon olmak üzere her x için $L(x) = L(-x)$ ve $L(0) = 1$ şartlarını sağlayabiliyorsa L fonksiyonu bulanık sayılar için bir referans fonksiyonudur denir. Literatürde bu fonksiyon genellikle L veya R notasyonları ile gösterilmektedir. Aşağıdaki (2.7)'yi sağlayan her \tilde{M} bulanık sayısına, LR tip bir bulanık sayı denir (Dubois & Prade, 1978).

$$\mu_{\tilde{m}}(x) = \begin{cases} L((m-x)/a), & \text{eğer } x \leq m, a > 0, \\ R((x-m)/\beta), & \text{eğer } x \geq m, \beta > 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.7)'de L ; sol taraf referansını, R ; sağ taraf referansını, m ; \tilde{M} 'nin ortalama değerini ifade etmektedir. a ve β sırasıyla sol ve sağ yayılımlar olarak adlandırılır. Yayılımlar 0 olduğunda \tilde{M} bulanık olmayan bir sayı haline dönüşür. Yayılımlar arttıkça da \tilde{M} sayısının bulanıklığı da artar. Sembolik olarak $\tilde{M} = (m; a; \beta)_{LR}$ ile ifade edilir.

2.2.1.3. Üçgen Bulanık Sayılar

(a_1, a_2, a_3) şeklindeki sıralı üçlüler şeklinde ifade edilen sayılara, üçgen bulanık sayılar denir. Bu sıralı üçlülerde yer alan değerlerden sırasıyla a_1 ; en küçük değeri, a_2 , orta değeri ve a_3 en büyük değeri ifade etmektedirler.

Bir üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.8)$$

şeklinde tanımlanır.

2.2.1.4. Yamuk Bulanık Sayılar

(a_1, a_2, a_3, a_4) şeklindeki sıralı dörtlüler şeklinde ifade edilen bulanık sayılara yamuk bulanık sayılar denir. Bu sıralı dörtlülerde yer alan $[a_2, a_3]$, a_1 ve a_4 değerleri sırasıyla, üyelik derecesi 1'e eşit olan aralığı, bulanık sayının alt ve üst sınırlarını ifade eder.

Bir yamuk bulanık sayının üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (2.9)$$

şeklinde tanımlanır.

$\tilde{M} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$, $\tilde{N} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ olarak tanımlanmış yamuk bulanık sayıların temel cebirsel işlemleri eşitlik (2.10)-(2.14)'de verilmektedir (Chen & Hwang, 1992).

Toplama:

$$\tilde{M} \oplus \tilde{N} = (m_1 + n_1; m_2 + n_2; m_3 + n_3; m_4 + n_4) \quad (2.10)$$

Çıkarma:

$$\tilde{M} \ominus \tilde{N} = (m_1 - n_4; m_2 - n_3; m_3 - n_4; m_4 - n_1) \quad (2.11)$$

Çarpma:

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} = (m_1 * n_1; m_2 * n_2; m_3 * n_3; m_4 * n_4) \quad (2.12)$$

Bölme:

$$N \neq 0, N > 0 \text{ iken,}$$

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} = \frac{m_1}{n_4}; \frac{m_2}{n_3}; \frac{m_3}{n_2}; \frac{m_4}{n_1} \quad (2.13)$$

Skaler λ sayısı ile çarpma:

$$\forall \lambda > 0, \lambda \in \mathbb{R},$$

$$\lambda \otimes \tilde{M} = (\lambda * m_1; \lambda * m_2; \lambda * m_3; \lambda * m_4) \quad (2.14)$$

2.2.1.5. Gauss Bulanık Sayılar

$\tilde{p} = GBS(\bar{x}; \sigma_l; \sigma_r)$ eşitliği ile tanımlanan gauss bulanık sayıların üyelik fonksiyonları normalize ve genellikle asimetriktir. Bir gauss bulanık sayısının üyelik fonksiyonu,

$$m_{\tilde{p}}(x) = \begin{cases} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{(2\sigma_l^2)}\right], & \text{eğer } x < \bar{x} \\ \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{(2\sigma_r^2)}\right], & \text{eğer } x \geq \bar{x} \end{cases} \quad \forall x \in \mathbb{R} \quad (2.15)$$

ile ifade edilir (Hanss, 2005).

2.2.1.6. Üstel bulanık sayılar

Üstel üyelik fonksiyonuna sahip bulanık sayılardır. $\tilde{p} = \text{ÜsBS}(\bar{x}; \tau_l; \tau_r)$ eşitliği ile ifade edilirler. Bir üstel bulanık sayının üyelik fonksiyonu,

$$m_{\tilde{p}}(x) = \begin{cases} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{\tau_l^2}\right], & \text{eğer } x < \bar{x} \\ \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{\tau_r^2}\right], & \text{eğer } x \geq \bar{x} \end{cases} \quad \forall x \in \mathbb{R} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilir (Hanss, 2005).

2.2.2. Aralık Tip 2 Bulanık Sayılar

Sıradan bulanık küme üyelik derecelerinin atandığı evrensel küme (x) elemanlarını içeren kümelere tip-2 bulanık kümeler denir (Zadeh, 1974). Bulanık sayıların ifade edilmesinde kullanılan doğru, çok doğru, daha doğru, yanlış, çok yanlış gibi dilsel ifadeler ile bulanık sayıların üyelik derecelerinin ifade edilmesinde kullanılan düşük, orta, yüksek, çok yüksek gibi dilsel ifadelerin birbiri ile benzemesi ve yakın olmasından dolayı aralık tip-2 bulanık sayılar geliştirilmiştir (Zadeh, 1975)

En yaygın olarak kullanılan türleri üçgen aralık tip-2 bulanık sayı ve yamuk aralık tip-2 bulanık sayılardır.

2.2.3. Bipolar Bulanık Sayılar

Yukarıda bahsedilen bulanık sayı türleri her zaman yeterli olmayabilir. Problemler daha da karmaşıklaşınca karar vericilerin tercihleri etkilenebilir ve bu tür tercihleri modellemek zorlaşabilir. Bu durumda problemlerdeki belirsizlikleri modelleyebilmek için daha ayırt edici bulanık kümeler dikkate alınmalıdır. Bu bulanık kümelere bir tanesi olan “bipolar bulanık kümeler” Zhang (1994), tarafından ÇKKV problemlerindeki belirsizlikleri modellemek için geliştirilmiştir.

Bipolarite kavramı anlam olarak “iki kutuplu” anlamına gelmektedir ve bir kutbu pozitif verileri diğer kutbu ise negatif verileri içerir. Bu kavram ÇKKV problemleri için yorumlandığında karar vericiler açısından bir problemdeki belirsizlik için istenilen durumlar pozitif kutup, istenilmeyen durumlar ise negatif kutup olarak değerlendirilebilir. Ya da bu iki kutup, sırasıyla istenilen durum ne derecede isteniyor ve istenmeyen durum ne derecede istenmiyor gibi belirsizlikleri ifade ediyor da olabilir.

Böylece karar vericiler duygu ve düşüncelerinin neden olduğu dilsel belirsizlikleri, tek taraflı olarak değerlendirmek zorunda kalmayıp, o durumun tam tersi durumla beraber değerlendirebilirler ve modelleyebilirler.

Bipolar bulanık kümeler ilk olarak Zhang (1994) ve Zhang (1998) çalışmalarında tanımlanmıştır.

Tanım 1 (Zhang, 1994), (Zhang, 1998):

X , bir küme ve $m_B^+: X \rightarrow [0,1]$, $v_B^-: X \rightarrow [-1,0]$ iki fonksiyon olsun.

$B = \left\{ \left(x, \left(m_B^+(x), v_B^-(x) \right) \right) \mid x \in X \right\}$ şeklinde tanımlı bir kümeye X , üzerinde bir bipolar bulanık küme denir. Burada m_B^+ fonksiyonuna pozitif üyelik derecesi ve v_B^- fonksiyonuna ise negatif üyelik derecesi denir. $m_B^+(x)$ ve $v_B^-(x)$, her $x \in X$ elemanın kümede değerlendirilen özelliğe karşı sırasıyla memnuniyet ve memnuniyetsizlik derecesini gösterir.

Tez kapsamında, bipolar bulanık kümelerin yamuk bulanık sayıları dikkate alan versiyonu ele alınmıştır. Bu kapsamda, yamuk bipolar bulanık sayılar ayrıntılı bir şekilde bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

2.3. Yamuk Bipolar Bulanık Sayılar

Bipolar bulanık kümeler, Zhang (1994) tarafından Yin Yang bipolar bulanık kümeler olarak, bir sistemde iki tarafı da içeren şekilde geliştirilmiştir. Yin ve Yang sırasıyla olumsuz ve olumlu tarafları temsil eder (Zhang, 1998).

Akram ve Arshad (2019), Zhang'ın (1998), konseptini genişleterek aşağıdaki şekilde yamuk bulanık sayıları kullanan bipolar bulanık kümeleri tanımlanışlardır:

Tanım 2: Bir bipolar bulanık sayı aşağıdaki şekilde ifade edilsin.

$$\tilde{A} = \langle L, K \rangle = \langle [l_1, l_2, l_3, l_4], [\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4] \rangle$$

Burada \tilde{A} , aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde, $[l_1, l_2, l_3, l_4]$ sıralı dördüleri ile ifade edilen memnuniyet (λ_L) ve $[\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4]$ sıralı dördüleri ile ifade edilen memnuniyetsizlik (λ_κ) derecelerini tanımlayan reel sayıların (\mathbb{R}), bipolar bulanık alt kümesidir (Akram ve Arshad, 2019).

- λ_L , $[0,1]$ aralığında parçalı sürekli bir fonksiyondur ve λ_κ , $[-1,0]$ aralığında parçalı sürekli bir fonksiyondur.
- Her $x \in (-\infty, l_1]$ için $\lambda_L(x) = 0$ ve her $x \in (-\infty, \kappa_1]$ için $\lambda_\kappa(x) = 0$ olur.
- λ_L , $[l_1, l_2]$ aralığında kesin artan ve λ_κ , $[\kappa_1, \kappa_2]$ aralığında kesin azalandır.

- (d) Her $x \in [l_2, l_3]$ için $\lambda_L(x) = 1$ ve her $x \in [\kappa_2, \kappa_3]$ için $\lambda_\kappa(x) = -1$ olur.
 (e) λ_L , $[l_3, l_4]$ aralığında kesin azalan ve λ_κ , $[\kappa_3, \kappa_4]$ aralığında kesin artandır.
 (f) Her $x \in [l_4, \infty)$ için $\lambda_L(x) = 0$ ve her $x \in [\kappa_4, \infty)$ için $\lambda_\kappa(x) = 0$ olur.

Memnuniyet ve memnuniyetsizlik dereceleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\lambda_L(x) = \begin{cases} \lambda_L^L(x), & \text{if } x \in [l_1, l_2] \\ 1, & \text{if } x \in [l_2, l_3] \\ \lambda_L^R(x), & \text{if } x \in [l_3, l_4] \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.17)$$

ve

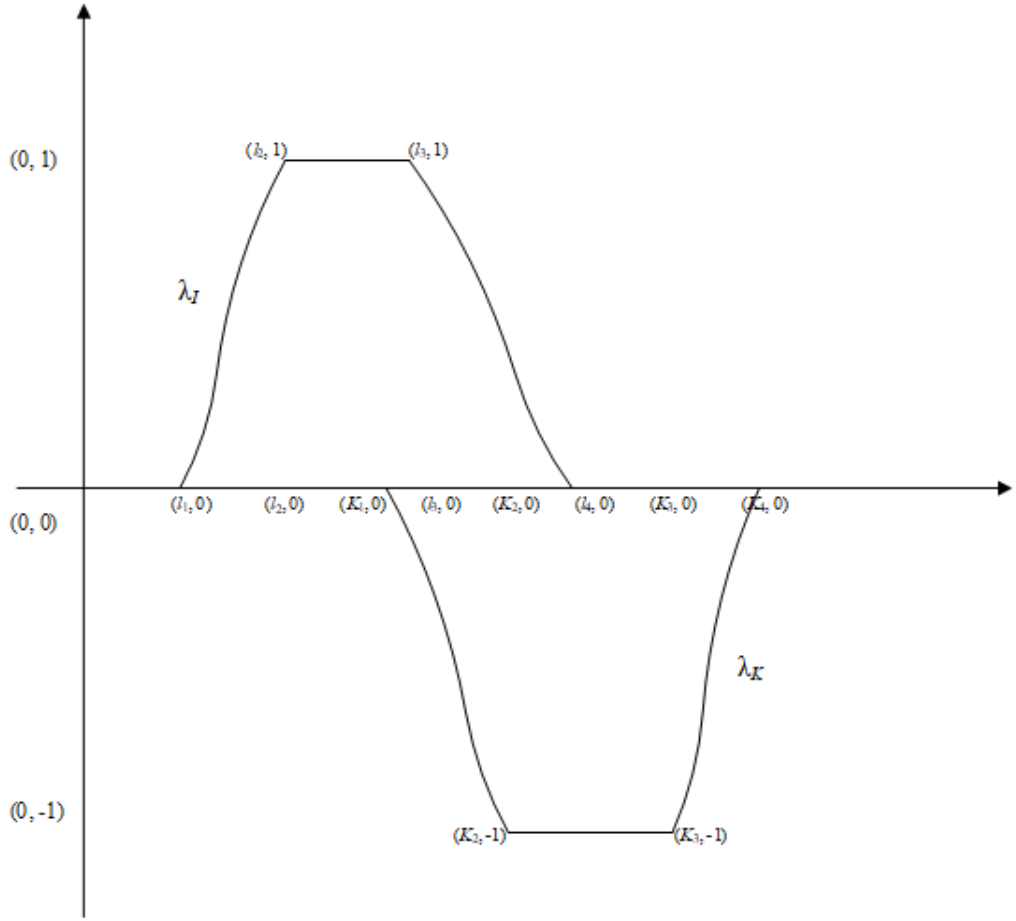
$$\lambda_\kappa(x) = \begin{cases} \lambda_\kappa^L(x), & \text{if } x \in [\kappa_1, \kappa_2] \\ -1, & \text{if } x \in [\kappa_2, \kappa_3] \\ \lambda_\kappa^R(x), & \text{if } x \in [\kappa_3, \kappa_4] \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.18)$$

Burada;

$$\lambda_L^L: [l_1, l_2] \rightarrow [0, 1], \quad \lambda_L^R: [l_3, l_4] \rightarrow [0, 1],$$

$\lambda_\kappa^L: [\kappa_1, \kappa_2] \rightarrow [-1, 0]$, $\lambda_\kappa^R: [\kappa_3, \kappa_4] \rightarrow [-1, 0]$, $\lambda_L^L(x)$ ve $\lambda_\kappa^L(x)$, sırasıyla $\lambda_L(x)$ ve $\lambda_\kappa(x)$ için sol taraf üyelik fonksiyonlarını temsil eder. Benzer şekilde, $\lambda_L^R(x)$ ve $\lambda_\kappa^R(x)$ ise sırasıyla $\lambda_L(x)$ ve $\lambda_\kappa(x)$ için sağ taraf üyelik fonksiyonlarını temsil eder.

Bir bipolar bulanık sayının grafiksel gösterimi Şekil 2'de yer almaktadır. Burada sırasıyla λ_L ve λ_κ , memnuniyet ve memnuniyetsizlik derecelerini ifade eder.



Şekil 2. Bipolar bulanık sayıların grafiksel gösterimi

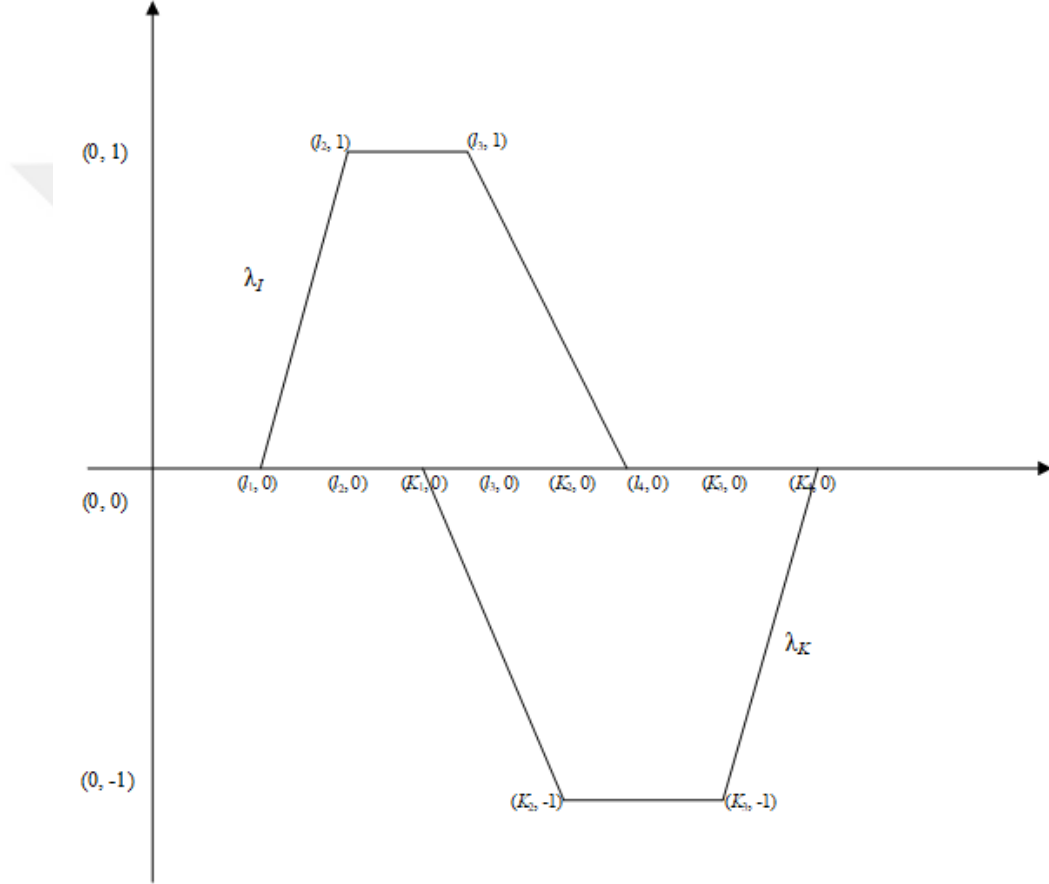
Tanım 3: $\tilde{A} = \langle L, K \rangle = \langle [l_1, l_2, l_3, l_4], [\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4] \rangle$ bipolar bulanık sayısı, eğer memnuniyet derecesi λ_L ve memnuniyetsizlik derecesi olan λ_K , aşağıdaki gibi gösterilirse, $\langle (l_1, l_2, l_3, l_4), (\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4) \rangle$ yamuk bipolar bulanık sayı olarak ifade edilir.

$$\lambda_L = \begin{cases} \frac{x-l_1}{l_2-l_1}, & \text{eğer } x \in [l_1, l_2], \\ 1, & \text{eğer } x \in [l_2, l_3], \\ \frac{l_4-x}{l_4-l_3}, & \text{eğer } x \in [l_3, l_4], \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.19)$$

ve

$$\lambda_{\kappa} = \begin{cases} \frac{\kappa_1 - x}{\kappa_2 - \kappa_1}, & \text{eğer } x \in [\kappa_1, \kappa_2], \\ -1, & \text{eğer } x \in [\kappa_2, \kappa_3], \\ \frac{x - \kappa_4}{\kappa_4 - \kappa_3}, & \text{eğer } x \in [\kappa_3, \kappa_4], \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.20)$$

Bir yamuk bipolar bulanık sayının grafiksel gösterimi Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Yamuk bipolar bulanık sayıların grafiksel gösterimi

Tanım 4: $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3, a_4), (a'_1, a'_2, a'_3, a'_4) \rangle$ ve

$\tilde{B} = \langle (b_1, b_2, b_3, b_4), (b'_1, b'_2, b'_3, b'_4) \rangle$ iki yamuk bipolar bulanık sayı, λ , değişken bir katsayı ve ∂ , pozitif değişken bir kat sayı olmak üzere karar vericilerin değerlendirmelerini ya da yargılarını bütünleştirme işlemlerinde kullanılacak yamuk bipolar bulanık sayıları dikkate alan temel aritmetik işlemler aşağıda verilmiştir (Chen & Hwang, 1992); (Akram & Arshad, 2019).

Toplama:

$$\begin{aligned} \tilde{A} \oplus \tilde{B} = & \langle (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4), (a'_1 + b'_1, a'_2 + b'_2, a'_3 + b'_3 + a'_4 \\ & + a'_4) \rangle \end{aligned} \quad (2.21)$$

Skaler ∂ sayısı ile çarpma:

$$\partial \tilde{A} = \langle (a_1 \times \partial, a_2 \times \partial, a_3 \times \partial, a_4 \times \partial), (a'_1 \times \partial, a'_2 \times \partial, a'_3 \times \partial, a'_4 \times \partial) \rangle \quad (2.22)$$

Skaler λ sayısı ile bölme:

$$\tilde{A}/\lambda = \begin{cases} \langle \left(\frac{a_1}{\lambda}, \frac{a_2}{\lambda}, \frac{a_3}{\lambda}, \frac{a_4}{\lambda}\right), \left(\frac{a'_1}{\lambda}, \frac{a'_2}{\lambda}, \frac{a'_3}{\lambda}, \frac{a'_4}{\lambda}\right) \rangle & \text{if } \lambda > 0 \\ \langle \left(\frac{a_4}{\lambda}, \frac{a_3}{\lambda}, \frac{a_2}{\lambda}, \frac{a_1}{\lambda}\right), \left(\frac{a'_4}{\lambda}, \frac{a'_3}{\lambda}, \frac{a'_2}{\lambda}, \frac{a'_1}{\lambda}\right) \rangle & \text{if } \lambda < 0 \end{cases} \quad (2.23)$$

Tanım 5: Yamuk bipolar bulanık sayılarda sıralama fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir (Akram ve Arshad, 2019).

$$\left(m(L) + \left[\frac{-l_1 - l_2 + l_3 + l_4}{2}\right]\right) - \left(m(K) + \left[\frac{-k_1 - k_2 + k_3 + k_4}{2}\right]\right) \quad (2.24)$$

Burada; $m(L)$ ve $m(K)$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$m(L) = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{4} \quad (2.25)$$

$$m(K) = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{4} \quad (2.26)$$

2.4. Bulanık TOPSIS Yöntemi

Yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS, ideale yakınlığı temsil eden bir toplama fonksiyonuna dayanmaktadır (Chu vd., 2007).

Bulanık bilgi ile donatılmış bir ortamda grup karar verme problemlerini çözmek için Chen (2000), tarafından TOPSIS'in genişletilmiş bir hali olan, bulanık TOPSIS yöntemi önerilmiştir. Akram ve Arshad (2019), ise bipolar bulanık kümeleri ve bulanık kümelerin bir üyelik fonksiyonu olan yamuk bulanık sayıları kullanarak bulanık TOPSIS yönteminin genişletilmiş bir hali olan TrBF-TOPSIS'e dayalı bir grup karar verme yöntemini önermiştir.

2.4.1. Yamuk Bipolar Bulanık TOPSIS Yöntemi

Bu bölümde bipolar bulanık ortamda TOPSIS yöntemine dayanan çok kriterli bir grup karar verme modeli sunulmaktadır (Akram & Arshad, 2019).

Bu yaklaşımı kullanmanın mükemmelliği, bipolar bulanık kümeler yerine bipolar bulanık sayıları kullanarak alternatifleri ve kriterleri değerlendirmektir. Karar verme modeli için adımlar aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Bipolar bulanık ÇKKV probleminin elde edilmesi.

$$(TrBF - X_k) = \begin{bmatrix} \widetilde{x_{11k}} & \cdots & \widetilde{x_{1nk}} \\ \widetilde{x_{21k}} & \cdots & \widetilde{x_{2nk}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \widetilde{x_{m1k}} & \cdots & \widetilde{x_{mnk}} \end{bmatrix}$$

$$W_k = [w_{1k} w_{2k} \cdots w_{nk}]^T,$$

Burada $\widetilde{x_{ijk}} = \langle (l_{ijk}^1, l_{ijk}^2, l_{ijk}^3, l_{ijk}^4), (k_{ijk}^1, k_{ijk}^2, k_{ijk}^3, k_{ijk}^4) \rangle$ bipolar bulanık sayıyı, A_i , i . alternatifi ($i = 1, 2, \dots, m$) ve C_j , j . kriteri ($j = 1, 2, \dots, n$), x_{ijk} , k . karar vericisine ($k = 1, 2, \dots, p$) göre i . alternatifin j . kriterine göre değerlendirilmesini, w_{jk} ise k . karar vericisine ($k = 1, 2, \dots, p$) göre j . kriterin ağırlığını ifade eder.

Adım 2: Her bir p karar vericisine göre A_i alternatiflerinin, C_j kriterlerine göre değerlendirilmesi ve değerlendirmelerin

$\widetilde{x}_{ijk} = \langle (l_{ijk}^1, l_{ijk}^2, l_{ijk}^3, l_{ijk}^4), (\kappa_{ijk}^1, \kappa_{ijk}^2, \kappa_{ijk}^3, \kappa_{ijk}^4) \rangle$ şeklinde bütünleştirilmesi.

$$l_{ij}^1 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p l_{ijk}^1, l_{ij}^2 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p l_{ijk}^2, l_{ij}^3 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p l_{ijk}^3, l_{ij}^4 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p l_{ijk}^4, \\ \kappa_{ij}^1 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \kappa_{ijk}^1, \kappa_{ij}^2 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \kappa_{ijk}^2, \kappa_{ij}^3 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \kappa_{ijk}^3, \kappa_{ij}^4 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \kappa_{ijk}^4. \quad (2.27)$$

Karar vericilerin değerlendirmelerinin bütünleştirilmesinde, eşitlik (2.27) kullanılmaktadır. Bu değerlendirmelerde kullanılan dilsel ifadeler Akram ve Arshad (2019), tarafından tanımlanmıştır ve aşağıdaki tabloda bu dilsel ifadeler gösterilmektedir.

Tablo 4. TrBF dilsel değişkenler (Akram ve Arshad, 2019)

Dilsel değişkenler	TrBF dilsel değişkenler kümesi
İyi (İ)	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$
Orta İyi (Oİ)	$\langle (0,6, 0,7, 0,7, 0,8), (0,1, 0,2, 0,3, 0,3) \rangle$
Orta (O)	$\langle (0,4, 0,5, 0,6, 0,7), (0,5, 0,5, 0,6, 0,7) \rangle$
Orta Kötü (OK)	$\langle (0,1, 0,2, 0,3, 0,4), (0,6, 0,7, 0,8, 0,8) \rangle$
Kötü (K)	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$

Benzer şekilde bütünleştirilmiş w_j ağırlıkları da eşitlik (2.8)'deki gibi hesaplanır.

$$w_j = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p w_{jk} \quad (2.28)$$

Adım 3: Ağırlıklı bipolar bulanık karar matrisinin oluşturulması.

Ağırlıklı bipolar bulanık karar matrisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E = [e_{ij}],$$

Burada $e_{ij} = x_{ij} w_{ij} = \langle (n_{ij}^1, n_{ij}^2, n_{ij}^3, n_{ij}^4), (o_{ij}^1, o_{ij}^2, o_{ij}^3, o_{ij}^4) \rangle$ şeklindedir.

Adım 4: Bipolar bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve bipolar bulanık negative ideal çözüm (A^-) tanımlanması.

Bipolar bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve bipolar bulanık negatif ideal çözüm (A^-), aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} (A^*) &= \{e_1^*, e_2^*, \dots, e_n^*\} \\ &= \{(\max e_{ij} | j \in B), (\min e_{ij} | j \in B) | i = 1, 2, \dots, m\} \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} (A^-) &= \{e_1^-, e_2^-, \dots, e_n^-\} \\ &= \{(\min e_{ij} | j \in B), (\max e_{ij} | j \in B) | i = 1, 2, \dots, m\} \end{aligned} \quad (2.30)$$

Adım 5: Her bir alternatifin bipolar bulanık pozitif ideal çözüme olan uzaklığı (d_i^+)'nın hesaplanması.

Her bir alternatifin bipolar bulanık pozitif ideal çözüme olan uzaklığı (d_i^+) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left\{ \begin{aligned} &(n_{ij}^1 - n_{ij}^*)^2 + (n_{ij}^2 - n_{ij}^*)^2 + (n_{ij}^3 - n_{ij}^*)^2 + (n_{ij}^4 - n_{ij}^*)^2 \\ &+(o_{ij}^1 - o_{ij}^*)^2 + (o_{ij}^2 - o_{ij}^*)^2 + (o_{ij}^3 - o_{ij}^*)^2 + (o_{ij}^4 - o_{ij}^*)^2 \end{aligned} \right\}} \quad (2.31)$$

Benzer şekilde her bir alternatifin bipolar bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklığı (d_i^-) hesaplanır.

$$\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left\{ \begin{aligned} &(n_{ij}^1 - n_{ij}^-)^2 + (n_{ij}^2 - n_{ij}^-)^2 + (n_{ij}^3 - n_{ij}^-)^2 + (n_{ij}^4 - n_{ij}^-)^2 \\ &+(o_{ij}^1 - o_{ij}^-)^2 + (o_{ij}^2 - o_{ij}^-)^2 + (o_{ij}^3 - o_{ij}^-)^2 + (o_{ij}^4 - o_{ij}^-)^2 \end{aligned} \right\}} \quad (2.32)$$

Adım 6: Bipolar bulanık pozitif ideal çözüme göre A_i alternatifi için yakınlık kat sayısı hesaplanması.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.33)$$

Burada C_i , 1'e yaklaştıkça A^* 'a daha yakın olur. Alternatiflerin sıralaması ise C_i 'nin azalan değerine göre yapılır ($i = 1, 2, \dots, m$).

2.5. Bulanık EDAS Yöntemi

Yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemlerinden bir diğeri olan EDAS, alternatifleri ortalama çözüm uzaklıklarına göre değerlendirmeye dayanan bir yöntemdir (Ghorabae vd., 2015).

Alternatiflerin değerlendirilmesi ise, ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA)'nın daha yüksek değerlerine ve ortalamadan negatif uzaklık matrisi (NDA)'nın daha düşük değerlerine göre yapılır (Stanujkic vd., 2017).

Ghorabae vd., (2016), deterjan içerisindeki kimyasal maddeleri tedarik etmek isteyen üretici firma için tedarikçi seçim problemini ele aldığı çalışmasında EDAS yöntemi ve bulanık mantığı birlikte kullanıp bulanık EDAS yöntemi geliştirilmiştir.

Bu tezde ise; TrBF-TOPSIS yönteminde olduğu gibi bipolar bulanık kümeleri ve bulanık kümelerin bir üyelik fonksiyonu olan yamuk bulanık sayıları kullanarak bulanık EDAS yönteminin genişletilmiş bir hali olan TrBF-EDAS'a dayalı bir grup karar verme yöntemi önerilmiştir.

2.5.1. Yamuk Bipolar Bulanık EDAS Yöntemi

Bu bölümde, karar vericilerin çift taraflı yargısal düşüncelerine bağlı olan dilsel belirsizliği içeren ÇKGKV problemleri için yeni bir TrBF- EDAS yöntemi ortaya koyulmuştur. Yamuk bipolar bulanık sayılar ile donatılmış yamuk bipolar bulanık EDAS metodolojisi, Şekil 4'te şematik hale getirilmiş ve adım adım açıklanmıştır.

Adım 1: Her bir karar vericiye göre TrBF karar matrisinin oluşturulması.

Bu adımda, TrBF karar matrisleri ile ilgili değerlendirmeler ve kriterlerin önemi her karar verici tarafından elde edilir. TrBF karar matrislerinin oluşturulmasına ilişkin süreçte, Tablo 4'te verilen TrBF dilsel derecelendirme seti kullanılmıştır. k . karar vericinin TrBF karar matrisi aşağıdaki gibidir:

$$(TrBF - X_k) = \begin{bmatrix} \widetilde{x_{11k}} & \cdots & \widetilde{x_{1nk}} \\ \widetilde{x_{21k}} & \cdots & \widetilde{x_{2nk}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \widetilde{x_{m1k}} & \cdots & \widetilde{x_{mnk}} \end{bmatrix}$$

Burada $\widetilde{x_{ijk}} = \langle (l_{ijk}^1, l_{ijk}^2, l_{ijk}^3, l_{ijk}^4), (\kappa_{ijk}^1, \kappa_{ijk}^2, \kappa_{ijk}^3, \kappa_{ijk}^4) \rangle$ bipolar bulanık sayıyı, A_i , i . alternatifi ($i = 1, 2, \dots, m$) ve C_j , j . kriteri ($j = 1, 2, \dots, n$), x_{ijk} , k . karar vericisine ($k = 1, 2, \dots, p$) göre i . alternatifin j . kritere göre değerlendirilmesini, w_{jk} ise k . karar vericisine ($k = 1, 2, \dots, p$) göre j . kriterin ağırlığını ifade eder.

Kriterlerin ağırlıkları belirlenirken, her bir karar vericiden kriterleri değerlendirmeleri istenir. Bu aşamada karar vericilerin değerlendirmelerinde kriter ağırlıkları toplamının 1 olması gerekmektedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde yamuk bipolar bulanık sayılar yerine kesin (crisp) sayılar kullanılır. Her bir karar vericinin kriter matrisinin ağırlığı, şöyle tanımlanır:

$$(W_k) = [w_{jk}]_{1 \times m}$$

Burada w_{jk} ; k . karar vericinin j . kriterin önemine dair yargısıdır. Problemde her karar vericiden alınan yargıların aritmetik ortalaması dikkate alınır.

Adım 2: Bütünleştirilmiş TrBF karar matrisinin oluşturulması.

Karar vericilerin bireysel matrisleri, aritmetik ortalama dikkate alınarak bütünleştirilir ve bir TrBF karar matrisi oluşturulur. Bu amaçla sırasıyla eşitlik (2.21) ve (2.23) kullanılmıştır. Eşitlik (2.23)'te λ , karar vericilerin (p) sayısı olarak dikkate alınabilir. Bütünleştirilmiş TrBF karar matrisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$(TrBF - X) = \begin{bmatrix} \widetilde{x_{11}} & \cdots & \widetilde{x_{1n}} \\ \widetilde{x_{21}} & \cdots & \widetilde{x_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \widetilde{x_{m1}} & \cdots & \widetilde{x_{mn}} \end{bmatrix}$$

Burada; $\widetilde{x_{ij}} = \langle (l_{ij}^1, l_{ij}^2, l_{ij}^3, l_{ij}^4), (\kappa_{ij}^1, \kappa_{ij}^2, \kappa_{ij}^3, \kappa_{ij}^4) \rangle$ sayısı, tüm karar vericiler için A_i alternatifinin ($i = 1, 2, \dots, m$), C_j kriterine göre ($j = 1, 2, \dots, n$) bütünleştirilmiş performans değerini veren bir TrBF sayısıdır.

Adım 3: Ortalama çözüm matrisinin oluşturulması.

$$(TrBF - AV) = [\widetilde{a\bar{v}}_j]_{1 \times m}$$

Her bir kriter için ortalama çözüm $\widetilde{a\bar{v}}_j = \langle (l_j^1, l_j^2, l_j^3, l_j^4), (\kappa_j^1, \kappa_j^2, \kappa_j^3, \kappa_j^4) \rangle$ TrBF sayısı ile temsil edilir. Ortalama çözüm, ilgili kriter altındaki tüm alternatiflerin aldığı performans değerlerinin ortalamasına karşılık gelir. Sırasıyla eşitlik (2.21) ve (2.23),

ortalama çözümleri belirlemek için kullanılmaktadır. Burada, Eşitlik (2.23) kullanılarak; λ , alternatiflerin sayısı şeklinde dikkate alınabilir.

Adım 4: Ortalamadan pozitif ($TrBF - PDA$) ve negatif ($TrBF - NDA$) uzaklık matrislerinin oluşturulması.

Sırasıyla B ve N kümeleri, faydalı ve faydalı olmayan kriterleri ifade eder. Bu adımda aşağıda belirtildiği gibi kriterin çeşidine göre eşitlik (2.36) ve (2.37) kullanılarak, ortalamadan pozitif ($TrBF - PDA$) uzaklık matrisi ve ortalamadan negatif ($TrBF - NDA$) uzaklık matrisi oluşturulur.

Eşitlik (2.36) ve (2.37)'de; φ , TrBF sayısı ve sıfır arasından maksimum değeri seçen bir fonksiyondur. Burada; yamuk bipolar bulanık sıfır sayısı, $\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$ biçiminde ifade edilir. Maksimum değer seçilmesi için karşılaştırma, eşitlik (2.24)'te verilen sıralama fonksiyonu kullanılarak TrBF sayısı durulaştırıldıktan sonra durulaştırılmış TrBF sayısı ve sıfır arasında yapılır. Bu durulaştırma işlemi sadece yamuk bipolar bulanık sayıların karşılaştırılması için gerçekleştirilir.

$$TrBF - PDA = [\widetilde{pda}_{ij}]_{n \times m} \quad (2.34)$$

$$TrBF - NDA = [\widetilde{nda}_{ij}]_{n \times m} \quad (2.35)$$

$$\widetilde{pda}_{ij} = \begin{cases} \varphi(\widetilde{x}_{ij} \ominus \widetilde{av}_j), & \text{if } j \in B \\ \varphi(\widetilde{av}_j \ominus \widetilde{x}_{ij}), & \text{if } j \in N \end{cases} \quad (2.36)$$

$$\widetilde{nda}_{ij} = \begin{cases} \varphi(\widetilde{av}_j \ominus \widetilde{x}_{ij}), & \text{if } j \in B \\ \varphi(\widetilde{x}_{ij} \ominus \widetilde{av}_j), & \text{if } j \in N \end{cases} \quad (2.37)$$

\widetilde{pda}_{ij} ve \widetilde{nda}_{ij} ($\langle (l_{ij}^1, l_{ij}^2, l_{ij}^3, l_{ij}^4), (\kappa_{ij}^1, \kappa_{ij}^2, \kappa_{ij}^3, \kappa_{ij}^4) \rangle$) sırasıyla, j . kriterine göre i . alternatife ortalama çözümden pozitif ve negatif uzaklığını temsil eden TrBF sayıdır.

Burada, geleneksel EDAS yönteminden farklı olarak, \widetilde{pda}_{ij} ve \widetilde{nda}_{ij} hesaplamaları değiştirilmiştir. φ , sadece ortalamalar arasındaki pozitif ve negatif mesafeler arasındaki mesafeyi dikkate alan bir fonksiyondur. Karar matrisini oluştururken, tüm karar vericilerin değerlendirmeleri için aynı skala (Bkz: Tablo 4) kullanıldığından, burada değerlerin

normalize edilmemesi genelliği bozmaz. Burada, eşitlik (2.36) ve (2.37)'deki çıkarma işlemlerinde eşitlik (2.21) ve $\lambda = -1$ için eşitlik (2.23) birlikte kullanılarak hesaplanabilir.

Adım 5: Tüm alternatifler için ağırlıklandırılmış toplam pozitif (\widetilde{sp}_i) ve negatif (\widetilde{sn}_i) uzaklıkların hesaplanması.

Tüm alternatifler için ağırlıklandırılmış toplam pozitif ve negatif uzaklıkları belirlemek için, $[\widetilde{pda}_{ij}]_{n \times m}$ ve $[\widetilde{nda}_{ij}]_{n \times m}$ Adım 1'de hesaplanan bütünleştirilmiş kriter ağırlıkları ile çarpılır. Başka bir deyişle, pozitif ve negatif mesafelerin ağırlıklı toplamları, aşağıdaki gibi verilen eşitlik (2.38) ve (2.39) kullanılarak hesaplanır:

$$\widetilde{sp}_i = \bigoplus_{j=1}^m (\widetilde{w}_j \otimes \widetilde{pda}_{ij}) \quad (2.38)$$

$$\widetilde{sn}_i = \bigoplus_{j=1}^n (\widetilde{w}_j \otimes \widetilde{nda}_{ij}) \quad (2.39)$$

Adım 6: Her bir alternatif için normalize edilmiş \widetilde{sp}_i ve \widetilde{sn}_i değerlerinin elde edilmesi.

Bu adımda normalize edilmiş \widetilde{sp}_i ve \widetilde{sn}_i değerleri, aşağıdaki gibi eşitlik (2.40) ve (2.41) kullanılarak hesaplanır. Burada “1”; $\langle (1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 1) \rangle$ şeklinde dikkate alınacaktır.

$$\widetilde{ns\overline{p}}_i = \frac{\widetilde{sp}_i}{\max_i(k(\widetilde{sp}_i))} \quad (2.40)$$

$$\widetilde{ns\overline{n}}_i = 1 - \frac{\widetilde{sn}_i}{\max_i(k(\widetilde{sn}_i))} \quad (2.41)$$

Adım 7: Tüm alternatifler için değerlendirme skorunun (\widetilde{as}_i) hesaplanması.

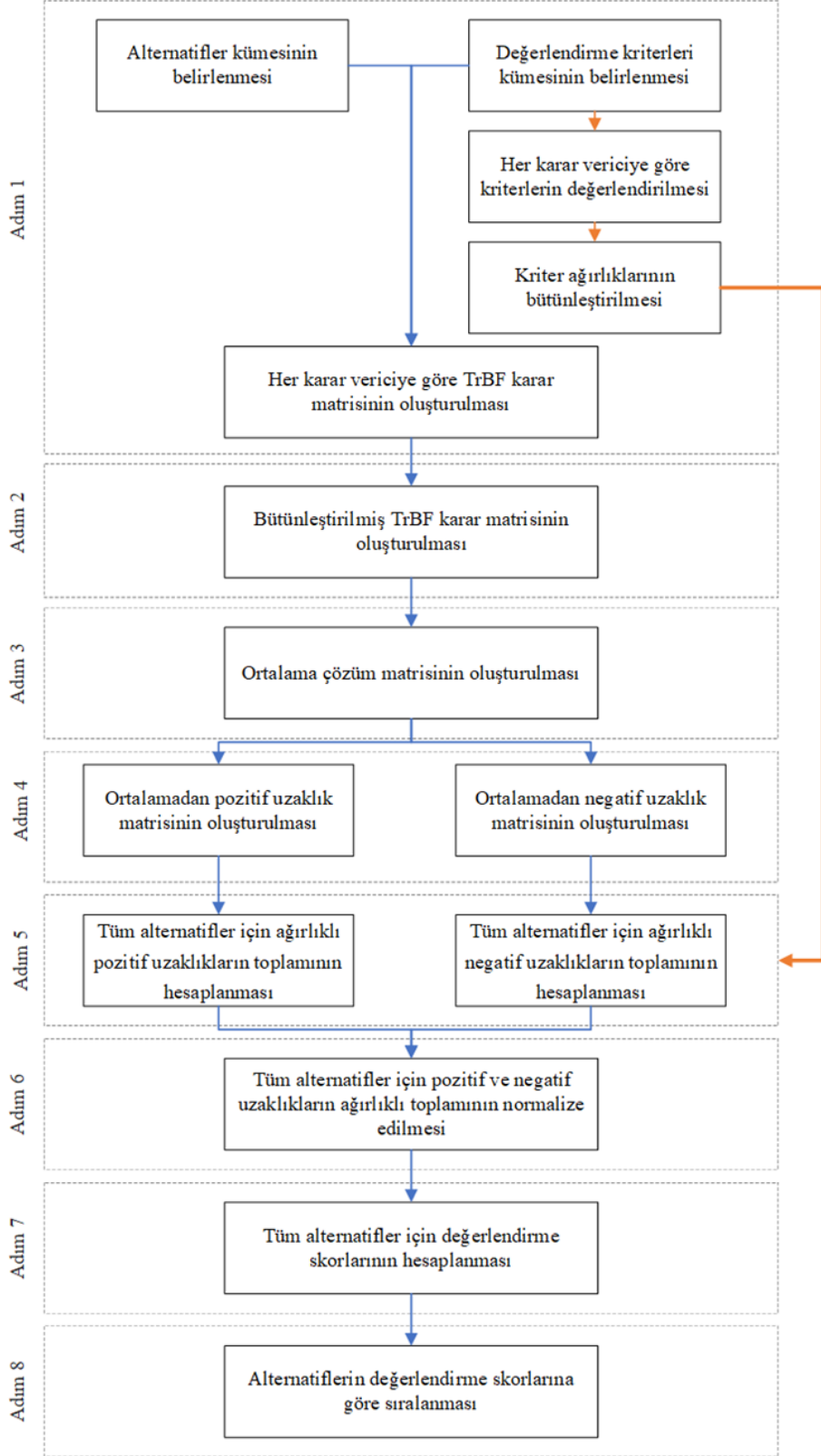
Bu adımda; tüm alternatifler için değerlendirme skoru (\widetilde{as}_i), eşitlik (2.42) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\widetilde{as}_i = \frac{1}{2} (\widetilde{ns\overline{p}}_i \oplus \widetilde{ns\overline{n}}_i) \quad (2.42)$$

Adım 8: Değerlendirme skoruna (\widetilde{as}_i) göre alternatiflerin sıralanması.

Son adımda; her bir alternatifin değerlendirme skoru (\widetilde{as}_i), eşitlik (2.24) kullanılarak durulaştırılır ve alternatifler durulaştırılmış değerlendirme skorlarının ($k(\widetilde{as}_i)$) azalan

değerine göre sıralanır. En yüksek değerlendirme puanı, istenen ya da arzu edilen (en iyi) alternatife karşılık gelir.



Şekil 4. TrBF-EDAS metodolojisinin şematik gösterimi

3. UYGULAMA

3.1. Problemin Tanımı

Tezin bu bölümünde Türkiye’de bulunan bir tıp fakültesinin tıbbi biyoloji anabilim dalında hücre kültürü çalışmalarında kullanılmak üzere ölü ve canlı hücre sayımı, hücre canlılığı analizi gibi deneyleri görüntü bazlı yapabilen altı farklı cihaz tipi arasından, anabilim dalının kullanımına en uygun olan maliyet etkili bir cihazın seçilmesi incelenmiştir. Bunun için alanında akademisyen olarak görev alan üç uzman ile görüşülmüştür. Bu çalışmada incelenen TrBF-EDAS yönteminde ve yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması için TrBF-TOPSIS yönteminde kullanılmak üzere kriterler belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinden sonra alternatif olarak değerlendirilecek altı farklı cihaz tipi, her bir kritere göre her bir akademisyen tarafından ayrı ayrı dilsel ifadelerle değerlendirilmiş ve sonrasında her bir dilsel ifade yamuk bipolar bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Kullandığımız yöntemde belirlenen bu bulanık sayılar temel alınarak işlemler adım adım yapılmıştır.

Akademisyenler tarafından belirlenen beş farklı kriter ilerleyen kısımda ayrıca belirtilmiştir.

3.2. Kriterler

(K1) Optics/ lazer: Cihazın hücreleri farklı dalga boylarında okuyabilme kapasitesi ile ilgilidir. Cihazın içine yerleştirilen hücre kültürünü sayıca kaç farklı dalga boylarında okuyabilme alternatifinin olması durumudur.

(K2): Analiz/ plot oluşturma: Verilerin grafik plotlar halinde detaylı sunuluş şekli ile ilgilidir. Cihazda hücre kültürü analizleri yapıldıktan sonra elde edilen verilerin cihaz tarafından istenilen grafiği plotlar halinde verebilme durumudur.

(K3) Sarf Bağımlılığı: Cihaza hücre yükleme preparatı ile ilgilidir. Cihaza hücre yüklemek için kullanılacak olan lam preparatının cihazın kendi içinde yer alması veya ekstradan satın alınması, satın alınacak ise bu preparatın tek kullanımlık veya çok kullanımlık olması, çok kullanımlık bir preparat ise sadece mevcut cihaza özgü olması veya genel cam lameller ile de cihazın çalışabilir olması durumlarıdır.

(K4) Available Assay: Çeşitli analizleri yapabilme kapasitesi ile ilgilidir. Cihazın hücre ölümü ve canlılığına ek olarak hücre siklusu, otofaji ya da yüzey makör analizleri gibi çeşitli analizleri yapabilme kapasitesinin olması durumudur.

(K5) Maliyet: Cihazın satın alma maliyeti ile ilgilidir.

3.3. Alternatifler

Uygulamada değerlendirilecek cihaz alternatifleri aşağıda sıralanmıştır.

- (A1) Nexcelom Cellometer Vison CBA cihazı
- (A2) Chemometec NC-3000
- (A3) iCyte Automated Imaging Cytometer
- (A4) Countess II FL
- (A5) LUNA-STEM
- (A6) LUNA-FL

Cihazların görselleri ise Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedirler.

- (A1) Nexcelom Cellometer Vison CBA cihazı



Şekil 5. Nexcelom Cellometer Vison CBA cihazı

- (A2) Chemometec NC-3000



Şekil 6. Chemometec NC-3000 cihazı

- (A3) iCyte Automated Imaging Cytometer



Şekil 7. iCyte Automated Imaging Cytometer cihazı

- (A4) Countess II FL



Şekil 8. Countess II FL cihazı

- (A5) LUNA-STEM



Şekil 9. LUNA-STEM cihazı

- (A6) LUNA-FL



Şekil 10. LUNA-FL cihazı

3.4. Değerlendirme

Belirlenen alternatifler değerlendirilmek üzere Bölüm 2.4.1'deki Tablo 4'te gösterilen dilsel ifadeler, hatırlatma amacıyla Tablo 5'te tekrar ifade edilmiştir.

Tablo 5. TrBF dilsel değişkenler (Akram ve Arshad, 2019)

Dilsel değişkenler	TrBF dilsel değişkenler kümesi
İyi (İ)	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$
Orta İyi (Oİ)	$\langle (0,6, 0,7, 0,7, 0,8), (0,1, 0,2, 0,3, 0,3) \rangle$
Orta (O)	$\langle (0,4, 0,5, 0,6, 0,7), (0,5, 0,5, 0,6, 0,7) \rangle$
Orta Kötü (OK)	$\langle (0,1, 0,2, 0,3, 0,4), (0,6, 0,7, 0,8, 0,8) \rangle$
Kötü (K)	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$

Kriterlerin belirlenmesinden sonra karar vericiler, kriter ağırlıklarını, toplamaları 1 olacak şekilde değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler aşağıda Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Kriter ağırlıklarının karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	0,4	0,3	0,2
K2	0,2	0,3	0,1
K3	0,2	0,1	0,2
K4	0,1	0,1	0,2
K5	0,1	0,2	0,3

Tablo 6’da gösterilen karar vericiler tarafından değerlendirilen kriter ağırlıkları ise eşitlik (2.21) ve (2.23) kullanılarak bütünleştirilmiş ve bu değerler de Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Kriter ağırlıklarının bulanık sayılar ile gösterilmesi

Kriterler	Ağırlıklar
K1	0,30
K2	0,20
K3	0,166667
K4	0,133333
K5	0,20

Bir sonraki aşamada karar vericiler, her bir kriteri göz önünde bulundurarak tıbbi cihaz alternatiflerini, Tablo 5’teki dilsel değişkenleri kullanarak tek tek değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeler Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Alternatiflerin kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	Oİ	OK	İ
	A2	K	K	K
	A3	İ	İ	İ
	A4	OK	OK	O
	A5	O	K	O
	A6	K	K	K

Tablo 8'in devamı:

K2	A1	OK	O	Oİ
	A2	OK	K	K
	A3	İ	İ	İ
	A4	O	OK	O
	A5	OK	K	Oİ
	A6	K	K	Oİ
K3	A1	OK	OK	K
	A2	OK	K	OK
	A3	İ	İ	İ
	A4	Oİ	O	O
	A5	K	K	K
	A6	K	K	K
K4	A1	Oİ	O	Oİ
	A2	K	K	K
	A3	İ	İ	İ
	A4	OK	K	OK
	A5	OK	K	K
	A6	OK	K	K
K5	A1	Oİ	Oİ	İ
	A2	K	K	İ
	A3	İ	İ	Oİ
	A4	O	O	O
	A5	OK	OK	İ
	A6	K	OK	O

Tablo 9. Alternatiflerin kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesinin yamuk bipolar bulanık sayılarla gösterilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	$\langle (0,6, 0,7, 0,7, 0,8), (0,1, 0,2, 0,3, 0,3) \rangle$	$\langle (0,1, 0,2, 0,3, 0,4), (0,6, 0,7, 0,8, 0,8) \rangle$	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$
	A2	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$
	A3	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$
	A4	$\langle (0,1, 0,2, 0,3, 0,4), (0,6, 0,7, 0,8, 0,8) \rangle$	$\langle (0,1, 0,2, 0,3, 0,4), (0,6, 0,7, 0,8, 0,8) \rangle$	$\langle (0,4, 0,5, 0,6, 0,7), (0,5, 0,5, 0,6, 0,7) \rangle$
	A5	$\langle (0,4, 0,5, 0,6, 0,7), (0,5, 0,5, 0,6, 0,7) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0,4, 0,5, 0,6, 0,7), (0,5, 0,5, 0,6, 0,7) \rangle$
	A6	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$

Tablo 9’da ise, karar vericiler tarafından her bir kriter için değerlendirilen alternatiflerin dilsel değişkenleri yamuk bipolar bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Mevcut bu bulanık sayıların, eşitlik (2.21) ve (2.23) kullanılarak aritmetik ortalamaları alınarak Tablo 10’da gösterildiği gibi yamuk bipolar bulanık bütünleştirilmiş karar matrisi (W_j) elde edilmiştir.

Tablo 10. TrBF bütünleştirilmiş karar matrisi (W_j)

Alternatifler	Kriterler				
	K1	K2	K3	K4	K5
A1	$\langle (0,5, 0,6, 0,66, 0,73), (0,23, 0,33, 0,43, 0,43) \rangle$	$\langle (0,36, 0,46, 0,53, 0,63), (0,4, 0,46, 0,56, 0,6) \rangle$	$\langle (0,06, 0,13, 0,23, 0,33), (0,63, 0,73, 0,8, 0,83) \rangle$	$\langle (0,53, 0,63, 0,66, 0,76), (0,23, 0,3, 0,4, 0,43) \rangle$	$\langle (0,66, 0,76, 0,8, 0,86), (0,066, 0,16, 0,26, 0,26) \rangle$
A2	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0,03, 0,06, 0,16, 0,26), (0,66, 0,76, 0,8, 0,86) \rangle$	$\langle (0,06, 0,13, 0,23, 0,33), (0,63, 0,73, 0,8, 0,83) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0,26, 0,3, 0,4, 0,46), (0,46, 0,56, 0,6, 0,66) \rangle$
A3	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$	$\langle (0,8, 0,9, 1, 1), (0, 0,1, 0,2, 0,2) \rangle$	$\langle (0,73, 0,83, 0,09, 0,93), (0,033, 0,13, 0,23, 0,23) \rangle$
A4	$\langle (0,2, 0,3, 0,4, 0,5), (0,56, 0,63, 0,73, 0,76) \rangle$	$\langle (0,3, 0,4, 0,5, 0,6), (0,53, 0,56, 0,66, 0,73) \rangle$	$\langle (0,46, 0,56, 0,63, 0,73), (0,36, 0,4, 0,5, 0,56) \rangle$	$\langle (0,06, 0,13, 0,23, 0,33), (0,63, 0,73, 0,8, 0,83) \rangle$	$\langle (0,4, 0,5, 0,6, 0,7), (0,5, 0,5, 0,6, 0,7) \rangle$
A5	$\langle (0,26, 0,33, 0,43, 0,53), (0,56, 0,6, 0,66, 0,76) \rangle$	$\langle (0,23, 0,3, 0,36, 0,46), (0,46, 0,56, 0,63, 0,66) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0,03, 0,06, 0,16, 0,26), (0,66, 0,76, 0,8, 0,86) \rangle$	$\langle (0,33, 0,43, 0,53, 0,6), (0,4, 0,5, 0,6, 0,6) \rangle$
A6	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0,2, 0,23, 0,3, 0,4), (0,5, 0,6, 0,63, 0,7) \rangle$	$\langle (0, 0, 0,1, 0,2), (0,7, 0,8, 0,8, 0,9) \rangle$	$\langle (0,03, 0,06, 0,16, 0,26), (0,66, 0,76, 0,8, 0,86) \rangle$	$\langle (0,13, 0,16, 0,26, 0,36), (0,63, 0,7, 0,73, 0,83) \rangle$

3.5. Tıbbi Cihaz Seçimi Projesinde TrBF-TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Bu bölümde, önerilen TrBF-EDAS yönteminin sonuçlarının doğrulanması amacıyla, Bölüm 3.1’de açıklanan tıbbi cihaz seçimi problemine literatürde bilinen TrBF-TOPSIS yöntemi, adım adım uygulanmıştır.

Bölüm 3.4’te yer alan Tablo 10’daki TrBF bütünleştirilmiş karar matrisindeki değerlerin her biri eşitlik (2.22) yardımıyla Tablo 7’de gösterilen kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı yamuk bipolar bulanık bütünleştirilmiş karar matrisi (E) elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Ağırlıklı yamuk bipolar bulanık bütünleştirilmiş karar matrisi (E)

Alt.	Kriterler				
	K1	K2	K3	K4	K5
A1	$\langle (0.15, 0.18, 0.2, 0.22), (0.07, 0.1, 0.13, 0.13) \rangle$	$\langle (0.07, 0.09, 0.10, 0.12), (0.08, 0.09, 0.11, 0.12) \rangle$	$\langle (0.01, 0.02, 0.03, 0.05), (0.10, 0.12, 0.13, 0.13) \rangle$	$\langle (0.07, 0.08, 0.08, 0.10), (0.03, 0.04, 0.05, 0.05) \rangle$	$\langle (0.13, 0.15, 0.16, 0.17), (0.01, 0.03, 0.05, 0.05) \rangle$
A2	$\langle (0, 0, 0.03, 0.06), (0.21, 0.24, 0.24, 0.27) \rangle$	$\langle (0.006, 0.01, 0.03, 0.05), (0.13, 0.15, 0.16, 0.17) \rangle$	$\langle (0.01, 0.02, 0.03, 0.05), (0.10, 0.12, 0.13, 0.13) \rangle$	$\langle (0, 0, 0.01, 0.02), (0.09, 0.10, 0.10, 0.12) \rangle$	$\langle (0.05, 0.06, 0.08, 0.09), (0.09, 0.11, 0.12, 0.13) \rangle$
A3	$\langle (0.24, 0.27, 0.3, 0.3), (0, 0.03, 0.06, 0.06) \rangle$	$\langle (0.16, 0.18, 0.2, 0.2), (0, 0.02, 0.04, 0.04) \rangle$	$\langle (0.13, 0.15, 0.16, 0.16), (0, 0.01, 0.03, 0.03) \rangle$	$\langle (0.10, 0.12, 0.13, 0.13), (0, 0.01, 0.02, 0.02) \rangle$	$\langle (0.14, 0.16, 0.18, 0.18), (0.006, 0.02, 0.04, 0.04) \rangle$
A4	$\langle (0.06, 0.09, 0.12, 0.15), (0.17, 0.19, 0.22, 0.23) \rangle$	$\langle (0.06, 0.08, 0.1, 0.12), (0.10, 0.11, 0.13, 0.14) \rangle$	$\langle (0.07, 0.09, 0.10, 0.12), (0.06, 0.06, 0.08, 0.09) \rangle$	$\langle (0.008, 0.01, 0.03, 0.04), (0.08, 0.09, 0.10, 0.11) \rangle$	$\langle (0.08, 0.1, 0.12, 0.14), (0.1, 0.1, 0.12, 0.14) \rangle$
A5	$\langle (0.08, 0.1, 0.13, 0.16), (0.17, 0.18, 0.2, 0.23) \rangle$	$\langle (0.04, 0.06, 0.07, 0.09), (0.09, 0.11, 0.12, 0.13) \rangle$	$\langle (0, 0, 0.01, 0.03), (0.11, 0.13, 0.13, 0.15) \rangle$	$\langle (0.004, 0.008, 0.02, 0.03), (0.08, 0.10, 0.10, 0.11) \rangle$	$\langle (0.06, 0.08, 0.10, 0.12), (0.08, 0.1, 0.12, 0.12) \rangle$
A6	$\langle (0, 0, 0.03, 0.06), (0.21, 0.24, 0.24, 0.27) \rangle$	$\langle (0.04, 0.04, 0.06, 0.08), (0.1, 0.12, 0.12, 0.14) \rangle$	$\langle (0, 0, 0.01, 0.03), (0.11, 0.13, 0.13, 0.15) \rangle$	$\langle (0.004, 0.008, 0.02, 0.03), (0.08, 0.10, 0.10, 0.11) \rangle$	$\langle (0.02, 0.03, 0.05, 0.07), (0.12, 0.14, 0.14, 0.16) \rangle$

Ağırlıklı yamuk bipolar bulanık ortalama karar matrisi (E) oluşturulduktan sonra her bir kriter için, kriterlerin faydalı ve faydasız olma durumları dikkate alınarak yamuk bipolar bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve yamuk bipolar negatif ideal çözüm (A^-), eşitlik (2.29) ve (2.30) kullanılarak belirlenmiştir. Eşitliklerde belirtilen minimum ve maksimum alternatifleri belirlemek için eşitlik (2.24) kullanılmıştır. Bu doğrultularda hesaplanan A^* ve A^- değerleri Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. Yamuk bipolar bulanık pozitif ideal çözüm (A^*) ve yamuk bipolar bulanık negatif ideal çözüm (A^-) değerleri

Kriterler	A^*	A^-
K1	$\langle (0.24, 0.27, 0.3, 0.3), (0, 0.03, 0.06, 0.06) \rangle$	$\langle (0, 0, 0.03, 0.06), (0.21, 0.24, 0.24, 0.27) \rangle$
K2	$\langle (0.16, 0.18, 0.2, 0.2), (0, 0.02, 0.04, 0.04) \rangle$	$\langle (0.006, 0.01, 0.03, 0.05), (0.13, 0.15, 0.16, 0.17) \rangle$

Tablo 12'nin devamı:

K3	$\langle (0.13, 0.15, 0.16, 0.16), (0, 0.01, 0.03, 0.03) \rangle$	$\langle (0, 0, 0.01, 0.03), (0.11, 0.13, 0.13, 0.15) \rangle$
K4	$\langle (0.10, 0.12, 0.13, 0.13), (0, 0.13, 0.02, 0.02) \rangle$	$\langle (0, 0, 0.01, 0.02), (0.09, 0.10, 0.10, 0.12) \rangle$
K5	$\langle (0.02, 0.03, 0.05, 0.07), (0.12, 0.14, 0.14, 0.16) \rangle$	$\langle (0.14, 0.16, 0.18, 0.18), (0.006, 0.02, 0.04, 0.04) \rangle$

Her bir alternatifin A^* 'den uzaklığı (d_i^*) ve A^- 'den olan uzaklığı (d_i^-), sırasıyla eşitlik (2.31) ve (2.32) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar da Tablo 13'teki gibidir.

Tablo 13. Her bir alternatif için A^* ve A^- 'den olan uzaklıklar

Alternatifler	d_i^*	d_i^-
A1	0.39	0.35
A2	0.62	0.18
A3	0.23	0.63
A4	0.45	0.26
A5	0.50	0.22
A6	0.60	0.24

Uzaklıkların belirlenmesinden sonra da son aşama olarak eşitlik (2.33) kullanılarak her bir alternatif için yakınlık katsayıları (C_i) hesaplanmış ve bu katsayılar da Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14. Yakınlık katsayıları (C_i)

Alternatifler	C_i
A1	0.47
A2	0.22
A3	0.72
A4	0.36
A5	0.30
A6	0.28

Tablo 14 incelendiğinde alternatiflerin yakınlık katsayıları büyükten küçüğe göre sıralandığında, elde edilen alternatif sıralaması $A3 > A1 > A4 > A6 > A5 > A2$ şeklindedir. Yani 3 numaralı alternatif olan “iCyte Automated Imaging Cytometer” cihazı, TrBF-TOPSIS yöntemine göre en iyi seçim olacaktır. Bu alternatifi sırasıyla “Nexcelom Cellometer Vison CBA”, “Countess II FL, LUNA-STEM”, “LUNA-FL” ve “Chemometec NC-3000” cihazları takip etmektedir.

3.6. Tıbbi Cihaz Seçimi Projesinde Genişletilmiş Yamuk Bipolar Bulanık EDAS Yönteminin Uygulanması

Bölüm 3.4’te hesaplanan ve Tablo 10’da yer alan TrBF bütünleştirilmiş karar matrisi kullanılarak bütün yamuk bipolar bulanık kriter değerlerinin eşitlik (2.21) ve (2.23) yardımıyla ortalaması alınarak yamuk bipolar bulanık ortalama çözüm matrisi ($TrBF - AV$), hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Tablo 15’te gösterilmiştir.

Tablo 15. TrBF Ortalama çözüm matrisi ($TrBF - AV$)

Kriterler	($TrBF - AV$)
K1	$\langle (0,29, 0,35, 0,45, 0,52), (0,46, 0,54, 0,60, 0,66) \rangle$
K2	$\langle (0,32, 0,39, 0,47, 0,56), (0,42, 0,51, 0,58, 0,62) \rangle$
K3	$\langle (0,23, 0,28, 0,38, 0,46), (0,50, 0,59, 0,65, 0,70) \rangle$
K4	$\langle (0,24, 0,3, 0,38, 0,47), (0,48, 0,57, 0,63, 0,68) \rangle$
K5	$\langle (0,42, 0,5, 0,58, 0,65), (0,35, 0,42, 0,50, 0,55) \rangle$

Tablo 7’de gösterilen karar vericiler tarafından değerlendirilen kriter ağırlıkları ise hatırlatma amacıyla tekrar Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. Kriter ağırlıklarının bulanık sayılar ile gösterilmesi

Kriterler	Ağırlıklar
K1	0,30
K2	0,20
K3	0,166667
K4	0,133333
K5	0,20

Eşitlik (2.36) kullanılarak, Tablo 10’da yer alan TrBF bütünleştirilmiş karar matrisi ve Tablo 15’te yer alan TrBF ortalama çözüm matrisinden elde edilen ortalama pozitif uzaklık matrisi ($TrBF - PDA$) Tablo 17’de gösterilmiştir.

Tablo 17. Yamuk bipolar bulanık ortalama pozitif uzaklık matrisi ($TrBF - PDA$)

Alternatifler	Kriterler				
	K1	K2	K3	K4	K5
A1	$\langle (-0,02, 0,15, 0,31, 0,43), (-0,42, -0,27, -0,11, -0,02) \rangle$	$\langle (-0,19, -0,01, 0,13, 0,31), (-0,22, -0,11, -0,05, 0,17) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0,06, 0,24, 0,36, 0,52), (-0,45, -0,33, -0,17, -0,05) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$
A2	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (-0,04, 0,1, 0,28, 0,38), (-0,31, -0,17, -0,06, 0,08) \rangle$
A3	$\langle (0,27, 0,45, 0,64, 0,70), (-0,66, -0,50, -0,34, -0,26) \rangle$	$\langle (0,23, 0,42, 0,60, 0,67), (-0,62, -0,48, -0,31, -0,22) \rangle$	$\langle (0,33, 0,51, 0,71, 0,76), (-0,70, -0,55, -0,39, -0,30) \rangle$	$\langle (0,32, 0,51, 0,7, 0,75), (-0,68, -0,53, -0,37, -0,28) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$
A4	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (-1,11, 0,18, 0,34, 0,5), (-0,33, -0,25, -0,09, 0,06) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (-0,27, -0,1, 0,08, 0,25), (-0,35, -0,17, 0,005, 0,05) \rangle$
A5	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (-0,17, -0,03, 0,15, 0,32), (-0,25, -0,17, 0,005, 0,15) \rangle$
A6	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0,05, 0,23, 0,41, 0,52), (-0,43, -0,30, -0,19, -0,08) \rangle$

Eşitlik (2.37) kullanılarak, Tablo 10’da yer alan TrBF bütünleştirilmiş karar matrisi ve Tablo 15’te yer alan TrBF ortalama çözüm matrisinden elde edilen ortalama negatif uzaklık matrisi ($TrBF - NDA$) Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. Yamuk bipolar bulanık ortalama negatif uzaklık matrisi ($TrBF - NDA$)

Alternatifler	Kriterler				
	K1	K2	K3	K4	K5
A1	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (-0,1, 0,05, 0,25, 0,4), (-0,32, -0,20, -0,08, 0,07) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0,01, 0,18, 0,3, 0,44), (-0,48, -0,33, -0,16, -0,08) \rangle$

Tablo 18'in devamı:

A2	$\langle (0,09, 0,25, 0,45, 0,52), (-0,43, -0,25, -0,19, -0,03) \rangle$	$\langle (0,05, 0,22, 0,41, 0,52), (-0,43, -0,28, -0,18, -0,03) \rangle$	$\langle (-0,1, 0,05, 0,25, 0,4), (-0,32, -0,20, -0,08, 0,07) \rangle$	$\langle (0,04, 0,2, 0,38, 0,47), (-0,41, -0,22, -0,16, -0,01) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$
A3	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (0,07, 0,25, 0,4, 0,51), (-0,51, -0,37, -0,19, -0,11) \rangle$
A4	$\langle (-0,20, -0,04, 0,15, 0,32), (-0,30, -0,18, -0,02, 0,09) \rangle$	$\langle (-0,27, -0,10, 0,07, 0,26), (-0,30, -0,15, 0,01, 0,09) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$	$\langle (-0,08, 0,06, 0,25, 0,40), (-0,35, -0,22, -0,1, 0,05) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$
A5	$\langle (-0,23, -0,07, 0,11, 0,26), (-0,30, -0,12, 0,005, 0,09) \rangle$	$\langle (-0,14, 0,02, 0,17, 0,32), (-0,23, -0,12, 0,01, 0,16) \rangle$	$\langle (0,03, 0,18, 0,38, 0,46), (-0,39, -0,20, -0,15, 0,005) \rangle$	$\langle (-0,02, 0,13, 0,32, 0,43), (-0,38, -0,22, -0,13, 0,01) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$
A6	$\langle (0,09, 0,25, 0,45, 0,52), (-0,43, -0,25, -0,19, -0,03) \rangle$	$\langle (-0,07, 0,09, 0,24, 0,36), (-0,27, -0,12, -0,01, 0,12) \rangle$	$\langle (0,03, 0,18, 0,38, 0,46), (-0,39, -0,20, -0,15, 0,005) \rangle$	$\langle (-0,02, 0,13, 0,32, 0,43), (-0,38, -0,22, -0,13, 0,01) \rangle$	$\langle (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0) \rangle$

Yamuk bipolar bulanık ortalama pozitif uzaklık matrisinde ($TrBF - PDA$) bulunan değerlerin her biri, sırasıyla eşitlik (2.22) ve (2.21) kullanılarak Tablo 10' da belirtilen kriter ağırlıkları ile çarpılıp, alternatiflere göre toplamı alınarak alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif uzaklıkları ($TrBF - \widehat{sp}_i$) matrisi elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 19'da gösterilmiştir.

Tablo 19. Alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif uzaklıkları ($TrBF - \widehat{sp}_i$)

Alternatifler	$TrBF - \widehat{sp}_i$
A1	$\langle (-0,03, 0,07, 0,17, 0,26), (-0,23, -0,14, -0,04, 0,01) \rangle$
A2	$\langle (-0,008, 0,02, 0,05, 0,07), (-0,06, -0,03, -0,01, 0,01) \rangle$
A3	$\langle (0,22, 0,37, 0,52, 0,57), (-0,53, -0,41, -0,28, -0,21) \rangle$
A4	$\langle (-0,05, 0,01, 0,07, 0,13), (-0,05, -0,03, 0,001, 0,03) \rangle$
A5	$\langle (-0,03, -0,006, 0,03, 0,06), (-0,05, -0,03, 0,001, 0,03) \rangle$
A6	$\langle (0,01, 0,04, 0,08, 0,10), (-0,09, -0,06, -0,03, -0,01) \rangle$

Yamuk bipolar bulanık ortalama negatif uzaklık matrisinde ($TrBF - NDA$) bulunan değerlerin her biri, sırasıyla eşitlik (2.22) ve (2.21) kullanılarak Tablo 10'da belirtilen kriter ağırlıkları ile çarpılıp, alternatiflere göre toplamı alınarak alternatiflerin yamuk bipolar

bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıkları ($TrBF - \widetilde{s\mathbf{n}}_i$) matrisi elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 20’de gösterilmiştir.

Tablo 20. Alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıkları ($TrBF - \widetilde{s\mathbf{n}}_i$)

Alternatifler	$TrBF - \widetilde{s\mathbf{n}}_i$
A1	$\langle (-0,01, 0,04, 0,10, 0,15), (-0,15, -0,10, -0,04, -0,004) \rangle$
A2	$\langle (0,02, 0,15, 0,31, 0,39), (-0,32, -0,19, -0,13, -0,009) \rangle$
A3	$\langle (0,01, 0,05, 0,08, 0,10), (-0,10, -0,07, -0,03, -0,02) \rangle$
A4	$\langle (-0,12, -0,02, 0,09, 0,20), (-0,19, -0,11, -0,01, 0,05) \rangle$
A5	$\langle (-0,09, 0,03, 0,17, 0,28), (-0,25, -0,12, -0,03, 0,06) \rangle$
A6	$\langle (0,01, 0,14, 0,29, 0,36), (-0,30, -0,16, -0,10, -0,01) \rangle$

Alternatiflerin yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif uzaklıkları ($TrBF - \widetilde{s\mathbf{p}}_i$) ve yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıkları ($TrBF - \widetilde{s\mathbf{n}}_i$) sırasıyla eşitlik (2.40) ve (2.41) kullanılarak, her bir alternatif için normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif ($TrBF - \widetilde{ns\mathbf{p}}_i$) ve normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif ($TrBF - \widetilde{ns\mathbf{n}}_i$) değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif ve negatif değerler Tablo 21 ve Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 21. Normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam pozitif uzaklıklar ($TrBF - \widetilde{ns\mathbf{p}}_i$)

Alternatifler	$TrBF - \widetilde{ns\mathbf{p}}_i$
A1	$\langle (-0,04, 0,09, 0,20, 0,31), (-0,28, -0,18, -0,05, -0,02) \rangle$
A2	$\langle (-0,01, 0,02, 0,06, 0,09), (-0,07, -0,04, -0,01, 0,02) \rangle$
A3	$\langle (0,15, 0,35, 0,78, 0,67), (-0,61, -0,45, -0,25, -0,13) \rangle$
A4	$\langle (-0,06, 0,012, 0,08, 0,16), (-0,15, -0,09, -0,01, 0,02) \rangle$
A5	$\langle (-0,04, -0,008, 0,03, 0,07), (-0,06, -0,04, 0,001, 0,03) \rangle$
A6	$\langle (0,01, 0,05, 0,10, 0,12), (-0,11, -0,07, -0,04, -0,02) \rangle$

Tablo 22. Normalize edilmiş yamuk bipolar bulanık ağırlıklı toplam negatif uzaklıklar ($TrBF - \widetilde{nsn}_i$)

Alternatifler	$TrBF - \widetilde{nsn}_i$
A1	$\langle (0,65, 0,77, 0,77, 1,03), (1,01, 1,1, 1,22, 1,33) \rangle$
A2	$\langle (0,13, 0,32, 0,32, 0,93), (1,02, 1,28, 1,43, 1,72) \rangle$
A3	$\langle (0,77, 0,82, 0,82, 0,96), (1,05, 1,08, 1,16, 1,22) \rangle$
A4	$\langle (0,55, 0,79, 0,79, 1,28), (0,88, 1,04, 1,25, 1,43) \rangle$
A5	$\langle (0,38, 0,61, 0,61, 1,21), (0,86, 1,08, 1,27, 1,56) \rangle$
A6	$\langle (0,19, 0,36, 0,36, 0,96), (0,96, 1,22, 1,36, 1,66) \rangle$

Alternatiflerin ($TrBF - \widetilde{nsn}_i$) ve ($TrBF - \widetilde{nsn}_i$) değerleri, eşitlik (2.42) kullanılarak; her bir alternatif için yamuk bipolar bulanık değerlendirme skorları ($TrBF - \widetilde{as}_i$) hesaplanmıştır. Hesaplanan ($TrBF - \widetilde{as}_i$) skorları Tablo 23'te gösterilmiştir.

Tablo 23. Yamuk bipolar bulanık değerlendirme skorları ($TrBF - \widetilde{as}_i$)

Alternatifler	$TrBF - \widetilde{as}_i$
A1	$\langle (0,30, 0,43, 0,49, 0,67), (0,36, 0,45, 0,58, 0,67) \rangle$
A2	$\langle (0,06, 0,17, 0,19, 0,51), (0,47, 0,62, 0,70, 0,87) \rangle$
A3	$\langle (0,46, 0,59, 0,80, 0,82), (0,21, 0,31, 0,45, 0,54) \rangle$
A4	$\langle (0,24, 0,40, 0,44, 0,72), (0,36, 0,47, 0,61, 0,73) \rangle$
A5	$\langle (0,17, 0,30, 0,32, 0,64), (0,40, 0,52, 0,63, 0,79) \rangle$
A6	$\langle (0,10, 0,21, 0,23, 0,54), (0,42, 0,57, 0,65, 0,82) \rangle$

($TrBF - \widetilde{as}_i$) Skorları hesaplandıktan sonra son adım olarak eşitlik (2.24) yardımıyla her bir alternatif için durulaştırılmış değerlendirme skorları ($k(\widetilde{as}_i)$), Tablo 24'te gösterilmiştir.

Tablo 24. Durulaştırılmış değerlendirme skorları ($k(\widetilde{as}_i)$)

Alternatifler	$k(\widetilde{as}_i)$
A1	-0,04
A2	-0,43
A3	0,33
A4	-0,09
A5	-0,23
A6	-0,35

Tablo 24 incelendiğinde alternatiflerin durulaştırılmış değerlendirme skorları ($k(\bar{a}_{5i})$), büyükten küçüğe doğru sıralandığında, elde edilen alternatif sıralaması $A3>A1>A4>A5>A6>A2$ şeklindedir. Yani 3 numaralı alternatif olan (A3) iCyte Automated Imaging Cytometer cihazı, TrBF-EDAS yöntemine göre de en iyi seçim olarak görülmektedir. Bu alternatifi sırasıyla; (A1) Nexcelom Cellometer Vison CBA, (A4) Countess II FL, (A5) LUNA-STEM, (A6) LUNA-FL, (A2) Chemometec NC-3000 cihazları takip etmektedir.



4. DOĞRULAMA VE DUYARLILIK ANALİZLERİ

Bu bölümde, önerilen TrBF-EDAS yönteminin geçerliliğini test etmek üzere, TrBF-EDAS yöntemi literatürde bilinen TrBF-TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, Bölüm 3'te gerçekleştirilen uygulamanın kendisi de dahil olmak üzere toplamda 25 farklı durum için yöntemler karşılaştırılmıştır. Dikkate alınan 25 farklı durumda, yöntemlerin farklı kriter ağırlıkları dikkate alındığında ürettikleri alternatif sıralamalarının seyri incelenmiştir. Bu bağlamda, gerçekleştirilen kapsamlı duyarlılık analizi ile hem yöntemlerin farklı kriter değerlerine göre verdikleri sonuçlar (tepkiler) incelenmiş, hem de önerilen TrBF-EDAS yönteminin geçerliliği, Spearman sıra korelasyon katsayısı (r_s) kullanılarak istatistiksel açıdan doğrulanmıştır. Dikkate alınan durumların kriter ağırlıkları Tablo 25'te yer almaktadır.

Tablo 25. Rastgele atanan kriter ağırlık değerleri

Durumlar	W_{k1}	W_{k2}	W_{k3}	W_{k4}	W_{k5}
Uygulama	0,30	0,20	0,166667	0,133333	0,20
Durum 1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Durum 2	0,20	0,30	0,05	0,25	0,20
Durum 3	0,60	0,10	0,10	0,05	0,15
Durum 4	0,25	0,30	0,10	0,10	0,25
Durum 5	0,20	0,40	0,10	0,10	0,20
Durum 6	0,30	0,30	0,10	0,10	0,20
Durum 7	0,30	0,30	0,20	0,10	0,10
Durum 8	0,10	0,40	0,20	0,10	0,20
Durum 9	0,25	0,25	0,20	0,10	0,20
Durum 10	0,40	0,10	0,25	0,05	0,20
Durum 11	0,30	0,10	0,25	0,05	0,30
Durum 12	0,30	0,15	0,05	0,30	0,20
Durum 13	0,25	0,15	0,20	0,20	0,20
Durum 14	0,05	0,05	0,80	0,05	0,05
Durum 15	0,05	0,80	0,05	0,05	0,05
Durum 16	0,05	0,05	0,05	0,80	0,05
Durum 17	0,35	0,25	0,10	0,15	0,15
Durum 18	0,10	0,25	0,10	0,30	0,25
Durum 19	0,10	0,32	0,10	0,30	0,18
Durum 20	0,16	0,32	0,04	0,35	0,13
Durum 21	0,16	0,32	0,04	0,30	0,18
Durum 22	0,24	0,18	0,17	0,30	0,11
Durum 23	0,26	0,19	0,25	0,10	0,20
Durum 24	0,21	0,23	0,26	0,10	0,20

Karşılaştırma süresince, durumların kriter ağırlıklarını belirlerken, kriter ağırlıklarına toplamları 1 olacak şekilde rassal değerler atanmıştır. Bu sayede, her iki yöntemin her bir durumdaki ürettiği alternatif sıralamaları elde edilmiş ve istatistiksel açıdan eşitlik (4.1)'de ifade edilen Spearman korelasyon katsayısı (r_s), kullanılarak değerlendirilmiştir.

Spearman sıra korelasyon katsayısı (r_s), belirli bir kritere göre sıralanan veya sıralanmış olarak mevcut olan iki değişkenin arasındaki ilişki seviyesini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Spearman, 1987).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (4.1)$$

$$d_i = u_i - v_i \quad (4.2)$$

u_i : 1. Örneklemden i . ölçümün sıra numarası

v_i : 2. Örneklemden i . ölçümün sıra numarası

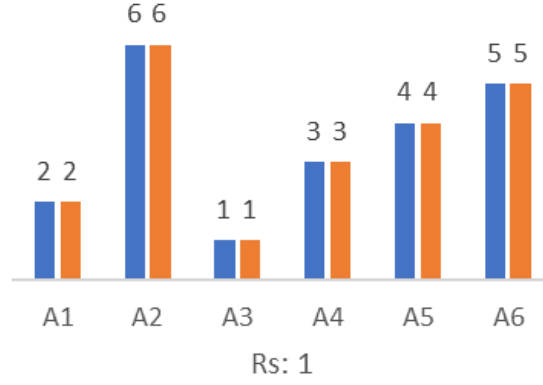
Böylece, farklı kriter ağırlıkları dikkate alınarak gerçekleştirilen duyarlılık analizinde, iki yöntemin sıralı puanları kullanılarak ölçülen iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi açıklanarak her iki yöntemin de sıralamalarındaki değişiklik incelenmiştir.

Tablo 26'da çalışmada önerilen TrBF-EDAS ve daha önceden literatürde yer alan TrBF-TOPSIS yöntemlerinin uygulandığı Bölüm 3'te yer alan gerçek uygulamanın sonuçları gösterilmektedir. Bu iki yöntemin sonuçları da Spearman korelasyon katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir ve sonuçlar aynı çıktığı için r_s değeri 1 olarak elde edilmiş olup Şekil 11'de görsel hali ifade edilmiştir.

Table 26. Tıbbi cihaz seçimi problemindeki alternatiflerin TrBF-EDAS ve TrBF-TOPSIS yöntemlerine göre tercih sıralaması

Alternatifler	TrBF-EDAS	TrBF-TOPSIS
A1	2	2
A2	6	6
A3	1	1
A4	3	3
A5	4	4
A6	5	5

$r_s = 1$ (Spearman korelasyon katsayısı)



Şekil 11. Tıbbi cihaz seçimi problemindeki alternatiflerin TrBF-EDAS ve TrBF-TOPSIS yöntemlerine göre tercih sıralamasının grafiksel gösterimi

Bölüm 3'te gerçekleştirilen uygulama dışında dikkate alınan diğer 24 farklı durum için elde edilen sonuçlar Tablo 27'de verilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda görsel olarak da Şekil 12'de gösterilmiştir.

Tablo 27. Her bir durum için alternatiflerin sıralaması

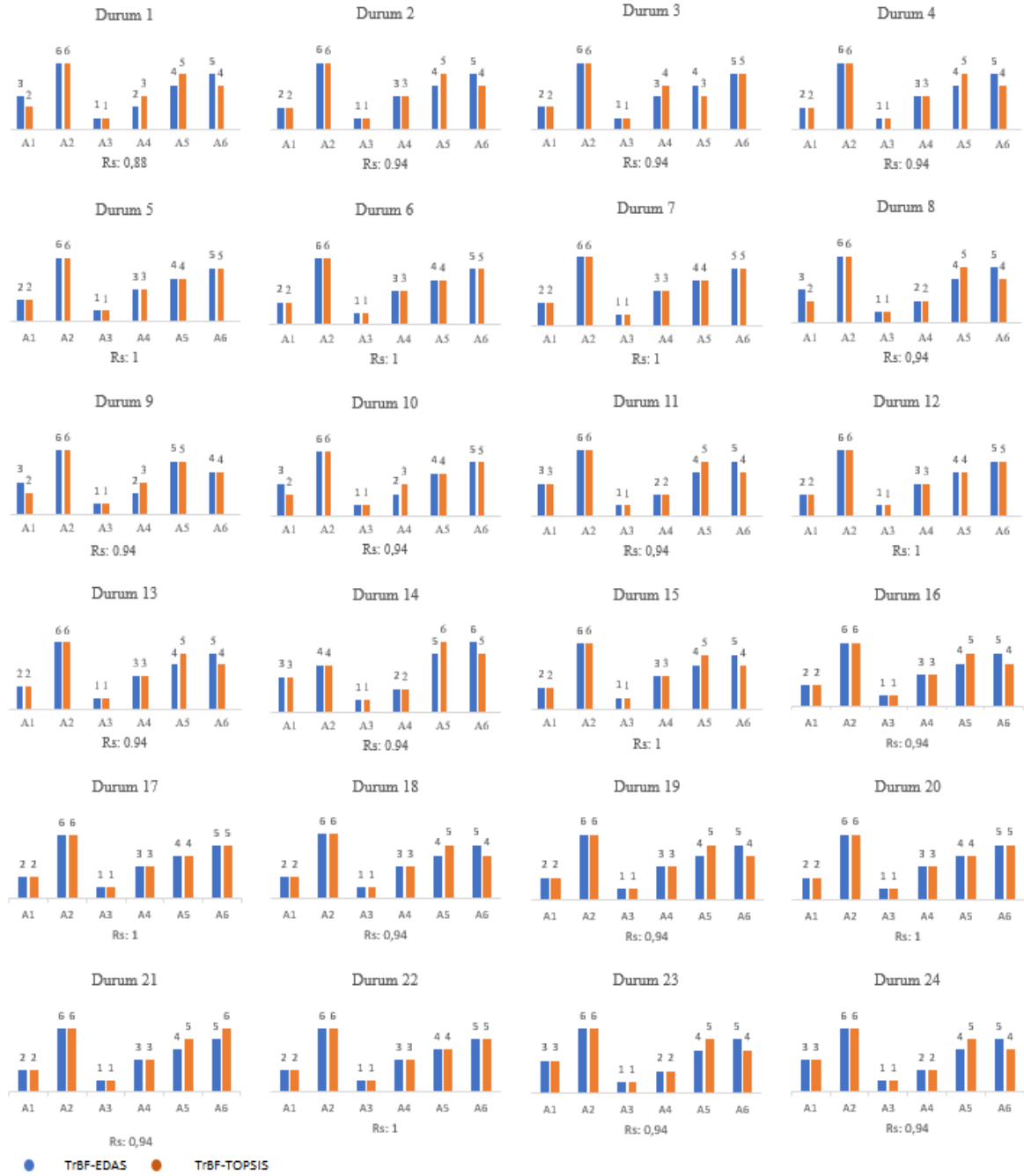
Durum	Alt.	TrBF-EDAS	TrBF-TOPSIS	Durum	Alt.	TrBF-EDAS	TrBF-TOPSIS
Durum 1 $r_s = 0,88$	A1	3	2	Durum 13 $r_s = 0,94$	A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
	A3	1	1		A3	1	1
	A4	2	3		A4	3	3
	A5	4	5		A5	4	5
	A6	5	4		A6	5	4
Durum 2 $r_s = 0,94$	A1	2	2	Durum 14 $r_s = 1$	A1	3	3
	A2	6	6		A2	4	4
	A3	1	1		A3	1	1
	A4	3	3		A4	2	2
	A5	4	5		A5	5	6
	A6	5	4		A6	6	5
Durum 3 $r_s = 0,94$	A1	2	2	Durum 15 $r_s = 1$	A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
	A3	1	1		A3	1	1
	A4	3	4		A4	3	3
	A5	4	3		A5	4	4
	A6	5	5		A6	5	5

Tablo 27'nin devamı:

	A1	2	2		A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
Durum 4	A3	1	1	Durum 16	A3	1	1
$r_s = 0,94$	A4	3	3	$r_s = 0,94$	A4	3	3
	A5	4	5		A5	4	5
	A6	5	4		A6	5	4
	A1	2	2		A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
Durum 5	A3	1	1	Durum 17	A3	1	1
$r_s = 1$	A4	3	3	$r_s = 1$	A4	3	3
	A5	4	4		A5	4	4
	A6	5	5		A6	5	5
	A1	2	2		A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
Durum 6	A3	1	1	Durum 18	A3	1	1
$r_s = 1$	A4	3	3	$r_s = 0,94$	A4	3	3
	A5	4	4		A5	4	5
	A6	5	5		A6	5	4
	A1	2	2		A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
Durum 7	A3	1	1	Durum 19	A3	1	1
$r_s = 1$	A4	3	3	$r_s = 0,94$	A4	3	3
	A5	4	4		A5	4	5
	A6	5	5		A6	5	4
	A1	3	3		A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
Durum 8	A3	1	1	Durum 20	A3	1	1
$r_s = 0,94$	A4	2	2	$r_s = 1$	A4	3	3
	A5	4	5		A5	4	4
	A6	5	4		A6	5	5
	A1	3	2		A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
Durum 9	A3	1	1	Durum 21	A3	1	1
$r_s = 0,94$	A4	2	3	$r_s = 0,94$	A4	3	3
	A5	5	5		A5	4	5
	A6	4	4		A6	5	4
	A1	3	2		A1	2	2
	A2	6	6		A2	6	6
Durum 10	A3	1	1	Durum 22	A3	1	1
$r_s = 0,94$	A4	2	3	$r_s = 1$	A4	3	3
	A5	4	4		A5	4	4
	A6	5	5		A6	5	5

Tablo 27'nin devamı:

Durum 11 $r_s = 0,94$	A1	3	3	Durum 23 $r_s = 0,94$	A1	3	3
	A2	6	6		A2	6	6
	A3	1	1		A3	1	1
	A4	2	2		A4	2	2
	A5	4	5		A5	4	5
	A6	5	4		A6	5	4
Durum 12 $r_s = 1$	A1	2	2	Durum 24 $r_s = 0,94$	A1	3	3
	A2	6	6		A2	6	6
	A3	1	1		A3	1	1
	A4	3	3		A4	2	2
	A5	4	4		A5	4	5
	A6	5	5		A6	5	4



Şekil 12. Alternatiflerin sıralamalarının ele alınan yöntemler açısından görselleştirilmesi

Sonuçlar incelendiğinde tüm durumlarda, her iki yöntemde de A3 alternatifi yani, “iCyte Automated Imaging Cytometer” cihazı, çalışmanın yapıldığı tıp fakültesinin tıbbi biyoloji ana bilim dalının tercih edeceği öncelikli cihaz olarak belirlenmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, değerlendirmede kullanılan her iki yöntem de farklı rassal kriter ağırlıklarına rağmen, tüm durumlarda A3 alternatifini en iyi alternatif olarak belirlemişlerdir.

Bununla birlikte yapılan uygulamada elde edilen yüksek korelasyon değerleri dikkate alındığında, $0.99 \geq r_s \geq 0.71$ aralığı yüksek düzeyde geçerli olduğu kabul edilir (Spearman, 1987). Uygulama da dahil toplam 25 farklı durum için en küçük r_s değeri 0.94 bulunduğundan, TrBF-EDAS yönteminin yüksek düzeyde geçerli olduğu görölmüştür.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yer alan gerçek vaka ile rassal kriter ağırlıkları ile oluşturulan 24 durumun değerlendirilmesinin sonuçlarına göre, TrBF-EDAS ve TrBF-TOPSIS yöntemleri arasında güçlü bir korelasyon ilişkisi vardır.

Değerlendirilen 25 durumdan 11 tanesinde aynı sıralamalar elde edilmiştir. Tablo 26 ve Şekil 12, her iki yöntemin de Durum 5, Durum 6, Durum 7, Durum 12, Durum 15, Durum 17, Durum 20, Durum 22'de aynı sıralamaları verdiklerini göstermektedirler. Tüm durumlar göz önüne alındığında ise, 3. Alternatif her iki yönetime göre de 1. sırada yer almaktadır.

Kullanılan yöntemler; bazı durumlardaki çok küçük farklılıklar dışında (özellikle son sıralamalardaki alternatifler arasında) başarıyla en iyi alternatifi belirlemiştir. Bu durumları incelediğimizde; Durum 3, Durum 22 ve Durum 24'te, 4. ve 5. alternatifler dışındaki tüm alternatifler için aynı sıralama elde edilmektedir. Benzer şekilde, Durum 2, Durum 4, Durum 8, Durum 9, Durum 13, Durum 14, Durum 16, Durum 18, Durum 19 ve Durum 21'de de 5. ve 6. alternatifler dışındaki diğer tüm alternatifler için aynı sıralamalar elde edilmiştir.

Ayrıca, Bölüm 4'te bahsedilen Spearman'ın sıralı değişkenleri analiz eden sıra korelasyon katsayısı (r_s), sonuçları istatistiksel olarak desteklemek için kullanılmıştır. Tüm korelasyon katsayıları $r_s \geq 0.94$ olarak bulunmuştur.

Korelasyon katsayıları; Bölüm 3'te gerçekleştirilen uygulama da dahil olmak üzere Durum 5, Durum 6, Durum 7, Durum 12, Durum 15, Durum 17, Durum 20 ve Durum 22'de $r_s = 1,00$ olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, diğer durumların korelasyon katsayılarına bakıldığında; Durum 2, Durum 3, Durum 4, Durum 8, Durum 9, Durum 10, Durum 11, Durum 13, Durum 14, Durum 15, Durum 16, Durum 18, Durum 19, Durum 21, Durum 23 ve Durum 24'te $r_s = 0,94$ ve Durum 1'de $r_s = 0,88$ olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre, önerilen TrBF-EDAS'ın, tercih sıralamaları arasındaki güçlü korelasyonu ile ilgili olarak ÇKGKV sürecini idare etmek için geçerli, sağlam ve etkili bir araç olduğunu söylemek mümkündür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bipolar bulanık bilgi ile donatılmış ÇKGKV problemleri için TrBF-EDAS metodu önerilmiş ve önerilen metot, metodolojinin uygulanabilirliğini göstermek için Türkiye'de bulunan bir tıp fakültesindeki tıbbi biyoloji bölümü için tıbbi cihaz seçim problemi ile ilgili gerçek bir vakaya uygulanmıştır. Yöntemin geçerliliğini test etmek için kapsamlı bir hesaplama çalışması yapılmıştır.

Bu çalışmada, Bölüm 3'te dikkate alınan gerçek uygulama dışında ölçütlerin ağırlıkları rastgele atanarak 24 farklı durum daha oluşturulmuştur ve TrBF-EDAS sıralaması, tüm vakalar için, akademik literatürde daha önce bilinen TrBF-TOPSIS' in sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılarak desteklenmiş ve her durum için güçlü korelasyonlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın literatüre katkıları aşağıdaki gibi vurgulanabilir:

- (i) Önerilen TrBF-EDAS yöntemi, bipolar bulanık bilgi de dahil olmak üzere ÇKGKV problemleri için geçerli, sağlam ve etkili bir araçtır.
- (ii) TrBF-EDAS yöntemi, alternatifleri sıralamak için sağlık hizmetlerinden bir bilgi sistemine kadar herhangi bir sisteme kolayca uygulanabilir.
- (iii) TrBF-TOPSIS ile karşılaştırıldığında, önerilen TrBF-EDAS yöntemi, ortalamalar arasındaki mesafeleri dikkate aldığından seçim veya değerlendirme süreçleri için daha az çaba gerektirir.

Bu çalışmaya ek olarak TrBF-EDAS yöntemi aşağıda bahsedilen bazı farklı yönlerde genişletilebilir:

- (i) Gerçek bir uygulamadaki belirsiz koşulları yakalamak için EDAS metodolojisinin sezgisel, tereddütlü, aralık tip-2 gibi farklı bulanık uzantıları incelenebilir ve sonuçlar bu çalışmanın çıktıları ile karşılaştırılabilir.
- (ii) Bilindiği gibi, TOPSIS ve EDAS, mesafeye dayalı yöntemlerdir. Yapısal olarak farklı bir ÇKKV yöntemi, yamuk bipolar bulanık sayılar kullanılarak genişletilebilir ve benzer şekilde, sonuçlar bu çalışmanın çıktıları ile karşılaştırılabilir.

7. KAYNAKLAR

- 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, 2.
- Akram, M. ve Arshad, M., 2019. A Novel Trapezoidal Bipolar Fuzzy TOPSIS Method for Group Decision-Making, Group Decision and Negotiation, 28, 3, 565–584.
- Al-Qudah, Y. ve Hassan, N., 2017. Bipolar fuzzy soft expert set and its application in decision making, International Journal of Applied Decision Sciences, 10, 2.
- Atanassov, K. ve Gargov, G., 1989. Interval valued intuitionistic fuzzy sets, Fuzzy Sets and Systems, 31, 3, 343-349.
- Beg, I. ve Rashid, T., 2014. Multi-criteria trapezoidal valued intuitionistic fuzzy decision making with Choquet integral based TOPSIS, Opsearch, 51,1, 98-129.
- Bellman, R. E. ve Zadeh, L. A., 1970. Decision-Making in a Fuzzy Environment. Management Science, 17, 4, 141-273.
- Brans, J. Pierre ve Mareschal, B., 1992. Promethee V: Mcdm Problems With Segmentation Constraints, INFOR: Information Systems and Operational Research, 30, 2, 85–96.
- Brans, J P., L'ingenierie de la decision; Elaboration d'instruments d'aide a la decision. La methode PROMETHEE, L'aide a la decision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir, 1982, Université Laval, Faculté des sciences de l'administration.
- Brauers, W. K. M. ve Zavadskas, E. K., 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, Control and Cybernetics, 35, 445-469.
- Büyüközkan, G. ve Göçer, F., 2018. Smart medical device selection based on interval valued intuitionistic fuzzy VIKOR, Advances in Intelligent Systems and Computing, 306-217.
- Carlsson, C. ve Fullér, R., 1996. Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments, Fuzzy Sets and Systems, 78, 2, 139-153.
- Carnero, M. C., 2016. Fuzzy Multicriteria Model for Selection of Vibration Technology, Shock and Vibration, 2016.
- Chen, C. T., 2000. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, Fuzzy Sets and Systems, 114, 1, 1–9.
- Chen, S.J. ve Hwang, C.L., Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods, Fuzzy multiple attribute decision making, 289-486, Springer, Berlin, Heidelberg, 1992.
- Cheng, S., Chan, C. W. ve Huang, G. H., 2002. Using multiple criteria decision analysis for supporting decisions of solid waste management, Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 37, 6, 975-990.

- Chu, M. T., Shyu, J., Tzeng, G. H. ve Khosla, R., 2007. Comparison among three analytical methods for knowledge communities group-decision analysis, Expert Systems with Applications, 33, 4, 1011-1024.
- Climaco, J. Multicriteria Analysis, Springer-Verlag, New York, 1997.
- Darko, A. P. ve Liang, D., 2020. Some q-rung orthopair fuzzy Hamacher aggregation operators and their application to multiple attribute group decision making with modified EDAS method, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 87, 103259.
- De Smet, Y., Mareschal, B. ve Verly, C., Extending the PROMETHEE II method to continuous and combinatorial multi-objective optimization problems: A first model, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEE, 2009. 1608-1611.
- De Tré, G. ve De Caluwe, R., 2003. Level-2 fuzzy sets and their usefulness in object-oriented database modelling, Fuzzy Sets and Systems, 140, 1, 29-49.
- Dong, Jiu ying, Yuan, F. fang, & Wan, S.P., 2017. Extended VIKOR method for multiple criteria decision-making with linguistic hesitant fuzzy information, Computers and Industrial Engineering, 112, 305-319.
- Dong, Jiuying ve Wan, S., 2018. A PROMETHEE-FLP Method for Heterogeneous Multi-Attributes Group Decision Making, IEEE Access, 6, 46656–46667.
- Dubois, D. ve Prade, H., 1978. Operations on fuzzy numbers, International Journal of Systems Science, 9, 6, 613-626.
- Emhan, A., 2007. Karar Verme Süreci Ve Bu Süreç Bilişi Sistemlerinin Kullanılması, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 6, 21, 212–224.
- Fahmi, A., Abdullah, S., Amin, F. ve Khan, M. S. A., 2019. Trapezoidal cubic fuzzy number Einstein hybrid weighted averaging operators and its application to decision making, Soft Computing, 23, 14, 5753–5783.
- Feng, X., Wei, C. ve Liu, Q., 2018. EDAS Method for Extended Hesitant Fuzzy Linguistic Multi-criteria Decision Making, International Journal of Fuzzy Systems, 20, 8, 2470–2483.
- Gao, H., 2018. Pythagorean fuzzy Hamacher Prioritized aggregation operators in multiple attribute decision making, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 35, 2229–2245.
- Gao, H., Lu, M. ve Wei, Y., 2019. Dual hesitant bipolar fuzzy hamacher aggregation operators and their applications to multiple attribute decision making, Journal of Intelligent ve Fuzzy Systems, 1-12.
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M. ve Turskis, Z., 2016. Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: An application to supplier selection, International Journal of Computers, Communications and Control, 11, 3, 358-371.
- Guitouni, A., & Martel, J. M., 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method, European Journal of Operational Research, 109, 2, 501-521.
- Halaç, O., Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması), Evrim

Dağıtım, 1992.

- Han, Y., Lu, Z., Du, Z., Luo, Q. ve Chen, S., 2018. A YinYang bipolar fuzzy cognitive TOPSIS method to bipolar disorder diagnosis, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 158, 1–10.
- Han, Y., Shi, P. ve Chen, S., 2015. Bipolar-Valued Rough Fuzzy Set and Its Applications to the Decision Information System, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 23, 6, 2358-2370.
- Hanss, M., Applied Fuzzy Arithmetic an introduction with Engineering Applications, Springer, 2005.
- Hao, Y., Chen, X. ve Wang, X., 2019. A ranking method for multiple attribute decision-making problems based on the possibility degrees of trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers, International Journal of Intelligent Systems, 34, 1, 24–38.
- Hwang, C.L., ve Yoon, K., Methods for Multiple Attribute Decision Making, Springer, Berlin, Heidelberg, 1981.
- Ilieva, G., Yankova, T. ve Klisarova-Belcheva, S., 2018. Decision analysis with classic and fuzzy EDAS modifications, Computational and Applied Mathematics, 37, 5, 5650–5680.
- Jana, C., Pal, M. ve Wang, J.Q., 2018. Bipolar fuzzy Dombi aggregation operators and its application in multiple-attribute decision-making process. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 10, 9, 3533-549.
- Ju-Long, D. (1982). Control problems of grey systems, Systems and Control Letters, 1, 5, 288-294.
- Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Cevik Onar, S., Yazdani, M. ve Oztaysi, B., 2017, Intuitionistic fuzzy EDAS method: an application to solid waste disposal site selection, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 25, 1, 1-12.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K. ve Raslanas, S., 2005. Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments, Energy and Buildings, 37, 4, 361-372.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z., 2010. Selection Of Rational Dispute Resolution Method By Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA), Journal of Business Economics and Management, 11, 2, 243-258.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L. ve Turskis, Z., 2015. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS), Informatica, 26, 3, 435-451.
- Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. ve Antucheviciene, J. 2017. A new multi-criteria model based on interval type-2 fuzzy sets and EDAS method for supplier evaluation and order allocation with environmental considerations, Computers and Industrial Engineering, 112, 156–174.

- Gündoğdu, K., F., Kahraman, C. ve Civan, H. N., 2018. A novel hesitant fuzzy EDAS method and its application to hospital selection, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 35, 6, 6353–6365.
- Liu, W., Dong, Y., Chiclana, F., Cabrerizo, F. J. ve Herrera-Viedma, E., 2017. Group decision-making based on heterogeneous preference relations with self-confidence, Fuzzy Optimization and Decision Making, 16, 4, 429-447.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K. ve Verbeke, A., 2004. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis-Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP, European Journal of Operational Research, 153, 2, 307–317.
- Mendel, J. M. ve John, R. I. B., 2002. Type-2 fuzzy sets made simple, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 10, 2, 117-127.
- Nayagam, V. L. G., Jeevaraj, S. ve Dhanasekaran, P., 2018. An improved ranking method for comparing trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers and its applications to multicriteria decision making, Neural Computing and Applications, 30, 2, 671–682.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G. H., 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, European Journal of Operational Research, 156, 2, 445–455.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G. H., 2007. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research, 178, 2, 514–529.
- Ozsahin, D. U., Uzun, B., Musa, M. S., Şentürk, N., Nurçin, F. V. ve Ozsahin, I., 2017. Evaluating nuclear medicine imaging devices using fuzzy PROMETHEE method, Procedia Computer Science, 120, 699–705.
- Pamucar, D., Chatterjee, K. ve Zavadskas, E. K., 2019. Assessment of third-party logistics provider using multi-criteria decision-making approach based on interval rough numbers, Computers and Industrial Engineering, 127.
- Parkan, C., 1994. Operational competitiveness ratings of production units, Managerial and Decision Economics, 15, 3, 201-221.
- Pereira, J., de Oliveira, E. C. B., Gomes, L. F. A. M. ve Araújo, R. M., 2019. Sorting retail locations in a large urban city by using ELECTRE TRI-C and trapezoidal fuzzy numbers, Soft Computing, 23, 12, 4193–4206.
- Saaty, T.L., Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, RWS Publications, 1996.
- Saaty, T. L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology, 15, 3, 234- 281.
- Schitea, D., Deveci, M., Iordache, M., Bilgili, K., Akyurt, İ. Z., ve Iordache, I., 2019. Hydrogen mobility roll-up site selection using intuitionistic fuzzy sets based WASPAS, COPRAS and EDAS, International Journal of Hydrogen Energy, 44, 16, 8585-8600.
- Shariati, S., Yazdani-Chamzini, A., Salsani, A. ve Tamosaitiene, J., 2014. Proposing a

- New Model for Waste Dump Site Selection: Case Study of Ayerma Phosphate Mine, Engineering Economics, 25, 4, 410–419.
- Spearman, C., 1987. The Proof and Measurement of Association between Two Things, The American Journal of Psychology, 100, 3/4, 441-471.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Keshavarz Ghorabae, M. ve Turskis, Z., 2017. An extension of the EDAS method based on the use of interval grey numbers, Studies in Informatics and Control, 26, 1, 5-12.
- Stevic, Z., Vasiljevic, M., Zavadskas, E. K., Sremac, S. ve Turskis, Z., 2018. Selection of carpenter manufacturer using fuzzy EDAS method, Engineering Economics, 29, 3, 281–290.
- Torra, V., 2010. Hesitant fuzzy sets, International Journal of Intelligent Systems, 25, 6, 529-539.
- Triantaphyllou, E., Multi-Criteria Decision Making Methods, Multi-criteria decision making methods: A comparative study, Springer, Boston, MA, 2000.
- Tzeng, G. H. ve Huang, J. J., Multiple attribute decision making: Methods and applications, Chapman and Hall/CRC, 2011.
- Uçal Sarı, İ., Yatırım Analizinde Bulanık Model Önerileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012.
- Uluçay, V., Deli, I. ve Şahin, M., 2018. Trapezoidal fuzzy multi-number and its application to multi-criteria decision-making problems, Neural Computing and Applications, 30, 5, 1469–1478.
- Veeramachaneni, S. ve Kandikonda, H., 2016. An ELECTRE approach for multicriteria interval-valued intuitionistic trapezoidal fuzzy group decision making problems, Advances in Fuzzy Systems, 2016, 6.
- Wang, Y. J., 2019. Interval-valued fuzzy multi-criteria decision-making based on simple additive weighting and relative preference relation, Information Sciences, 503, 2019, 319-335.
- Wei, G., Wei, C. ve Gao, H., 2018a. Multiple Attribute Decision Making with Interval-Valued Bipolar Fuzzy Information and Their Application to Emerging Technology Commercialization Evaluation, IEEE Access, 6, 60930-60955.
- Wei, G., Wei, C. ve Gao, H., 2018b. Multiple Attribute Decision Making with Interval-Valued Bipolar Fuzzy Information and Their Application to Emerging Technology Commercialization Evaluation, IEEE Access, 6, 60930–60955.
- Wu, H., Xu, Z., Ren, P. ve Liao, H., 2018. Hesitant fuzzy linguistic projection model to multi-criteria decision making for hospital decision support systems, Computers and Industrial Engineering, 115, 449-458.
- Xian, S., Xiao, Y., Yang, Z., Li, Y. ve Han, Z., 2018. A new trapezoidal Pythagorean fuzzy linguistic entropic combined ordered weighted averaging operator and its application for enterprise location, International Journal of Intelligent Systems, 33, 9, 1880–1899.
- Yang, X. P., 2019. Resolution of bipolar fuzzy relation equations with max-Łukasiewicz composition, Fuzzy Sets and Systems.

- Yeni, F. B. ve Özçelik, G., 2019. Interval-Valued Atanassov Intuitionistic Fuzzy CODAS Method for Multi Criteria Group Decision Making Problems, Group Decision and Negotiation. 28, 2, 433-452.
- Yilmaz, O. F., Oztaysi, B., Durmusoglu, M. B. ve Oner, S. C., 2017. Determination of material handling equipment for lean in-plant logistics using fuzzy analytical network process considering risk attitudes of the experts, International Journal of Industrial Engineering : Theory Applications and Practice, 24, 1.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338–353.
- Zadeh, L. A., 1973. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-3, 1, 28–44.
- Zadeh, L. A., 1974. Fuzzy logic and its application to approximate reasoning, Information Processing, 74, 591-594.
- Zadeh, L. A., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I, Information Sciences, 8, 3, 199-249.
- Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z., 2010. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, Technological and Economic Development of Economy, 16, 2, 159- 172.
- Zhang, W. R., Bipolar fuzzy sets and relations: A computational framework for cognitive modeling and multiagent decision analysis, NAFIPS/IFIS/NASA'94, Proceedings of the First International Joint Conference of The North American Fuzzy Information Processing Society Biannual Conference, The Industrial Fuzzy Control and Intelligence, IEEE, 1994.
- Zhang, W. R., (Yin) (Yang) bipolar fuzzy sets, 1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1, IEEE, 1998.
- Zhang, X., Yang, T., Liang, W. ve Xiong, M., 2018. Closeness degree-based hesitant trapezoidal fuzzy multicriteria decision making method for evaluating green suppliers with qualitative information, Discrete Dynamics in Nature and Society, 2018.
- Zhou, Y., Zhu, J., Zhou, L., Chen, H. ve Zheng, T., 2018. A new approach to fuzzy group decision making with trapezoidal fuzzy preference relations by using compatibility measure, Neural Computing and Applications, 29, 11, 1187–1203.
- Ziemba, P., 2018. NEAT F-PROMETHEE, A new fuzzy multiple criteria decision making method based on the adjustment of mapping trapezoidal fuzzy numbers, Expert Systems with Applications, 110, 363–380.

ÖZGEÇMİŞ

Makbule NALKIRAN 1992 yılında Rize’de doğdu. 2009 yılında TOBB Rize Fen Lisesi’nden mezun olduktan sonra aynı yıl Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı ve 2015 yılında mezun oldu. 2017 yılında Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başlamıştır. 2018 yılında yüksek lisans eğitime Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’na yatay geçiş yaparak devam eden Makbule NALKIRAN orta derecede İngilizce bilmektedir.